

- Nowikoff, M., Einige Bemerkungen über das Medianauge u. die Frontalorgane von *Artemia salina*. Zeitschr. f. wiss. Zool. Bd. 81.
- Parker, G. H., The compound eyes in Crustaceans. Bull. Mus. Harvard College. Vol. 21. 1891.
- Richard, J., Recherches sur le système glandulaire et sur le système nerveux des Copépodes libres d'eau douce. Ann. sc. nat. sér. 7. T. 102. 1892.
- Strauß, E., Das Gammaridenauge. Ergeb. d. D. Tiefsee-Exped. Bd. 20. 1904.
- Zograff, N. v., Das unpaare Auge, die Frontalorgane und das Nackenorgan einiger Branchiopoden. Ref. Zool. Centralblatt. 1904.

#### 4. Über eine auf die Struktur des Echinodermenskelettes gegründete neue Methode zur Herstellung von polarisiertem Lichte<sup>1</sup>.

Von Dr. Siegfried Becher,  
Privatdozent und Assistent am Zoologischen Institut in Gießen.

(Mit 8 Figuren.)

eingeg. 17. Januar 1914.

Die Skeletstücke der Echinodermen sind nicht kompakt, sondern stellen bekanntlich ein überaus enges<sup>2</sup> Gerüstwerk feinsten Balken dar. Sie sind daher für gewöhnliches Licht undurchsichtig, auch dann, wenn die organische Weichsubstanz zwischen den Balken durch Eau de Javelle, Kalilauge oder dgl. entfernt wird. Jeder Lichtstrahl wird beim Eintritt und Austritt aus einem der Balken des maschigen Skelettes gebrochen und reflektiert und damit abgelenkt. Das wiederholt sich an jeder weiteren Masche, so daß bei genügender Dicke kein Lichtstrahl geradlinig durchtreten kann und ein solches Stück wegen der Zerstreuung des eintretenden Lichtes nach allen Richtungen völlig undurchsichtig erscheint, obwohl jeder Balken für sich genommen vollkommene Durchsichtigkeit besitzt. Diese Undurchsichtigkeit bleibt bestehen, solange eine Brechung an den Balken stattfindet, solange also ein Unterschied im Brechungsindex von Balkensubstanz und Zwischenraumfüllung vorhanden ist.

Nun bestehen aber die Balken des Echinodermenskelettes aus kristallinischem kohlen-sauren Kalk, aus Kalkspat, der bekanntlich doppelbrechend ist und jeden auffallenden Lichtstrahl in zwei Strahlen zerlegt, in den ordinären und den extraordinären, die beide linear polarisiert sind, wobei die Polarisations Ebenen aufeinander senkrecht stehen.

<sup>1</sup> Da ich die Veröffentlichung der vorliegenden Mitteilung um mehr als ein Jahr verschieben mußte, so möchte ich darauf hinweisen, daß dieselbe die Grundlage gebildet hat zu einer Patentanmeldung, die bereits am 21. I. 1913 erfolgte. Als erste gedruckte Bekanntmachung über meine Arbeiten hat die Veröffentlichung der Patentanmeldung im Reichsanzeiger vom 23. VI. 1913 zu gelten.

<sup>2</sup> Als Anhaltspunkt zur Beurteilung der Größenordnung der Balkenstruktur mag die Angabe dienen, daß in den benutzten Skeletstücken der Abstand benachbarter Skeletbalken mit Einschluß einer Balkendicke im Mittel etwa 0,01—0,05 mm beträgt. Über die Balkenstruktur des Echinodermenskelettes wird demnächst eine ausführliche Abhandlung aus dem Gießener Zoolog. Institut erscheinen.

Für den ordinären Strahl (der nach Fresnel stets senkrecht zur optischen Achse schwingt) beträgt der Brechungsindex in jeder Fortpflanzungsrichtung etwa 1,658 (Na-Licht bei  $18^\circ$ ). Für den extraordinären Strahl aber ist diese Größe je nach der Richtung verschieden: senkrecht zur optischen Achse beträgt sie ( $n_D 18^\circ$ ) nur 1,486, nimmt aber mit abnehmender Neigung der Strahlenrichtung zur optischen Achse zu, um bei Parallelität mit dieser gleich dem Index des ordinären Strahles zu werden, so daß in dieser Richtung keine Doppelbrechung stattfindet. Während ein Gerüstwerk aus durchsichtigen Balken einer einfachbrechenden Substanz bei Durchtränkung mit einer Flüssigkeit von gleichem Brechungsindex durchsichtig wird, wäre es bei einem doppelbrechenden entsprechend gebauten Körper unmöglich auf diesem Wege Durchsichtigkeit zu erreichen, wenn die optische Achse in den verschiedenen Bälkchen verschiedene Richtung aufwies. Durchtränkte man z. B. mit einer Flüssigkeit vom Brechungsquotienten des ordinären Strahles, so würde ein beliebiger Strahl beim Auftreffen auf den ersten Balken in zwei zerfallen, von denen der ordinäre ohne Brechung austreten könnte, während der extraordinäre schon beim Austritt aus dem ersten Balken Ablenkung erfahren müßte. Der unabgelenkte ordinäre Strahl würde aber den nächsten Balken nicht ohne weiteres als ordinärer Strahl passieren können; denn die alte Schwingungsrichtung könnte zu der neuen anders gerichteten optischen Achse nicht wieder senkrecht stehen. Es würde also Zerlegung in eine ablenkbare extraordinäre und eine durchgehende ordinäre Komponente stattfinden, welche letztere aber an den folgenden Balken durch weitere Zerlegung immer mehr geschwächt und endlich praktisch vernichtet werden müßte. Dagegen würde in unserm Beispiel der am ersten Balken entstandene ordinäre Strahl auch in den folgenden seinen Charakter beibehalten und ungleich dem durch fortgesetzte Brechung und Reflexion zerstreuten extraordinären Strahl glatt durchgehen, wenn die Richtung der optischen Achse für alle Balken eine einheitliche wäre.

Diese Bedingung ist für die doppelbrechenden Skeletteile einiger Organismen und in besonders vollkommener Weise für die Kalkspat-harteile der Echinodermen (Seeigel, Seesterne, Schlangensterne, Seelilien und Holothurien) erfüllt. Die optische Achse dieses Kalkspats ist in den entwicklungsgeschichtlich einheitlich angelegten Skeletteilen im allgemeinen genau gleichgerichtet, trotz der ganz verschiedenen Richtung der einzelnen Balken des Gerüstwerkes.

Da der Kalkspat parallel zur optischen Achse für den extraordinären Strahl denselben Brechungsexponenten darbietet wie für den ordinären Strahl, nämlich 1,658, so kann man das Gerüstwerk des Echinodermenskelettes in dieser Richtung für alles natürliche Licht

dadurch durchsichtig machen, daß man die Lücken mit einer Flüssigkeit vom Brechungsindex 1,658 ausfüllt. In der Tat kommt bei Durchtränkung mit Monobromnaphthalin, dessen Brechungsexponent erst in der vierten Dezimale von dem genannten (für Na-Licht) abweicht, gute Lichtdurchlässigkeit zustande.

Für alle andern Richtungen aber tritt Doppelbrechung ein, und wegen der Verschiedenheit der Brechungsindices von ordinären und extraordinären Strahlen kann man das Skelet nur für einen von beiden, also höchstens für die Hälfte des Lichtes, durchsichtig machen. Durchtränken wir mit Monobromnaphthalin, so wird der (in jeder Richtung gleichstark brechbare) ordinäre Strahl ungebrochen durchgehen, weil für ihn das Skeletstück durch die Flüssigkeit vom gleichen Brechungsvermögen homogenisiert ist, während die extraordinären Strahlen wegen ihres abweichenden kleineren Index durch wiederholte Brechung und Reflexion vom geraden Weg abgelenkt und zerstreut werden. Ähnliches tritt ein, wenn wir durch eine Flüssigkeit von entsprechend geringerem Brechungsexponenten Homogenisierung für den extraordinären Strahl herbeiführen. Dann wird nun dieser durchtreten und die Undurchsichtigkeit für den ordinären Strahl bestehen bleiben. In beiden Fällen aber wird das durchtretende Licht polarisiert sein; denn sowohl der ordinäre als auch der extraordinäre Strahl führen nur linear polarisiertes Licht.

Daraus ergibt sich die Möglichkeit, aus Echinodermenskeletstücken Polarisatoren herzustellen, in denen die optische Isolierung des polarisierten Lichtes der ordinären bzw. extraordinären Strahlen nicht wie beim Nicolschen Prisma durch Totalreflexion oder wie im Turmalin durch Absorption erfolgt, sondern durch Zerstreung (Brechung und Reflexion) in einem maschigen Gewebe, das durch Durchtränkung mit Flüssigkeiten oder Harzen von entsprechendem Brechungsindex für die andre Lichthälfte durchsichtig gemacht wird. Nach der Art der Vernichtung der einen Lichthälfte kann man von Zerstreungspolarisatoren reden.

Zur Herstellung solcher Zerstreungspolarisatoren schleift man am besten aus den Skelettstücken Platten aus, in deren Ebene die optische Achse gelegen ist, so daß bei senkrechtem Lichteinfall der Unterschied der Brechungsexponenten der beiden senkrecht zueinander polarisierten Strahlen ein Maximum (1,658—1,486) wird. Da die optische Achse eine bestimmte Orientierung zu der äußeren Gestalt der Skeletteile aufzuweisen pflegt<sup>3</sup>, so ist es leicht die empfehlenswerteste Schliffrichtung

<sup>3</sup> Die weitgehende Gültigkeit dieser bemerkenswerten Regel wird in einer demnächst erscheinenden Arbeit aus dem Gießener Zool. Institut auf breiter Basis dargetan werden.

zu finden. Je nach der Dichte des Balkenwerkes genügt eine Plattendicke von 1—2 mm, um vollständige Polarisation zu erzielen. Als Durchtränkungsmittel empfiehlt sich für die Durchlassung des ordinären Strahles Monobromnaphthalin; für das Minimum des extraordinären Strahles kann man mit sehr verschiedenen Mitteln homogenisieren, z. B. mit Mischungen von Rizinusöl und Immersionscedernöl (im Verhältnis von etwa 5:1) oder noch besser mit einer Mischung von Terpeneol (22 Teile) und Methylsalizylat (1 Teil).

Es ist nicht gleichgültig, ob der ordinäre bzw. extraordinäre Strahl durchgelassen bzw. vernichtet wird. Das liegt daran, daß der einachsige Kristall für den ordinären Strahl in jeder Richtung denselben Brechungsindex darbietet, während eine solche Übereinstimmung bei den extraordinären Strahlen nur für diejenigen zutrifft, die gleiche Neigung zur optischen Achse haben. Homogenisieren wir also für den ordinären Strahl, indem wir mit Monobromnaphthalin durchtränken, so wird unser Skelettstück für ordinäre Strahlen in jeder Richtung durchlässig werden. Wählen wir umgekehrt ein Durchtränkungsmittel mit dem kleinsten Brechungsexponenten des extraordinären Strahles, so wird Übereinstimmung der Brechungsindices zwischen Skelett und Infiltrat nur in Richtung senkrecht zur Achse vorhanden sein. Lassen wir also ein räumliches Lichtbüschel von hemisphärischer Ausdehnung auf eine so präparierte Platte fallen, so wird doch nur ein flächenhaftes Büschel (von 180° Ausdehnung) austreten, denn da nur die Ebene eines Meridianes der Halbkugel des Büschels auf der optischen Achse senkrecht stehen kann, so werden nur die Strahlen, die in dieser Ebene liegen, das Skelettstück ohne Brechung und Reflexion durchsetzen. Wir kommen also zu dem eigenartigen Resultat, daß die Skelettstücke bei Durchtränkung mit einem Mittel vom kleinsten Brechungsindex der extraordinären Strahlen aus jedem Punkte nur flächenhafte und zur Achse senkrechte Lichtbüschel durchtreten lassen, obwohl mit körperlichen Büscheln beleuchtet wurde.

Man durchblickt die vorliegenden Verhältnisse am klarsten, wenn man die Strahlenindexflächen zu Hilfe nimmt. Diese Fläche erhält man, wenn man von einem Punkte aus auf geraden Linien nach allen möglichen Richtungen hin die zu diesen Richtungen gehörenden Werte der Brechungsindices der Strahlen aufträgt. Für einen isotropen Körper, also z. B. unsre Durchtränkungsmittel, stellt die Strahlenindexfläche eine Kugelfläche dar, dessen Radius den Wert des Brechungsverhältnisses angibt. Für den Kalkspat bekommen wir dagegen eine zweischalige Fläche, weil für jede Richtung zwei Brechungsindices, einer für den ordinären und einer für den extraordinären vorhanden sind. Der zu den ordinären Strahlen gehörige Teil der Gesamtfläche ist eine Kugel

— mit gleichem Brechungsindex für alle Richtungen —, dazu kommt aber noch ein gestrecktes Rotationsovaloid<sup>4</sup> für den extraordinären Strahl, das jene Kugel in den Schnittpunkten der optischen Achse berührt, sonst aber allseitig von ihr umschlossen wird (Fig. 1).

Wenn wir feststellen wollen, für welche Richtungen Gleichheit der Brechungsindices, also Durchsichtigkeit besteht, so brauchen wir nur die Strahlenindexflächen von unsrer Skeletsubstanz und dem Durchträngungsmittel um einen Punkt zu konstruieren. Die Schnittlinien der

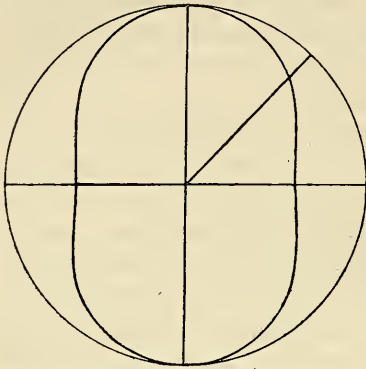


Fig. 1. Strahlenindexfläche eines negativ einachsigen Kristalls. Der senkrechte Durchmesser repräsentiert die optische Achse, die stärker ausgezogene Kurve den Schnitt der Strahlenindexfläche des außerordentlichen Strahles mit der Zeichenebene. Die Kurve ist ein der Lemniskate verwandtes Oval. Die Indexfläche des ordentlichen Strahles ist die Kugel, die die Rotationsfläche der Lemniskate in den Enden der Achse tangiert. Die Entfernungen der Kurvenpunkte vom Mittelpunkt geben die Brechungsexponenten der in der Verbindungslinie beider laufenden Strahlen. Die kurze Achse der Lemniskate gibt uns den kleinsten Brechungsexponenten des extraordinären Strahles. Der Unterschied der Brechungsindices ist übertrieben.

Flächen geben dann (vom Mittelpunkt aus) die Richtungen an, in denen keine Brechungen stattfinden, so daß Lichtstrahlen ungehindert passieren können. Nun ist klar, daß die Kugelindexfläche des Durchträngungsmittels mit der Kugelfläche für den ordinären Strahl völlig zusammenfällt, wenn beide einen Radius haben, der dem gleichen Brechungsindex entspricht. Dann haben wir die Durchsichtigkeit nach allen Richtungen. Dagegen wird eine kleinere Kugelindexfläche von einem Mittel geringerer brechender Kraft nur das Rotationsovaloid schneiden können. Wenn der Radius der Kugel = 1,486, also gleich dem geringsten Wert für den extraordinären Strahl wird, so tritt Berührung in dem Äquator der Rotationsfläche ein, also Durchsichtigkeit für alle Strahlen senkrecht zur Achse, aber für keine andern.

Diese Betrachtungsweise läßt sich übrigens nur für die beiden Grenzfälle des Zusammenfallens mit dem größten oder kleinsten

<sup>4</sup> Die Fläche wird durch die Formel ausgedrückt  $\frac{x^2 + y^2}{e^2} + \frac{z^2}{o^2} = (x^2 + y^2 + z^2)^2$ , wenn  $o$  und  $e$  den größten bzw. kleinsten Durchmesser angeben. Bequemer ist die Formel in Polarkoordinaten, von denen uns der Radiusvector  $r$  gleich die Größe des Brechungsexponenten angibt:  $r^2 = \frac{\cos^2 \varphi}{o^2} + \frac{\sin^2 \varphi}{e^2}$ . Die erzeugende Kurve der Rotationsfläche ist nicht eine Ellipse mit den Achsen  $o$  und  $e$ , sondern eine zugehörige Fußpunktskurve, ein lemniskatenähnliches Oval.

Brechungsindex durchführen. Hat der Brechungsexponent der Durchtränkungsflüssigkeit einen mittleren Wert, so würde uns unsre Konstruktion als Schnittlinie von Kugel und Ovaloid zwei symmetrisch liegende Kreise geben. Die Verbindungslinien dieser Kreise mit dem Centrum geben uns dann zwar alle Richtungen für Gleichheit der Brechungsindices, indessen zeigt eine genauere Analyse, daß trotzdem in diesen Richtungen keine Durchsichtigkeit herrscht. Es liegt das daran, daß die Strahlen trotz der Gleichheit der Brechungsindices gebrochen und zerstreut werden. Die bisher stillschweigend gemachte Voraussetzung, daß Gleichheit der Brechungsindices für die Strahlen

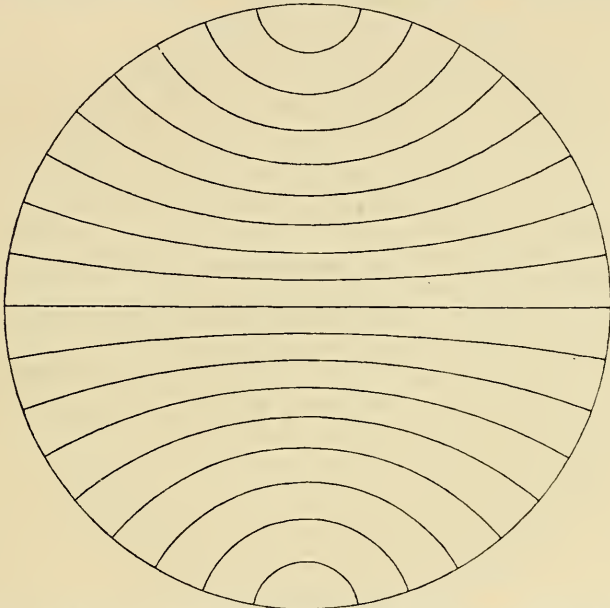


Fig. 2 gibt in winkeltreuer stereographischer Projektion die Schwingungsrichtungen der Strahlen eines Lichtbündels von halbkugelliger Ausdehnung, das eine für den ordinären Strahl durchlässige polarisierende Platte durchsetzt hat. Alle Schwingungsrichtungen sind senkrecht zur Achse, liegen also auf Parallelkreisen (die von  $10$  zu  $10^\circ$  ausgezeichnet sind).

Fortfall der Brechung mit sich brächte, trifft zwar für die Grenzfälle, nicht aber allgemein zu. Ich habe allerdings gefunden, daß man dem Problem durch Einführung der Indexflächen für die Wellennormalen eine elegante Wendung geben kann, doch erfordert auch dann noch die weitere Durchführung des Problems die Heranziehung der Theorie der Reflexion an doppeltbrechenden Medien, die sich bekanntlich sowohl in der ursprünglichen Form Neumanns als auch auf dem Boden der Maxwell'schen elektromagnetischen Lichttheorie nicht ohne einigen mathematischen Aufwand geben läßt. In der vorliegenden elementaren

Darstellung muß daher von einer vollständigen Analyse der Durchsichtigkeitsverhältnisse abgesehen werden. Ich werde die vollständige Theorie der Erscheinungen an anderer Stelle ausführlich entwickeln.

Um die Vollkommenheit oder Unvollkommenheit der Auslöschung beurteilen zu können, die sich mit Polarisatoren erreichen läßt, muß man die Schwingungsrichtung der einzelnen Strahlen in Betracht ziehen, die in den körperlichen oder flächenhaften Büscheln von einem Polarisator durchgelassen werden. Wenn wir der Ketteler-Rayleighschen (oder der Fresnelschen) Betrachtungsweise folgen (im Sinne der Maxwellschen Theorie also die Änderung der elektrischen Feldstärke

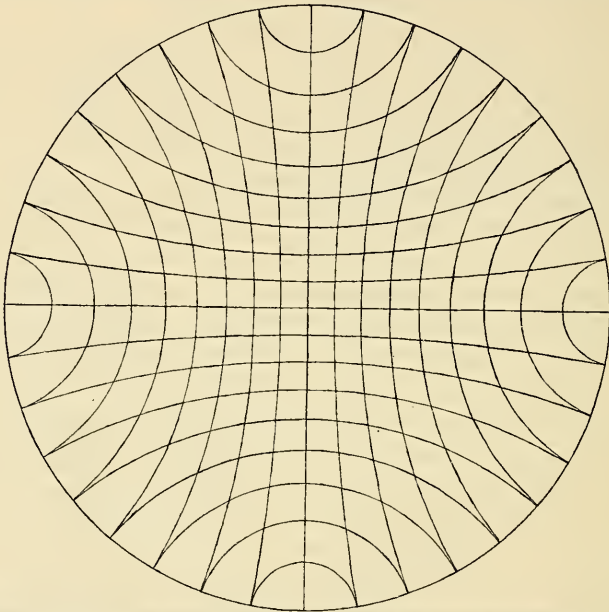


Fig. 3. Das in Fig. 2 in seinen Schwingungsrichtungen dargestellte Lichtbüschel trifft auf einen zweiten Polarisator, der gleichfalls nur ordinäre Strahlen durchläßt, aber um  $90^\circ$  gegen den ersten gedreht ist. Das zweite Kurvensystem gibt uns also an, für welche Schwingungsrichtungen der zweite Polarisator durchlässig ist. Da wo die Kurven sich senkrecht schneiden, kann gar kein Licht hindurchgehen, an den andern Stellen schräger Überkreuzung treten Komponenten der Lichtstrahlen durch. Völlige Dunkelheit wird also trotz der Kreuzung der Polarisatoren nur in der kreuzförmigen Zone eintreten, in der sich die Linien senkrecht schneiden.

(bzw. der elektrischen Verschiebung) als Lichtvector deuten), so schwingt der extraordinäre Strahl immer im Hauptschnitt, der ordinäre senkrecht dazu. Bei einem eine Halbkugel umfassenden Büschel kann man sich zu der optischen Achse als Kugelachse Breitenkreise und Meridiane konstruieren. Dann wird die Meridianrichtung an einem Punkt die Schwingungsrichtung (des Vectors der elektrischen Feldstärke) desje-

nigen extraordinären Strahles angeben, der mit dem zugehörigen Radius des Punktes zusammenfällt. Umgekehrt werden uns durch die Elemente der Breitenkreise die Schwingungsrichtungen der ordinären Strahlen verschiedener Apertur angegeben. Um diese Verhältnisse in einer Ebene darzustellen, wählt man am besten eine Projektion der Kugelfläche, bei der die Winkel ungeändert erhalten bleiben. Fig. 2 gibt uns die Schwingungsrichtungen eines halbkugelförmigen ordinären Büschels in winkeltreuer stereographischer Projektion.

Das Bild zeigt uns alle Schwingungsrichtungen, die durch einen für den ordinären Strahl durchlässigen Polarisator unsrer Art hindurch-

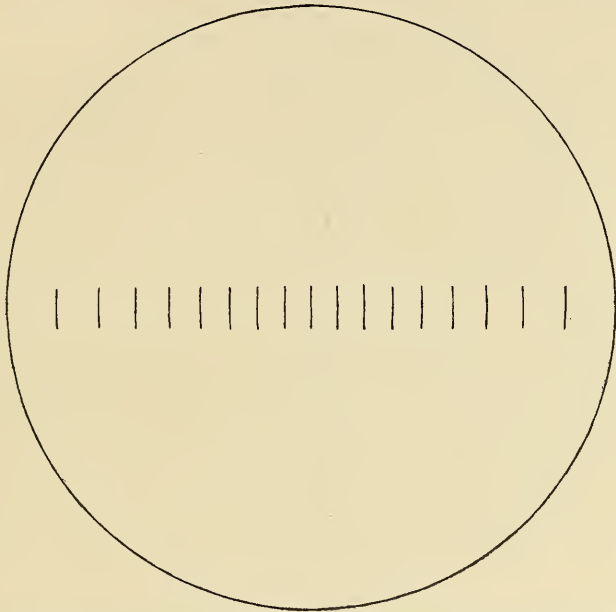


Fig. 4. In einem für den geringsten Brechungsindex der extraordinären Strahlen homogenisierten Polarisator werden von einem halbkugeligen Büschel nur die auf der optischen Achse senkrechten, zum Äquator zu laufenden Strahlen durchgelassen. Die Schwingungsrichtung derselben ist der Achse parallel.

treten. Kreuzen wir zwei solche Polarisatoren übereinander, so tritt Dunkelheit ein, aber nicht vollkommene. Denn wenn wir unsre Darstellung zu Hilfe nehmen und zwei um  $90^\circ$  gedrehte Schemata derselben Art übereinander zeichnen (Fig. 3), so ist ohne weiteres zu erkennen, daß eine senkrechte Durchschneidung der Schwingungsrichtungen nur in der Mitte und auf einem Kreuz eintritt, während in den dazwischenliegenden Partien die Schwingungsrichtungen nicht ganz senkrecht aufeinander stehen und demnach auch keine volle Auslöschung eintreten kann!



Anders bei unsern Polarisatoren, die für den extraordinären Strahl homogenisiert waren. Sie lassen nur zur Achse senkrechte ebene Büschel durch, so daß uns Fig. 4 ein Schema für alle zugehörigen, unter sich parallelen Schwingungsrichtungen darstellt. Kreuzen wir zwei derartige Polarisatoren (Fig. 5), so tritt vollkommene Auslöschung auf, nicht nur weil dann alle Schwingungsrichtungen aufeinander senkrecht stehen, sondern auch deshalb, weil die außerachsialen Strahlen des einen Polarisators den zweiten, der nur in dazu senkrechter Ebene liegende Büschel durchläßt, nicht passieren können. Nur der Axialstrahl könnte durchtreten, wird aber wegen seiner Schwingungsrichtung völlig ver-

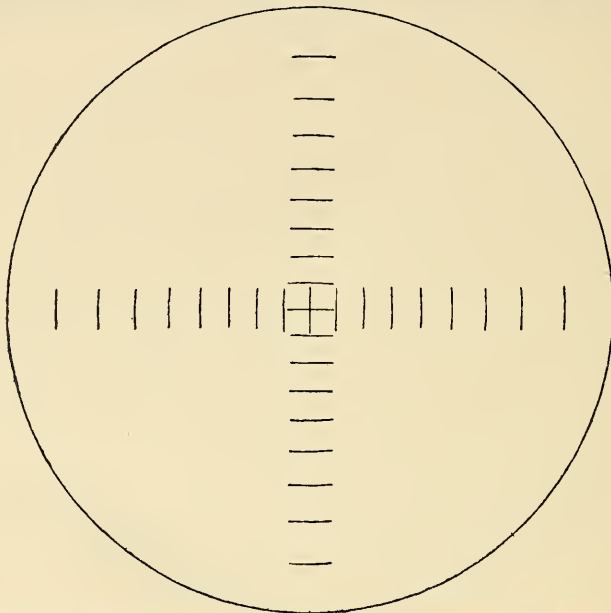


Fig. 5. Zwei der für den extraordinären Strahl durchlässigen Polarisatoren sind gekreuzt. Es zeigt sich, daß nur der Centralstrahl durchtreten könnte, daß aber auch dieser ganz ausgelöscht wird, weil seine Schwingungsrichtung, auf Grund deren er den ersten Polarisator durchsetzen konnte, gerade senkrecht ist zu der vom zweiten Polarisator durchgelassenen. Ungleichen Polarisatoren läßt das vorliegende Paar also überhaupt kein Licht durch.

nichtet. Daraus folgt, daß die für den extraordinären Strahl durchlässigen Zerstreungspolarisatoren theoretisch gestatten, vollkommene Auslöschung zu erreichen auch dann, wenn mit Büscheln großer Apertur beleuchtet wird. Dies ist bei allen andern Polarisatoren auch theoretisch nicht möglich.

Das Nicolsche Prisma läßt z. B. körperliche Büschel extraordinärer Strahlen durchtreten, die (meist) schiefe Lagerung zur optischen Achse

aufweisen (Fig. 6). Es ist klar, daß sich durch Kreuzen der Schwingungsrichtungen solcher Büschel niemals vollkommene Dunkelheit erreichen läßt. Vielmehr wird, wie unsre Fig. 6 zeigt, immer nur ein gebogener Streifen größte Dunkelheit aufweisen. Diese Betrachtung, die hier für ein einziges Büschel angestellt wurde unter der Voraussetzung, daß dasselbe die beiden Polarisatoren unmittelbar hintereinander oder wenigstens unter gleichen Winkeln durchsetzt, läßt sich ohne Schwierigkeit auf den komplizierteren Fall übertragen, in dem ein ganzes Gesichtsfeld von jedem Punkte Lichtbüschel aussendet. Wenn die Apertur dieser einzelnen Büschel keine zu große ist, tritt die Erscheinung des

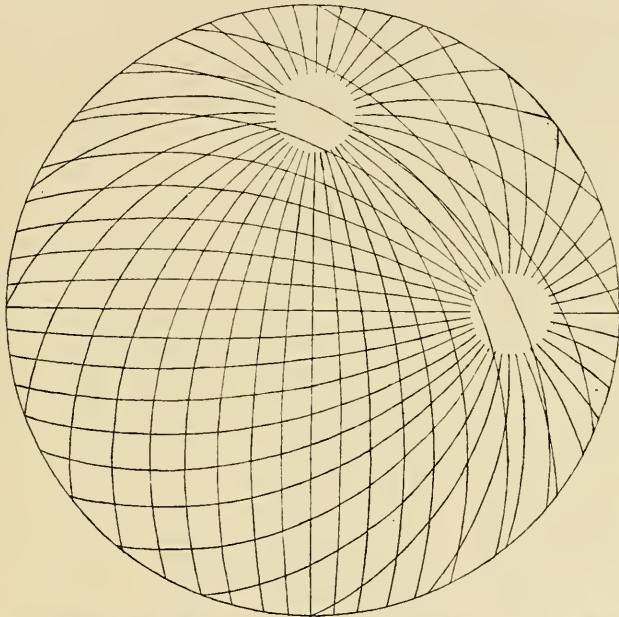
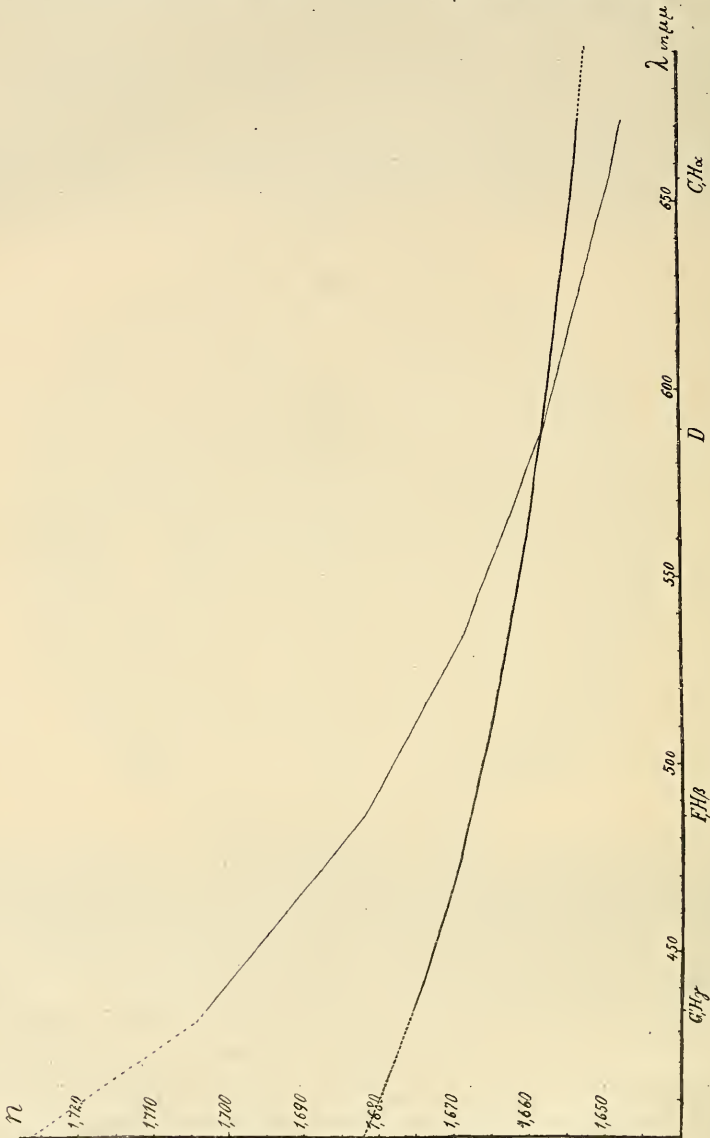


Fig. 6 stellt in stereographischer, winkeltreuer Projektion die Schwingungsrichtungen der Strahlen eines halbkugeligen Büschels dar, die durch ein oder ein damit gekreuztes Nicol durchtreten. In Wirklichkeit tritt bei einem Polarisator vom Nicoltyp nie ein halbkugeliges, sondern immer nur ziemlich eng begrenzte räumliche Büschel (von  $42-30-7^\circ$ ) durch. Es ist angenommen, daß die optische Achse etwa  $64^\circ$  gegen die Achse geneigt ist (wie das beim gewöhnlichen Nicol der Fall ist). Man erkennt, daß senkrechte Kreuzung der Schwingungsrichtungen, also völlige Verdunkelung, nur auf einem durch die Mitte nach den Achsenpolen zu laufenden Streifen vorhanden sein kann.

dunklen Streifens dabei im Gesichtsfeld deutlich zutage. Dieser dunkle Streifen im Gesichtsfeld gekreuzter Nicols ist von Landolt im Jahre 1876 entdeckt und von Lippich (1882) zu Messungen benutzt worden.

Zum Schluß soll noch der chromatischen Erscheinungen gedacht werden, die bei unsern Polarisatoren auftreten. Auf eine vollständige Darlegung derselben muß in der vorliegenden Mitteilung verzichtet

werden, doch ist einiges ohne weiteres verständlich. Wir haben bisher unbedenklich gesagt: wir homogenisieren für den ordinären oder den extraordinären Strahl, wir wählen eine Durchtränkungsflüssigkeit vom



gleichen Brechungsindex oder dgl. In Wirklichkeit ist diese Ausdrucksweise natürlich ungenau; denn sowohl die Durchtränkungs­masse als auch der Kalkspat besitzen nicht einen einzigen Brechungsindex, sondern eine ganze Reihe verschiedener Indices für das Licht verschie-

dener Wellenlänge. Und die Sache liegt so, daß diese verschiedene Brechbarkeit oder Dispersion beim extraordinären und beim ordinären Strahl nicht übereinstimmt mit der Dispersion der zugehörigen Durchtränkungs-

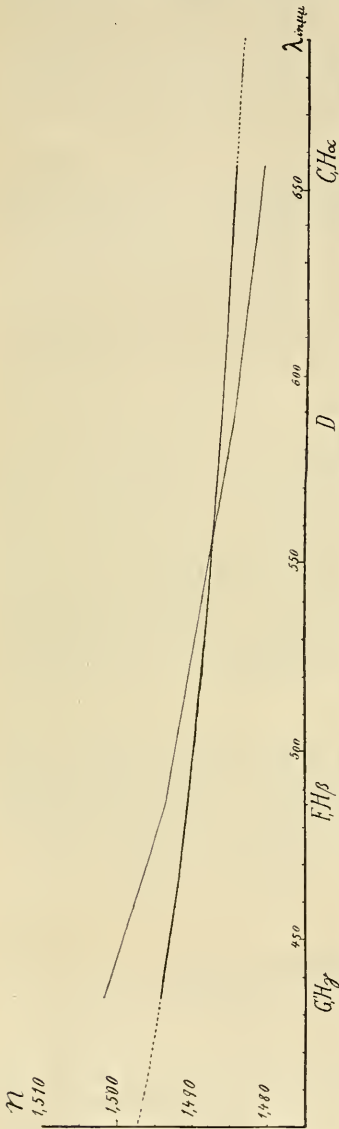


Fig. 7 (oben) u. 8 (unten). Dispersionkurven des Kalkspats (stark ausgezogene Kurven) und von Flüssigkeiten von ähnlichem Brechungsindex (dünnere Linien). Als Abszissen sind die Wellenlängen  $\lambda$  in  $\mu\mu$ , als Ordinaten die zugehörigen Brechungsindices  $n$  aufgetragen. Fig. 7 gibt die Dispersion für den ordinären Strahl von Kalkspat und für Monobromnaphthalin; Fig. 8 für den extraordinären Strahl und für Carvenon. Zur Homogenisierung für den extraordinären Strahl wurde gewöhnlich ein andres Ölgemisch benutzt. Doch liegen die Verhältnisse ziemlich gleich. Die Zahlenwerte wurden den Tabellen von Landolt-Börnstein entnommen. — Man erkennt ohne weiteres, daß die Anschmiebung der Dispersionkurven von Kalkspat und dem geeigneten Homogenisierungsmittel beim extraordinären Strahl viel günstiger ist als beim ordinären.

mittel. Die Dispersion der verwendeten Flüssigkeiten ist vielmehr im allgemeinen größer.

Übereinstimmung und völlige Homogenisierung ist also streng genommen immer nur für eine einzige (beliebige wählbare) Wellenlänge zu erreichen, die andern Farben werden dann mehr oder weniger Abweichungen aufweisen und von unsern Polarisatoren nicht so vollkommen durchgelassen werden. Das diese Polarisatoren durchsetzende Licht wird also eine leichte Tönung in der Farbe erhalten, für die die Brechungsindices gerade vollkommen übereinstimmen. Das ist besonders deutlich, wenn man den ordinären Strahl hindurchtreten läßt; denn bei diesem sind die Unterschiede in der Dispersion gegenüber den zur Betracht kommenden Flüssigkeiten (Monobromnaphthalin) ganz besonders groß, so daß wirklich nur ein ziemlich enger Spektralbereich unzerstreut passieren kann — ähnlich wie in einem Christiansenschen Monochromatorgemisch (1884 und 1885).

ganz besonders groß, so daß wirklich nur ein ziemlich enger Spektralbereich unzerstreut passieren kann — ähnlich wie in einem Christiansenschen Monochromatorgemisch (1884 und 1885).

Dieser Umstand spricht wie die schon oben dargelegten unvollkommeneren Auslöschungsverhältnisse gegen die Durchlassung des ordinären Strahles. In der Tat liegen die Verhältnisse für den extraordinären Strahl unvergleichlich günstiger. Unsrer Figur 7 und 8 läßt erkennen, daß sich die Dispersionskurve der Durchtränkungsmittel derjenigen des extraordinären Strahles viel enger anschmiegt. Der Versuch zeigt auch, daß das von Polarisatoren dieser Art durchgelassene Licht völlig weiß erscheint.

Allerdings gilt das nur für das ganze durchtretende Licht. Wenn vollkommene Übereinstimmung der Brechungsindices für gelbgrünes Licht besteht, so ist auch die Abweichung für die roten Strahlen einerseits und die blauen andererseits nicht so groß, daß dieselben nicht unsern Polarisator durchsetzen könnten. Auch sie treten hindurch, nicht jedoch ohne wenigstens leichte Ablenkungen in ihrem Verlauf zu erfahren. Die Brechungen, die die kleinen Differenzen der Brechungsindices bedingen, reichen nicht hin, um diese Farben zu zerstreuen, aber sie erteilen doch diesen Strahlen kleine Ablenkungen. Da diese kleinen Ablenkungen auch für die verschiedenen Strahlen einer Farbe in dem komklizierten Maschenwerk zufällig verschieden sind, so können diese Strahlen für eine Bilderzeugung durch den Polarisator hindurch nicht in Frage kommen. Betrachtet man also einen Gegenstand, z. B. eine ferne Lichtquelle, durch den Polarisator, so sieht man denselben in der Farbe, für die wirklich vollkommene Übereinstimmung der Brechungsindices besteht und für die infolgedessen gar keine Störung des Strahlenverlaufes stattfindet.

Schon auf Grund dieser elementaren Betrachtungsweise läßt sich der praktische Anwendungsbereich unsrer Polarisatoren ungefähr bestimmen. Sie sind im allgemeinen ungeeignet für den subjektiven Gebrauch, da die durch sie gesehenen Bilder farbig erscheinen müssen, solange es nicht gelingt, eine Durchtränkungsmasse zu finden, die in ihrer Dispersion derjenigen des Kalkspats noch mehr parallel geht, als die bisher verwendeten.

Andererseits sind die neuen Polarisatoren überall da verwendbar, wo es sich darum handelt polarisiertes Licht zu isolieren, sie könnten also z. B. sehr gut als Analysatoren unter dem Tisch von Polarisationsmikroskopen angebracht werden. Ich habe mich überzeugt, daß man in bezug auf Vollkommenheit der Auslöschung ganz Vortreffliches erreicht. Die Lichtstärke ist etwas geringer als bei den hellsten Nicol-Typen.

Unangenehm für die Montierung ist die Durchtränkung mit einem flüssigen Medium. Es bestehen aber gute Aussichten dafür, daß sich der flüssige Einschluß durch einen später erstarrenden oder durch eine spätere Härtung umgehen läßt.

Von großem Vorteil gegenüber dem Nicol ist die geringe Höhe unsrer Polarisatoren. Man erreicht bei der für Mikroskope üblichen Beleuchtungsstärke mit Platten von ungefähr 2 mm Dicke vollkommene Auslöschung. Diese Dicke ist zudem ziemlich unabhängig von der Ausdehnung der Platte, während bei dem Nicol je nach der Konstruktion die Höhe das 2,8—3,7fache<sup>5</sup> der Dicke beträgt, so daß sie bei größerem Querschnitt sehr unbequem groß wird. Überhaupt liegt der eigentliche Anwendungsbereich unsrer Polarisatoren vielleicht dort, wo das Nicol nicht mehr angewendet werden kann, also bei Aufgaben, bei denen es sich um die Herstellung großer Flächen handelt, die nur polarisiertes Licht hindurchtreten lassen. Die Preise für Nicols von mehr als 1 qcm Fläche werden schon recht hoch, und bei mehr als 2 cm Dicke werden sie bald unerschwinglich. Dagegen lassen sich unsre Platten ohne Schwierigkeit zu größeren Flächen zusammensetzen, so daß beispielsweise eine Platte von 5 cm im Quadrat sich billig herstellen lassen würde.

Verwendbar zur Herstellung von Polarisatoren sind natürlich nur etwa größere Skelettstücke, wie man sie besonders bei Echiniden findet. Aber auch größere Marginalplatten von Seesternen usw. geben gute Resultate. In bezug auf die Größe sind wohl die riesenhaften Stacheln von *Heterocentrotus* das geeignetste Ausgangsmaterial, man findet viele Stacheln, aus denen sich Platten von 1 × 5 cm herausschleifen lassen. Platten von dem Querschnitt, der bei den Analysatoren von Mikroskopen gewählt zu werden pflegt, kann man aus einem solchen Stachel 10—20 herausschleifen. Natürlich muß man solche Stacheln wählen, die, wenn möglich, keine Eigenfarbe besitzen. Man findet bleiche *Heterocentrotus*-Exemplare, wahrscheinlich sind es diejenigen, die in tieferen Schichten des Meeres leben.

Die ausführliche Arbeit wird an anderer Stelle veröffentlicht werden.

### Verzeichnis der angeführten Schriften.

1884. Christiansen, C., Untersuchungen über die optischen Eigenschaften von fein verteilten Körpern. I. Mittheil., in: Ann. der Phys. u. Chem. N. F. Vol. 23. S. 298—306, mit 4 Textfig.

<sup>5</sup> Bei der am meisten gebrauchten Modifikation des Nicols, bei dem Prisma von Hartnack und Prazmowsky beträgt das Verhältnis von Länge zur Breite bei größtem Gesichtsfeld (41° 54') sogar 4,04, eine Zahl, die aber gewöhnlich auf Kosten des Gesichtsfeldes (35°) auf 3,51 verringert wird. Ersetzt man die Kittschicht eines derartigen Prismas durch eine dünne Luftschicht, so kann man die Länge bis auf das 0,831fache der Breite herabsetzen (Glansches Prisma). Dabei sinkt aber die Öffnung auf 7,9° so daß diese Polarisatoren am Ocularende von Instrumenten nicht mehr gebraucht werden können und sehr lichtschwach werden. Auch kommen an der Grenze der Luftschicht störende Reflexionen zustande. Vgl. Feußner (1884) und Grosse (1891).

1885. Christiansen, C., II. Mittheil., Ann. der Phys. u. Chem. N. F. Vol. 24. p. 439—446.
1879. Landolt, Das optische Drehungsvermögen organischer Substanzen. Braunschweig.
1882. Lippich, F., Über polaristrobometrische Methoden, in: Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien. Math.-naturw. Klasse. Bd. 85. 2. Abt. S. 268—326 u. 1 Taf.
1884. Feußner, K., Über die Prismen zur Polarisation des Lichtes, in: Zeitschr. f. Instrumentenkunde. Jahrg. 4. S. 41—50 u. 8 Textfig.
1891. Grosse, Über Prismen zur Polarisation des Lichtes, in: Verhandl. Gesellsch. deutsch. Naturf. u. Ärzte. 63. Versamml. 1890. II. Teil. S. 33—36.

## 5. Über die Enterocöltheorie.

Von Prof. Dr. H. E. Ziegler.

eingeg. 19. Januar 1914.

Als die Gebrüder Hertwig im Jahre 1882 ihre »Cölomtheorie« veröffentlichten, betrachtete man diese Lehre als ein neues Fundament für die ganze Morphologie der Tiere<sup>1</sup>. Auch ich war damals ein begeisterter Anhänger. Aber nach einiger Zeit erkannte ich, daß die Theorie in einigen Punkten nicht richtig ist<sup>2</sup>, und allmählich habe ich mich immer weiter von dieser Lehre entfernt, indem ich zu der Überzeugung kam, daß die Enterocölbildung kein palingenetischer, sondern ein cänogenetischer Vorgang ist. Als ich jetzt für das Handwörterbuch der Naturwissenschaften die Artikel über die Leibeshöhle und über den Stammbaum des Tierreichs bearbeitete<sup>3</sup>, habe ich mich von neuem mit diesem Problem beschäftigt, und will hier meine Auffassung darlegen.

Ich gehe davon aus, daß in fast allen denjenigen Tierklassen, in welchen die Divertikelbildung des Urdarms vorkommt, auch noch andre Bildungsweisen des Mesoderms beobachtet sind. Nur allein bei den Chaetognathen ist nur die Divertikelbildung bekannt.

Wenn nun das Mesoderm in einer Tierklasse manchmal als solide Masse sich vom Urdarm trennt und manchmal durch Ausstülpung vom Urdarm aus entsteht, so halten die Gebrüder Hertwig die letztere Bildungsweise unbedenklich für die ursprüngliche. Ich habe aber schon früher mehrmals (zuerst 1888) darauf hingewiesen, daß man auch die entgegengesetzte Meinung vertreten kann<sup>4</sup>. Der kompakte Mesodermstreifen kann palingenetisch sein, die hohle Anlage cänogenetisch. Es

<sup>1</sup> Oskar und Richard Hertwig, Die Cölomtheorie. Jenaische Zeitschrift. 15. Bd. 1882.

<sup>2</sup> H. E. Ziegler, Über den derzeitigen Stand der Cölomfrage. Verh. d. D. Zool. Ges. 1898. S. 21 u. f.

<sup>3</sup> Handwörterbuch der Naturwissenschaften. Artikel »Leibeshöhle«. 6. Bd. Jena 1913. S. 148—164 u. Artikel »Zoologie«, letzter Bd. 1914.

<sup>4</sup> H. E. Ziegler, Der Ursprung der mesenchymatischen Gewebe bei den Sclachiern. Archiv f. mikr. Anatomie. Bd. 32. 1888. S. 393. — Einige Beobachtungen zur Entwicklungsgeschichte der Echinodermen. Verh. d. D. Zool. Ges. 1896. S. 142. — Über den derzeitigen Stand der Cölomfrage. Verh. d. D. Zool. Ges. 1898. S. 21—24.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Zoologischer Anzeiger](#)

Jahr/Year: 1914

Band/Volume: [44](#)

Autor(en)/Author(s): Becher Siegfried

Artikel/Article: [Über eine auf die Struktur des Echinodermenskelettes gegründete neue Methode zur Herstellung von polarisiertem Lichte. 122-136](#)