

**2. Über metallische Gitterpolarisation,
insbesondere ihre Anwendung zur Deutung
mikroskopischer Präparate;
von Ferdinand Braun.**

(Hierzu Taf. III—V, Figg. 1—2, 7—10, 12—14, 17.)

In der ersten Mitteilung habe ich die Erscheinungen beschrieben, wie sie im durchgehenden Licht sich darstellen. Ich gebe im folgenden die Fortsetzung und Ergänzung der Arbeit.

A. Zerstäubungsgitter.

1. *Reflektiertes Licht.* Es bietet gar keine Schwierigkeiten, nachzuweisen, daß die Schwingungen¹⁾ parallel den Stäbchen stärker reflektiert werden als die zu denselben senkrecht erfolgenden. Ich habe dies mit dem früher benutzten mineralogischen Mikroskop beobachten können, indem ich unter 45° gegen die vertikale Achse des Instrumentes geneigt ein Deckglasplättchen unterhalb des Objektives anbrachte. Man läßt am besten polarisiertes Licht in horizontaler Richtung auf das Glasplättchen fallen und beleuchtet damit das Präparat. Als Lichtquelle dient ein Auerbrenner oder eine elektrische Bogenlampe. Sonnenlicht ist zu grell und stört durch unregelmäßig reflektierende kleine Partikelchen. Die Erscheinung ist sehr deutlich zu sehen, wenn auch die Helligkeitsunterschiede nicht so erheblich sind, als im durchgehenden Licht. Dies ist nicht zu verwundern, da man erwarten muß, daß die Schwingungen parallel den Stäbchen auch durch Joulesche Wärme stärker absorbiert als die anderen. Zu dem Versuch ist weiter nichts zu bemerken, als daß man bisweilen zweckmäßiger von der Unterseite des Präparates reflektieren läßt, d. h. von da, wo das Metall eben und spiegelnd aufliegt.

¹⁾ Ich rede auch im folgenden immer von den „Schwingungen“; sie liegen senkrecht zur Polarisationssebene.

Bequemer und auch für stärkere Vergrößerungen verwendbar ist der Zeiss'sche Vertikalilluminator (vgl. Fig. 6, § 10). Er erfordert aber für starke Vergrößerungen eine ziemlich diffizile Aufstellung; ich komme darauf später zurück. Ich habe auch mit Ölimmersion (2 mm, numerische Apertur 1,3) die Erscheinungen beobachtet, dabei nochmals das Verhalten gegen durchgehendes Licht verglichen, desgleichen, daß das Präparat mikroskopisch nicht auflösbar ist etc. — kurz diese Versuche bieten, außer den bisweilen etwas peniblen Aufstellungen, gar keine Schwierigkeiten. Ich habe sie auch mit Silber- und Palladiumgittern angestellt. Letzteres Metall scheint sehr günstig zu sein; es gibt oft schöne breite Flächen.

2. *Phasendifferenzen.* Die Frage, ob Phasendifferenzen der parallel und senkrecht zu den Gitterstrichen hindurchgehenden Schwingungen nachweisbar seien, habe ich schon im ersten Aufsatz dahin beantwortet, daß ich eine solche nicht nachweisen konnte. Es gelang, jede Stelle des Präparates, wenn linear polarisiertes Licht darauf fiel, mit einer gewissen Stellung des Analysators zur vollständigen Dunkelheit zu bringen. Ich habe dies mit stärkeren Vergrößerungen und unter Benutzung einer Okularblende (um kleine Partien aus dem Bilde auszuschneiden) nochmals an vielen Stellen untersucht und bestätigt gefunden.

Es fragt sich, was man hieraus schließen darf. Die Beobachtung der Verdunkelung ist bei dem intensiven Licht der Bogenlampe, wie ich es benutzte, sehr empfindlich, solange es sich um Objekte handelt, welche die Fläche (wenigstens der Okularblende) gleichmäßig bedecken und vollkommen durchsichtig sind.¹⁾ Wenigstens konnte ich Glimmerschüppchen, die, im Newtonschen Farbenglas untersucht, zwischen dem vierten und fünften dunkeln Ring lagen und daher einen Gangunterschied von etwa $0,01 \lambda$ haben sollten, schon nicht mehr vollkommen verdunkeln.

Diese Empfindlichkeit läßt aber nicht unerheblich nach bei Anwendung auf die Metallzerstäubungen und wird dann weit übertroffen von derjenigen, welche man durch Benutzung

1) Wenn die Gitter auf hellem Grund dunkel erscheinen, so ändert eine Drehung des Analysators um 2° das Bild schon sehr merklich.

einer Gipsplatte (Rot erster Ordnung) erzielt, um so mehr, als die geänderte Färbung der kleinen Partien direkt neben dem ungeänderten Rot erster Ordnung zum Vergleich vorliegt.

Damit untersucht fand ich bei den benutzten Metallen: Platin, Silber und Palladium die Phasenänderung¹⁾ durch Gitterwirkung entgegengesetzt derjenigen durch Doppelbrechung. Man darf also mit *Sicherheit* schließen, daß eine von der Doppelbrechung verschiedene Erscheinung vorliegt.

Davon zu trennen ist die Frage, ob die Gitterstäbchen selber doppeltbrechendes Metall sind. Sie könnten dann, wenn sie gleichzeitig dichroitisch²⁾ sind, auf die Helligkeit des durchgehenden Lichtes direkt, und indirekt auf diejenige des reflektierten einen Einfluß haben. Diese Frage habe ich nicht positiv entscheiden können. Ich glaube aber nicht, daß eine Doppelbrechung der Stäbchen vorhanden ist, welche den Charakter des Ganzen wesentlich beeinflußt. Die Gründe für meine Auffassung sind die folgenden:

a) Kundt hat bei den durch Kathodenzerstäubung hergestellten Spiegeln von Silber *starken* Dichroismus gefunden, bei Platin, Palladium und Eisen dagegen keinen; für Platin ist dies auch durch einen Versuch des Hrn. Kämpf bestätigt. Ich dagegen finde für Silber, Platin und Palladium (Eisen habe ich nicht untersucht) immer eine untereinander wesentlich gleiche Phasenänderung, welche außerdem der durch Doppelbrechung zu erwartenden entgegengesetzt ist.³⁾

b) Wenn gleichzeitig Doppelbrechung vorhanden wäre, so dürfte man erwarten, daß die beiden sich entgegenstehenden

1) Das auf Phasenänderung Bezügliche werde ich voraussichtlich später gesondert zusammenstellen.

2) Dichroitisch sollen im folgenden diejenigen Körper genannt werden, welche aus natürlichem weißen Licht mehr oder weniger polarisiertes, gefärbtes oder ungefärbtes, ausschließlich oder ganz überwiegend dadurch machen, daß das nach verschiedenen Richtungen schwingende Licht verschieden stark *absorbiert* wird.

3) Bei einer Kupferzerstäubung finde ich Partien, welche sich zwischen Nicols nicht verdunkeln lassen (Phasendifferenz aber wie die von Gitterpolarisation) und kaum merkliche Gitterpolarisation zeigen. Diese Schicht *könnte* doppeltbrechend sein. Ich glaube aber eher, daß die Phasendifferenzen durch Gitterwirkung weniger stark vom Abstand der Striche beeinflußt werden als die Gitterpolarisation selber.

Phasenänderungen auch einmal so zur Geltung kämen, daß diejenige der Doppelbrechung überwöge; ich habe das aber bei den vielen von mir jetzt geprüften Objekten niemals beobachtet.

c) Es sind in allen Präparaten große Flächen in der Mitte vorhanden, die mit zusammenhängendem Metall bedeckt sind — in ihnen sollte man auch Doppelbrechung vermuten, ich habe sie aber nie gefunden. Wo sich etwas zeigte, was wie Doppelbrechung aussah, war auch immer „Depolarisation“ vorhanden, d. h. die Stellen wurden auch im Azimut 0° und 90° zwischen gekreuzten Nicols nicht dunkel.

d) Ich habe endlich ebenfalls vergeblich in den Platin-schichten, welche durch das Magnetfeld keilförmig weggeblasen waren, nach Doppelbrechung gesucht. Das Platin ist dabei bis zum Schmelzpunkt erhitzt worden. Ohne Anwendung des Magnetfeldes zieht es sich nämlich zu Tröpfchen zusammen, welche sich in das Glas einschmelzen und die beiden Platten, zwischen denen sie liegen, fest zusammenkitten.

Ich glaube, daß wir danach zunächst an der Annahme festhalten dürfen: Die Gitterstäbe beeinflussen die Erscheinungen nicht durch etwaige Doppelbrechung. Will man das Ganze als Dichroismus bezeichnen, so wäre es ein Dichroismus ohne Doppelbrechung.

B. Mikroskopische Präparate, insbesondere mit Gold gefärbte.

3. Außerordentlich viel schwieriger wurden die Versuche mit diesen. Hätte es sich nur um eine Erklärung des „Dichroismus“ solcher goldgefärbten Präparate gehandelt, welche man je nach Geschmack annehmen oder ablehnen kann, so würde ich mich in Anbetracht der großen Schwierigkeiten voraussichtlich mit der Wahrscheinlichkeit meiner Auffassungen begnügt haben. Die Frage aber, ob man berechtigt ist, aus dem optischen Verhalten metallgefärbter organisierter Präparate einen Schluß zu ziehen auf deren submikroskopische Struktur, schien mir so wichtig, daß ich mich zu einer absolut sicheren experimentellen Entscheidung gedrängt fühlte, — und ich glaube, daß dieselbe erledigt ist.

Wenn eine praktisch verwendbare Methode erzielt werden soll, so muß man imstande sein, mit dem unveränderten Prä-

parat und, wenn möglich, unter lediglicher Verwendung durchfallenden Lichtes seine Beobachtungen anzustellen.

Das früher von mir benutzte Verfahren der Verkohlung ist häufig unausführbar; es zerstört außerdem die feineren Strukturen und endlich ruft der (rötlich durchscheinende) Kohlenstoff schon selber Erscheinungen der Gitterpolarisation hervor. Das Verfahren genügt also nicht den zu stellenden Anforderungen.

4. Die Schwierigkeiten, welche die organischen Präparate machen, sind wesentlich zwei:

a) Die Gewebe zeigen Doppelbrechung, und dies scheint nicht die Ausnahme, sondern die Regel zu sein, was auch nicht verwundern kann, da man bei ihnen immer diejenige Doppelbrechung erwarten muß, welche aus der anisotropen Anordnung isotroper Elemente („Micellen“) folgt.¹⁾ Diese Doppelbrechung überlagert die Gitterpolarisation. Eine vollständige Auslöschung durch einen Analysator ist daher nicht möglich, und die Frage, ob „Dichroismus“ vorliegt, auf diesem Wege nicht zu entscheiden.

b) Aber auch wenn man denken könnte, durch Verwendung sehr feiner Schnitte den Einfluß der Doppelbrechung praktisch zu annullieren, so bleibt die Kompliziertheit der Bilder störend. Sucht man im ganzen mikroskopischen Bilde eine kleine Stelle zu fixieren und ihre Helligkeitsänderung zu verfolgen, so wird die Umgebung und deren Helligkeitsänderung sehr lästig, so daß man höchstens ein Urteil über das Verhalten des anvisierten Punktes relativ zu seiner Umgebung gewinnt. Einzelne Partien aus dem Bilde aber mit einer Okularblende herauszuschneiden und für sich zu verfolgen, ist gleichfalls kaum durchführbar. Es macht sich außerdem noch als Übelstand geltend, daß wir keine ebene Anordnung mehr vor uns haben; dies gilt insbesondere für den Reflexionsversuch; der letztere leidet endlich noch unter technischen Schwierigkeiten, Kleinigkeiten, die mich aber sehr lange aufgehalten haben.

5. Ich führe die Untersuchungen durch an *einem* Objekt: den goldgefärbten Fasern von Fichtenholz (meistens Tangential- und Radialschnitten, d. h. das Objekt ist ein der Achse des

1) F. Braun, Phys. Zeitschr. 5. p. 199. 1904.

Stammes paralleler Schnitt, senkrecht zu der Richtung des Radius oder in derselben). Wird ein solches Präparat zwischen gekreuzten Nicols bei ca. 80 facher Vergrößerung in verschiedene Azimute gedreht, so zeigt sich ein durch die Mannigfaltigkeit der Zeichnung, wie die Pracht und den Wechsel der Farben ebenso erfreuendes, als zur Deutung wenig einladendes Bild.

Einzelne Stellen scheiden bald aus: sie ändern sich nicht; ein Teil derselben deutet sich als Luftlöcher.

Wir lassen den Analysator (oder Polarisator) weg und benutzen durch rotes Glas hergestelltes, nahezu homogenes Licht. Einzelne Präparate werden dann fast ganz dunkel, wenn die Schwingungen parallel den Fasern laufen; an anderen ist die Verdunkelung weniger ausgesprochen; an wieder anderen verhalten sich verschiedene Partien verschieden, einzelne werden stark, andere weniger dunkel.

Achten wir aber nicht mehr auf den Charakter in toto (ob hell, ob dunkel), sondern auf gewisse Streifen, so zeigt sich bei allen gemeinschaftlich das Folgende (vgl. Fig. 1 *a*, 1 *b*).¹⁾

Schwingungen, senkrecht zu den Fasern, zeigen das Bild von Fig. 1 *a*: auf sehr hellem Untergrund ganz feine Linien. Für Schwingungen parallel den Fasern verdunkeln sich die zwischen den feinen Linien gelegenen Stellen, gleichzeitig verbreitern sich dieselben (Fig. 1 *b*). Im blauen Licht zeigt sich qualitativ das Gleiche, aber viel weniger ausgesprochen (Fig. 2 *b*). Die zwischen den Streifen gelegenen breiteren Flächen zeigen an einzelnen Stellen die gleiche Erscheinung, im allgemeinen aber schwächer; dies variiert für verschiedene Stellen und Präparate. Beim gezeichneten Objekt ändert sich im Blau durch Drehen des Objektes so wenig, daß wir nur die Abbildung für die faserparallelen Schwingungen geben.

Wir deuten dieses Bild so: in den breiten Flächen *d* (Fig. 1 *a*) befinden sich Metallgitter von geringer Tiefe; wir sehen nahezu senkrecht auf die Gitterfläche; die Abstände der Streifen sind derart, daß die Gitterwirkung für die längeren Wellen des roten Lichtes stark, dagegen für Blau schon

1) Die Zeichnungen hatte Hr. Dr. Hannig die Freundlichkeit mir anzufertigen.

schwach ist. In den Streifen β (Fig. 1 b) dagegen sehen wir auf ein Gitter, welches eine größere Anzahl Stäbchen hintereinander aufweist; die Gitter sind dort — schematisch gesprochen — schräg gegen die Lichtstrahlen gestellt; wir bekommen sehr starke Gitterwirkung im Rot, aber auch noch recht bemerkliche im Blau.

Der Botaniker bestätigt uns die Richtigkeit der Auffassung. Die Streifen sind die Zellwände der Tracheiden. Fig. 4 gibt einen Querschnitt durch Fichtenholz (nach Kny, botanische Wandtafeln, Taf. LI; Verlag von Paul Parey, Berlin).

Die Frage, ob und wo das Licht als nahezu lineare Schwingung das Präparat verläßt, zu beantworten, geben wir bald auf. Es zeigt sich ein zu verschiedenes Verhalten der nahe beieinander gelegenen Stellen.

6. Bisher war das rote und blaue Licht durch gefärbte, gut ausgesuchte Gläser hergestellt. Wir finden eine Bestätigung unserer Deutung als Gitterstruktur, indem wir ein objektives Spektrum entwerfen und in dessen Farben die Beobachtungen wiederholen. Die Deutlichkeit nimmt in den reinen Spektralfarben stetig ab mit abnehmender Wellenlänge.

7. Wenn unsere Auffassung richtig ist und wenn wir die Zellwände einmal schematisierend durch ein einziges ebenes Gitter uns dargestellt denken, so müssen wir erwarten, in Präparaten Stellen zu finden, wo das Licht, parallel zu den Stäben schwingend, an schräg geneigten Gittern nach oben reflektiert wird, wie Fig. 4 erläutert. Eine solche Stelle müßte sich, falls das reflektierte Licht noch vom Objektiv aufgenommen wird, als ein Streifen zeigen, welcher in seinem Polarisationszustand gerade das umgekehrte Verhalten zeigt, wie die anderen Partien.

In der Tat finden sich die gesuchten Stellen. Wir beobachten am besten (wegen der Konstruktion des Abbeschen Beleuchtungsapparates) mit natürlichem Licht. Wir benutzen in ihm, nach Entfernung des Nicols, eine möglichst kleine Blende, so daß wir eine nahezu punktförmige Beleuchtungsquelle haben, wenden schräge Inzidenz an und beobachten mit dem Okularnicol.

Mit dem Trockensystem *F* gelang es mir gut, die Er-

scheinung zu finden. Man stellt am besten zunächst scharf ein auf die oberste Fläche des Objektes und schraubt dann das Objektiv herunter, bis ein solcher Streifen möglichst scharf ist (den man als hell im entsprechend gestellten Okularnicol erkennt). Ich fand dann mitten in Partien, deren Licht senkrecht zu den Fasern schwingt, scharfe, (auf deutliche Sehweite geschätzt) ca. $\frac{3}{4}$ mm breite Streifen, deren Licht parallel den Fasern schwingt. Sie springen mit Drehen des Nicols aus sehr Hell in fast ganz Schwarz um.

Bewegt man die Lichtquelle (Inzidenz) senkrecht zu den Fasern, so ändert sich Helligkeit und *Gestalt* des Mikroskop-

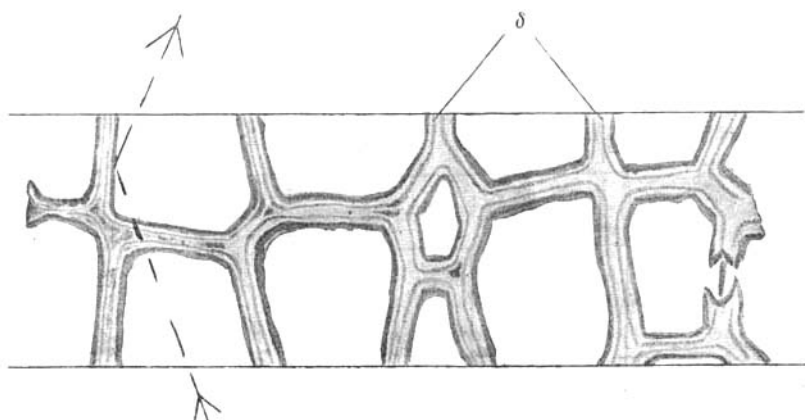


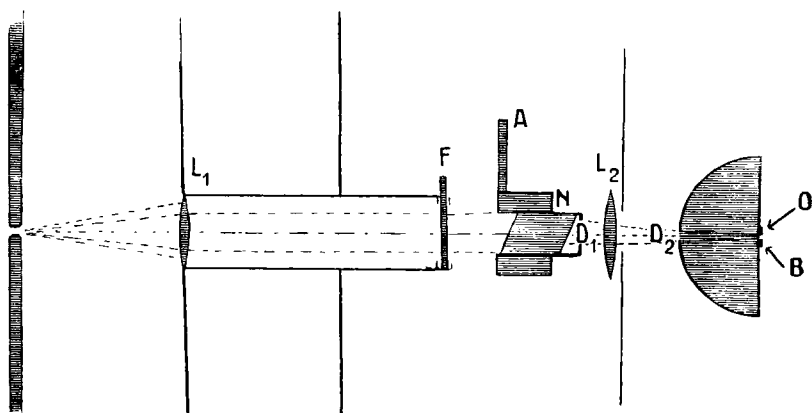
Fig. 4.

bildes. Um vor Täuschungen bewahrt zu sein, bewegen wir die Beleuchtungslinse auch in der Richtung der Fasern. Dies bewirkt nur eine gleichmäßige Helligkeitsänderung, ruft aber kein verändertes Aussehen des Bildes hervor.

8. Wir sind damit schon auf den Reflexionsversuch gekommen. Meine Bemühungen aber, denselben mit senkrechter Inzidenz zu erhalten, wie es mit dem Zerstäubungsgitter sehr leicht war, wollte nicht gelingen. Ich habe es mit Präparaten, die ich mir selbst hergestellt hatte, mit schwächeren und mit starken Vergrößerungen versucht; ich fürchtete, durch Reflexe an den Objektträgern getäuscht zu werden und die Superposition eines Bildes im reflektierten mit einem im durchgehenden Licht zu beobachten; ich habe daher Präparate ganz

frei über einem kleinen, in einer Messingplatte angebrachten Loche ausgespannt, alles ohne Erfolg. An einzelnen Stellen trat die erwartete Erscheinung auf; es zeigten aber andere Stellen entgegengesetztes, wieder andere gar keinen Unterschied. Störend waren dabei viele sehr lebhaft glänzende Punkte, deren Reflexe weder durch Einbetten in Cedernholzöl ($n = 1,51$), noch in Cassiaöl (dessen Brechungsexponent 1,58 dem der Holzfaser am nächsten steht¹⁾) zu entfernen waren.

Man muß natürlich erwarten (das Vorstehende zeigt es schon und man bestätigt es, indem man ein Präparat wie ein



Wechselstrombogenlampe 20 Amp.
 Brennweite von L_1 und L_2 je 8 cm;
 N Nicol drehbar mit Arm A ;
 Diaphragma D_1 hat 0,6 cm Durchmesser;
 D_2 „ 0,3 „ „
 O Objekt } Die auffallenden Strahlen sind
 B Bild } nicht ganz richtig gezeichnet;
 F event. farbige Platte.

Fig. 5 (in den wesentlichen Teilen $\frac{1}{4}$ nat. Größe).

Gitter im Spektrometer beobachtet), daß das Licht nach allen Seiten bei der Reflexion zerstreut wird. Ich habe daher die folgende Anordnung gewählt:

Im Mittelpunkt einer halbkugelförmigen, an der Kugelfläche versilberten Linse von 6 cm Durchmesser (vgl. Fig. 5)

1) C. Correns, Pringsheims Jahrbücher f. wissensch. Botanik 23. p. 282 u. 318 1891

ist das Präparat mit etwas Cedernholzöl angeklebt. Durch die 3 mm weite kreisförmige Öffnung D_2 fällt polarisiertes Licht auf dasselbe. Als polarisierende Vorrichtung dient der Objektivnicol eines Zeiss'schen Mikroskopes (alle mir sonst unter die Hände gekommenen Nicols „schlugen“ beim Drehen), welches nach Entfernen des Tubus horizontal umgeklappt ist. Alles vom Präparat zurückgeworfene Licht kommt wieder im Bildpunkt B zusammen und ein großer Teil desselben tritt in die Luft aus.¹⁾

Ich hoffte, wenn ich einen großen Teil des durch das Bild gegangenen Lichtes auffangen würde, dasselbe für die den Fasern parallelen Schwingungen heller zu sehen als für die dazu senkrechten. Aber alle Versuche in dieser Richtung (indem ich z. B. mit einer sehr starken Lupe oder mit meinem kurzsichtigen Auge beobachtete oder ein kleines Stückchen Paraffin — wie beim Jolyschen Photometer — oder einen fluoreszierenden Körper mit dem im Bilde konvergierenden Licht beleuchtete) waren ohne klares Resultat.

9. *Herstellung der Präparate.* Ich konnte den Mißerfolg nur noch in meinen Präparaten suchen. Sie waren nach der von H. Ambronn²⁾ angegebenen Weise gefärbt und zeigten im durchfallenden Licht die dort beschriebenen Erscheinungen, wenn auch nicht so schön, wie ein mir von Hrn. Ambronn seiner Zeit geschenktes Präparat. Im reflektierten aber störten die vielen hellglänzenden, schon erwähnten Punkte, welche metallisches Gold sein mußten.

Ich habe dann Hölzer der verschiedensten Provenienz, solches, welches lange in Glyzerin und Alkohol gelegen hatte; lufttrockenes, das nie mit chemischen Agentien zusammen gekommen war; frisch aus dem lebenden Stamm geschnittenes; ferner verschiedene Sorten Cedernholz versucht. Ich habe Holz vorher nitriert, anderes mit Chlorhydratlösung 24 Stunden lang behandelt; ich habe das Goldchlorid künstlich verun-

1) Wurde das Silber der Belegung an einer dem Rand sehr benachbarten Stelle entfernt, so sah ich daselbst nichts vom Präparat. Versilberte gläserne Abdampfschalen geben oft auch ganz leidliche Bilder; ich habe aber bei späteren Versuchen die Halbglasskugel vorgezogen.

2) H. Ambronn, Sitzungsber. d. k. sächs. Akad. d. Wissensch., 7. Dezember 1896. p. 6 des Separatabzuges.

reinigt, ich habe die Holzschnitte teils trocken, teils unter Wasser der Lichtwirkung ausgesetzt etc. — alles vergebens.

Ich bin daher auf das — aus etwa zehn Holzschnittchen bestehende — Präparat zurückgegangen, welches ich seiner Zeit von Hrn. Ambronn als Geschenk erhalten hatte und habe mit diesem *alle* Versuche gut durchführen können.

Es war aber natürlich unbefriedigend, auf diese wenigen Präparate, die dann Unika waren, angewiesen zu sein. Auf meine Anfrage bei Hrn. Ambronn, ob ich nicht noch von seinen früheren Präparaten einige erhalten könne, schickte er mir in liebenswürdigster Weise das einzige, welches er noch besaß. Es enthielt drei Schnittchen — und auch diese zeigten das erwartete Verhalten.

Ich bekam dann später eine große Zahl von ihm neu hergestellter gefärbter Schnitte (die in Tab. II als *B* bezeichnet ist von demselben), und er teilte mir folgendes mit, was ich mit seiner Erlaubnis veröffentliche:

„Der eine Teil der übersandten Schnitte hat mehrere Tage in etwa 2proz. Goldchlorid gelegen und ist dann nach dem Trocknen (und Belichten?) ausgewaschen worden. Bei diesem Verfahren erhält man, wie Sie sich jedenfalls selbst schon überzeugt haben, sogenannte vergoldete Schnitte; sie zeigen Metallglanz und die Membranen besitzen gar keinen oder nur wenig bemerkbaren Dichroismus. Woher dies kommt, darüber habe ich nur Vermutungen, jedenfalls ist der Mißerfolg bei diesem Verfahren vorausszusagen. Noch rätselhafter ist das Eintreten der intensiven Färbung mit starkem Dichroismus bei bloßem Benetzen oder Bestreichen mit Goldchloridlösung. Man schüttet am besten ein paar Tropfen der Lösung auf das Holz (ein größeres Stück, aus dem man nachher die Schnitte macht) und verteilt die Flüssigkeit mit einem Glasstab oder Pinsel; dann läßt man das Holz ein paar Tage trocknen; dabei tritt meist nur eine leichte Färbung oder auch gar keine auf; bringt man dann aber das Holz unter einen kräftigen Strahl der Wasserleitung, so tritt nunmehr die schönste Färbung oft in wenigen Minuten ein, und zwar am besten, wenn man in der Sonne trocknet. Beim nochmaligen Auswaschen unter der Wasserleitung sind die Farben noch intensiver. Diese Beobachtungen hatte ich rein durch Zufall

gemacht. Ich versuchte nun die Färbung zu beschleunigen, indem ich gleich nach dem Bestreichen mit Goldchlorid auf einem heißen Ofen trocknete und nach einer Stunde etwa das Wasser möglichst kalt aufströmen ließ, es trat dann die Färbung fast sofort ein, und sie wurde nach nochmaligem Wiederholen dieser Prozedur immer intensiver, so daß man etwa im Laufe weniger Stunden sehr schön gefärbte Hölzer hatte, aber die Färbung war fast niemals so gleichmäßig, als wenn dieses Verfahren auf mehrere Tage ausgedehnt wurde. Auch der Dichroismus war bei der schnellen Färbung lange nicht so stark als bei der allmählichen. Die Art des Holzes ist dabei fast ganz gleichgültig. Ich habe wegen der Gleichmäßigkeit der Fasern allerdings meist Fichtenholz zu den Versuchen genommen. Es scheint somit, daß hauptsächlich Temperatur- und Feuchtigkeitswechsel die intensive Färbung herbeiführt; bleiben die Holzstücke in der Lösung liegen, so tritt jedenfalls etwas ganz Anderes ein. Ist die Färbung bei dem ersten Versuch nur blaß ausgefallen, aber trotzdem deutlicher Dichroismus vorhanden, so kann man nunmehr auf noch einfachere Weise die Färbung und den Dichroismus verstärken; nämlich dadurch, daß man nochmals ein paar Tropfen Goldchloridlösung auf das Holz bringt und langsam trocknen läßt. Schon nach etwa ein oder zwei Stunden ist dann eine viel intensivere Färbung vorhanden.“

Ich fahre nun fort mit der Beschreibung der an solchen Präparaten gewonnenen Resultate.

10. Der mikroskopische *Reflexionsversuch*. Die starke Zerstreuung des reflektierten Lichtes wies von vornherein auf die Benutzung von Objektivsystemen mit sehr großer Apertur hin. Die Versuche sind alle gemacht mit der Ölimmersion 2 mm, deren Apertur (1,3) Strahlen, die etwa 130° miteinander (also 65° mit der Mikroskopachse) einschließen, noch zur Bilderzeugung heranzieht.¹⁾ Dieses System gestattet auch gut die Anwendung des Vertikalilluminators.

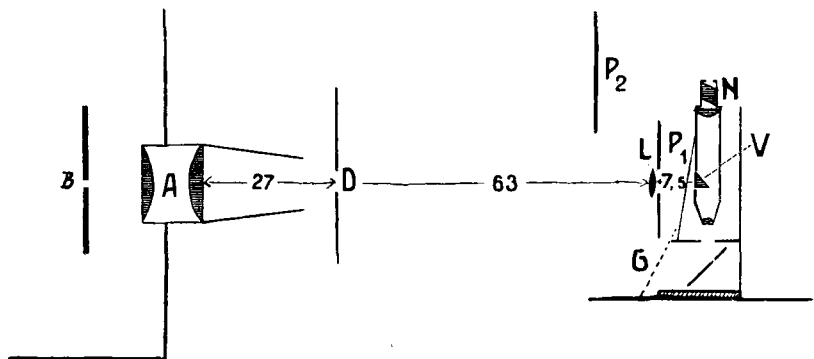
Die Präparate waren in Canadabalsam unter Deckglas eingebettet. Störende Reflexe vom Objektträger habe ich nicht

1) Die benutzte Vergrößerung war meistens 530-, bisweilen auch 1040 fach.

bemerkt. Anfangs habe ich denselben noch auf einer zweiten Glasplatte befestigt und den Zwischenraum zwischen beiden mit Cedernholzöl ausgefüllt, also die reflektierenden Stellen weiter vom Objekt entfernt; das scheint aber unnötig zu sein.

Mit einem Auerbrenner als Lichtquelle gelang es mir bald, Stellen zu finden, welche die gesuchte Erscheinung zeigen.

Bessere Bilder erhält man mit elektrischem Bogenlicht. Da die Aufstellung ziemlich diffizil ist, gebe ich die voll-



- B* Gleichstrombogenlampe (12 Amp.); vertikal (und horizontal) verschiebbar mit Trieb;
D Diaphragma von etwa 3 cm Durchmesser (unwesentlich);
L Linse von 7 cm Brennweite, 4 cm Durchmesser, abgeblendet auf 1,8 cm; sie ist mit Trieben vertikal und horizontal verschiebbar, so daß sie zentriert bleibt bei horizontaler Schiebung;
V Vertikalilluminator (total reflektierendes Prisma);
*P*₁ Pappschirm; er wird abwechselnd vor die Öffnung des Tubus geschoben oder vor die matte Glasscheibe *G* (sog. Salinglas);
*P*₂ passend irgendwo angebrachter Schirm als Schutz für die Augen;
N Okularnicol.

Der unterhalb des Objektisches befindliche Abbésche Beleuchtungsapparat ist in der Zeichnung weggelassen.

Fig. 6. ($\frac{1}{15}$.)

ständigen Maße an, die ich benutzt habe (vgl. Fig. 6) und bemerke dazu noch folgendes:

Das ganze Beleuchtungssystem für den Vertikalilluminator muß gut zentriert sein. Man zeichnet sich am besten mit langen Linealen die Verlängerung des Lampenkastens auf den Tisch auf, sucht die Mittellinie und stellt in diese die Öffnung des Mikroskoptubus. Der von der (zweckmäßig mit Mattglas bedeckten) Linse *L* erzeugte Lichtkegel fülle diese Öffnung

einigermaßen aus. Man stellt zunächst im durchfallenden Licht scharf ein, geht dann zum reflektierten über, sucht die passende Neigung des Prismas, desgleichen die beste Stelle der Linse L , welche deshalb horizontal und vertikal mit Trieb verschoben werden kann. Hat man ein leidliches Bild, so geschieht die letzte Einstellung, indem ein Gehilfe die Bogenlampe hebt oder senkt.

Die Faserrichtung des Präparates wird in das Azimut 45° gegen die Reflexionsebene des Prismas (und damit auch des Beleuchtungsspiegels) gedreht. Dadurch wird der Einfluß der teilweisen Polarisation dieser Beleuchtungsvorrichtungen auf das Resultat vermieden.

Dieses Azimut braucht nach meiner Erfahrung im allgemeinen nicht streng eingehalten zu werden; aber andererseits darf man sich nicht zu weit von ihm entfernen, da, wenn die Lichtkomponente parallel den Fasern durch geändertes Azimut abnimmt, gleichzeitig die zu den Fasern senkrechte zunimmt.

Die Beleuchtung geschieht mit natürlichem Licht, die Beobachtung im polarisierten Licht lediglich mit dem Okular-nicol N . Das Okular hat zweckmäßig ein Fadenkreuz.

Man suche in der Durchsicht (am besten zunächst mit schwächerer Vergrößerung) eine passend scheinende Stelle heraus, dann mit Ölimmersion wieder eine kleinere Partie, welche möglichst einfache Zeichnung bietet und welche mit Verstellen des Objektives nicht zu sehr gegeneinander verdrehte Bilder aufweist.

Für das reflektierte Licht stellt man meistens am besten auf die oberste Schicht oder deren Nähe ein. Das reflektierte Bild sei ruhig und möglichst frei von metallisch leuchtenden Pünktchen.

11. Die Figg. 7 a_1 a_2 b_1 b_2 sollen eine ungefähre Anschauung vom Charakter des Gesehenen geben; das auffallende Licht ist, soweit nichts anderes erwähnt ist, weißes. Nur die Partien zwischen β_1 β_2 und γ_1 γ_2 sind einigermaßen wiedergegeben; aber auch sie können auf richtiges Detail keinen Anspruch machen, ebenso decken sich nicht alle identischen Punkte in den verschiedenen Zeichnungen. Die volle Überzeugung kann nur eigenes Beobachten geben; am besten, indem man einen

Punkt, etwa am Fadenkreuz fixiert und nun rasch hintereinander das Bild im durchgehenden und reflektierten Licht vergleicht.

Die Zeichnungen sind aber, so gut wie möglich, unbefangene Reproduktionen des Gesehenen und absichtlich aufgenommen, ehe ich mir über die Deutung des Bildes klar war. Es sollte ein mir vollständig unbekanntes Objekt physikalisch analysiert werden.

Fig. 7 a_1 ist das Bild im durchgehenden Licht für die Schwingungen senkrecht zu den Fasern. Es ist schwach rötlich-gelblich gefärbt.

Fig. 7 b_1 durchgehendes Licht; Schwingungen parallel der Faser. Fig. 7 a_2 reflektiertes Licht; Schwingungen parallel der Faser. Fig. 7 b_2 reflektiertes Licht; Schwingungen senkrecht zu der Faser.

Die Analyse der Bilder ist die folgende:

a) Der Streifen $\alpha_1 \alpha_2 \beta_1 \beta_2$ erscheint im durchgehenden Licht stets hell, im reflektierten dunkel. Er ist wesentlich frei von Substanz (wenigstens in der abgebildeten Ebene). Dies bestätigt sich, wenn wir außer Analysator auch Polarisator anwenden. Fig. 8 a gibt das Bild für rotes Licht und gekreuzte Nicols (Azimut 90°).

b) Der Streifen $\alpha_1 \alpha_2 \gamma_1 \gamma_2$ ist eine Gefäßwand, auf welche wir senkrecht sehen. Im durchgehenden Licht ist sie rot für die Schwingungen senkrecht zu den Fasern, bläulichgrün für die Schwingungen parallel den Fasern; im reflektierten Licht zeigt sie die je zu dem durchgehenden wesentlich komplementären Färbungen, nur nicht ganz so intensiv wie im durchgehenden.

c) Die Analyse zwischen zwei Nicols bestätigt das sub a) und b) Gesagte (Fig. 8 b).¹⁾ Im Azimut 50° des Analysators, gerechnet vom Polarisator aus, ist die substanzleere Stelle $\alpha_1 \alpha_2 \beta_1 \beta_2$ hell, dagegen die Gefäßwand im großen ganzen dunkel. Die meisten Stellen der Gefäßwand werden von linearem Licht verlassen; das Verhältnis der Komponenten

1) Die in Fig. 8 b oben befindliche dunkle Partie (oberhalb der Linie $A B$) hatte nur wenig Licht erhalten. Die daher dunkle Stelle hat mit der Deutung des Bildes nichts zu schaffen.

dieses durchtretenden Lichtes parallel und senkrecht zu den Fasern ist *etwa* 0,08 ($\text{tg } 5^\circ$) für Rot.

d) Die schmalen Streifen $\beta_1 \beta_2$, desgleichen $\gamma_1 \gamma_2$ sind Gefäßwände, hochkant gesehen; sie lassen die parallel den Fasern gerichtete Schwingung nicht hindurch, sie reflektieren sie vielmehr und sind daher im reflektierten Licht hell.

Die Stelle $\alpha_1 \alpha_2$ ist eine tiefer gelegene Gefäßwand, hochkant gesehen. Sie verhält sich qualitativ ebenso wie die gleichartigen Streifen $\beta_1 \beta_2$ und $\gamma_1 \gamma_2$, ist aber nicht deutlich abgebildet.

e) In den Gefäßwänden liegen (Fig. 7 b_1 u. a_2) die Stellen δ ; sie sind hervorgebracht durch die in § 7 besprochenen Reflexe an schräg geneigten Gefäßwänden; sie erscheinen dementsprechend hell im durchgehenden Licht für faserparallele Schwingungen, dunkel für die gleichen Schwingungen im reflektierten.

Diese Deutung wurde von den Botanikern bestätigt.

12. Die Figg. 9 sollen *ungefähr* die mittlere Färbung der Streifen im weißen und deren Helligkeitsverhältnis im roten Licht andeuten. Die Figg. 10 geben das Aussehen im unpolarisierten weißen Licht; a ist die Abbildung der oberen, b die einer etwas tiefer gelegenen Schicht.

Der Vergleich der Bilder, welche man im unpolarisierten sieht, mit denen im polarisierten erhaltenen zeigt schon, wie viel mehr Differenzierung das letztere gibt.

Dies trat mir in einer überraschenden Weise entgegen, als ich die Bilder zeichnete. In Fig. 7 b_1 fielen mir helle Fasern ϵ auf, die ich in anderen Figuren, welche sich auf das gleiche, aber in anderer Weise beleuchtete Präparat bezogen, nicht gezeichnet hatte — sie waren, wovon ich mich nun überzeigte, für die eine Nicolstellung nicht zu sehen. Als ich den Nicol drehte (im roten Licht), zeigte sich, daß es Fasern waren, welche wahrscheinlich vom Rasiermesser beim Schneiden von der Gefäßwandung abgerissen wurden und welche sich unregelmäßig gelegt hatten, etwa in die Form der Fig. 11 $f\delta$. In der Faser war eine dunkle Linie zu erkennen, welche mit Drehen des Nicols wanderte (Fig. 11), und stets senkrecht zur Polarisationssebene des Objektivnicols (der Okularnicol war entfernt) stand. Es war ein Gitter, dessen Breite ich (nach der

Vergrößerung etc.) auf eine halbe bis eine ganze Wellenlänge schätzte (geometrisch richtige Abbildung vorausgesetzt).

13. Zur weiteren Erläuterung füge ich noch zwei Abbildungen hinzu:

a) Die Figg. 12 und 13 zeigen, was man mit Auerlicht sieht. Die Figg. 12 sind Abbildungen der obersten Schicht, Fig. 13 von einer etwas tiefer gelegenen Stelle. Es waren die ersten Bilder, in denen deutlich heraustrat, daß die reflek-

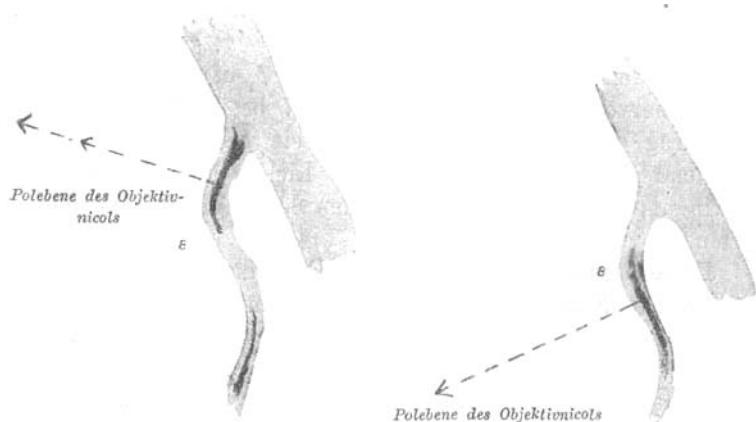


Fig. 11.

tierten Schwingungen wesentlich das Komplement zur durchgehenden sind.

b) Während diese Figuren wenig Einzelheiten erkennen lassen, geben die Figg. 14 (für faserparallele Schwingungen) ein sehr reichhaltiges Detail. Ich überzeugte mich an den verschiedensten Punkten dieses Präparates (welches wahrscheinlich aus feinen Gittern bestand und im reflektierten Licht ein ganz besonders ruhiges Bild zeigte, frei von den metallisch reflektierenden Goldpartikelchen), daß reflektiertes und durchgehendes Licht sich bis auf das kleinste ergänzten. Es ist sehr schwer, die Zeichnungen so zu machen, daß einerseits das Detail heraustritt, andererseits die zusammengehörigen Partien. Ich bin überzeugt, daß *korrekte Zeichnungen sich verhalten würden wie Positiv und Negativ einer Photographie*.

Wünschenswert ist, wie schon gesagt, ein Fadenkreuz, an welches man eine zu prüfende Stelle heranschiebt. Wechselt

man nämlich rasch das reflektierte und durchgehende Licht, so macht es den Eindruck, als ob die Erscheinung spränge (ähnlich wie Interferenzstreifen im polarisierten Licht), indem sich ein vorher heller Streifen scheinbar an die Stelle eines dunkeln begibt und umgekehrt.

14. *Der Kugelspiegelversuch* (Fig. 5). Nachdem mit den Ambronnischen Präparaten der Reflexionsversuch geglückt war, habe ich dieselben Objekte, die ich mikroskopisch untersucht hatte, auch für den Hohlspiegelversuch verwendet und nun sofort mit positivem Resultat.

Die Vorstellungen, welche man sich vom Verhalten der Präparate machen mußte, zeigten sich vollständig bestätigt. Die Objekte zerstreuen das Licht nach allen möglichen Richtungen. Dementsprechend sieht man das reflektierte Bild nicht nur in einem bestimmten engen Winkelraum, sondern nach allen Seiten, in manchen Richtungen heller, in anderen weniger hell. Auch mit Tabaksdampf oder auf einem Papierschirm läßt sich diese Lichtzerstreuung leicht erkennen.

Indem man so den Raum um den Hohlspiegel herum absucht, findet man bald Stellen, an denen die Helligkeitsunterschiede gut und im richtigen Sinn zu erkennen sind. Besser als diese erkennt man die Färbungsunterschiede. Man wird dadurch auch frei von den ungleichen Helligkeiten, welche die Nicoldrehungen auch im besten Falle noch begleiten. Man sieht das Bild gelblich-grünlich für Schwingungen senkrecht zur Faser (dies ist seine natürliche Färbung im reflektierten Licht); sie geht in einen rötlichen Ton über, wenn die Schwingungen der Faser parallel sind. Diese roten Schwingungen werden stärker zurückgeworfen als die dazu senkrechten.

Selbstredend kann man auch wieder mit natürlichem Licht beleuchten und mit einem Okularnicol untersuchen. Dies ist dann vorteilhaft, wenn man sich schon nach der anderen Anordnung über die besten Richtungen orientiert hat.

Der Übergang des Lichtes aus der ebenen Glasfläche in Luft ist natürlich mit teilweiser Polarisation verknüpft. Für die Färbung des Bildes muß dies aber ohne Belang sein. Der folgende Versuch ist frei von dem dadurch entstehenden Fehler auch bezüglich der Intensität. Die Fasern des Präparates liegen horizontal, man beobachtet das Bild mit Okularnicol

in einer (nahezu) vertikalen Ebene und findet es in rotem Lichte heller für die horizontal schwingenden, also in der Brechungsebene polarisierten Strahlen.

Der Hohlspiegelversuch ist in manchen Beziehungen instruktiv, namentlich durch seine Übersichtlichkeit. Wenn wir, um nur ein Beispiel anzuführen, finden (Fig. 15), daß in einer

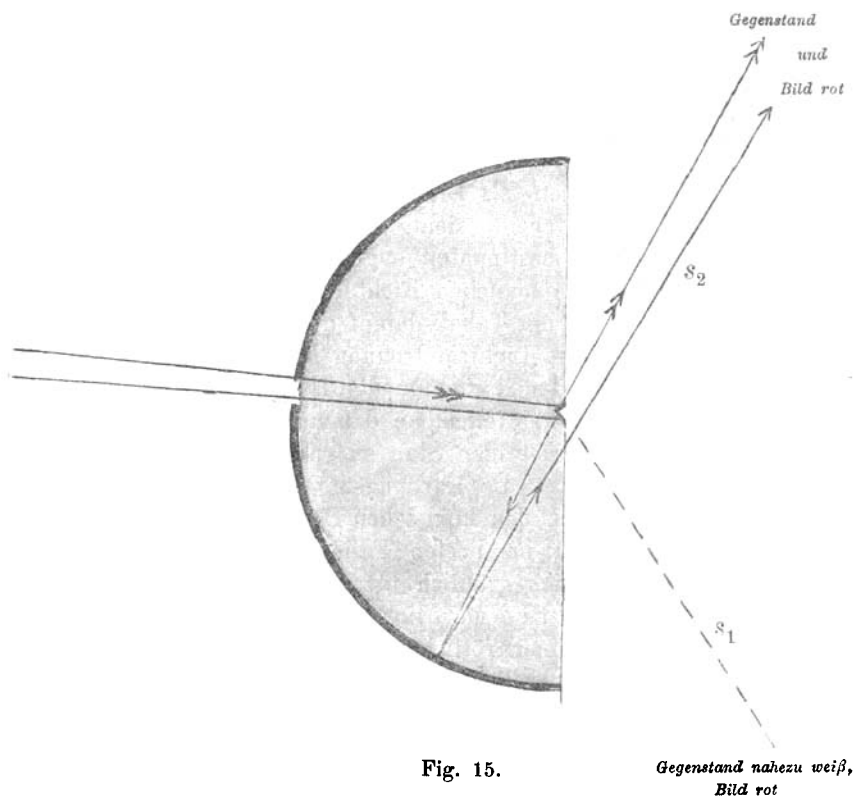


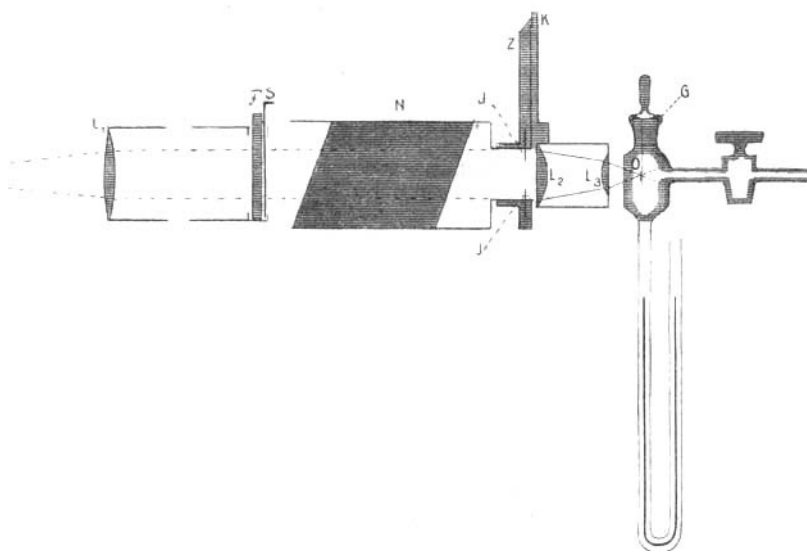
Fig. 15.

Gegenstand nahezu weiß,
Bild rot

gewissen Richtung s_1 der Gegenstand (d. h. die nach dieser Richtung durchtretenden Strahlen) wesentlich ungefärbt, das dicht daneben gelegene Bild dagegen rot erscheint, so ist dies ungefähr das zu erwartende. In einer anderen Richtung (s_2) sehen wir dagegen Bild und Gegenstand rot. Das heißt offenbar: beide rühren her von Reflexion an zwei Ebenen, welche nahezu senkrecht zueinander stehen (vgl. Fig. 15, wo auf die

Brechung an der ebenen Vorderfläche der Halbkugel keine Rücksicht genommen ist).

15. *Absorptionsmessungen.* Da ich keine Messungen über die reflektierten und durchgegangenen Lichtmengen gemacht habe, so wäre immer noch die Auffassung möglich, daß es sich um Stoffe handle mit polarisierter Oberflächenfarbe, die



- Wechselstrombogenlampe von 20 Amp.
- | | |
|---|---|
| L_1 hat 8 cm Brennweite | Abstand $L_2 L_3 = 2,5$ cm
" $L_3 O = 1,2$ " |
| L_2 " 4,5 " " | |
| L_3 " 3,0 " " | |
| F farbige Platte; | |
| S Metallschieber; | |
| N Drehbarer Nicol; | |
| JJ Irisblende, veränderlich durch Drehen des Zeigers Z , der auf einer Kreisteilung K sich bewegt; | |
| O Objekt, auf dem Glimmerblättchen G angebracht, das in der Höhlung des eingeschliffenen Stopfens angekittet ist. | |

Fig. 16. ($\frac{1}{3}$.)

aber im übrigen dichroitisch wären (im oben definierten Sinn) wesentlich durch *Absorption*.

Um dies zu prüfen, wurden Thermometerversuche gemacht nach der Anordnung der Fig. 16. Die Einzelmaße sind daselbst angegeben.

In dem kleinen Luftthermometer (mit eingeschliffenem

Stöpsel geschlossen, mit Toluol abgesperrt) befand sich entweder ein berußtes Glimmerblättchen (um die ganze Strahlung zu messen) oder das auf Absorption zu untersuchende Präparat, das auf ein ganz dünnes Glimmerblättchen mit sehr verdünnter Canadabalsamlösung aufgekittet war.

Das Licht wurde abgestellt durch einen Metallschieber. Verschieden gefärbtes Licht wurde durch Miethesche Lichtfilter¹⁾ hergestellt. Sie sind jetzt überall erhältlich, gestatten daher eine Vergleichung, geben Farben²⁾, die etwa so homogen sind, wie die Durchlaßfarbe guten roten Glases, und lassen (mit obiger Methode gemessen) vom Licht der Bogenlampe je nahezu gleiche Energiemengen durch.

Diese letztere Tatsache erklärt sich, wie mir Hr. Prof. Miethe mitteilte, daraus, daß die Filter (und ebenso auch, wie die Versuche zeigen, rotes Glas) noch sehr viel Ultrarot hindurchlassen.

Die in § 16 bis 19 mitgeteilten Messungen beziehen sich daher zum großen Teil auf Ultrarot und gestatten keinen Schluß auf das Verhalten gegen das sichtbare Licht.

Wenn ich die Zahlen trotzdem gebe, so geschieht es 1. weil sie erläutern sollen, wie weit man mit der Methode etwa kommen kann, und 2. weil die Unterschiede für die roten Schwingungen parallel und senkrecht zu den Fasern auch, nachdem das Ultrarot nach Möglichkeit ausgeschieden war, noch ungefähr ebenso groß sich ergaben (§ 20).

Sobald man die Strahlung auffallen läßt, steigt das Thermometer anfangs schnell, später langsamer und erreicht in etwa 15 Sek. seinen höchsten Stand. Immer nach diesem Zeitraum wurde die Ablesung gemacht. Man ließ dann abkühlen und machte eine zweite Beobachtung, nachdem der Nicol um 90° gedreht war. Arbeitet man in dieser Weise, so gibt das Thermometer ganz brauchbare Angaben.

Hat das Thermometer für eine Nicolstellung seinen höchsten Stand erreicht und wird nun der Nicol gedreht, so ändert sich

1) Flexoid von der Gelatinefabrik Hanau. Man darf sie der Erwärmung durch den Lichtbogen nicht zu lange aussetzen.

2) Das Grünfilter läßt leider noch das äußerste sichtbare Rot durch, es absorbiert aber das weniger brechbare Rot.

der Stand. Die damit abgelesenen als „konstante Differenzen“ in den Tabellen bezeichneten Unterschiede stimmen mit den nach dem ersten Verfahren erhaltenen gut überein, auch wenn der absolute Stand des Thermometers infolge weiterer Strahlungseinflüsse während der Beobachtungen sich allmählich ändert. Diese „konstanten Differenzen“ geben qualitativ den sichersten Anhalt.

Wurde das leere Thermometer mit vollständig geöffneter Irisblende 15 Sek. lang bestrahlt, so änderte sich sein Stand um 0,5 mm. Fiel die konzentrierte Strahlung auf ein dünnes, nicht berußtes Glimmerblättchen, so betrug der Ausschlag 2 mm. Ein frei gefaßtes Präparat wäre daher besser gewesen, ich verfügte aber nicht über genügend große.

Eine große Schwierigkeit liegt in der Inkonstanz der Lampe. Da aber meine Gleichstromlampe (12 Amp.) nicht genügende Wirkung gab, so war ich auf eine Wechselstrombogenlampe von 20 Amp. angewiesen. Man hört schon am Brummen der Lampe, wenn ihre Wirkung sich ändert. Ich habe versucht, die durch diese Inkonstanz verursachten Fehler durch die zeitliche Folge der Messungen zu eliminieren, was auch leidlich gelang.

Das berußte Glimmerblättchen läßt kein erkennbares Quantum Licht mehr hindurch, aber es reflektiert noch alle Farben sehr deutlich (vgl. unten).

16. Ich gebe die Resultate zweier Versuchsreihen. Die Zahlen von Tab. I sind gewonnen an denselben Schnitten, welche auch schon für die mikroskopische Beobachtung und für den Hohlspiegelversuch gedient hatten. Zwei der größten Schnitte waren nach Aufweichen des Canadabalsams mit Toluol aus dem Gesamtpräparat herausgenommen, gut mit Toluol ausgewaschen und dicht nebeneinander auf das Glimmerstreifen aufgeklebt worden. Sie füllten ein Rechteck von ungefähr 4 mm Länge und knapp 2 mm Höhe aus.

Da das Bild beider Kohlen zusammen 2,5 mm in horizontaler, 2 mm in vertikaler Richtung maß, so konnte für eine Lage des Objektes (Fasern horizontal) eben die ganze leuchtende Fläche auf das Präparat gelegt werden.

Die Resultate ¹⁾ sind:

Tabelle I.

Präparat A.

Fasern horizontal.

Diaphragmendurchmesser = 17 mm.

	Rot		Grün		Blau		Weiß
	15 Sek.	Konst. Diff.	15 Sek.	Konst. Diff.	15 Sek.	Konst. Diff.	15 Sek.
Schwingg. vertikal	5,5	3	4,3	ca. 1	4,0	ca. 1	18
„ horizontal	9,0		6,0		7,0		25

Berußter Glimmer.

Diaphragmendurchmesser = 4 mm.

	Rot		Grün		Blau	
	15 Sek.	Konst. Diff.	15 Sek.	Konst. Diff.	15 Sek.	Konst. Diff.
Schwingungen vertikal	9,0	2	9,0	2	10	2
„ horizontal	11,0		10,0		12	

Die Zahlen zeigen:

1. Der Nicol ist nicht ganz frei von dem Fehler des „Schlagens“.

2. Rot wird stärker absorbiert als Grün und Blau.

3. Für alle Farben werden die Schwingungen, die parallel den Fasern laufen, etwas stärker absorbiert als die senkrecht dazu erfolgenden.

4. Von dem am stärksten absorbierten roten Licht wird nicht mehr als etwa 10 Proz. weggenommen; die Differenz der Absorption für das parallel und senkrecht zu den Fasern schwingende Licht beträgt nur etwa 4 Proz. des auffallenden „roten Lichtes“.

17. Bessere Zahlen wurden mit einem Präparat von 4×5 mm Fläche erhalten. Dieser Schnitt konnte umgekittet

1) Die Ablesungen sind die halben Niveaudifferenzen in Millimetern. Dies gilt auch für alle folgenden Zahlen.

werden, so daß seine Fasern einmal horizontal, das andere Mal vertikal lagen. Hier das Resultat:

Tabelle II.

Präparat B.

1a. Fasern vertikal.

Diaphragmenöffnung = 18 mm.

	Rot		Grün		Blau	
	15 Sek.	Konst. Diff.	15 Sek.	Konst. Diff.	15 Sek.	Konst. Diff.
Schwingg. vert.	15,7	knapp	10,5	nicht sicher	9,5	nicht sicher
„ horiz.	16,3	1 mm	11,5	erkennbar	9,7	erkennbar

1b. Berußter Glimmer.

Diaphragmaöffnung = 5 mm.

	Rot	
	15 Sek.	Konst. Diff.
Schwingungen vertikal	11,2	3
„ horizontal	13,4	

2a. Fasern horizontal.

Diaphragmenöffnung = 18 mm.

	Rot		Grün		Blau	
	15 Sek.	Konst. Diff.	15 Sek.	Konst. Diff.	15 Sek.	Konst. Diff.
Schwingungen vertikal	16,8	8	12,0	6	9,0	5,2
„ horizontal	27,0		19,0		12,5	

2b. Berußter Glimmer.

Diaphragmenöffnung = 6 mm.

	Rot		Grün	
	15 Sek.	Konst. Diff.	15 Sek.	Konst. Diff.
Schwingungen vertikal	15	5	13	3
„ horizontal	20,5		—	

Für eine strenge Rechnung fehlt die Grundlage. Wir können aber so überschlagen: Die Beobachtungen 1a zeigen, daß der Nicolfehler fast kompensiert wird durch die Ver-

schiedenheit der Absorption; nimmt man, wodurch wir die Differenz der Absorptionen zu hoch einschätzen, vollständige Kompensation an, so ergibt sich

$$\frac{\text{Absorbierte Schwingungen } \parallel \text{ Fasern}}{\text{Absorbierte Schwingungen } \perp \text{ Fasern}} = 1,27.$$

Rechnen wir ohne eine derartige Abrundung mit den Zahlen der Reihe 2 (setzen die im Präparat absorbierten Lichtmengen bez. gleich 27 und 16,8; die auffallenden bez. 20,5 und 15 proportional), so findet sich¹⁾:

$$\frac{\text{Absorbierte Schwingungen } \parallel \text{ Fasern}}{\text{Absorbierte Schwingungen } \perp \text{ Fasern}} = 1,17.$$

Im Mittel kommt also eine Differenz von etwa 20 Proz. heraus.

Der ganze von der auffallenden roten Lichtmenge absorbierte Bruchteil ist aber¹⁾

$$\frac{16,0}{13,4} \cdot \left(\frac{5}{18}\right)^2 = 0,091.$$

Es werden also rund 10 Proz. dieses „roten Lichtes“ absorbiert und von diesen wieder höchstens $\frac{1}{4}$ mehr von den Fasern parallelen Schwingungen als von den dazu senkrechten, d. h. es gehen in einem Fall 90 Proz., im anderen etwa 93 Proz. hindurch.

Die Beobachtungen zeigen übereinstimmend, daß die Schwingungen parallel den Fasern, wie auch zu erwarten war, stärker gedämpft werden als die zu den Fasern senkrechten.

18. Es wurde nun (in Ermangelung guter Alaunplatten) zur Absorption der ultraroten Strahlen eine Wasserschicht von 13,5 cm Dicke zwischen Lampe und Nicol eingeschaltet. Die Wärmewirkungen fielen dadurch so stark, daß das Thermometer für die ganze Rotstrahlung bei voller Öffnung der Irisblende (18 mm) noch etwas weniger anzeigte, als vorher bei 4 mm Durchmesser der Blende. Die Messungen wurden dadurch sehr ungenau und ich war gezwungen, mich auf Mittelwerte aus vielen Beobachtungen zu beziehen. Trotzdem war

1) Es ist die Annahme gemacht, daß der Ruß alles Licht absorbiert. Dadurch kommt die Absorption des Präparates größer heraus, als sie in Wirklichkeit ist. Andererseits ist aber die Eigenabsorption des Glimmerblättchens nicht in Rechnung gesetzt worden.

die Übereinstimmung verschiedener Messungsergebnisse besser, als ich erwarten konnte.

Ich gebe, um ein Urteil über die Sicherheit des aus den Messungen folgenden zu ermöglichen, die Zahlen. Die Tab. III zeigt unter 1 die Wärmewirkungen auf den berußten Glimmer; in der letzten Spalte stehen die für die Absorption des Präparates *B* berechneten Werte, wie sie erhalten werden, wenn man die in derselben Horizontalen angegebene auffallende Strahlung kombiniert mit den Wärmewirkungen, die in Tab. III, 2 gegeben sind.

Tabelle III.
Wärmewirkungen.

Nr.	Farbe	Diaphragma- Durchmesser	Schwingungen		Präparat <i>B</i> absorbiert (Schwingungen horizontal)
			<i>a</i> horizontal	<i>b</i> vertikal	
1. Absorbierender Körper: Berußter Glimmer.					
1	Rot (Glas)	18 mm	8,26	0,41 weniger	45 Proz. ^{† 1)}
2	„ „	12 „	3,7	0,25 „	46 „ [†]
3	Grün	12 „	4,55	—	33,6 „ ^{††}
4	Blau	12 „	2,35	—	30,0 „ ^{†††}
5	Grün	12 „	3,85	—	39,7 „ ^{††}
6	Rot	12 „	3,57	0,07 „	47,6 „ [†]
7	Weiß	12 „	12,1	1,4 „	58 „
		8 „	4,46		63 „
2. Absorbierender Körper: Präparat <i>B</i> (dickeres Präparat). Fasern vertikal.					
8	Rot (Glas)	18 mm	3,83	0,12 mehr	
9	Grün	18 „	3,44	0,12 „	
10	Blau	18 „	1,6	nicht bestimmbar	
11	Weiß	18 „	14,45	1,0 mehr	
3. Absorbierender Körper: Präparat <i>A</i> (zwei dünnere nebeneinander, Fasern horizontal).					
12	Rot (Glas)	18 mm	2,75	—	33 Proz.
13	Weiß	18 „	7,8	1,65 weniger	26,5 „
			7,1		

1) Die Anzahl der Kreuze bezeichnet Beobachtungen, welche die gleiche Zahl geben sollten; die zeitliche Folge der Beobachtungen wird durch die Nummer der ersten Spalte angegeben.

Während nach Tab. III, 1 infolge der Nicolfehler die auffallende Helligkeit für vertikale Schwingungen etwas kleiner ist als für die horizontalen, zeigt umgekehrt Tab. III, 2 für dieselben eine etwas stärkere Erwärmung. Qualitativ ist also das Resultat unzweifelhaft, daß die faserparallelen Schwingungen stärker absorbiert werden.

Quantitativ wird man ungefähr folgendes sagen können. Beurteilt nach den Erwärmungen des geschwärzten Glimmers geben:

die horizontalen Schwingungen in Rot	{	2	Proz. mehr Helligkeit
		5	„ „ „
„ „ „ „ Grün		6,7	„ „ „
„ „ „ „ Weiß		11,6	„ „ „

sagen wir im Mittel 6 Proz. mehr.

Das Präparat *B* gibt für

die vertikalen(faserparallelen)Schwingungen in Rot	3,1	Proz. mehr Wärme
„ „ „ „ „ Grün	3,5	„ „ „
„ „ „ „ „ Blau	—	„ „ „
„ „ „ „ „ Weiß	6,9	„ „ „

im Mittel also, mit Rücksicht auf die größere auffallende Energiemenge, rund 10 Proz. mehr Absorption für Schwingungen parallel den Fasern als senkrecht dazu.

Zusammengestellt ergibt sich also:

						Schwingungen zu den Fasern	
						senkrecht	parallel
						Mittel	
Von auffallenden 100 Proz. Rot werden absorbiert						{ 45 46 47,6	46,8 50,9
„	„	„	Grün	„	„	{ 33,6 39,7	36,6 40,2
„	„	„	Blau	„	„	30	— —
„	„	„	Weiß	„	„	{ 58 63	58 63,8

Aus den Zahlen folgt das scheinbar ungereimte Resultat, daß Rot stärker absorbiert wird, als die anderen Farben, während doch das Präparat unzweifelhaft gelb-rötlich durch-

scheint. Der Widerspruch löst sich, glaube ich, aus dem Aussehen des spektral zerlegten durchgehenden Lichtes. Das Spektrum zeigt sich in allen Farben nahezu gleich stark geschwächt, mit Ausnahme des äußersten Rot. Dieses wird sehr stark weggenommen. Es wird also gerade ein Teil ausgelöscht, welcher zwar sehr starke Wärmewirkungen, aber sehr geringe physiologische Intensität besitzt.

19. Das dünnere Präparat *A* (Tab. III, 3) zeigt geringere Gesamtabsorption, aber einen größeren Unterschied je nach der Lage der Schwingungen:

	Schwingungen zu den Fasern	
	senkrecht	parallel
Von 100 Proz. auffallenden Rot werden absorbiert	26,4	33
„ „ „ Weiß „ „	21,2	26,5

Die Versuche zeigen qualitativ unzweifelhaft, daß die Schwingungen parallel den Fasern stärker absorbiert werden. Genauere Messungen wären sehr wünschenswert, da die mitgeteilten Unterschiede oft nur gerade außerhalb der Fehlergrenzen liegen und die Übereinstimmung mancher Messungen noch zufällig sein kann.

20. *Zusammenfassung der seitherigen Ergebnisse.* a) Das Präparat hat seine *eigene Farbe*. Wir erkennen diese in dem zu den Fasern senkrecht schwingenden Lichte. Diese Färbung kann durch die obigen Versuche selbstredend nicht erklärt werden.

Die natürliche Farbe verhält sich ähnlich derjenigen von schwach deckenden Aquarellfarben. Die am schwächsten deckenden, wie Kobalt, Preußischblau, Indigo, Pinkbrown haben (auf eine matte Glasplatte aufgetragen) im durchfallenden wie im reflektierten Licht wesentlich gleiche Färbung. Sie verhalten sich wie Resonatoren oder selbstleuchtende Körper, welche Licht nach allen Seiten ausstrahlen.

Die mehr deckenden Farben zeigen im reflektierten und durchfallenden Licht schon wesentliche Unterschiede; man bemerkt sie z. B. schon an Kadmiumgelb (ich führe nur einheitliche Farben an), mehr bei Chromgrün (Chromoxyd) und

Zinnober. Letzterer, im reflektierten Licht intensiv rot, erscheint im durchfallenden Licht wie ein mit viel Blau gemischtes Rot.

Unser Präparat steht am nächsten von den genannten Farbstoffen dem Zinnober, mit dem Unterschied nur, daß es im durchfallenden Licht rötlich, im reflektierten mehr bläulich erscheint. Dies entnehmen wir, ohne es, wie gesagt, erklären zu können, aus dem Verhalten gegen das senkrecht zu den Fasern schwingende Licht.

b) Neben der Färbung hat das Präparat Doppelbrechung. Es ist uns gelungen, deren Einfluß auf die Resultate zu eliminieren.

c) Den sub a) und b) genannten Eigenschaften superponiert sich eine Hertz'sche Gitterpolarisation; die Gitterstäbe liegen in den Gefäßwänden und sind denselben parallel; sie bewirken die beobachteten komplizierten, aber in allen Details mit der Auffassung übereinstimmenden optischen Erscheinungen.

d) In den Gittern findet, wie zu erwarten war, für alle Wellenlängen eine Absorption durch Joulesche Wärme statt. Sie unterstützt die im durchgehenden Licht beobachteten Helligkeitsdifferenzen.

e) Die Beobachtungen im durchgehenden Licht zeigen die Verschiedenheit der Helligkeit für die Schwingungen, je nach deren Richtung, besonders auffallend. Denn für diese Beobachtungsart wirken alle Differenzen in demselben Sinne, auch die Zerstreuung des Lichtes durch Reflexion an den Gitterflächen. Dazu kommt, daß bei schwachen Objektivvergrößerungen wesentlich nur die zentralen Lichtbündel zur Bild-erzeugung benutzt werden.

Beobachtungen im reflektierten Licht sind aus denselben Gründen nicht so günstig und erfordern im allgemeinen Objektive von großer Apertur.

f) Ich sehe nach alledem kein Bedenken mehr, die Erscheinungen, welche metallgefärbte Präparate im durchgehenden Licht geben, zur Deutung auf submikroskopische Gitterstrukturen zu verwenden.

Sollte in einzelnen Fällen — was namentlich anfangs zu erwarten ist — der Schluß aus dem Bilde im durchgehenden

Licht zweifelhaft erscheinen, so gibt der zwar weniger bequeme, aber doch gut durchführbare Reflexionsversuch ein Kriterium an die Hand.

C. Ausdehnung auf andere Präparate. Erledigung einiger weiteren Fragen.

Um den Gang der Darstellung nicht zu unterbrechen, habe ich einige Punkte ausgeschieden, die ich im folgenden zusammenstelle.

21. Hr. Ambronn war so freundlich, mir mit Goldchlorid behandelte Nesselfasern, welche sehr schönen „Dichroismus“ zeigen, zuzuschicken. Ich habe mich auch an diesem Objekt in der früher angegebenen Weise überzeugt, daß im roten Licht, auch in den kleinsten Details, das reflektierte Licht die Ergänzung zum durchgehenden ist. Das Präparat ist wegen des einfacheren Bildes günstig.

Es ist aber auch noch in anderer Beziehung von Interesse. Es besteht aus einem röhrenförmigen Gebilde und die Beobachtung zeigt folgendes: Es ist eine Gitterstruktur vorhanden in der Röhrenwand parallel der Achse; aber außerdem auch noch auf der Innenwand der Röhre an manchen Stellen eine solche erkennbar¹⁾, welche senkrecht zur Achse orientiert ist (Spiralfasern?).

Die Fig. 17 *a b c d* geben eine ungefähre Abbildung des Gesehenen. Der angeführte Schluß ergibt sich aus dem Folgenden: Die der Achse parallele Gitterstruktur verdeckt die auf der Innenröhre vorhandene, sobald man mit Schwingungen arbeitet, die der Achse parallel sind. Beobachtet man mit dazu senkrechten Schwingungen, so findet man eine im reflektierten Bild (Fig. 17 *c*) hell werdende Partie; dieser entspricht im durchgehenden (Fig. 17 *a*) die dunklere. Daraus folgt die Struktur senkrecht zur Achse. Schematisch stellt dies Fig. 17 *e* dar.

Die Figg. 17 *b* und *c* geben das ungefähre Aussehen für Schwingungen parallel zur Achse. Hat man die zur Achse senkrechte Struktur einmal durch den Reflexionsversuch erkannt,

1) Am deutlichsten scheint's, wo eine enge Röhre im Innern scharf einstellbar ist.

so findet man sie nun auch wieder aus diesen Bildern heraus, obschon die Erscheinung dort stark durch die axiale Faserung überdeckt wird.

22. Neben einem Gitter müssen, wenn es von Schwingungen getroffen wird, die es nicht hindurchläßt, auch *Beugungserscheinungen* auftreten; solche zeigen sich auch sehr schön ausgesprochen neben den Nesselfasern. Sie verschwinden, sobald die Schwingungen senkrecht zur Faser sind. Man entfernt zu ihrer Beobachtung (ich hatte Immersionssystem) das vor den Mikroskopspiegel gestellte Mattglas, so daß man eine nahezu punktförmige Lichtquelle durch den Abbeschen Beleuchtungsapparat bekommt, den man passend einstellt. Will man, wie es wünschenswert ist, wenn es sich um ein scharfes Erkennen des Objektivs handelt, die Beugungserscheinungen möglichst unterdrücken, so wird deshalb das Mattglas vorgesetzt. — Ob diese Beugungserscheinungen einfach aus dem Huyghensschen Prinzip folgen oder ob hier vielleicht ein Einfluß des beugenden Körpers vorhanden ist, konnte ich noch nicht sicher entscheiden. Am Rande einer dünnen Silberschicht, auf Glas niedergeschlagen, finden sich scheinbar die gleichen Beugungsbilder; lediglich mit dem Unterschied, daß sie neben der Silberschicht nicht polarisiert sind. An den Rändern von Tuschschichten dagegen, die nahezu ebenso durchsichtig waren, wie die Nesselfasern für die gitterparallele Komponente, scheinen die Beugungserscheinungen andere zu sein.

23. Man beachte bei mikroskopischen Beobachtungen, daß Stellen mit zwei gekreuzten Gitterstrukturen sich wie ein überhaupt undurchsichtiger Körper verhalten müssen. Die Nesselfasern zeigen dies sehr schön. Man kann natürlich bei starken Vergrößerungen nicht ganz scharf einstellen.

24. Will man die Zurückführung des Beobachteten auf Gitterwirkung nicht annehmen, so sehe ich nur noch einen Ausweg, nämlich den, die Erscheinungen als solche von *polarisierten Oberflächenfarben* zu bezeichnen. Um mich über deren Verhalten zu orientieren, habe ich eine größere Zahl dichroitischer Stoffe in der Art untersucht, daß ich das Parallelstrahlenbündel der Bogenlampe auf dieselben in ca. 5 m Abstand möglichst senkrecht auffallen ließ und mit einem ebenfalls fast in die Flächennormale gestellten Fernrohr, welches

einen Okularnicol hatte, prüfte. Will man vor Täuschungen sicher sein, so darf von rückwärts kein Licht auf den Kristall kommen. Zu dem Ende war hinter den Präparaten unter ca. 45° ein Spiegel aufgestellt, welcher das von vorn durchgegangene Licht seitlich in den Raum und auf ein möglichst weit entferntes mattes schwarzes Tuch warf.

Von sämtlichen Körpern (im ganzen 20 Stück) konnte in dieser Art eine Verschiedenheit des reflektierten Lichtes je nach seiner Polarisation nur an fünfem erkannt werden: Magnesiumplatincyannür, Pennin, oxalsaurem Chromoxyd-Ammoniak, essigsauerm Kupfer und einem für eine Schwingung ganz wasserhellen Turmalin (aus Kärnten). Bei allen diesen zeigte sich, daß, wenn im durchgehenden Licht für eine gegebene Orientierung des Kristalles gegen die Lichtschwingungen eine gewisse Farbe vorhanden war, dieselbe auch bei derselben Orientierung im reflektierten auftrat.

Ich führe die Beispiele an.

Pennin.

	Durchfallendes Licht	Reflektiertes Licht
Nicol \parallel einer gew. Richtung .	braun	ebenso, aber schwach
„ \perp dazu	blau	blau, „ „

Oxalsaures Chromoxyd-Ammoniak.

	Durchfallendes Licht	Reflektiertes Licht
Nicol \parallel einer gew. Richtung	blau	ebenso, schwach aber deutlich
„ \perp dazu	rot	rot, „ „ „

Magnesiumplatincyannür.

	Durchfallendes Licht	Reflektiertes Licht
Nicol \parallel einer gew. Richtung . . .	rot	rot
„ \perp dazu	grün	grün

Turmalin.

	Durchfallendes Licht	Reflektiertes Licht
Nicol einer gew. Richtung . . .	wasserhell	hell
„ ⊥ dazu	bräunlich	dunkel

Mehrere Kristalle von Magnesiumplatincyankür zeigten alle das gleiche Verhalten; nur eine (zwischen Glasplatten eingebettete) Platte ergab insofern eine Abweichung, als da, wo die anderen im *durchfallenden* Licht grün zeigten (was in dem reflektierten Licht dieser Platte auch vorhanden war) die Platte braun erschien. Ich vermute hier eine Verunreinigung (die Berührung mit Glas war nicht die Ursache).

Bei Körpern, welche noch so schwach absorbieren, wie die angeführten, ist also der Oberflächenschiller von den Erscheinungen der metallgefärbten Präparate charakteristisch verschieden. Die angeführten dichroitischen Körper verhalten sich so, als ob das reflektierte Licht bis zu einer gewissen Tiefe in die Substanz eingedrungen wäre.

25. Es bleibt sonach nur noch die Frage, ob man eine Oberflächenfarbe annehmen soll, wie sie die für gewisse Wellenlängen selektiv sehr stark absorbierenden Stoffe (Fuchsin, Indigkarmin, Herapatit, Kaliumpermanganat etc.) zeigen. Bei diesen sollte nach der Haidingerschen Regel¹⁾ das reflektierte Licht komplementär zum durchgehenden gefärbt sein.

Zu einer experimentellen Entscheidung auch dieses Punktes scheinen zwei Möglichkeiten vorhanden: 1. die Phasendifferenzen bei der Reflexion²⁾ und 2. in sehr einfacher Weise das Verhalten gegen verschiedene Farben.

Die Oberflächen- und Durchlaßfarbe dieser anomal dispergierenden Stoffe ist in komplizierter Weise von der Farbe abhängig. So macht, um nur von den ältesten bekannten Beispielen zu reden, chrysaminsaures Kali³⁾ aus natürlichem

1) W. Haidinger, Fortschr. d. Phys. p. 273. 1852.

2) E. Wiedemann, Pogg. Ann. 151. p. 1. 1874; E. Schenck, Wied. Ann. 15. p. 177. 1882.

3) D. Brewster, Pogg. Ann. 69. p. 552. 1846.

weißen Licht im Durchgang linear polarisiertes rötlichgelbes; Herapatit¹⁾ hat eine der grünen Oberflächenfarbe entsprechende intensiv rote Durchlaßfarbe, Kaliumpermanganat²⁾ vier helle Maxima im reflektierten und entsprechende Absorptionsstreifen (in der Lösung).

Im Gegensatz dazu müßte metallische Gitterpolarisation die einfache Regel befolgen, daß sie mit abnehmender Wellenlänge stetig abnimmt. Und dies hat sich bisher bei den Präparaten auch immer so gefunden. Ein gutes Objekt sind Nesselfasern. Ich konnte von diesen unter dem Mikroskop leicht solche herausuchen, welche z. B. für Rot eben die Gitterpolarisation noch deutlich zeigen; sie war dann in Grün schwächer, in Blau kaum zu erkennen. Man kann auch dies noch einem zufälligen optischen Verhalten einer supponierten Goldverbindung zuschreiben, man müßte dann freilich in den verschiedensten organischen Stoffen dieselbe Goldverbindung voraussetzen.

26. Wenig zugunsten einer solchen Annahme spricht aber die Tatsache, daß goldgefärbte Fichtenholzpräparate in einer Kohlensäureatmosphäre $\frac{5}{4}$ Stunden lang auf 180° (siedendes Anilin) erhitzt werden konnten, ohne ihre Gitterpolarisation zu verlieren. In Rot war sie jedenfalls noch gut zu erkennen, für Grün schien sie etwas abgenommen zu haben. Amylmerkaptan-gold, eine Verbindung, von welcher wohl vorausgesetzt werden darf, daß sie beständiger ist, als eine Goldverbindung, welche sich in den Holzfasern durch Einwirkung von Goldchlorid bilden könnte, wird bei der Temperatur des siedenden Anilins schon teilweise zersetzt; um so mehr sollte also eine solche organische schwefelfreie Goldverbindung bei 180° zerstört werden.

27. Wünschenswert wäre es natürlich, die gefärbten Stoffe sowohl als namentlich die *färbenden Metalle variieren* zu können. Ich habe versucht, Fichtenholz in der angegebenen Weise mit Silbernitrat (Waschen natürlich mit destilliertem Wasser), desgleichen mit Palladiumnitrat und Palladiumchlorid (konzentriert und verdünnt) zu färben. Die Silberpräparate

1) W. Haidinger, Pogg. Ann. 89. p. 251. 1853.

2) G. G. Stokes, Pogg. Ann. 91. p. 300. 1854.

fielen zufriedenstellend, die Palladiumpräparat weniger gut aus. Doch zeigten beide im durchgehenden Licht die Erscheinungen.

Mit einem Silberpräparat konnte ich auch (mit Immersion) den Reflexionsversuch an vielen Partien, namentlich den hochkant gestellten Zellwänden sehr klar und deutlich anstellen. Auf den Zellmembranen kamen aber auch kleine Stellen vor, welche die Umkehrung nicht zeigten. Diese gaben aber auch ein schlechtes, ganz verwaschenes Bild im reflektierten Licht; es lagen in dem Präparat dicht untereinander Zeichnungen, die sich gegenseitig durchschnitten, und an solchen Stellen treten für den Reflexionsversuch immer Unklarheiten ein, wie auch leicht zu verstehen ist und worauf ich schon früher hinwies (§ 10).

An den Palladiumpräparaten war der Reflexionsversuch unmöglich; das Präparat zeigte zu viel metallisch glänzende Partien, von denen noch dazu immer nur ganz wenige im reflektierten Licht gleichzeitig deutlich eingestellt werden konnten.

28. Wohl aber konnte ich mit diesen Präparaten das Verhalten gegen verschiedene Wellenlängen im durchgehenden Lichte prüfen. Es wurden daher nochmals in *reinen Spektralfarben* eine Anzahl Gold-, Silber- und Palladiumpräparate geprüft. Ein objektives Spektrum von etwa 10 cm Länge wurde auf einem Schirm entworfen, hinter dem das Mikroskop sich befand. Ein Schlitz von etwa 1,5 cm Breite war vor dem Beleuchtungsspiegel in dem Schirm angebracht, so daß man in leidlich homogenem Licht beobachtete. Das zum Spektrum ausgebreitete Licht fiel vorher auf einen vertikalen, etwa 1,5 m vom Schirm entfernten Spiegel, welcher 45° gegen den einfallenden Strahl geneigt war und der vom Orte des Beobachters aus mit einem Schnurlauf um eine vertikale Axe gedreht werden konnte, während seine Bewegung durch Anschläge begrenzt war. Auf diese Weise war es möglich, rasch nacheinander die Farbe zu wechseln.

Bei dem immerhin schwachen Licht eines objektiven Spektrums, bei der ferner ungleichen Helligkeit der Farben und der verschiedenen Empfindlichkeit des Auges gegen dieselben, ist es oft schwer mit Bestimmtheit zu sagen, ob die Diffe-

renzen der Helligkeit, welche man beim Drehen des Objektes (oder Nicols) beobachtet, für eine Farbe größer oder kleiner ist als für eine andere. Auch darf das Auge nicht überanstrengt sein.

Der gesamte Eindruck von vielen Beobachtungen ist aber der einer *stetigen* Abnahme der Unterschiede von Rot nach Blau; jedenfalls existiert für *keine dazwischen gelegene* Farbe ein ausgezeichnetes Verhalten. In sehr vielen Fällen scheint mir die *stetige* Abnahme ganz unzweifelhaft zu sein.

29. Nachdem sich so alle Beobachtungen vollständig *glatt* aneinander anschlossen, entstand mir die Frage, wie es komme, daß ich den in organischen Präparaten so auffälligen Einfluß der Farbe nicht auch bei den Metallzerstäubungen beobachtet hatte. Indem ich nun frühere Silberpräparate wieder vornahm, konnte ich bei diesen konstatieren, daß die ersten Erscheinungen, welche ich vor etwa einem Jahre beobachtet hatte und welche mich seiner Zeit nicht befriedigten, mehr leichte Änderungen der Farbennuancen, also des Gesamtcharakters, als der Helligkeit gewesen waren. Ich suchte nun absichtlich gerade Gitter herzustellen, welche für die größeren Wellenlängen die Gitterpolarisation besser als für die kleineren zeigen. Ich ging zunächst auf Silberzerstäubungen zurück, da ich dort schon Andeutungen besaß. Es erforderte, wie zu erwarten war, ziemlich viele Versuche, so daß ich nach systematischen Abänderungen erst mit dem dreißigsten Präparate zufrieden war. Ich will die Bedingungen angeben:

20 Leydener Flaschen von zusammen ca. 40000 cm Kapazität, geladen auf eine Schlagweite von 6 mm (zwischen Messingkugeln von 4 cm Durchmesser). Der Schließungsbogen besteht aus im ganzen etwa 1 m Draht (bewegliche Litze) von ca. 1 mm Durchmesser. Bisweilen sind noch Drahtspulen bezw. Teile derselben eingeschaltet, welche aus blankem Kupferdraht von 1,2 mm mit einem Durchmesser der Windungen von 4 cm gewickelt sind und 100 Windungen auf 70 cm Länge haben. Sie haben nicht viel Bedeutung und dienen nur zur feineren Regulierung. Die in erster Linie, wenn nicht ausschließlich, entscheidende elektrische Größe scheint nämlich die im Draht entstehende Joulesche Wärme zu sein.

Man läßt die Entladung hindurchgehen durch einen Silber-

draht von 0,066 mm Durchmesser. Derselbe ist möglichst glatt ausgespannt über eine 1,5—2 mm dicke Glasplatte von 9 cm Länge und 3 cm Breite. Auf den Metalldraht ist eine ebensolche Glasplatte von nur 5 cm Länge gelegt; beide Glasplatten werden durch fest angezogene gummierte Papierstreifen, welche an den Längsseiten angebracht sind, gegeneinander unverschiebbar gehalten. Man beobachtet auf diese Weise durch die *beiden* Zerstäubungen, die sich auf je einer der beiden Platten bilden. Man setze die Elektroden dicht an die Deckplatte heran, so daß nur das zwischen beiden Platten gelegene Drahtstück zerstäubt wird, da die Länge desselben natürlich von Wichtigkeit ist.

Man wird nach diesen Angaben jedenfalls in der Nähe günstiger Bedingungen sich befinden, so daß nur noch kleinere Variationen nötig sind. Etwas größere elektrische Energie pflegt günstig zu sein; man ist aber schon nahe derjenigen Entladungsstärke, bei welcher die Glasplatten gewöhnlich zer schlagen werden.

Die Zerstäubungen habe ich vorgenommen in Luft und in Kohlensäure ohne bemerkbaren Einfluß auf das Resultat. Sie scheinen im allgemeinen besser zu werden auf dem gewöhnlichen Glas (von alten photographischen Platten) als auf Spiegelglas.

Die so erhaltenen Silbergitter zeigen an vielen Stellen einen schwach rötlichgelben oder bräunlichen Ton für Schwingungen, die senkrecht zu den Stäben erfolgen, eine mehr ins Blaue fallende Farbe, wenn das durchtretende Licht den Stäben parallel schwingt. Am unzweifelhaftesten ist die Entscheidung durch Drehen des Okularnicols, deutlicher wird aber die Erscheinung mit einer dichroskopischen Lupe als Okular. Die letztere Beobachtungsart ist aber, weil das eine Bild nicht farbenfrei ist, nicht so einwandfrei. Man vermeidet diesen Fehler am besten, wenn die beiden Lupenbilder sich erstrecken in der Richtung der Gitterstriche (weil die metallfreien schmalen Zwischenstreifen dann kein Spektrum geben, wie man beim Gebrauch sofort übersieht).

30. Die Silberzerstäubungen zeigen in der Nähe der uns interessierenden Stellen breite, wie mit einem Pinsel hingewischte Partien, welche eine Art depolarisierende Wirkung

ausüben (Reflexion an kleinen Metallnadeln?). Diese sind sehr störend, wenn man beurteilen will, ob man an den in Betracht kommenden Stellen, falls linear polarisiertes Licht auffällt, durch Drehen des Analysators wieder vollständige Dunkelheit herstellen kann, wenn man also die Frage beantworten soll, ob das durchgegangene Licht linear polarisiert ist. Will man mit nahezu gleichfarbigem Licht beobachten, so macht sich wegen der geringen Helligkeit dieser Übelstand doppelt bemerkbar.

31. Ich glaube zwar, an vielen Stellen wieder vollständige Dunkelheit durch den Analysator erreicht zu haben (vgl. aber § 2); ich habe ferner in rotem Licht da, wo einmal deutliche Farbenänderung eintrat, auch konstatieren können, daß das eine Bild dunkler war als das andere, und zwar immer im richtigen Sinne. Es schien mir aber doch wünschenswert, dieselbe Erscheinung auch mit anderen Metallen zu erhalten, zumal der Dichroismus des Silbers in Betracht kommen könnte.

Es ist mir dies in sehr gut ausgesprochener Weise gelungen in einer Anzahl Partien von Messingzerstäubungen; ferner bei Gold und endlich bei Eisen (dünnster Unruhstahl oder Bolometerdraht von ca. 0,03 mm).

Da ich Platin ausführlich kannte, da dieses Metall mir gerade in den besten Präparaten keinen deutlichen Einfluß der Farbe gezeigt hatte und da die störende Depolarisation bei demselben kaum vorkommt, so erschien es mir besonders wichtig, auch bei diesem Metalle noch zu prüfen, ob sich nicht Gitter herstellen ließen mit klar ausgesprochenem Unterschied gegen die Wellenlänge.

Systematische Versuche ergaben als Bedingung:

a) zwischen zwei Glasplatten; obige Batterie; 25 Windungen der erwähnten Drahtspule; 5 mm Schlagweite; Platin-draht 0,04 mm Durchmesser, 5 cm zerstäubt.

b) offen zerstäubt (in Luft oder Kohlensäure) gibt unter im übrigen denselben Bedingungen wie oben bisweilen bei 5, bei 7 und bei 10 mm Schlagweite Stellen, welche die Farbdifferenzen zeigen.

c) Dünnere Platindrähte mit geringerer Entladungsenergie zerstäubt, geben noch etwas bessere Resultate; z. B. Draht

von 0,02 mm Durchmesser, 3 cm zwischen Platten zerstäubt mit 4 bis 6 Flaschen und 3 bis 6 mm Funkenlänge. Mit Verminderung der Entladungsenergie treten caeteris paribus die Gitterwirkungen, mit Vermehrung derselben die Farbenunterschiede zurück.

Ich habe, namentlich nach Bedingungen a und c, Platinpräparate erhalten, welche die Unterschiede (bräunlich \perp , bläulich \parallel) wenn auch nicht so ausgesprochen wie die organischen Präparate, aber doch klar und gut zeigen und an den so ermittelten Stellen in rotem Licht Helligkeitsdifferenzen aufweisen. Ich habe ferner an einer großen Anzahl von Zerstäubungen verschiedener Metalle und an sicher weit über zweihundert Stellen derselben übereinstimmend das gleiche Verhalten gefunden.

Immerhin wäre es nicht ausgeschlossen, daß die geringen Farbdifferenzen, welche ich beobachtet habe, von einem Dichroismus des Metalles herrührten, der so schwach ist, daß ein Beobachter, den die Erscheinung nicht direkt interessierte, ihn als unsicher betrachtete und deshalb lieber nicht angab. Was mir dagegen spricht, ist der Umstand, daß die Farbdifferenzen gerade um so deutlicher hervortreten, je mehr man sich von denjenigen Bedingungen der Herstellung entfernt, bei denen starke Doppelbrechung zu erwarten wäre; und der weitere schon früher erwähnte, daß in den dickeren Metallschichten, die in der Mitte liegen, Doppelbrechung fehlt. Es ist mir aber nicht gelungen, die Farbenunterschiede in der obigen Art stärker zu bekommen. Ich vermute den Grund darin, daß man, um überhaupt ausreichende Zerstäubung zu erhalten, den Draht hoch über seine Schmelztemperatur erhitzen muß und damit wahrscheinlich schon auf die Bildung immer wesentlich gleicher Teilchen angewiesen ist.

Aus dieser Anschauung entsprang der folgende entscheidende Versuch. Ein Draht (0,06 mm dick) einer Legierung von 33 Proz. Gewichtsprozenten Platin mit 67 Proz. Silber wurde zwischen dicken Glasplatten zerstäubt und die Zerstäubung mit Salpetersäure behandelt. Es blieb dann ein Platingitter zurück, welches für Schwingungen, die senkrecht zu den Stäbchen stehen, gelblich (dies scheint die Durchlaßfarbe *sehr dünner* Platinschichten zu sein), für die denselben parallelen

Schwingungen grünlich-bläulich erschien. Das Bild erinnert durchaus an dasjenige der mit Metall imprägnierten Pflanzenfasern. Wenn ich noch hinzufüge, daß man an diesem Platingitter auch im reflektierten Licht wesentlich die Ergänzung zum durchgegangenen beobachtet, so scheinen mir damit auch die letzten Zweifel beseitigt zu sein, daß wir es in den metallgefärbten organisierten Präparaten, ebenso wie in den Metallzerstäubungen mit derselben Erscheinung, nämlich mit Hertzschen Gittern zu tun haben.

Straßburg i. E., 13. Dezember 1904.

(Eingegangen 25. Dezember 1904.)

Fig. 1a.
Pinus silvestris
Tangentialer Längsschn.



Fig. 1b.



Fig. 2a.

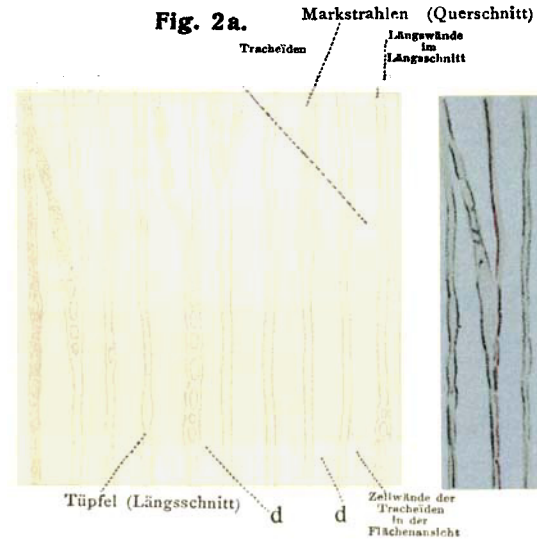
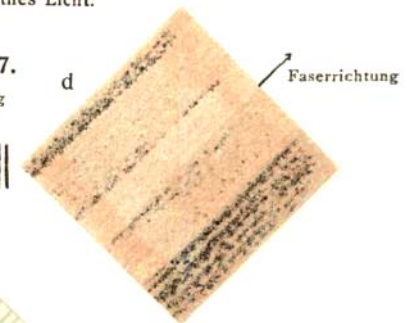
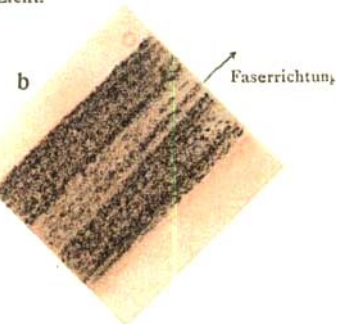
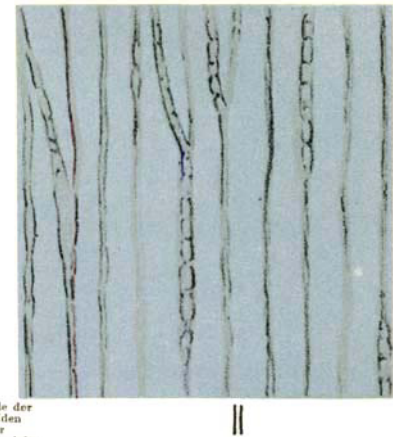


Fig. 2b.



Die Gitterstruktur, senkrecht zu den Fasern, wie die Fig. e andeutet, tritt erst heraus im reflectirten Bilde, wo die Mitte hell ist für Schwingungen \perp zur Längsrichtung. Die dunklere bei $\eta\eta$ anfangende Umgebung tritt erst bei etwas geänderter Höhe des Tubus deutlich auf.



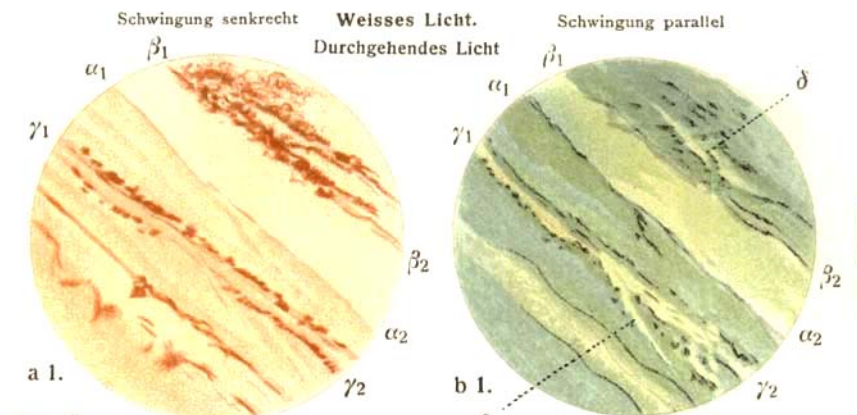


Fig. 7.

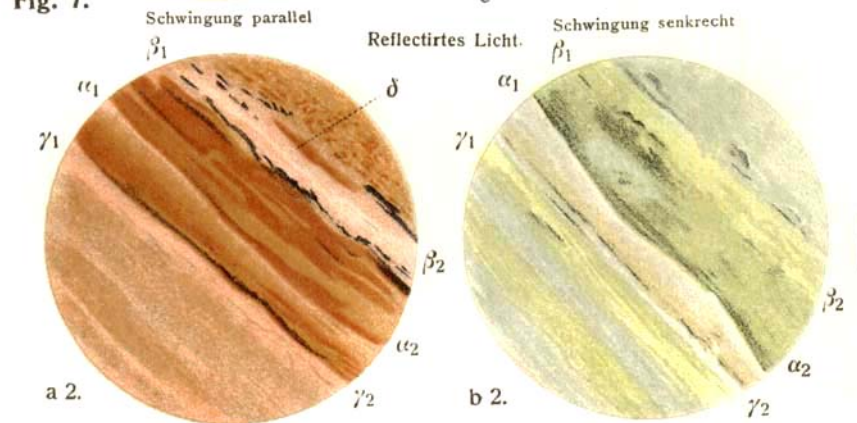


Fig. 8.

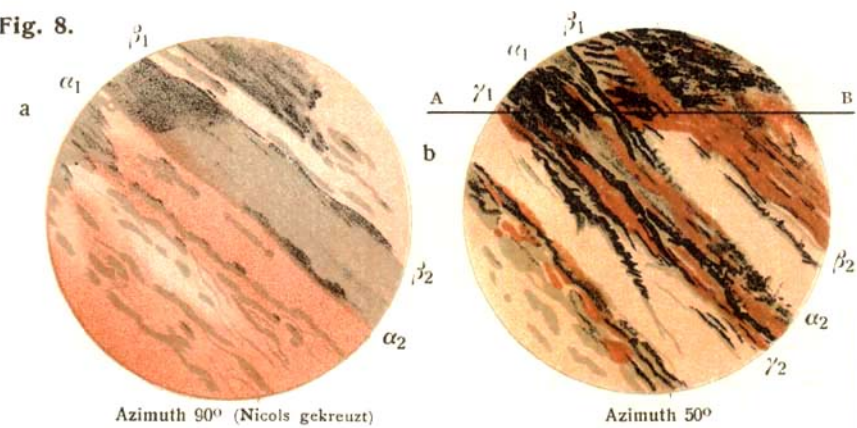


Fig. 9.

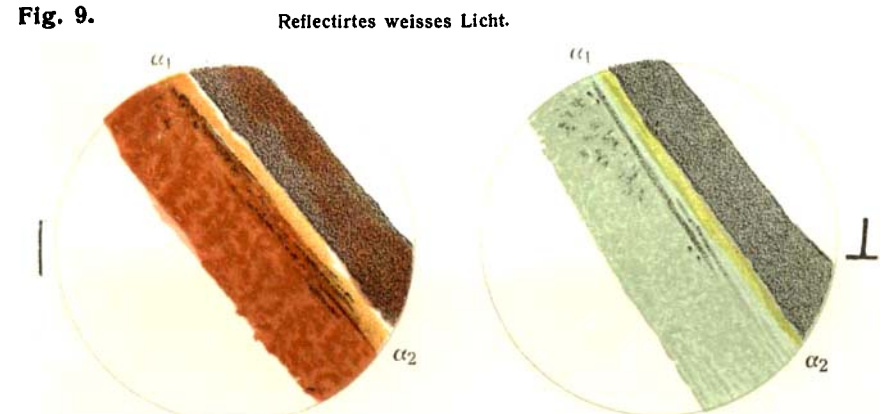
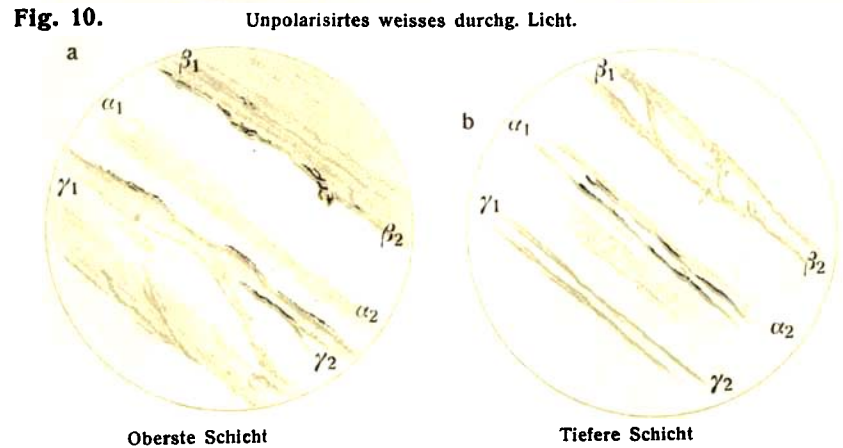
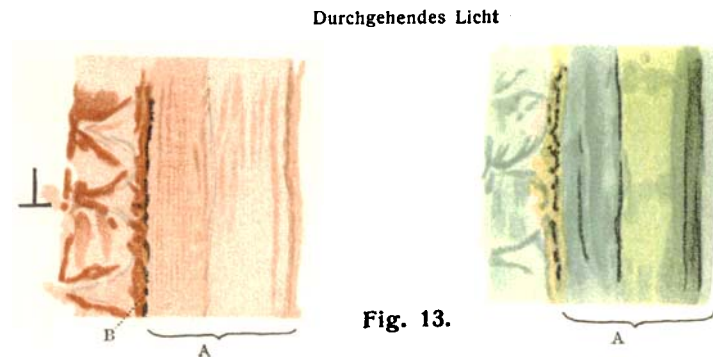


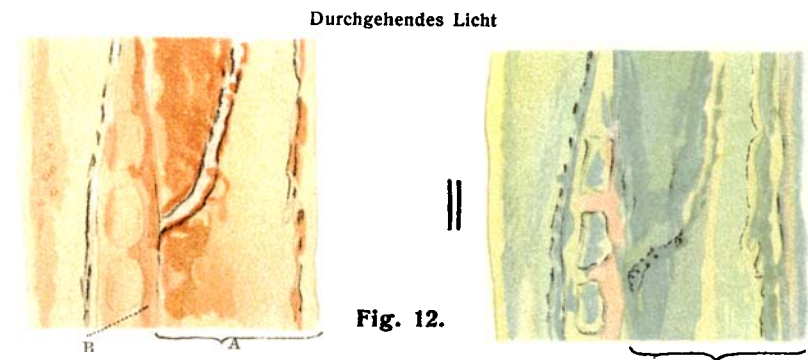
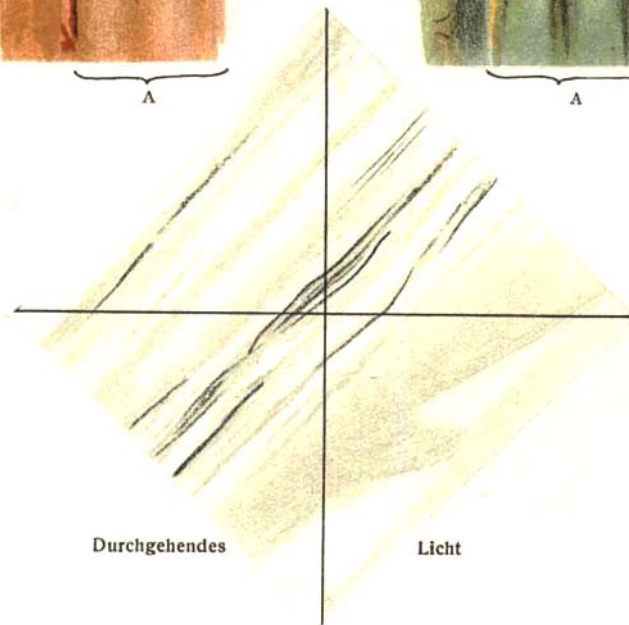
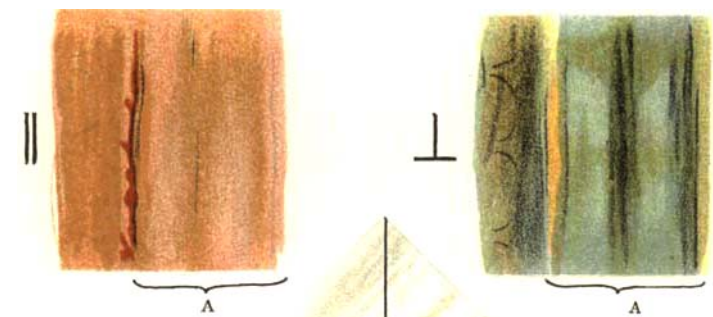
Fig. 10.



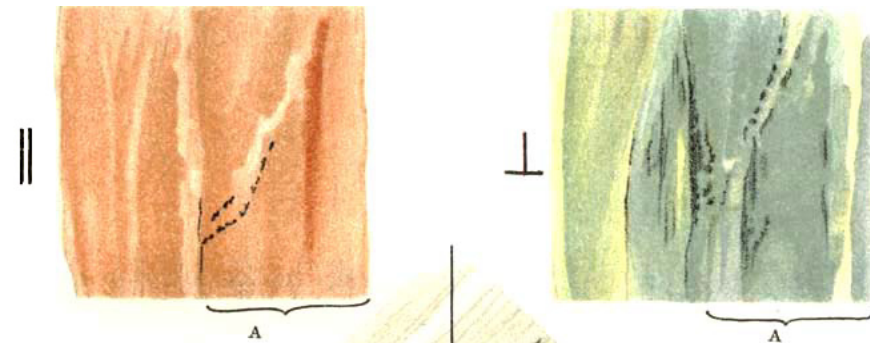
F. Braun.



Tiefere Schicht (Lichtquelle Auerbrenner.)
Reflectirtes Licht.



Oberste Schicht (Lichtquelle Auerbrenner.)
Reflectirtes Licht.



Praep. A. 3.

Fig. 14.

Schwingungen in
beiden Bildern
parallel den Fasern.

