



# Mikroskopische Petrographie vom quantitativen Gesichtspunkte aus.

Von

**Fred Eugene Wright.**

## Einleitung.

Die Petrographie hat sich in den normalen Bahnen entwickelt wie die anderen Wissenschaften. Von der Steinzeit an hatte es der Mensch mit Gesteinen zu tun und sammelte im Laufe der Jahrhunderte eine große Summe von Erfahrungen über ihre charakteristischen Eigenschaften, ihr Vorkommen und ihren Gebrauch im praktischen Leben. Die verschiedenen Gesteinsarten erhielten verschiedene Namen und wurden bis zum vorigen Jahrhundert nach ihren Hauptmerkmalen und den Zwecken, denen sie dienten, klassifiziert. Feinkörnige Gesteine wie der Phonolith, deren Einzelbestandteile von dem unbewaffneten Auge nicht unterschieden werden konnten, galten als homogen und wurden mit den Mineralien zusammengefaßt, bis die chemische Partialanalyse erweisen konnte, daß ein Teil in Säuren löslich war, ein anderer nicht. Mit der Einführung des Mikroskops wurde eine neue fesselnde Welt dem Studium der Gesteine erschlossen und das Interesse war für Jahrzehnte auf die qualitative Beschreibung der Gesteine, ihrer mineralogischen Zusammensetzung und ihrer Struktur konzentriert. Es war zu erforschendes Neuland für den Petrographen und die angewandten Forschungsmethoden waren analog denen des Geologen, der ein neues Land untersucht, z. B. Alaska, um einen Generalbegriff von der geologischen Zusammensetzung und den auftretenden Gesteinsarten zu erhalten. Während dieser Forschungsperiode war die Petrographie oder Gesteins-

beschreibung das hervorragendste Charakteristikum der Petrologie, wie die umfangreichen Arbeiten aus jener Zeit beweisen. Das Interesse richtete sich auf die Gesteinsarten und ihre Klassifikation. Man wollte das ganze Gebiet überblicken und mußte notwendigerweise Rekognoszierungsverfahren anwenden. Diese Methoden und Klassifikationen waren wesentlich qualitativer Natur. Auf diese erste Forschungsperiode folgten die detaillierteren Untersuchungen, wie sie in der Geologie durch die kartographischen und praktischen Spezialaufnahmen der Einzelgebiete in großem Maßstabe repräsentiert werden.

Der Entwicklungsprozeß einer Wissenschaft erfolgt stets mit Notwendigkeit vom Qualitativen zum Quantitativen stufenweise fortschreitend. Der wissenschaftliche Begriff des Qualitativen gilt gewöhnlich für Feststellungen, bei denen keine bestimmten Grenzen des quantitativen Inhalts zum Ausdruck kommen, während durch quantitative Bestimmungen solche Grenzen festgesetzt werden. Diese Grenzen können in ihrer Größenordnung weit variieren, und die eine quantitative Bestimmung kann nur roh quantitativ sein (erste Annäherung), die andere höchst präzise. Das absolut Quantitative kann in der Naturwissenschaft nicht erreicht werden; keine Beobachtung ist jemals absolut genau, und der Gedanke an Grenzen oder Grade der Annäherung an die Wahrheit (wahrscheinlicher Fehler) durchzieht jede Wissenschaft. Solche Grenzen richten sogleich Marksteine oder Dämme auf, an denen die Spekulation Halt machen muß. In qualitativen Bestimmungen sind solche Grenzen nicht enthalten, so daß der Forscher sie je nach dem vorliegenden Bedarf willkürlich weiter oder enger ziehen kann. Je enger die Grenzen bei quantitativer Bestimmung, um so höher der Grad von Annäherung an die Wahrheit, um so geringer die Möglichkeit eines Irrtums und um so größer die Wahrscheinlichkeit einer richtigen wissenschaftlichen Anwendung. Das Wachstum einer Wissenschaft beruht wenigstens zum Teil auf der Herausbildung exakter Arbeitsmethoden und der Erreichung präziser Messungsergebnisse.

Ein Beobachter, der nur die Methoden einer erstmaligen Übersicht auf ausführliche Untersuchungen verwendet, die exakte Methoden erfordern, handelt unrichtig und verschwendet eigentlich nur seine Zeit, da solche Arbeit wiederholt werden muß. Ein Mechaniker, der versucht, eine Nivellierwaage oder ein Mikroskop

mit schlechten Werkzeugen zu machen, kann nichts Gutes leisten. Ein Petrograph, der für heutige Spezialuntersuchungen die Gesteine mit dem Mikroskop untersucht und beschreibt, wie vor etwa 30 Jahren, tut nicht nur dem Leser Unrecht, sondern auch dem Mikroskop und den Präzisionsinstrumenten, die jetzt zu seiner Verfügung stehen.

Andererseits ist es ein wahres Vergnügen, unsere Instrumente voll auszunutzen und Daten von größter Genauigkeit zu erhalten, sowie einen Ausdruck dafür zu finden, der noch auf hundert Jahre dem Forscher verständlich bleibt. Kurz, es ist nur durch die Sammlung greifbarer Tatsachen und ihre Gruppierung durch richtige Verallgemeinerung ein wirklicher Fortschritt möglich. Aus wenig Tatsachen kann wohl ein Genie intuitiv schließen und eine Theorie aufstellen, die noch eine ganze Gruppe neu zu entdeckender Tatsachen begreift, aber die meisten von uns gehören nicht dazu und es ist unsere Pflicht, Tatsachen zu sammeln — wirkliche Tatsachen, gegründet auf präzise Beobachtungsdaten.

Genau gesagt, quantitatives Arbeiten bedeutet die Herrschaft über alle Teile eines gegebenen Systems. Der Grad der Genauigkeit aller Messungen ist genau bekannt und jeder spätere Beobachter muß imstande sein, die Messungen zu wiederholen und ähnliche Resultate zu erhalten. Kurz, das System ist reproduzierbar. Quantitative Arbeit ist durchaus faßlich und die Verhältnisse sind zu jeder Zeit der Beobachtung genau bekannt. Andererseits ist das System bei qualitativem Arbeiten unvollkommen bestimmt, es sind keine festen Grenzen gegeben und den erlangten Resultaten fehlt die Präzision; ihr wahrscheinlicher Fehler ist unbekannt, sie sind unbestimmt und von ungewissem Umfang. Eine rein quantitative Arbeitsleistung und die ihr entsprechende Genauigkeit verleiht dem Beobachter und ebenso dem Leser ein Gefühl des Vertrauens und der Sicherheit, das eine qualitative Arbeit mit ihren unsicheren Elementen niemals hervorrufen kann. Das Bewußtsein der Herrschaft über die Faktoren eines verwickelten Systems ist die natürliche Folge einer guten quantitativen Arbeit und bildet auf geistigem Gebiete einen guten Teil des Lohnes, der dem Naturforscher gewährt ist.

Es gibt indessen noch einen anderen Charakterzug, der zu betonen ist. Bei der Inangriffnahme eines Problems müssen die angewandten Methoden von etwa demselben Grade der Genauig-

keit sein. Aus der Anwendung präziser Methoden auf einen Teil des Problems ist nicht zu schließen, daß das Gesamtergebnis vom gleichen Grade der Genauigkeit ist, unbekümmert, welche andere Methoden gebraucht worden waren. Die verschiedenen Methoden müssen gleichwertig sein und der Beobachter muß geübt sein, ihre Anwendung richtig zu beurteilen. So würde es bei rohem Traversieren eine Zeitverschwendung sein, mit einem Theodolithen die Winkel auf Sekunden zu messen, aber die Entfernungen nur abzuschreiten oder vice versa eine genaue Triangulation mit dem Taschenkompaß zu versuchen, selbst wenn die Basislinie aufs sorgfältigste ausgemessen ist. Andererseits gibt es Fälle, in denen gewisse mechanische Operationen, die an sich vollendet sind, leicht und genau ausgeführt werden können, so z. B. die Wägung chemischer Niederschläge; in diesem Falle wäre es offenbar nachlässig, die Niederschläge mit einer rohen Handwaage zu wiegen, selbst wenn der sich daraus ergebende wahrscheinliche Fehler innerhalb der aus den angewandten chemischen Methoden sich ergebenden Fehlergrenzen fallen würde. Der Genauigkeitsgrad des Endresultats würde dabei unnötig verringert, da dessen wahrscheinlicher Fehler eine direkte Funktion der wahrscheinlichen Fehler der im Prozeß enthaltenen Einzelstufen darstellt. Die erfolgreiche Anwendung dieses Prinzips auf die vorliegenden Probleme verlangt ein kritisches Urteil auf Seiten des Beobachters.

All das liegt scheinbar auf der Hand, aber es ist in der Praxis nicht immer verwirklicht. Die Instrumente werden gebraucht, aber ihre Justierung wird selten geprüft. Die Auslöschungswinkel werden auf Minuten gemessen, aber der Beobachter versäumt, die Justierung des Mikroskops zu prüfen, und die Nicols können um einen halben Grad oder mehr abweichen.

Dasselbe bestätigt sich beim Gebrauch der quantitativen Daten. Aus einer Serie von bekannten Tatsachen entwickelt der Forscher eine Hypothese und sucht sie durch weitere Daten zu beweisen oder zu widerlegen. Dieser Gang ist richtig, vorausgesetzt, daß er die Daten selbst kritisch prüft, wie sie erhalten wurden, ihre wahrscheinlichen Fehler usw.

Der Gebrauch der Mathematik in dieser Beziehung ist wichtig. Die Mathematik ist ein höchst vollkommenes und logisches System, ausgedrückt in Form von Symbolen und kann auf alle Probleme, die quantitative Elemente enthalten, angewandt werden. Sie ist

ein höchst entwickeltes und allgemein eindrucksfähiges System, aber HUXLEY<sup>1</sup> erinnert uns daran, „daß die Vollkommenheit der mathematischen Mühle keine Garantie für die Qualität des Korns bietet“. Wenn wir auf unsere Mühle unsichere Daten mit weitem wahrscheinlichem Fehler schütten, so können wir nicht erwarten, daß unsere Endresultate mehr als die erste Annäherung darstellen. Eine in mathematische Form gebrachte Bestimmung beweist noch nicht, daß sie richtig ist, wenn auch die Mathematik streng genau ist. Da die Mathematik logisch und kurz und bündig ist, bedient man sich ihrer oft zum allgemeinen Ausdruck von Beziehungen, deren genaue numerische Werte nicht sicher bekannt sind — Werte, die dann dargestellt werden durch angenommene Symbole. Zum Zweck der Verallgemeinerung und des Aufbaus einer Theorie durch logische Gruppierung der Beobachtungstatsachen in ein einfach geordnetes System ist die Mathematik von unschätzbarem Wert, da sie dazu dient, in einem einzigen Satz die Ergebnisse und Hauptsachen einer ganzen Gedankenreihe auszudrücken. Je genauer die dazu verwandten Tatsachen und Resultate sind, um so höher ist der Grad von Wahrscheinlichkeit für eine richtige Verallgemeinerung und um so leichter ist diese. Der nicht mathematisch geschulte Leser kann die Voraussetzungen untersuchen, auf denen die mathematische Beweisführung beruht und dann mit seinem gesunden Menschenverstand die Schlußfolgerungen prüfen.

Quantitative Arbeit erfordert mehr Zeit als qualitative, aber die Petrographie hat jetzt eine Stufe erreicht, die quantitative Arbeit verlangt. Dem einzig an die schnellen qualitativen Methoden gewöhnten Forscher müssen die quantitativen schwerfällig und ermüdend erscheinen und nicht ergiebig genug für die unmittelbaren Resultate, und er mag eben versucht sein, zu fragen ob solche Methoden wirklich der Mühe wert sind und die Energie und die Zeit lohnen, die darauf verwandt werden muß. Aber in der Petrographie ist die Periode der qualitativen Forschung vorbei und es ist für gute Arbeiten nicht länger zulässig, das quantitative Element gänzlich zu vernachlässigen. Nur durch die Sammlung präziser Daten sind viele petrographische Probleme zu lösen und bis dahin bleiben die Schlußfolgerungen Ansichtssachen,

<sup>1</sup> R. S. WOODWARD, On the mathematical Theories of the Earth. Proc. Am. Ass. Adv. Sci. 1889. p. 62.

mehr oder weniger auf eine schwache Unterlage von Tatsachen gestützt. Niemals hat man das Bedürfnis nach einer exakten Beweisführung, im Felde sowohl wie im Laboratorium, in der Petrographie empfunden wie heut. Die Pioniere haben die Reko-  
gnoszierungsarbeit für uns getan und wir müssen auf quantitativen Angriffslinien vorgehen, bevor wir hoffen können, selbst annähernde Lösungen der großen vor uns liegenden Probleme zu erhalten. Jeder einzelne von uns muß dazu beisteuern und einen kleinen Baustein hinzufügen, indem er sich den quantitativen Gesichtspunkt zu eigen macht und ihn durch seine Stellung zur Wissenschaft im allgemeinen wie zur Petrographie im besonderen zur Geltung bringt. In der Petrographie ist die Qualität unserer quantitativen Arbeit weit wichtiger als die Quantität unserer qualitativen Arbeit.

Nachdem wir so die Grundforderung der modernen Petrographie erkannt haben, wird es der nächste Schritt sein, zu zeigen, daß gegenwärtig die Instrumente und Methoden der mikroskopischen Petrographie dieser Anforderung entsprechen und außerdem leicht anwendbar und prinzipiell einfach sind. Wir gründen unser Urteil auf den Wert eines Instruments oder einer Methode hinsichtlich ihrer Wirksamkeit, ihrer Einfachheit, ihrer erreichbaren Empfindlichkeit und ihres Anwendungsbereichs. Ein Instrument, dessen Empfindlichkeit den verschiedenen auftretenden Beobachtungsbedingungen angepaßt werden kann, ist offenbar einem Instrument überlegen, dessen Empfindlichkeit fest bestimmt und für eine spezielle Art von Bedingungen eingerichtet ist. Der einem Instrument zukommende Anpassungsbereich darf indessen nicht zu weit gezogen werden, da die Praxis klar erwiesen hat, daß die sogen. Universalinstrumente in der Regel ungenügend sind und nicht jedem der einzelnen Zwecke, für die sie bestimmt sind, in völlig hinreichender Weise entsprechen. Um eine gegebene Art von Bedingungen vollständig zu erfüllen, ist es gewöhnlich notwendig, ein Spezialinstrument für diesen Zweck zu konstruieren. So kann ein kleinkalibriges Gewehr für kleines Wild vortrefflich geeignet sein, jedoch für größeres Wild ist es völlig unzureichend und kann sogar im Überraschungsfall mehr Schaden als Nutzen stiften und vice versa, ein Gewehr von großem Kaliber ist zur Jagd von Kleinwild wenig wert.

Die ersten Instrumente, die für einen gegebenen Zweck gebaut werden, leiden, wie Dr. A. L. DAY sagt, gewöhnlich an Kinderkrankheiten, und nur durch sorgfältige und aufmerksame Konstruktion können solche Störungen vermieden werden. Die Instrumente und Methoden der mikroskopischen Petrographie haben bis zu diesem Stadium und darüber hinaus eine reiche Entwicklung durchgemacht und eine Ausbildung erlangt, daß wir jetzt praktisch alle optischen Eigenschaften der Mineralkörner ohne komplizierte Apparate bequem bestimmen können, an günstigen Platten und Körnern bis herunter zu einem Durchmesser von 0,02 mm. Es dürfte von Interesse sein, einige der Methoden kurz zu besprechen, die sich erfahrungsgemäß für unser gegenwärtiges Arbeiten als am meisten befriedigend erwiesen haben.

### **Die Justierung des petrographischen Mikroskops.**

Bei den erwähnten Methoden ist anzunehmen, daß das Mikroskop genau justiert ist, sonst können die gewonnenen Resultate ernstliche Fehler enthalten. Die einfachste Methode zur Prüfung der Justierung des petrographischen Mikroskops ist vielleicht die folgende: 1. Entferne vom Mikroskop alle Linsen — Okular, Objektiv und Kondensor — und richte es direkt gegen die Sonne, deren Strahlen parallel und so intensiv sind, daß eine Drehung eines der Nicols um weniger als 1' aus der Stellung der totalen Auslöschung leicht zu erkennen ist. Sind die Nicols genau gekreuzt, so erscheint die Sonne als matte Scheibe auf dunklem Hintergrund. 2. Setze Objektiv und Okular ein und prüfe die Stellung des Fadenkreuzes des Okulars zu den Schwingungsrichtungen der gekreuzten Nicols durch Beobachtung eines Spaltblättchens eines gerade auslöschenden Minerals wie Anhydrit, Cölestin oder Anthophyllit. Die Kreuzfäden müssen dann in der Stellung totaler Auslöschung den Spaltrissen der Platte parallel sein. 3. Setze den Kondensor ein und merke, daß er genau zentriert ist, wenn das Bild seines Diaphragmas mit dem Zentrum des Okularkreises zusammenfällt. — In diesem Justierungsplan ist die erlaubte Annahme gemacht worden, daß die optische Achse des Mikroskoptubus und des Kondensortubus zusammenfallen und daß die optischen Teile korrekt montiert sind, mechanische Anforderungen, denen unsere heutigen Werkstätten genügen.

## Die optischen Eigenschaften der Mineralien.

Wenden wir uns zu den optischen und kristallographischen Merkmalen, auf denen die mikroskopische Mineraldiagnose beruht, so wollen wir zunächst die Nomenklatur betrachten. Die Theorie wie die Erfahrung haben gezeigt, daß für monochromatisches Licht in den meisten Fällen die Änderung der optischen Eigenschaften eines gegebenen Minerals mit der Richtung im wesentlichen vollständig durch ein dreiachsiges Ellipsoid ausgedrückt und definiert werden kann, dessen Achsen gleich den 3 Hauptbrechungsindizes sind; ist die Länge und Richtung der 3 Hauptachsen dieses Index-Ellipsoids in bezug auf den Kristall gegeben, so ist es möglich, das optische Verhalten eines beliebigen Schnittes durch den Kristall vorauszusagen. Der Wert des Index-Ellipsoids ist so häufig erprobt und sein Nutzen beim praktischen Arbeiten so groß, daß unabhängig von allen Theorien seine Bedeutung nicht kräftig genug betont werden kann. Daß dies bisher nicht hinreichend geschehen ist, beweisen die geläufigen Ausdrücke zur Bezeichnung der optischen Eigenschaften eines Minerals und eines Mineraldurchschnitts. So bestimmen wir, ob ein Mineral isotrop, einachsig oder zweiachsig ist und klassifizieren es dementsprechend, aber wir besitzen keinen Sammelausdruck für diese Operation, durch welche die spezielle Art des Index-Ellipsoides bestimmt wird — ob ein dreiachsiges Ellipsoid, bei dem 3 Achsen ungleich sind, oder ein einachsiges Ellipsoid, wo 2 Achsen gleich werden und verschieden sind von der dritten, oder eine Kugel, wo alle 3 Achsen gleich lang werden. Für dieses Charakteristikum soll hier der Name optische Ellipsoidität als passender Gruppenbegriff vorgeschlagen werden<sup>1</sup>. Die optische Ellipsoidität eines zweiachsigen Minerals heißt demnach zweiachsig (zwei Achsenverhältnisse sind nötig, um die Gestalt seines Index-Ellipsoids zu bestimmen; das Index-Ellipsoid ist durch zwei optische Achsen oder Binormalen charakterisiert) und die optische Ellipsoidität eines einachsigen Minerals einachsig (ein Achsenverhältnis genügt, um die Gestalt seines Index-Ellipsoids zu

<sup>1</sup> Der Verfasser ist Herrn C. E. VAN ORSTRAND von der U. S. Geol. Survey für seine Beihilfe bei der Wahl dieses wie des unten zu erwähnenden Ausdrucks optische Ellipsoidität zu Dank verpflichtet.

bestimmen und das Index-Ellipsoid hat nur eine optische Achse), und die optische Ellipsoidität eines isotropen Minerals gleichachsig (die 3 Achsen seines Index-Ellipsoids sind gleich). Die optische Ellipsoidität eines Minerals ist eins der wichtigsten Merkmale; sie wird neuerdings als erste Gruppeneinteilung in allen für den mikroskopisch petrographischen Gebrauch erschienenen Tabellen verwendet.

Die Längen der Hauptachsen des Index-Ellipsoids sind durch die Messung der Hauptbrechungsexponenten des Kristalls bestimmt. Aus diesen können, der Reihe nach, der Winkel der optischen Achsen, die Hauptdoppelbrechungen und der optische Charakter abgeleitet werden; letztere Eigenschaften sind deshalb untergeordnet im Verhältnis zu den Brechungskoeffizienten. Aber für die in der üblichen Weise hergestellten Dünnschliffe ist noch keine genügende Methode zur direkten Messung des Brechungskoeffizienten erfunden und der Mikroskopierende ist infolgedessen genötigt, von den anderen unter diesen Bedingungen bestimmbaren Eigenschaften Gebrauch zu machen, die aber selbst in ihrer Gesamtheit nicht alle die Angaben ausdrücken, die in einer einfachen Bestimmung der Brechungsindizes enthalten sind.

Speziell aus diesem Grunde ist so viel Nachdruck auf die Bestimmung der Brechungsindizes zu legen, besonders auf die Immersionsmethode, vermittels deren die Brechungsindizes von kleinen, isolierten Mineralkörnern bis herunter zu 0,01 mm Durchmesser bequem mit einem angemessenen Grade von Genauigkeit gemessen werden können.

Für die vollständige Beschreibung der optischen Beschaffenheit eines Minerals ist es wesentlich, nicht nur die Länge der Hauptachsen des optischen Ellipsoids, sondern ebenso seine Orientierung in bezug auf den Kristall zu bestimmen. Dies wird in üblicher Weise ausgeführt mittels der Auslöschungsschiefe auf Kristallflächen von bekannter Orientierung. Aus der Orientierung des Index-Ellipsoids in bezug auf den Kristall sind wir imstande, das System abzuleiten, in dem das Mineral kristallisiert, da, wie BREWSTER zuerst gezeigt hat, seine Orientierung von der Kristallsymmetrie selbst abhängig ist. Durch Bestimmung des Hauptbrechungsexponenten eines Minerals und seiner Auslöschungsschiefe auf Platten bekannter Orientierung können wir also sein Index-Ellipsoid und sein Kristall-

s y s t e m bestimmen und daraus der Reihe nach das optische Verhalten irgend eines durch den Kristall gelegten Schnittes ableiten.

Ist das Index-Ellipsoid eines Minerals für eine bestimmte Farbe gegeben, so können die Schwingungsrichtungen (die Dunkelstellungen zwischen gekreuzten Nicols) und die relative Geschwindigkeit der senkrecht in einen gegebenen Mineralschnitt eintretenden Lichtwellen bestimmt werden, wenn man sich den Schnitt durch das Zentrum des Index-Ellipsoids gelegt und die zugehörige Ellipse herausgeschnitten denkt; längs der größeren und kleineren Achse dieser Ellipse finden die Lichtschwingungen statt und liefern polarisierte Lichtwellen, deren Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Länge dieser Achsen umgekehrt proportional ist. Diese Ellipse möge die optische Ellipse des Schnittes heißen. Diese optische Ellipse ist vollkommen bestimmt, wenn die Länge ihrer größten und kleinsten Achse (die Brechungsindizes  $\gamma'$  und  $\alpha'$ ) und ihre Lage in bezug auf eine bestimmte kristallographische Richtung in der Platte (Auslöschungsschiefe) gegeben sind. Bei der gegenwärtigen Untersuchung der Dünnschliffe bildet der Mangel an einer genügenden Methode zur direkten Messung der Brechungsexponenten,  $\gamma'$  und  $\alpha'$ , u. d. M. eine ernste Schwierigkeit und der Beobachter ist genötigt, von anderen Eigenschaften Gebrauch zu machen, wie von der Doppelbrechung und der relativen Position der Achsen der optischen Ellipse, die sich unter diesen Umständen ermitteln lassen, aber die nicht einmal zusammengenommen so viel ausdrücken wie die Brechungsexponenten allein.

Zur Bezeichnung der relativen Lage und Form der optischen Ellipse eines Schnittes möge der zusammenfassende Name optische Ellipsität gebraucht werden. Dieser Name ist dem gebräuchlichen Ausdruck optischer Charakter des Schnittes oder optischer Charakter seiner Schnittlage vorzuziehen. Die Bezeichnung optischer Charakter dient in erster Linie als Gruppenbezeichnung für die Ausdrücke optisch positiv und optisch negativ. Ihr weiterer Gebrauch im obigen Sinne als Ausdruck, um für geradlinig polarisiertes Licht die relativen Achsenlängen der optischen Ellipse eines gegebenen Schnittes zu definieren, ist nicht berechtigt, da derselbe Ausdruck dann zwei Herren dient

und unserem Gedächtnis zwei total verschiedene Eindrücke vermittelt; ein solcher Gebrauch ist für präzise Feststellungen nicht förderlich. Die Bezeichnung optische Ellipsität kann gut für den Ausdruck optischer Charakter in jenem zweiten Sinne gesetzt werden.

Bei der praktischen Mineraluntersuchung u. d. M. bestimmt man im monochromatischen Licht: a) die optische Ellipsoidität eines Minerals, ob es zweiachsig, einachsig oder gleichachsig; b) die absolute Länge der Hauptachsen seines optischen Ellipsoids  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  (Hauptbrechungsindizes); c) die Differenz der absoluten Längen je zweier der Hauptachsen seines optischen Ellipsoids (Hauptdoppelbrechungen); d) den Winkel zwischen den Normalen auf den zwei Kreisschnitten des optischen Ellipsoids (Winkel der optischen Achsen oder Binormalen); e) die Hauptachse, die den spitzen Winkel zwischen den Normalen der beiden Kreisschnitte des Index-Ellipsoids halbiert (die spitze Bisektrix  $\gamma$  oder  $\alpha$  und mit ihr den optischen Charakter des Minerals, ob positiv oder negativ); f) die relative Lage des optischen Ellipsoids in bezug auf den Kristall (gewöhnlich bestimmt mit Hilfe der Auslöschungsschiefe auf bekannten Kristallflächen) und damit das Kristallsystem des Minerals.

Entsprechend können wir für einen gegebenen Kristallschnitt im parallelen polarisierten Lichte bestimmen: a) seine optische Ellipsität (die relative Lage und Form seiner optischen Ellipse); b) seine Brechungsindizes  $\gamma'$  und  $\alpha'$  (die Längen der größeren und kleineren Achse seiner optischen Ellipse); c) seine Doppelbrechung (durch die Differenz der Längen der Achsen,  $\gamma' - \alpha'$ , der optischen Ellipse bestimmt); d) die relative Lage der Achsen seiner optischen Ellipse zu einer kristallographischen Richtung im Schnitt (die Auslöschungsschiefe).

Diese Eigenschaften wechseln bis zu einem gewissen Grade mit der Farbe des angewandten Lichtes und rufen die Eigenschaften der Farbe und der farbigen Dispersion hervor, die für die Mineraldiagnose von Nutzen sind. Das sind in Kürze: Farbe, Pleochroismus, Absorption, Dispersion der Farben, Verschiedenheit der Hauptbrechungsindizes, Dispersion der Mittellinien, Dispersion der optischen Achsen.

Mit dieser kurzen Aufzählung der optischen Eigenschaften, von denen wir bei der praktischen Mineralbestimmung Gebrauch machen, haben wir noch zugleich zu zeigen, daß die Methoden der mikroskopischen Petrographie den in der Einleitung hervorgehobenen Anforderungen entsprechen und ferner auch einfach und leicht anzuwenden sind. Dazu wird es passend sein, die optischen und kristallographischen Eigenschaften in zwei Klassen einzuteilen: die der ersten Klasse (optische Ellipsoidität, optische Ellipsität, optischer Charakter des Minerals, Farbe, Pleochroismus, Absorption, Dispersion der optischen Achsen, Dispersion der Mittellinien, Kristallhabitus) die in gewöhnlicher Weise durch einfache Beobachtung ohne Messung bestimmt werden, während für die zweite Klasse (Brechungsindizes, Stärke der Doppelbrechung, Auslöschungsschiefe, Winkel der optischen Achsen, Spaltungswinkel) zahlenmäßige Angaben einer speziellen Messung erforderlich sind. Dieser Unterschied ist einigermäßen willkürlich gemacht und soll nicht bedeuten, daß die Eigenschaften der ersten Gruppe ausschließlich qualitativer Natur sind, aber sie werden bei dem gegenwärtig üblichen petrographischen Arbeiten vielmehr als Qualitäten betrachtet denn als Quantitäten, die genau gemessen werden müssen. Mit einer größeren Verfeinerung der Bestimmungsmethoden werden zweifellos manche der Eigenschaften der ersten Klasse in die zweite, im wesentlichen quantitative Gruppe aufgenommen werden. In den folgenden Abschnitten soll eine kurze Beschreibung einiger der am besten anzuwendenden Methoden zur Bestimmung dieser Eigenschaften gegeben werden.

### **Bestimmung der optischen Eigenschaften der 1. Klasse.**

Für diese Gruppe haben sich in den letzten Jahren fast keine neue Methoden entwickelt. Farbe, Pleochroismus, Absorption, Kristallhabitus, Dispersion der optischen Achsen und der Mittellinien werden praktisch noch auf dieselbe Weise bestimmt wie seit Einführung des petrographischen Mikroskops.

Die optische Ellipsoidität. Zur Bestimmung dieses Verhaltens haben sich in den letzten Jahren besonders

zwei Methoden als brauchbar erwiesen. a) Einachsige Mineralien sind leicht von zweiachsigen zu unterscheiden durch das Kennzeichen, daß die dunklen Balken (Null-Isogyren) der Interferenzfigur einer einachsigen Platte parallel mit den Nicolhauptschnitten sind und beim Drehen des Tisches durch die Mitte des Gesichtsfeldes gehen, während bei zweiachsigen Mineralien die dunklen Hyperbeln (Null-Isogyren) der Interferenzfigur sich bei der Drehung des Tisches drehen und einen Winkel mit dem Hauptschnitt des Polarisators bilden. Wenn der dunkle Achsenbalken der Interferenzfigur nicht gerade und bei der Drehung des Tisches in demselben Azimute bleibt, so ist die optische Ellipsoidität zweiachsig, im anderen Falle ist das doppelbrechende Mineral im allgemeinen einachsig<sup>1</sup>. b) Zur Bestimmung, ob eine sehr schwach doppelbrechende Platte isotrop oder doppelbrechend ist und um gleichzeitig die relative Lage und Form ihrer optischen Ellipse zu bestimmen (ihre optische Ellipsität), muß man das empfindliche Hilfsblättchen nicht wie gewöhnlich in der Diagonalstellung, sondern so einschalten, daß dessen optische Ellipse nur einen kleinen Winkel mit einem der Nicolhauptschnitte macht; unter dieser Bedingung ist die Aufhellung des Gesichtsfeldes durch das empfindliche Hilfsblättchen sehr gering, während der Gangunterschied noch sichtbar wird. Die Änderung der schwachen Farbennuance des Mineralkorns ist deutlich auf dem dunkleren Hintergrunde sichtbar und es können so außerordentlich geringe Spuren von Doppelbrechung erkannt werden<sup>2</sup>. Wenn das empfindliche Hilfsblättchen in der Diagonalstellung eingeschoben wird, so erhellt es das Gesichtsfeld so stark, daß die schwachen Farbenunterschiede des Mineralkorns verschleiert werden und dem Auge oft vollständig verloren gehen, besonders wenn das Korn sehr klein ist. Dieselbe Methode ist mit gleichem Erfolge zur Bestimmung des optischen Charakters eines sehr schwach doppelbrechenden Minerals im konvergenten polarisierten Lichte zu verwenden.

<sup>1</sup> Siehe F. BECKE, Denkschr. Wien. Akad. d. Wiss. Math.-naturw. Kl. **75**. 1904; TSCHERM. Min.-petr. Mitt. **24**. 1905. p. 30. **27**. 1908. p. 177—178.

<sup>2</sup> Siehe F. E. WRIGHT, The Methods of Petro. Microsc. Research. Carnegie Inst. Washington Publ. **158**. 1911. p. 73. In dem Mikroskop des Verfassers ist das empfindliche Hilfsblättchen in einen drehbaren Ring unterhalb des Kondensors gefaßt und kann leicht von einem Quadranten zum andern gedreht werden, eine große Erleichterung für das gewöhnliche schnelle Arbeiten.

Der optische Charakter kann in allen Schnitten bestimmt werden, in denen wenigstens eine optische Achse im Gesichtsfelde erscheint, wenn man beachtet, daß die Konvexität des durch die optische Achse gehenden Achsenbalkens (Null-Isogyre) stets gegen die erste Mittellinie gerichtet ist<sup>1</sup>. In Schnitten senkrecht zur optischen Normale kann die Lage der ersten Mittellinie daran erkannt werden, daß die feinen dunklen Hyperbeln der Interferenzfigur bei der Drehung des Tisches aus dem Gesichtsfelde in der Richtung der ersten Mittellinie austreten<sup>2</sup>. Für den Fall, daß die Platte so dick ist, daß die Interferenzfarben lebhaft sind, kann die Richtung der ersten Mittellinie auch bestimmt werden, wenn wir berücksichtigen, daß die Interferenzfarbe in den Quadranten, die die erste Mittellinie enthalten, gegen die anliegenden Quadranten fällt<sup>3</sup>. In Gesteinsdünnschliffen zeigen die Mineralschnitte von schwacher bis mittlerer Doppelbrechung nicht oft Interferenzfarben über das Blaugelb der ersten Ordnung, für solche ist die zweite Methode nicht anwendbar und man muß die erste gebrauchen. Der relative Wert der ersten Mittellinie, ob  $\alpha$  oder  $\gamma$  (die optische Ellipsität des Schnittes), kann dann mit Anwendung eines empfindlichen Blättchens oder mit dem Quarzkeil im parallelen polarisierten Licht bestimmt werden.

### Messung der optischen Eigenschaften der 2. Klasse.

Eine Anzahl neuer Methoden zur Messung der optischen Eigenschaften dieser Klasse sind in den letzten Jahren beschrieben worden mit dem Resultat, daß jetzt genügende Methoden selbst zum Gebrauch für kleine Mineralkörner zugänglich sind. Die

<sup>1</sup> F. RINNE hat kürzlich (TSCHERM. Min.-petr. Mitt. **30**. 1911. p. 321—323) folgende kurze Regel zur Auffindung des Vorzeichens eines Schnittes gegeben: Eine zentrische einachsige Interferenzfigur teilt das Gesichtsfeld in vier Quadranten. Bezeichnen wir die Felder NO. und SW. wie gewöhnlich als positiv und die anliegenden Quadranten als negativ. In zweiachsigen Mineralien mögen die Felder NO. und SW. im Kreuz des dunklen Balken (Null-Isogyren) mit bezug auf die erste Mittellinie in gleicher Weise positiv genannt werden. Wenn wir dann das empfindliche Hilfsblättchen so einschieben, daß die größere Achse  $\gamma$  seiner optischen Ellipse von NO. nach SW. geht, dann ist das Mineral optisch positiv, wenn die positiven Quadranten oder Felder der Interferenzfigur blau gefärbt sind, negativ, wenn die negativen Felder blau sind.

<sup>2</sup> F. E. WRIGHT, Amer. Journ. Sci. (4). **17**. 1904. p. 387.

<sup>3</sup> F. BECKE, TSCHERM. Min.-petr. Mitt. **16**. 1897. p. 181.

erreichbare Genauigkeit der Resultate dieser Methoden unter den verschiedenen Bedingungen ist bekannt und die Anwendung dieser Methoden ist jetzt eine Sache der Routine.

**Brechungsindizes.** Zur Messung der Brechungsindizes der Mineralien in einem gedeckten Dünnschliff ist noch keine genaue Methode erfunden, aber in ungedeckten Mineralkörnern und Platten von einem Durchmesser von 0,01 mm und darüber können die Brechungsindizes bequem durch die Immersionsmethode bestimmt werden mit einer Genauigkeit von  $\pm 0,001$  für Natriumlicht an isolierten günstigen Schnitten und Körnern. Für diese Methode ist ein Satz von Flüssigkeiten mit bekannter Lichtbrechung wesentlich. Folgender Satz wird gegenwärtig im geophysikalischen Laboratorium gebraucht:

Brechungs- indizes	Mischungen von
1,450—1,475	Petroleum und Terpentin.
1,480—1,535	Terpentin und Äthylenbromid oder Nelkenöl.
1,540—1,635	Nelkenöl und $\alpha$ -Monobromnaphthalin.
1,640—1,655	$\alpha$ -Monobromnaphthalin und $\alpha$ -Monochlornaphthalin.
1,660—1,740	$\alpha$ -Monobromnaphthalin und Methylenjodid.
1,740—1,785	Schwefel gelöst in Methylenjodid.
1,790—2,050	Methylenjodid, Arsensulfid (niedergeschlagenes $As_2S_3$ ), Schwefel und Zinnjodid <sup>1</sup> .
2,055—2,750	Glas, erhalten durch Einschmelzen von amorphem Schwefel und Selen in verschiedenen Verhältnissen. Die zu prüfenden Mineralkörner werden in die flüssige Schmelze getaucht, aber erst geprüft, wenn sie abgekühlt und zu einem rotgefärbten Glas erstarrt ist <sup>2</sup> .

In dieser Serie steigt der Brechungsexponent für Na-Licht gegen jedes vorherige Glied um 0,005. Bei der Auswahl dieser

<sup>1</sup> Dr. H. E. MERWIN am geophysikalischen Laboratorium hat neuerdings eine umfassende Untersuchung dieser stark lichtbrechenden Mischungen und ihrer Herstellung und Beständigkeit vorgenommen. Die Ergebnisse seiner Arbeit erscheinen demnächst im Amer. Journ. Sci. — Vergleiche auch O. MASCHKE, POGG. ANN. **145**. 1872. p. 565. WIEDEMANN'S ANN. **11**. 1880. p. 722. J. THOULET, Bull. Soc. Min. Franç. **3**. 1880. p. 62. H. AMBRONN, Ber. sächs. Ges. d. Wiss. Math.-phys. Kl. 1896. p. 1—8. J. L. C. SCHROEDER VAN DER KOLK, Zeitschr. f. wiss. Mikroskopie. **8**. 1898. p. 458. F. E. WRIGHT, TSCHERM. Min.-petr. Mitt. **20**. 1901. p. 239. Amer. Journ. Soc. (4). **17**. 1904. p. 385. Carnegie Inst. Wash. 1911. Publ. **158**. p. 98.

<sup>2</sup> Die Brechungsindizes dieser Gläser werden im Li-Licht gemessen, nicht im Na-Licht wie bei den anderen flüssigen Gemischen.

Flüssigkeiten waren die leitenden Faktoren: Haltbarkeit, Mischfähigkeit und geringe Dispersion. Die Brechungsindizes werden mit einem Totalreflektometer bestimmt bis 1,74, darüber mittels eines Hohlprismas im Natriumlicht. Dr. MERWIN hat neuerdings gefunden, daß an Stelle des Hohlprismas ein Prisma genügt, das man durch Zusammenschmelzen zweier kleiner ebener Glasplatten (ausgewählte Objektträger) am einen Ende erhält, so daß ihre Oberflächen an der Fuge einen Winkel von  $35-45^{\circ}$  einschließen. Ein Tropfen der stark brechenden Flüssigkeit wird dann in den keilförmigen Zwischenraum der Glasplatten gebracht und schließt sich durch die Kapillarität ihren ebenen Oberflächen an und bildet so das erforderliche Prisma. Die Flüssigkeiten werden in üblicher Weise in kleinen Tropfflaschen mit eingeschlif-fenem Stopfen und Kappe aufbewahrt. Die Erfahrung hat gezeigt, daß die so aufbewahrten Flüssigkeiten in einem Jahre nicht über 0,002 variieren, während der Brechungsindex einer Flüssigkeit im Mittel um 0,001 abnimmt bei steigender Temperatur mit je  $3^{\circ}$  C. Bei Verwendung der schiefen Beleuchtung oder bei der Beobachtung der BECKE'schen Linie ist es sofort möglich, zu erkennen, ob der Brechungsindex eines einzelnen Korns höher, niedriger oder gleich dem der Flüssigkeit ist.

In dem Falle, daß ein Mineralkorn einen höheren Brechungsindex hat als die Flüssigkeit, wirkt es als Linse auf ein einfallendes Strahlenbündel und sammelt sie nach einem Punkt hin; wenn seine Lichtbrechung niedriger ist als die der Flüssigkeit, so macht es die eintretenden Strahlen divergent. Der Unterschied in diesem Verhalten ist am besten bei einem Bündel schief einfallender Strahlen zu sehen; diese werden dann bei einem stärker brechenden Mineralkorn auf der entgegengesetzten Seite konzentriert, von der her sie eintreten; in einem schwächer lichtbrechenden Korn werden sie an der zunächst liegenden Seite konzentriert. In beiden Fällen erscheinen die beiden Ränder des Mineralkorns ungleich beleuchtet. Fällt das Licht von links her ein, so erscheint die Helligkeit an der rechten Seite des stärker brechenden und auf der linken Seite des schwächer brechenden Mineralkorns. Im Falle, daß das Mineral und die Flüssigkeit etwa dieselbe Lichtbrechung für gelbes oder grünes Licht besitzen, gibt der Unterschied in der Dispersion zwischen Flüssigkeit und Mineral Veranlassung zu einem charakteristischen Phänomen. Die Dispersion in Flüssigkeiten ist im

allgemeinen stärker als in den festen Körpern, und in unserem Falle würde dann die Flüssigkeit einen niedrigeren Brechungsexponenten für rot und einen höheren für blau haben als das Mineral, so daß die roten Strahlen auf der einen und die blauen auf der entgegengesetzten Seite des Korns konzentriert werden. Das Korn erscheint umsäumt von farbigen Rändern, rot oder orange auf der einen und blaßblau auf der entgegengesetzten Seite. Wenn dann die Stärke der Helligkeit auf beiden Seiten des Korns etwa die gleiche ist, sind die Brechungsindizes von Mineral und Flüssigkeit gleich für den mittleren Teil des sichtbaren Spektrums.

\*Schief einfallendes Licht ist meist bequem zu erhalten, wenn man den Zeigefinger zwischen Spiegel und Polarisator hält und einen Schatten auf die Hälfte des Gesichtsfeldes fallen läßt. Der Fehler einer solchen Bestimmung ist bei guten Schnitten kleiner als  $\pm 0,005$ , während beim Gebrauch von monochromatischem Licht und bei sorgfältiger Auswahl einzelner klarer Körner der Fehler sich auf  $\pm 0,001$  reduziert. Wenn das Korn anisotrop ist, können die drei Hauptbrechungsindizes  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  bestimmt werden, wenn man das Korn in die Stellungen bringt, daß die vom unteren Nicol kommenden Wellen durch den Kristall parallel je einer der drei Hauptachsen des optischen Ellipsoids schwingend hindurchgehen.

Die Hauptschwierigkeit bei der Messung der Brechungsindizes von kleinen Körnern oder Platten von Dünnschliffen liegt in einer gewissen mechanischen Unterteilung; die Körner finden sich häufig als feine übereinandergreifende Aggregate, oft eingebettet in Glas; unter diesen Umständen ist es keine leichte Aufgabe, ein isoliertes Korn zu finden, an dem die Messungen vorgenommen werden können.

Die Materialien für den oben erwähnten Satz von brechenden Flüssigkeiten können leicht von einer Handlung chemischer Artikel bezogen werden und die ganze Serie läßt sich in wenigen Stunden gebrauchsfertig zusammenstellen. Mit dem Satz der lichtbrechenden Flüssigkeiten, vermittels deren wir die Brechungsindizes eines Mineralkorns leicht mit einer Genauigkeit von  $\pm 0,005$  erhalten, können wir so eine der wichtigsten optischen Konstanten des Minerals bestimmen. Im Hinblick auf die Bequemlichkeit und Leichtigkeit in der Anwendung dieser Methode ist es eigentlich überraschend, daß davon bei den Petrographen und Chemikern so wenig Gebrauch gemacht wird.

**Doppelbrechung.** Für die Messung der Doppelbrechung, der Auslöschungswinkel und des Winkels der optischen Achsen hat sich ein speziell konstruiertes Okular zweckmäßig erwiesen<sup>1</sup>. Dies besteht im wesentlichen aus einem Metallhalter, der wie ein gewöhnliches Okular in den Mikroskoptubus hineinpaßt und als Träger dient für gewisse Platten, die in die untere Brennebene eines RAMSDEN'schen Okulars eingesetzt sind. Das Fadenkreuz sitzt unten in der zylindrischen Fassung des RAMSDEN'schen Okulars und wird gleichzeitig mit der Oberfläche der eingeschobenen Keile oder Platten gesehen.

Zur Messung der Doppelbrechung dient eine graduierte Quarzkeilkombination, die so geschnitten ist, daß die 0,1 mm-Teilung der Skala auf ihrer Oberfläche direkt die Gangunterschiede in  $10 \mu\mu$  für Natriumlicht angibt. Beim Gebrauch mit Aufsatznicol kann der Gangunterschied im Natriumlicht oder die Ordnung der Interferenzfarbe im weißen Licht schnell bestimmt werden; der Keil wird in Diagonalstellung eingeschoben, bis der dunkle Streifen vollkommener Kompensation erscheint; der sich mit diesem deckende Teilstrich der Skala gibt dann den Gangunterschied in  $10 \mu\mu$ . Im Falle dicker Platten muß man die Lage der Kompensationslinie zunächst im weißen Licht bestimmen, sonst kann die richtige Kompensationslinie für das angewandte monochromatische Licht nicht gefunden werden. Der Gangunterschied ist direkt abhängig von zwei Faktoren: der Dicke der Platte und ihrer Doppelbrechung. Die einfachste Methode, um die Dicke einer montierten Platte oder eines Kornes zu beobachten, ist die, mit einem sehr starken Objektiv zuerst auf ihre Oberfläche und dann auf ihre Unterfläche, durch die Platte oder das Korn selbst hindurchgesehen, einzustellen. Der Betrag der feinen Mikrometerschraube während dieser Operation ist die scheinbare Dicke der Platte oder des Kornes, vorausgesetzt, daß die Mikrometerschraube genau konstruiert ist. Die wahre Dicke wird erhalten durch Multiplikation der scheinbaren Dichte mit dem mittleren Brechungsindex der Platte. Die Erfahrung hat gezeigt, daß unter diesen Umständen ein Fehler von 5 oder selbst 10 %<sup>2</sup> gemacht wird, speziell wenn die Platte sehr dünn ist; an dickeren Platten

<sup>1</sup> F. E. WRIGHT, Amer. Journ. Soc. (4). 29. 1910. p. 415—426.

<sup>2</sup> Siehe F. E. WRIGHT, Amer. Journ. Soc. (4). 29. 1910. p. 416.

und Körnern ist der durch die unvollkommene Einstellung verursachte Fehler geringer. Um größere Genauigkeit zu sichern, muß deshalb das Mittel einer Serie von Bestimmungen an derselben Platte genommen werden.

Der Quotient der beiden so erhaltenen Werte — Gangunterschied dividiert durch Dicke der Platte — ist die Doppelbrechung. Der wahrscheinliche Fehler der Bestimmung unter diesen Bedingungen wird bei guten Schliffen ca. 10 % betragen; für die gewöhnlichen Mineralien bedeutet dies einen Fehler von einer oder zwei Einheiten der dritten Dezimale.

Die Auslöschungsschiefe für eine gegebene Kristallfläche ist der Winkel zwischen einer bestimmten kristallographischen Richtung auf der Fläche und einer der Achsen ihrer optischen Ellipse. Bei scharf entwickelten Kristalliten, bei ausnehmend scharf begrenzten Mineralien oder bei Spaltrissen ist der Fehler aus der inkorrekten Einstellung der kristallographischen Richtung parallel einem Kreuzfaden des Okulars praktisch zu vernachlässigen; bei weniger scharf markierten kristallographischen Richtungen ist die Einstellung tatsächlich weniger genau, aber dies kommt von der Kristallentwicklung und nicht von der Methode; der Beobachter muß die Situation nehmen, wie er sie findet, der einzige wahrscheinliche Fehler, den er direkt kontrollieren kann, liegt im wesentlichen in der Bestimmung der Auslöschungsstellen. Da das Auge nur bis zu einer gewissen Grenze empfindlich ist (Schwellenwert etwa 0,001 Meterkerze), so ist klar, daß für alle Stellungen der Kristallplatte zwischen gekreuzten Nicols, für welche die Intensität des durchgelassenen Lichts unter dieser Grenze bleibt, die Platte dunkel erscheinen wird. Beim gewöhnlichen Mikroskopieren schwankt der Winkelbereich dieses Dunkelfeldes von  $1^{\circ}$  bis  $2^{\circ}$ , abhängig von den Lichtverhältnissen und dem Auge des Beobachters; der Fehler einer einzelnen Bestimmung der Auslöschungsstellung wird unter gewissen Bedingungen bis  $1^{\circ}$  betragen, durch Repetitionsmessung kann der wahrscheinliche Fehler beträchtlich reduziert werden. Viel genauere Resultate können jedoch durch Gebrauch der Spezialvorrichtungen erhalten werden, die zu diesem Zweck konstruiert worden sind. Von diesen hat die Doppelquarzkeilplatte<sup>1</sup> den Vorteil, sich in der Empfindlich-

<sup>1</sup> F. E. WRIGHT, Amer. Journ. Sci. (4). 26. 1908. p. 377—378.

keit den verschiedenen sich bietenden Beobachtungsbedingungen anzupassen. Sie besteht aus einer Kombination von einer rechtsdrehenden Quarzplatte mit einem linksdrehenden Quarzkeil und einer linksdrehenden Quarzplatte mit einem rechtsdrehenden Quarzkeil, sämtlich normal zur Achse geschnitten und so montiert, daß die Stellen der genauen Kompensation in jeder Hälfte auf einer Linie liegen. Die Auslöschungsstellung eines Minerals ist mit dieser Vorrichtung zu bestimmen, wenn man berücksichtigt, daß bei ihrer Einschaltung die durch die anliegenden Hälften des Keils bedeckten Teile der Mineralplatte den gleichen Grad von Helligkeit zeigen. Befindet sich das Mineral nicht in der Stellung der totalen Auslöschung, so sind die Hälften nicht gleich hell. Die Erfahrung hat gezeigt, daß mit dieser Vorrichtung der wahrscheinliche Fehler einer einzelnen Einstellung etwa  $\pm 10'$  beträgt. Die Doppelquarzkeilplatte ist in einen Metallschlitten gefaßt, der in den oben beschriebenen Okularhalter hineinpaßt. Diese Quarzdoppelkeilplatte kann ebenso an dunkeln Tagen zur Justierung der Nicols des petrographischen Mikroskops dienen. Zu diesem Zwecke sollen zuerst alle Linsen vom Mikroskope entfernt werden, da die krummen Oberflächen der Linsen immer störend auf paralleles polarisiertes Licht einwirken<sup>1</sup>. Die Doppelquarzkeilplatte wird dann auf den Mikroskoptisch gelegt und von einem Bündel intensiver, monochromatischer, paralleler polarisierter Lichtstrahlen beleuchtet. Unter diesen Bedingungen erscheinen nur bei genau gekreuzten Nicols die beiden Hälften der Doppelquarzkeilplatte gleich hell beleuchtet. Bei sehr genauer Arbeit sollen auch die Auslöschungsrichtungen einer Mineralplatte mit dieser Anordnung bestimmt werden. — Die BERTRAND'sche Linse über dem Analysator kann dann als Objektiv dienen und mit dem Okular zusammen ein schwach vergrößerndes Mikroskop bilden<sup>2</sup>. Auf diese Weise wird der störende Einfluß der Linsenoberflächen auf die Schwingungsebene des parallelen polarisierten Lichtes vermieden<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> F. RINNE, Centralbl. f. Min. etc. 1900. p. 88—89. — G. CÉSARO, Bull. de l'Acad. roy. de Belgique (Classe des Sciences). 1906. p. 459. — F. E. WRIGHT, Amer. Journ. Sci. (4). **31**. 187. 1911.

<sup>2</sup> F. E. WRIGHT, Amer. Journ. Sci. (4). **31**. 184—185. 1911.

<sup>3</sup> Diese Anordnung hat M. BEREK vor kurzem angewendet (dies. Jahrb. Beil.-Bd. XXXIII. 583—661. 1912) und einen besonderen Halter für die Doppelquarzkeilplatte beschrieben. Er fand, daß „die Doppelquarzkeilplatte

Diese Einrichtung ist jedoch weit komplizierter, als die erstbeschriebene, bei welcher der erreichte Grad der Genauigkeit, wegen des störenden Einflusses der Linsen, zwar etwas geringer ist, für die meisten Zwecke aber vollkommen hinreichend ist. Für das Arbeiten mit Dünnschliffen ist daher die einfache, erste Methode vorzuziehen.

Die Winkel der optischen Achsen sind meist schnell zu messen mittels der 0,1 mm Koordinatenmikrometerscheibe<sup>1</sup>, die in ihrer Metallfassung in den oben erwähnten Okularhalter hineinpaßt. An günstigen Schnitten (0,025 mm und darüber) beträgt der wahrscheinliche Messungsfehler mit dieser Platte etwa  $\pm 1^\circ$  für den Fall, daß beide optische Achsen im Gesichtsfeld erscheinen, und  $\pm 3^\circ$ , falls nur eine der optischen Achsen sichtbar ist. Für Messungen an Mineralkörnern müssen die betreffenden Teile in eine Flüssigkeit von gleichem Brechungsindex getaucht werden, um die durch Brechung an der unebenen Oberfläche der Körner entstehenden Fehler zu vermeiden. In schwach doppelbrechenden Substanzen und in unterbrochenen Schnitten sind die Achsenbalken weniger scharf ausgeprägt und die erhaltenen Werte sind deshalb weniger genau.

Die Teilung der Koordinatenmikrometerscheibe dient dazu, die Lage jedes einzelnen Punktes des Feldes festzulegen. Die im Mikroskop beobachtete Interferenzfigur ist praktisch genommen eine orthographische Projektion der in der oberen Brennebene

---

im Vergleich zu den anderen Vorrichtungen die größte Empfindlichkeit für alle Lichtarten und Vergrößerungen zeigte“ und daß ferner, unter günstigen Verhältnissen, die Auslöschungsrichtungen eines Spaltblättchens von Gips mit einem wahrscheinlichen Fehler von nur  $\pm 0,5'$  bei einer einzigen Einstellung im Lichte von der Wellenlänge 548  $\mu\mu$  bestimmbar waren. Der Gebrauch der Doppelquarzkeilplatte mit dem positiven Okular, wie es vom Verfasser empfohlen wurde, wird von Herrn BEREK abgelehnt, weil, wie er meint, die Strahlen, welche die Platte durchsetzen, oft einen großen Winkel mit der Plattennormale einschließen. Er hat jedoch nicht berücksichtigt, daß bei dieser Anordnung die Doppelquarzkeilplatte sich in der Bildebene des Objektivs befindet, wo, wie bekannt, die Neigung der einfallenden Strahlen vom Objektiv nicht über  $3^\circ$  beträgt (S. CZAPSKI, Theorie d. opt. Instrumente. 342. 1904). Bei der Anordnung, die er benutzt, ist die Neigung der einfallenden Strahlen beinahe  $1^\circ$ . In beiden Fällen ist also die Neigung der einfallenden Strahlen gering und die Kritik von Herrn BEREK in dieser Hinsicht belanglos.

<sup>1</sup> F. E. WRIGHT, Amer. Journ. Sci. (4). 24. 1907. p. 316—369; 21. 1910. p. 423; 31. 1911. p. 157—211.

des Objektivs zustande kommenden Interferenzfigur und die Anwendung von Koordinaten zur Fixierung der Punkte des Feldes ist deshalb statthaft. Die durch diese Koordinaten bestimmten Winkelwerte sind ein für allemal mit einem ABBÉ'schen Apertometer oder einer graduierten Glaskugel oder einer Skala in der unteren Brennebene des Kondensors bestimmt<sup>1</sup>. Im Fall daß beide optischen Achsen  $A_1$  und  $A_2$  im Gesichtsfeld erscheinen, ist der Gang der Bestimmung einfach. Die Kristallplatte wird gedreht, bis die Ebene der optischen Achsen  $A_1 A_2$  in der Interferenzfigur (zusammen mit der Skala des Koordinatenmikrometers, nach Einschlebung der BERTRAND'schen Linse, in der unteren Brennebene des positiven Okulars beobachtet) parallel mit dem horizontalen Kreuzfaden des Okulars geht, und ihr Abstand in dieser Stellung vom Mittelpunkt des Gesichtsfeldes wird notiert. Die gekreuzten Nicols werden dann um einen entsprechenden Winkel gedreht. Die Achsenbalken drehen sich in der entgegengesetzten Richtung, aber die Punkte der optischen Achsen  $A_1$  und  $A_2$  bleiben stehen und dunkel; sie sind gegeben als die Schnittpunkte der Achsenbalken mit der Horizontallinie, die die Ebene der optischen Achsen bezeichnet. Der damit bestimmte Winkelabstand zwischen den beiden Polen der optischen Achsen  $A_1$  und  $A_2$  gibt direkt den Winkel der optischen Achsen  $2E$  in Luft.

Falls nur eine optische Achse im Gesichtsfelde erscheint, ist die Methode komplizierter und weniger genau, sie ist jedoch nutzbar und soll darum kurz auseinandergesetzt sein. Sie beruht in erster Linie auf dem Gesetz von BIOT-FRESNEL, das bestimmt, daß für in einer gegebenen Richtung im Kristall fortschreitende Lichtwellen die beiden Schwingungsrichtungen die Winkel zwischen den Projektionen der beiden optischen Achsen in der Ebene senkrecht auf der gegebenen Fortpflanzungsrichtung halbieren. In einer Interferenzfigur liegt die Schwingungsrichtung eines Punktes, der dunkel erscheint in der Auslöschungsebene des Analysators — sonst könnte er nicht dunkel sein. Die Schwingungsebene für alle Punkte der dunklen Balken (Null-Isogyren) einer Interferenzfigur ist deshalb bekannt. Bei Festlegung einer optischen Achse  $A_1$  und eines Punktes  $P$  eines dunklen Balkens ist es demnach möglich, durch Anwendung des BIOT-FRESNEL'schen Gesetzes graphisch

<sup>1</sup> Dies ist ausführlich erörtert in Amer. Journ. Sci. (4). **24**. 1907. p. 317—369; ebenso in Carnegie Inst. Washington. Publ. **158**. 1911. p. 172—175.

die Lage der zweiten optischen Achse zu bestimmen<sup>1</sup>. Hat man die Messungen an den Interferenzfiguren vorgenommen, so werden die abgelesenen Koordinatenwerte zuerst auf die entsprechenden Winkelwerte in Luft reduziert und diese weiterhin mit Hilfe des mittleren Brechungsindex auf den entsprechenden Wert im Kristall. Diese Winkel werden dann in eine entsprechende Projektion (Winkel- oder stereographische) eingetragen — die Ebene der optischen Achsen als Großkreis parallel mit dem horizontalen Durchmesser, der Hauptschnitt des Polarisators in seinen beiden Azimuten als Durchmesser der Projektion, die optische Achse  $A_1$  und der Punkt P des dunklen Balkens als die Schnittpunkte der aufgezeichneten Kleinkreis-Koordinaten. Auf diese Projektion wird das BIOT-FRESNEL'sche Gesetz angewendet, indem man zunächst die Achse  $A_1$  auf den Polarkreis zum Punkte P projiziert; der Schnittpunkt C dieses Polarkreises mit dem Durchmesser, der die Lage des Hauptschnitts des Polarisators zur Zeit der Beobachtung in der Projektion ergibt, bestimmt in der Projektion die Schwingungsrichtung von P. Der Winkel zwischen Punkt C und dem Projektionspunkte  $A_1'$  der Achse  $A_1$  ist die Hälfte der von den Projektionslinien der beiden optischen Achsen gebildeten Winkel. Der Punkt  $A_2'$  der Projektion der zweiten optischen Achse  $A_2$  ist demnach zu finden durch Abtragen des gleichen Winkels  $A_1'C$  vom Punkt C aus auf den Polarkreis. Der Schnitt des Großkreises durch P und den Punkt  $A_2'$  mit der Ebene der optischen Achsen ist offenbar die zweite optische Achse  $A_2$  und der Winkel zwischen den beiden Achsenpolen  $A_1$  und  $A_2$  ist der optische Achsenwinkel  $2V$ . Die besten Resultate werden mit dieser Methode erhalten an Schnitten, in denen die optische Achse  $A_1$  etwa in der Mitte zwischen dem Mittelpunkt und dem Rande des Gesichtsfeldes und der Punkt P des dunklen Balkens in ähnlicher Weise gelegen ist. Wie oben bemerkt, ist mit dieser Methode ein wahrscheinlicher Fehler von etwa  $\pm 3^\circ$  möglich, selbst bei den günstigsten Schnitten; an schlechten Schnitten ist der Fehler entsprechend größer.

Geophysikalisches Laboratorium, Washington D. C., März 1912.

<sup>1</sup> Vergl. F. BECKE, TSCHEM. Min.-petr. Mitt. **24**. 1905. p. 35—44; **28**. 1909. p. 290; ebenso F. E. WRIGHT, Amer. Journ. Sci. (4). **24**. 1907. p. 316—369; (4). **31**. 1911. p. 157—210; Carnegie-Inst. Wash. Publ. **158**. 1911. p. 147—200.