

**Badische Landesbibliothek Karlsruhe**

**Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe**

**Die Bildung der Erdalkaliperoxyde**

**Engler, Carl**

**Heidelberg, 1910**

Über die empfindlichen Farben und über ihre Anwendung bei der  
Erkennung schwach doppelbrechender Medien

[urn:nbn:de:bsz:31-289891](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-289891)

Sitzungsberichte  
der Heidelberger Akademie der Wissenschaften  
Stiftung Heinrich Lanz  
Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse

==== Jahrgang 1910. 24. Abhandlung. ====

Über die empfindlichen Farben und  
über ihre Anwendung bei der Er-  
kennung schwach doppelbrechender  
Medien

von  
*[Handwritten signature]*  
E. A. Wülfing  
in Heidelberg

Mit einer Abbildung

Eingegangen am 29. August 1910



Heidelberg 1910  
Carl Winter's Universitätsbuchhandlung

Verlags-Nr. 487.

Stammesart der  
der Heilbrunn-Abteilung der Wasserarbeiten  
Wasserbau-Abteilung des Königs  
Königliche Bauverwaltung

Über die bairischen Farben und  
über ihre Anwendung bei der Er-  
kennung schwach doppelseitiger

Medien  
E. A. Wirtz



Heidelberg 1910  
Carl Winter Universitätsbuchhandlung

Die KOENIGSBERGER'schen Methoden zur Erkennung und Messung optischer Anisotropie undurchsichtiger Substanzen beruhen auf der Beobachtung entweder der SAVART'schen Streifen oder der empfindlichen Farbe an einer BIOT-KLEIN'schen Quarzplatte. Es wird manchem Mineraloptiker zuerst auffallen, daß bei der zweiten Methode an Stelle des Gipsblattes vom Rot I. Ordnung ein BIOT-KLEIN'scher Quarz empfohlen wird, da man doch bei der Beobachtung sonstiger Doppelbrechungsercheinungen von der großen Empfindlichkeit des ersteren Präparates hinlänglich überzeugt ist, während die BIOT-KLEIN'sche Quarzplatte häufig versagt. So gelingt es bekanntlich sehr leicht, die durch Fingerdruck an einem Objektträger hervorgerufene Phasenverschiebung mittelst eines Gipsblattes genannter Art deutlich zu demonstrieren, sowie auch die geringen Gangunterschiede an sehr dünnen Schliften von Leucitkristallen merklich in die Erscheinung treten zu lassen, während in solchen Fällen der BIOT-KLEIN'sche Quarz kaum schwache Andeutungen eines Farbenschlages wahrzunehmen erlaubt. Umgekehrt zeigt die letztere Platte eine relativ hohe Reaktionsempfindlichkeit bei den nach der KOENIGSBERGER'schen Methode im reflektierten Licht beobachteten anisotropen, undurchsichtigen Medien, wo alsdann wieder das gewöhnliche Gipsblatt gänzlich versagt.

Bei den Erklärungsversuchen dieser auffallenden Gegensätze fragt man wohl auch nach der Zusammensetzung und dem etwaigen Unterschied der auf so verschiedene Weise hervorbrachten Farbmischungen. Ich möchte hier diese Analyse rechnerisch durchführen, um aus einem Vergleich beider zu erkennen, ob in der Tat die eine Farbmischung — nur als Farbmischung betrachtet — eine größere Empfindlichkeit besitzen kann als die andere, oder ob nicht andere Gründe für diese Reaktionsunterschiede zu suchen sind.

Auch die flüchtigste Beobachtung der Reihe der NEWTON'schen Farben, entweder an einem NEWTON'schen Farbenglas oder an einem Quarzkeil oder an einem Gipskeil oder auch an den isochromatischen Kurven eines geeigneten Axenbildes, läßt alsbald erkennen, daß nur eine Stelle und nur eine einzige Stelle sich von allen andern in der ganzen Skala dadurch auszeichnet, daß die Farben im kleinsten Abstand dem größten Wechsel unterworfen sind. Diese Stelle befindet sich dort, wo die Phasendifferenz für Na-Licht etwa  $0,575 \mu$  beträgt. Der Farbenton wird von allen normalen trichromatischen Augen als eine Art Violett oder als eine Art Purpur, d. h. als eine Übergangsfarbe von Rot nach Blau aufgefaßt. Nur sehr geringe Änderungen in der Phasendifferenz lassen den Farbenton alsbald in ein deutliches Rot einerseits und ein deutliches Blau andererseits umschlagen. Hier am Anfang der II. Ordnung der NEWTON'schen Farben haben wir eine empfindliche Farbe, und zwar die von der größten Empfindlichkeit zu suchen. Man pflegt in der Praxis allerdings häufig nicht diese Farbe von  $0,575 \mu$ , sondern eine mit etwas geringerer Phasendifferenz anzuwenden. Sehr verbreitet scheint der Farbenton mit ungefähr  $0,551 \mu$  (immer auf Na-Licht bezogen) zu sein, der gerade am Ende der I. Ordnung liegt und gewöhnlich als Rot I. Ordnung bezeichnet wird. Auch sind andere Farbtöne mit noch geringerer Phasendifferenz häufig in Gebrauch; indessen wäre den Fabrikanten zu empfehlen, daß sie ihre Quarz- oder Gipspräparate etwas dicker herstellen, um die Empfindlichkeit des Farbenumschlags nicht zu sehr herabzusetzen.

Gelegentlich sind auch andere Farbmischungen der NEWTON'schen Reihe für besonders empfindlich erklärt worden. So empfiehlt CESARO ein zwischen parallelen Nikols erscheinendes Violett I. Ordnung mit dem Gangunterschied von  $0,281 \mu$ , auch wird das zwischen gekreuzten Nikols auftretende Hellbläulichviolett III. Ordnung mit dem Gangunterschied  $1,128 \mu$  als besonders empfindlich gerühmt. Bei Anwendung der ersteren Farbe bedarf man außergewöhnlich dünner Präparate und bei der letzteren zeigt schon eine bloß qualitative Untersuchung die geringere Empfindlichkeit — nehmen doch hier die benachbarten roten, violetten und blauen Töne wohl den doppelten bis dreifachen Flächenraum ein gegenüber den analogen Tönen auf der Grenze der I. und II. Ordnung und bedürfen also auch zu ihrer Hervorbringung eines entsprechend größeren Gangunterschiedes. Hier

möge daher das altbewährte sogenannte Rot I. Ordnung oder das ihm benachbarte Violett II. Ordnung den weiteren Betrachtungen zugrunde gelegt werden.

Bevor wir aber zur Analyse dieser Farben an Quarz und Gips übergehen, müssen wir uns klar darüber werden, ob wir diese Berechnungen in derselben Art wie bei den Farben des NEWTON'schen Glases durchführen können, oder ob nicht ein erheblicher Unterschied, auch innerhalb des Rahmens unserer Betrachtungen, zwischen den Farben am Luftkeil und denen am Gips- und Quarzkeil vorhanden ist. Es fragt sich also, ob wir die Dispersion der Doppelbrechung bei Quarz und ferner diese Dispersion verbunden mit jener der Bisektrix bei Gips vernachlässigen können.

Es möge hier gleich vorweg gezeigt werden, daß der letztere Einfluß verschwindend klein ist. Die Auslöschungsschiefe des Gipses für verschiedene Farben ist zwar selten quantitativ bestimmt worden, doch geht aus den älteren Messungen DESCLOITZEAUXS<sup>1)</sup> und aus den neueren DUFETS<sup>2)</sup> soviel unzweifelhaft hervor, daß diese Dispersion für die extremsten hier in Betracht kommenden Farben nicht mehr als  $0^{\circ}30'$  betragen kann. Dieser Unterschied tritt zwischen D- und  $H_{\gamma}$ -Licht auf, während die Auslöschungsrichtung für rotes Licht zwischen beiden liegt. Wenn wir also für D-Licht das Azimut der Schwingung in die maximale Helligkeitslage von  $\varphi = 45^{\circ}$  bringen, weicht das Azimut für Blau um  $0^{\circ}30'$  hiervon ab. Für alle übrigen Farben treten kleinere Winkel auf, die überdies alle ihre Lage zwischen den Bisektrixen für gelb und blau haben. Setzen wir die Intensität für gelbes Licht gleich 100%, so ist die Intensität für blaues Licht gleich 99,97%, da  $100 \cdot \sin^2 44^{\circ}30' = 99,97$  ist. Die Intensitätsschwankungen, die durch die Bisektrizendispersion entstehen, steigen also nur bis zu 0,03% und können in ihrem Einfluß auf die Mischfarben wohl vernachlässigt werden.

Etwas erheblicher ist der Einfluß infolge der Dispersion der Doppelbrechung, also infolge der verschiedenen Doppelbrechung für verschiedene Lichtarten. Am einwandfreisten wäre es wohl, wenn bei den hierüber Aufschluß gebenden Rechnungen die Werte für die Doppelbrechung über die ganze Ausdehnung des sichtbaren Spektrums, also etwa von der roten

<sup>1)</sup> *Nouvelles recherches* 1867, S. 135.

<sup>2)</sup> *Bull. Soc. Fr. Min.* X (1887), S. 224.

Kaliumlinie mit Wellenlänge  $0,768 \mu$  bis zur violetten Linie  $H_2$  mit Wellenlänge  $0,393 \mu$  verwendet würden; aber so oft auch optische Messungen an Quarz und Gips in älterer und neuerer Zeit von verschiedenen Forschern ausgeführt wurden, fehlt es doch an sicher bestimmten Konstanten, die sich über dieses weite Dispersionsgebiet erstrecken. Man wird sich darauf beschränken müssen, die Lichtarten zwischen der roten Lithionlinie und der dritten Wasserstofflinie mit den Wellenlängen  $0,671 \mu$  und  $0,434 \mu$  zu berücksichtigen, die etwa  $\frac{2}{3}$  des sichtbaren Spektrums und vor allem den bei weitem intensivsten Teil einschließen.

Für Quarz kann man die Messungen von RUTBERG, MASCART, VAN DER WILLIGEN, MACÉ DE LÉPINAY und dem Verfasser heranziehen und zu Mittelwerten vereinigen, wie solche in Tabelle I angegeben sind. Für Gips ist eine solche Mittelwertbildung aus den in der Literatur vorliegenden Zahlen kaum anzuraten; vor allem müssen die nach der Methode der Totalreflexion bestimmten Brechungsexponenten ganz unberücksichtigt bleiben, weil ihre Genauigkeitsgrenze schon in die vierte Dezimale hineinreicht und die Dispersion der Doppelbrechung bei Gips erst von dieser Dezimalen ab in wenigen Einheiten zum Ausdruck kommt. Dagegen scheinen mir unter den nach der Prismenmethode ermittelten Werten die Messungen DUFETS ein besonderes Vertrauen zu verdienen, die hier um so mehr bevorzugt werden dürfen, als DUFET auch die Dispersion der Doppelbrechung auf besonders zuverlässige Weise — durch Beobachtung der FIZEAU-FOUCAULT-schen Streifen — bestimmte. Außer den auf diese Weise gewonnenen Werten für die Doppelbrechung des Quarzes und des Gipses finden sich in Tabelle I noch einige andere Konstanten, die den nachfolgenden Berechnungen zur Grundlage gedient haben, wie Wellenlängen, einige Brechungsexponenten des Wassers und einige Werte für das spezifische Drehungsvermögen des Quarzes. Alle diese Zahlen sind dem bekannten Tabellenwerk von LANDOLT-BÖRNSTEIN oder dem Recueil des Données numériques von H. DUFET, Band II (Paris 1899), entnommen worden. Die in Zeile 3, 5, 7 und 9 aufgeführten Zwischenwerte wurden durch graphische Interpolation gefunden.

Tabelle I.

	Licht- art	Wellen- längen in $\mu$	Brechungs- exponenten des Wassers	Gips $\gamma - \alpha$	Quarz $\epsilon - \omega$	Quarz $\alpha$
1.	Li	0,671	1,3311	0,00902	0,009030	16,5°
2.	C	0,656	—	—	0,009045	17,3°
3.	—	0,625	—	—	0,009075	19,2°
4.	D	0,589	1,3333	0,00916	0,009110	21,7°
5.	—	0,560	—	—	0,009140	24,3°
6.	Tl	0,535	1,3352	0,00923	0,009170	26,6°
7.	—	0,510	—	—	0,009220	29,5°
8.	F	0,486	1,3375	0,00932	0,009300	32,7°
9.	—	0,460	—	—	0,009370	37,0°
10.	H <sub>r</sub>	0,434	1,3407	0,00948	0,009410	42,0°

Die Berechnung der Intensitäten der einzelnen Lichtarten in einer Interferenzfarbe erfolgt nun bei einer Luftlamelle, bei welcher weder etwas von der Art der Dispersion der Doppelbrechung noch überhaupt eine praktisch wahrnehmbare Dispersion besteht, nach der Formel

$$J_x^2 = R_x^2 \sin^2 \left( 180^\circ \frac{s_\gamma - s_\alpha}{\lambda_x} \right).$$

Hier bedeutet  $J_x$  die Amplitude des austretenden Lichtes von der Wellenlänge  $\lambda_x$  und  $R_x$  die Amplitude des einfach reflektierten Lichtes. Es ist ferner  $s_\gamma - s_\alpha$  der Gangunterschied der zur Interferenz gelangenden Wellen, gemessen mit dem gleichen Maß wie die Wellenlängen des angewandten Lichtes. Die hier etwas umständlich erscheinende Bezeichnung  $s_\gamma - s_\alpha$  für den Gangunterschied ist nur gewählt worden, um die Ähnlichkeit mit den bei doppelbrechenden Medien auftretenden Formeln auf Seite 8 und 9 hervorzuheben. Dieser Gangunterschied ist vorgeschrieben und beträgt z. B. bei dem empfindlichen Violett II. Ordnung 0,575  $\mu$ ; er ist hier bekanntlich gleich der doppelten Dicke der Luftlamelle.

Setzt man zur Vereinfachung  $R=1$ , so ergeben sich für die Einzelfarben folgende Intensitäten:

$$A \left\{ \begin{array}{l} J_{L_1}^2 = \sin^2 \left( 180^\circ \frac{s_\gamma - s_\alpha}{\lambda_{L_1}} \right) \\ \vdots \\ J_D^2 = \sin^2 \left( 180^\circ \frac{s_\gamma - s_\alpha}{\lambda_D} \right) \\ \vdots \\ J_F^2 = \sin^2 \left( 180^\circ \frac{s_\gamma - s_\alpha}{\lambda_F} \right) \\ \vdots \end{array} \right.$$

Bei diesen Berechnungen sind also keine weiteren Konstanten als die Wellenlängen erforderlich.

Für ein anderes Medium als Luft mit dem Brechungs-exponenten  $N_D$  für Natriumlicht lautet die analoge Formel für den gleichen Gangunterschied der interferierenden Wellen:

$$J_D^2 = \sin^2 \left( 180^\circ \frac{(s_\gamma - s_\alpha)_w}{\lambda_D} N_D \right),$$

wo  $(s_\gamma - s_\alpha)_w \cdot N_D = s_\gamma - s_\alpha =$  Gangunterschied von vorgeschriebener Größe, also z. B. gleich  $0,575 \mu$  ist.

Die Einzelfarben haben folgende Intensitäten:

$$B \left\{ \begin{array}{l} J_{L_1}^2 = \sin^2 \left( 180^\circ \frac{s_\gamma - s_\alpha}{\lambda_{L_1}} \frac{N_{L_1}}{N_D} \right) \\ \vdots \\ J_D^2 = \sin^2 \left( 180^\circ \frac{s_\gamma - s_\alpha}{\lambda_{Na}} \frac{N_D}{N_D} \right) \\ \vdots \\ J_F^2 = \sin^2 \left( 180^\circ \frac{s_\gamma - s_\alpha}{\lambda_F} \frac{N_F}{N_D} \right) \\ \vdots \end{array} \right.$$

In diesen Formeln kommt der Einfluß der Dispersion des Mediums zur Geltung. Bei solchen Medien sind also zur Berechnung der an ihnen auftretenden Farben außer den Wellenlängen noch die Brechungs-exponenten erforderlich.

Bei doppelbrechenden Medien findet die FRESNEL'sche Formel Anwendung:

$$J^2 = R^2 \sin^2 2\varphi \sin^2 \left( 180^\circ \frac{s_\gamma - s_\alpha}{\lambda} \right),$$

die zunächst wieder eine Vereinfachung durch Einsetzung des Wertes 1 für R erfährt und alsdann auch von dem Glied  $\sin^2 2\varphi$  befreit werden kann, wenn  $\varphi = 45^\circ$  (oder bei Gips wenigstens

nahezu  $= 45^\circ$ , siehe Seite 5) gesetzt wird und man also die Interferenzfarben im Maximum ihrer Intensität beobachtet. In der vereinfachten Gestalt lautet dann diese Formel:

$$J^2 = \sin^2 \left( 180^\circ \frac{s_\gamma - s_\alpha}{\lambda} \right).$$

Hier ist  $s_\gamma - s_\alpha = d(\gamma - \alpha)$ , wo  $d$  die Dicke des Kristalls und  $\gamma - \alpha$  die Doppelbrechung für verschiedene Lichtarten bedeutet. Die Einzelfarben haben dann folgende Intensitäten:

$$C \begin{cases} J_{Li}^2 = \sin^2 \left( 180^\circ \frac{d(\gamma - \alpha)_{Li}}{\lambda_{Li}} \right) \\ \vdots \\ J_D^2 = \sin^2 \left( 180^\circ \frac{d(\gamma - \alpha)_D}{\lambda_D} \right) \\ \vdots \\ J_F^2 = \sin^2 \left( 180^\circ \frac{d(\gamma - \alpha)_F}{\lambda_F} \right) \\ \vdots \end{cases}$$

Die vorgeschriebene auf Na-Licht sich beziehende Phasendifferenz, z. B.  $0,575 \mu$  für unser Violett, sei  $(s_\gamma - s_\alpha)_D$ , dann ist die konstante Dicke für diesen Fall:

$$d = \frac{(s_\gamma - s_\alpha)_D}{(\gamma - \alpha)_D}.$$

Nach diesen drei Formelgruppen A, B und C und unter Verwendung der Werte in Tabelle I sind die Zahlen in Tabelle II berechnet. Sie geben Aufschluß über die Zusammensetzung des empfindlichen Violetts bei Luft, Wasser, Gips und Quarz. Die Intensitäten sind für jede Lichtart in Prozenten der Intensitäten des einfach reflektierten Lichtes angegeben.

Tabelle II.

Gangunterschied für Na-Licht  $0,575 \mu$ .  
Violett II. Ordnung.

Lichtart	Luft	Wasser	Gips	Quarz
Li	18,9 %	19,2 %	22,2 %	20,8 %
Na	0,6 "	0,6 "	0,6 "	0,6 "
Tl	5,5 "	5,6 "	6,6 "	6,4 "
F	29,5 "	30,6 "	35,7 "	36,9 "
H $_\gamma$	72,7 "	74,7 "	84,5 "	83,8 "

Die in dieser Tabelle zum Ausdruck kommenden Verhältnisse zwischen den auf verschiedene Weise entstandenen Farben gestalten sich ähnlich bei einem Gangunterschied von  $0,551 \mu$ , worüber Tabelle III Auskunft gibt.

Tabelle III.  
Gangunterschied für Na-Licht  $0,551 \mu$ .  
Rot I. Ordnung.

Lichtart	Luft	Wasser	Gips	Quarz
Li	28,4 %	28,7 %	32,2 %	30,5 %
Na	4,0 "	4,0 "	4,0 "	4,0 "
Tl	0,9 "	0,9 "	1,4 "	1,3 "
F	16,7 "	17,4 "	21,1 "	22,5 "
H <sub>r</sub>	56,1 "	58,3 "	69,4 "	68,7 "

Wenn also in der ersten Kolonne von Tabelle II für das rote Licht der Lithionflamme 18,9% angegeben ist, so soll dies bedeuten, daß bei Luftlamelle im Violett II. Ordnung 18,9% von dem im weißen Licht auftretenden roten Licht vorhanden ist. Überhaupt sollen nach dieser Darstellung alle Einzelfarben im weißen Licht eine Intensität von 100% haben, während sich beispielsweise im erwähnten Violett nur 0,6% Na-Licht, 5,5% Tl-Licht usw. befinden.

Um nun zu einer Vorstellung von der praktischen Bedeutung der Unterschiede der obigen Zahlen bei Luft, Wasser usw. zu gelangen, sei vorab bemerkt, daß diese verschiedenen Arten von Violett oder von Rot überhaupt wenig voneinander abweichen, sie gleichen alle den echten im NEWTON'schen Farbenglas beobachteten Farben und zeigen also keineswegs solche Abweichungen, wie wir sie in drastischer Form an geeignet geschliffenen Apophylliten, Vesuvianen und Mililithen zu beobachten gewohnt sind. In den höheren Ordnungen sieht man allerdings ohne weiteres einen Unterschied zwischen Luft- und Wasserfarben einerseits, Gips- und Quarzfarben andererseits. Die zartrosa Farben der III.—V. Ordnung im NEWTON'schen Glase und bei Seifenblasen (die ja nahezu die gleichen Brechungsverhältnisse wie reines Wasser besitzen) treten bei Gips und Quarz in mehr fleischroten oder lachsfarbenen Tönen hervor. Bei Luft-

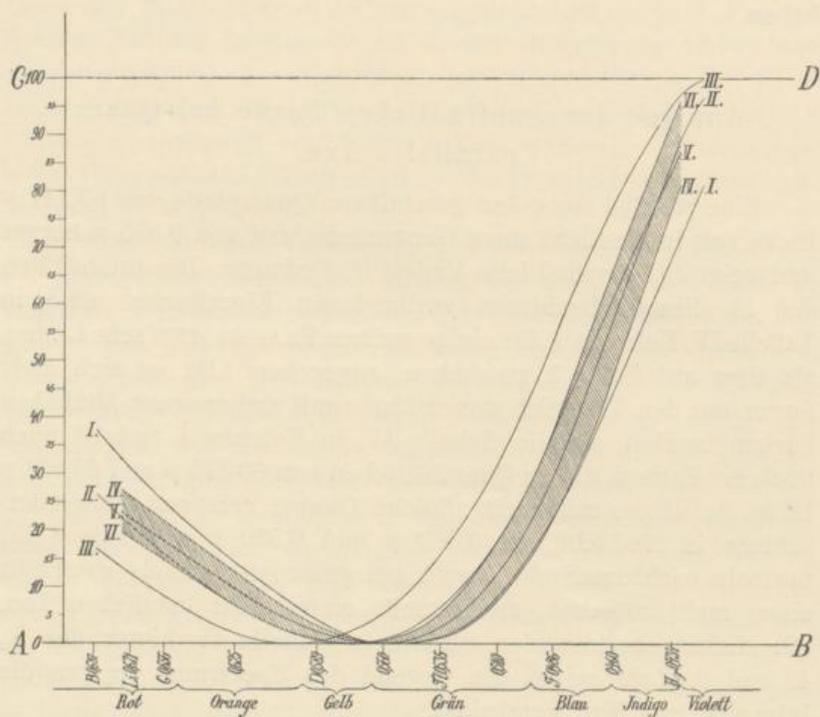
und Wasserfarben finde ich indessen nirgends, weder bei niederen noch bei höheren Farben, einen greifbaren Unterschied. Die zahlenmäßig bis zu 2% steigenden Abweichungen in den Intensitäten der Einzelfarben spielen also praktisch keine Rolle. Dagegen zeigt sich zwischen Luft- und Wasserfarben einerseits, Gips- und Quarzfarben andererseits eine kleine Abweichung auch auf der Grenze der I. und II. Ordnung. Im Luftkeil sind diese Farben von etwas mehr bräunlicher Tönung als bei Quarz, was in der Hauptsache auf eine Verringerung der Intensitäten im blauen Licht um 7% bis 11% zurückzuführen ist. Wenn also solche prozentual ziemlich erheblichen Änderungen in manchen Einzelfarben nur unbedeutende Änderungen in den Mischfarben hervorrufen, wird man die viel geringeren Abweichungen zwischen Gips- und Quarzfarben vernachlässigen dürfen und die Rechnungen für das eine Mineral in praxi unbedenklich auf das andere übertragen dürfen. Im folgenden sollen daher die Berechnungen nur für Quarz und nicht auch für Gips durchgeführt werden mit der Annahme, daß sie auch für Gipslamellen Geltung haben.

#### Analyse der empfindlichen Farbe bei Quarz parallel c-Axe.

Eine parallel zur c-Axe geschliffene Quarzplatte von 63,117  $\mu$  Dicke ruft in Na-Licht einen Gangunterschied von 0,575  $\mu$  hervor und zeigt das empfindliche Violett II. Ordnung. Die Intensitäten der in dieser Mischfarbe vorhandenen Einzelfarben sind in Tabelle IV, Kolonne II, für einige weitere FRAUNHOFER'sche Linien, als dies auf Seite 9 geschehen, angegeben. Da es sich aber ferner um den Vergleich dieser Farbe mit andern ganz ähnlichen Farben handelt, sind in Tabelle IV, in Kolonne I und III auch noch die Farben, die an Quarzblättchen von 60,373  $\mu$  und 65,861  $\mu$  Dicke auftreten, mitgeteilt. Solche Quarze erzeugen Gangunterschiede in Na-Licht von 0,560  $\mu$  und 0,590  $\mu$  und zeigen für normale trichromatische Augen bei gekreuzten Nikols einerseits einen mehr rötlichen, andererseits einen mehr bläulichen Ton. Die dicken, horizontalen Striche in Tabelle IV hinter der 5., 4. und 3. Zahl zeigen die Gegend des Spektrums an, wo die Intensität auf Null herabsinkt.

Tabelle IV.  
Quarz parallel c-Axe.

Lichtart	Gangunterschied		
	I. 0,560 $\mu$	II. 0,575 $\mu$	III. 0,590 $\mu$
Li 0,671 $\mu$	30,9 %	20,8 %	12,3 %
C 0,656 "	25,3 "	15,7 "	8,1 "
— 0,625 "	14,3 "	6,7 "	1,9 "
D 0,589 "	4,2 "	0,6 "	0,4 "
— 0,560 "	0,2 "	0,9 "	5,4 "
Tl 0,535 "	1,2 "	6,4 "	15,5 "
— 0,510 "	8,1 "	18,4 "	31,8 "
F 0,486 "	21,9 "	36,9 "	53,3 "
— 0,460 "	43,7 "	61,1 "	77,2 "
H <sub>r</sub> 0,434 "	68,1 "	83,8 "	94,9 "



Zur besseren Beurteilung der Zahlenwerte und zur übersichtlicheren Darstellung besonders für die späteren Vergleiche ist auf nebenstehender Seite eine graphische Darstellung versucht worden, bei deren Ausführung Herr Assistent Dr. K. SIMON mich freundlichst unterstützte. In diesem Bilde sind auf der Abszissenaxe AB die Lichtarten nach der Wellenlänge aufgetragen. Über jeder Lichtart ist ihre Intensität durch die Länge der zugehörigen Ordinate angegeben, und zwar stellen diese Längen immer Prozentverhältnisse zu der im weißen Licht vorhandenen Intensität dar. Im weißen Licht soll jede Lichtart für sich die Intensität 100 haben, ohne daß ein Vergleich der Intensitäten der einzelnen Lichtarten untereinander stattfände. Hiernach gibt die Fläche ABCD — oder wenn man will, die gerade Linie CD — eine bildliche Darstellung für die Farbenmischung des weißen Lichtes. Jede vom weißen Licht abweichende Farbmischung kommt dann in einer Kurve zum Ausdruck, die zwischen AB und CD verläuft. Bei roten Mischfarben werden die Kurven im allgemeinen links, bei blauem rechts hinaufsteigen. Die Mischfarben des Violetts II. Ordnung und ihrer Nachbartöne, wie sie in Tabelle IV zahlenmäßig angegeben sind, erhalten ihr Bild in den Kurven I, II und III, die das breite Feld begrenzen.<sup>3)</sup>

#### Analyse der empfindlichen Farbe bei Quarz senkrecht zur c-Axe.

Die Erfahrung hat gezeigt, daß ein zur c-Axe senkrecht geschliffener 3,75 mm dicker Quarz zwischen parallelen Nikols eine Farbe gibt, welche sowohl große Ähnlichkeit mit dem empfindlichen Violett der NEWTON'schen Skala als auch an sich sehr große Empfindlichkeit aufweist, d. h. bei geringer Dickenänderung des Quarzes erheblichen Farbenschlag erfährt.

Diese Mischfarbe kann auf die Intensitäten der Einzelfarben analysiert werden nach der Formel

$$J^2 = \cos^2(d\alpha),$$

wo  $d$  die Dicke der Quarzplatte und  $\alpha$  das spezifische Drehvermögen des Quarzes ist. Auch hier wird es zweckmäßig sein, noch die gleichsam benachbarten Farbentöne, welche zu den Quarzdicken 3,60 mm und 3,90 mm gehören, heranzuziehen. Man

<sup>3)</sup> Die Zahlen II und V oben rechts in der nebenstehenden Figur sind zu vertauschen.

kommt dann zu den in Tabelle V stehenden Zahlen, bei denen wieder, wie in Tabelle IV, der Nullpunkt in der Gegend der dicken horizontalen Striche liegt.

Tabelle V.  
BIOT-KLEIN'sche Quarzplatten.

Lichtarten	Dicken		
	IV. 3,60 mm	V. 3,75 mm	VI. 3,90 mm
Li 0,671 $\mu$	25,9 %	22,2 %	18,7 %
C 0,656 "	21,6 "	18,0 "	14,7 "
— 0,625 "	12,7 "	9,5 "	6,8 "
D 0,589 "	4,2 "	2,2 "	0,9 "
— 0,560 "	0,2 "	0,0 "	0,7 "
Tl 0,535 "	1,0 "	2,9 "	5,6 "
— 0,510 "	7,8 "	12,4 "	17,9 "
F 0,486 "	21,6 "	29,1 "	37,1 "
— 0,460 "	46,9 "	56,5 "	65,9 "
H $\gamma$ 0,434 "	76,8 "	85,4 "	92,2 "

Die bildliche Darstellung dieser Zahlen ist in der Figur auf Seite 12 in den drei Kurven IV, V und VI zu finden. Das schmale Band dieser drei Kurven ist von dem breiten Band der Kurven I, II und III durch eine Schraffierung hervorgehoben.

Vergleich der empfindlichen Farben an dünnen Quarzplatten parallel c-Axe und an dicken BIOT-KLEIN'schen Quarzplatten senkrecht c-Axe.

Die Figur auf Seite 12, welche die in Tabelle IV und V auf Seite 12 und 14 zahlenmäßig ausgedrückten Analysen der empfindlichen Farben in einer leicht übersichtlichen Form darstellt, läßt auf den ersten Blick erkennen, daß die durch gewöhnliche Doppelbrechung entstehenden Farben von ganz ähnlicher Zusammensetzung sind, wie die durch zirkularpolarisierende Eigenschaften erzeugten. Das von den Kurven IV bis VI begrenzte Band liegt nicht nur fast vollständig innerhalb des durch die Kurven I bis III begrenzten Bandes der Interferenzfarben, sondern auch die einzelnen Kurven lassen einen durchaus ähnlichen Ver-

lauf erkennen. Die Empfindlichkeit aller dieser Farbtöne beruht zunächst darauf, daß die intensiven, gelb-grünen Farben auf ein Minimum herabgedrückt sind, wie dies bezüglich der BIOT-KLEIN'schen Platte auch schon oft hervorgehoben worden ist. Diese starken, alles andere Licht so leicht überstrahlenden Farben sind also so gut wie vernichtet. Damit ist aber erst der Boden geschaffen, auf dem die weniger intensiven Farben wie Rot und Blau sich in den Mischungen individuell betätigen können. Die eigentliche Ursache für den leichten Umschlag des violetten Mitteltons liegt in dem Antagonismus, in welchem diese roten und blauen Lichtarten bei den benachbarten Farbenmischungen stehen. Gehen wir von dem in Kurve II dargestellten empfindlichen Violett aus, so nehmen beim Dickerwerden der Platte die Intensitäten für rotes Licht ab und für blaues Licht zu, wie dies aus einem Vergleich der Kurve III mit Kurve II zu ersehen ist, während umgekehrt bei einem Dünnerwerden der Platte die roten Farben zu- und die blauen Farben abnehmen, was aus dem Vergleich der Kurve I und II erkannt wird. Durchaus in derselben Weise treten nun diese Verhältnisse auf bei der empfindlichen Farbe des BIOT-KLEIN'schen Quarzes, worüber ein Vergleich der Kurven IV, V und VI Aufschluß gibt.

Diese Ähnlichkeit der Farben und ihrer Beziehungen zu den benachbarten Farben erscheint so groß, daß das so auffallend verschiedene Verhalten bei schwach doppelbrechenden Medien, wie es eingangs dieses Aufsatzes erwähnt wurde, nicht auf die Zusammensetzung der Farben zurückgeführt werden kann. Man wird eine andere Erklärung suchen müssen und diese wohl in dem Gedankengang finden, den Herr KOENIGSBERGER sowohl wie Herr POCKELS mir gegenüber zum Ausdruck brachten, wonach nämlich die so verschiedene Entstehungsart der sonst so wenig verschiedenen Farbungemische bei ihrer Reaktionsempfindlichkeit eine Hauptrolle spielt. Man muß sich erinnern, daß bei der Reflexion an doppelbrechenden metallartigen Oberflächen, wie an Markasit- oder Antimonglanz, nicht nur eine Phasenverschiebung, wie bei jedem in gewöhnlicher Weise doppelbrechenden Medium, sondern auch ein Intensitätsunterschied in den beiden reflektierten Wellen auftritt. Die Vereinigung zweier Amplituden von verschiedener Intensität zu einer gemeinsamen Schwingung hat eine Drehung der Polarisations-ebene gegen die des einfallenden Lichtes zur Folge. So erklärt

es sich, daß dieses im Azimut geänderte Licht am wirksamsten jene Farbmischungen beeinflußt, die ihre ganze Existenz solchen Azimutänderungen verdanken, daß also das an metallischen anisotropen Oberflächen reflektierte Licht besser auf die empfindliche Farbe einer BIOT-KLEIN'schen Quarzplatte als auf das empfindliche Rot eines Gipsblattes reagiert.

