

# Über die Refraktometrie optisch inhomogener Substanzen.

Von

Dr. R. Halben.

Privatdozent der Ophthalmologie in Greifswald.

---

Vortrag gehalten im Naturwissenschaftl. Verein für Neuvorpommern und Rügen in Greifswald am 8. XI. 05.

---

M. H. Die Prinzipien der Refraktometrie sind Ihnen allen geläufig. Sie wissen, dass alle älteren Methoden als umständlich und ungenau verdrängt sind durch das Verfahren den Brechungsindex aus dem Grenzwinkel der totalen Reflexion beim Übertritt von Licht aus einem optisch dichteren in ein optisch dünneres Medium zu bestimmen. Je mehr die optische Dichte des ersten Mediums die des zweiten übertrifft, um so kleiner darf der Einfallswinkel werden, ohne dass Licht in das zweite Medium eindringen kann. Den kleinsten Einfallswinkel, bei welchem noch gerade alles Licht von der Grenzfläche reflektiert wird, bezeichnet man als Grenzwinkel der Totalreflexion. Da für diesen Fall der Sinus des Ausfallswinkels, der dann ein Rechter ist, gleich 1 wird, so ist der relative Brechungsquotient der beiden Medien dann direkt gleich dem Sinus des Einfallswinkels, d. i. des Grenzwinkels. Sie kennen alle die auf diesem Prinzip beruhenden Refraktometer Abbe'scher und Pulfrich'scher Konstruktion, die die Firma Carl Zeiss in Jena in höchster Vollkommenheit ausführt. Beide Apparate gestatten bei sehr einfacher Hand-

habung den Brechungsindex von festen, flüssigen und plastischen Körpern mit einer bis in die 4. Decimale reichenden Genauigkeit zu bestimmen, solange eine optisch homogene Substanz in nicht gar zu geringer Menge zur Untersuchung vorliegt. Die Apparate finden in wissenschaftlichen und technischen Laboratorien ein weites Anwendungsgebiet, einmal zur Unterscheidung von chemischen Substanzen und zur Prüfung ihrer Reinheit und zweitens zur Konzentrationsbestimmung von Lösungen und Gemischen bekannter Componenten.

Damit Sie für den weiteren Gang der Darstellung Alle im Bilde sind, gestatten Sie mir, Ihnen wenigstens für das Refraktometer Abbe'scher Konstruktion, und zwar der Einfachheit halber nur für den Fall der Untersuchung im reflektierten Licht, kurz den Strahlengang zu rekapitulieren. Das

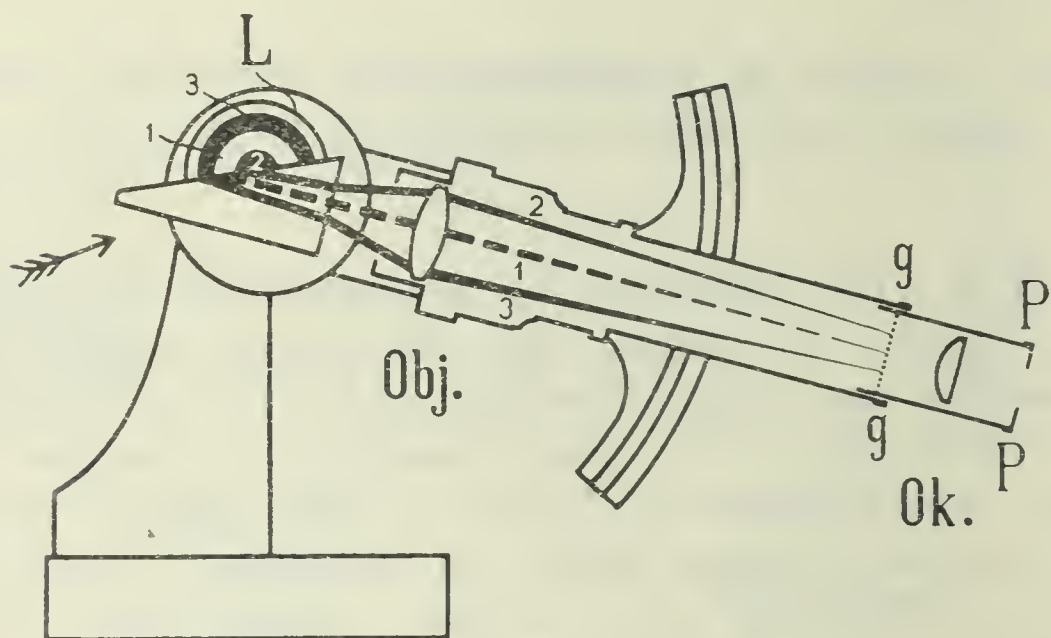


Fig. 1.

Licht tritt hier (cf. Fig. 1) in der Richtung des Pfeils in das Prisma ein und wird an der Hypothenusenfläche des Glasprismas, welcher die zu untersuchende Substanz fest aufliegt, unter verschiedenen Winkeln reflektiert; ein Teil des reflektierten Lichtes wird in das Fernrohr eindringen und zwar werden alle unter sich parallelen Strahlen, die ins Fernrohr eintreten, in der Brennebene des Objektivs  $gg$  zu scharfлинiger Vereinigung gebracht. Alle jene Strahlen, die unter einem Winkel, der kleiner ist als der Grenzwinkel der Totalreflexion auf die Grenzfläche zwischen Glas und Unter-



suchungssubstanz auffallen, werden in ihrer Energie gespalten. Ein Teil wird durch Brechung in die Untersuchungssubstanz eindringen und, um diesen Teil in seiner Intensität geschwächt, wird der Rest durch Reflexion ins Fernrohr gelenkt und in der Ebene *gg* hier zur Vereinigung gebracht (Strahl 3). Strahlenbündel von etwas grösserem oder kleinerem Reflexionswinkel werden etwas oberhalb oder unterhalb von diesem in der Ebene *gg* vereinigt. Alles Licht dagegen, das auf die Grenzfläche zwischen Glas und Substanz unter einem Winkel einfällt, der gleich dem Grenzwinkel der totalen Reflexion oder grösser ist, wird keinen Lichtverlust durch Brechung in die Substanz hinein erleiden, sondern in seiner vollen Intensität ungeschwächt reflectirt werden. (Strahl 1 und 2). Die Vereinigungslinien solcher total reflectierter paralleler Strahlenbündel (Strahl 1 und 2) in der Brennebene des Objectivs müssen also heller leuchten, als die durch Lichtverlust geschwächten, die ihre Entstehung der partiellen Reflexion verdanken. Entsprechend muss in dieser Ebene *gg* der untere Bezirk des Feldes weniger hell erscheinen als der obere, die Grenze zwischen dem oberen und unteren Feld muss die gerade Vereinigungslinie der unter dem Grenzwinkel aufgefallenen, total reflectierten Strahlen sein, die Grenzlinie der Totalreflexion. Fällt diese nun nicht in die Mitte des Feldes, so kann sie dahin gebracht werden durch Drehung des mittels einer Alhidade längs einer Kreisteilung gegen das Prisma drehbaren Fernrohrs bis zur Coincidenz seiner Axe mit der Richtung der aus dem Prisma austretenden Grenzstrahlen

Bei dieser Stellung wird die Grenzlinie in der Ebene *gg* gerade durch die Axe hindurchgehen. Die Axe ist markiert durch den Schnittpunkt eines mit dem Okular verbundenen Fadenkreuzes, das Grenzlinienfeld *gg* wird durch dieses Okular beobachtet. Das Fernrohr schliesst für gewöhnlich mit dem Okular ab. Die in Fig. 1 gezeichnete Verlängerung *PP* ist also fortzudenken. Bewegt man die Alhidade bei Benutzung homogenen Lichtes längs der Kreisteilung, so sieht man im Fernrohr ein Dunkelfeld und ein Hellfeld wandern, die mit scharfer horizontaler Grenzlinie aneinanderstossen. Man sistiert diese Bewegung, sobald die Grenzlinie genau durch

den Mittelpunkt des Fadenkreuzes geht, und kann dann den dieser Stellung und damit dieser bestimmten Grenzwinkelgrösse entsprechenden Brechungsindex an der Kreisteilung direkt ablesen. Will man gemischtes Licht, Tages- oder Gaslicht, benutzen, so bedarf es besonderer Kompensationsvorrichtungen, um die in Folge der Dispersion vielfarbig gesäumte Grenzlinie farblos zu machen. Solange es sich um homogene Untersuchungsportionen handelt, die das wirksame Feld der Prismenfläche völlig ausfüllen, ist, wie gesagt, die Einstellung höchst einfach, die Bestimmung höchst genau.

Anders und viel ungünstiger gestalten sich nun die Verhältnisse, sobald optisch inhomogene Substanzen in Betracht kommen, also solche, in denen der Brechungsindex von Punkt zu Punkt kontinuierlich oder diskontinuierlich, gesetzmässig oder regellos, sich ändert. Ein typisches Beispiel eines optisch inhomogenen Naturprodukts ist die Krystalllinse der Menschen und Tiere, und seit langen Zeiten haben sehr namhafte Gelehrte sich um die Erforschung ihres optischen Gefüges bemüht. Zweifellos kommen ausser ihr zahlreiche andere optisch inhomogene Gebilde vor, an deren genauer Analyse die Naturforschung eine interessante Aufgabe finden kann. Gestatten Sie mir die menschliche Linse als Beispiel festzuhalten. Von ihr ist uns seit langem bekannt, dass ihre optische Dichte entsprechend ihrem anatomischen Gefüge und dem Alter ihrer Schichten von aussen nach innen zunimmt. In meiner Figur (Fig. 1) soll *L* eine halbe Linse darstellen, die der Prismenfläche leicht angepresst ist. Statt mehrerer tausend annähernd concentrischer schalenartiger Schichten, von denen jeweils die centralere als älter und optisch dichter als die nächstperiphere anzusehen ist, habe ich mich der Uebersichtlichkeit halber in meinem Schema mit 4 Schichten begnügen müssen.

Der Rostocker Physiker Matthiessen, der einen grossen Teil seiner Lebensarbeit dem Studium der Linsenindicialschichtung des Menschen und vieler Tiere gewidmet hat, hat nach seinen zahlreichen Messungen und Berechnungen den Satz aufgestellt, dass die Indicialkurve, welche uns die Progression der Brechungsindexhöhe längs einem Linsendurchmesser graphisch verzeichnet, einen regelmässigen Parabelscheitel darstellt. Aus den Matthiessen'schen Formeln ist dann der für die Dioptrik



des menschlichen Auges höchst bedeutsame Satz hergeleitet, dass der Totalindex der Linse den Kernindex um ebensoviel übertrifft wie dieser den Index der Rinde. Auf Matthiessen's Autorität hin, die durch Helmholtz gestützt wurde, ist dieser Satz bisher als allgemein gültig hingenommen; wie wir später sehen werden, nicht mit Recht.

Denn gegen Matthiessen's und aller andern bisherigen Autoren Bestimmungsverfahren sind eine Reihe schwer wiegender Einwände vorzubringen. Diese Forscher haben längs der Axe, oder was noch unvollkommener ist, längs des Aequatorialdurchmessers, in gleichen Abständen 3—7 Linsenklümpchen entnommen und diese Klümpchen im Abbe'schen Refraktometer untersucht. Abgesehen von der groben Fehlerhaftigkeit und Unsicherheit solcher anatomischen Praeparation am frischen klebrigen Objekt und abgesehen von den während der Praeparation durch Verdunstung entstehenden unkontrollierbaren Aenderungen des Brechungsindex dieser Klümpchen bleibt die refraktometrische Bestimmung noch ungenau und unsicher. Denn nur jedes aller kleinste als in sich homogen zu betrachtende Partikelchen (1) wird seine Grenzlinie (1) entsprechend einer bestimmten Alhidadenstellung entwerfen, jedes etwas stärker (2) oder schwächer (3) brechende Nachbartheilchen wird seine Grenzlinie darüber (2) oder darunter (3) entwerfen. Im Ganzen entsteht dadurch anstelle einer deutlichen scharfen Grenzlinie (1) eine verwaschene verbreiterte Uebergangszone (3—2) zwischen dem helleren und dem dunkleren Feld, die genaue Einstellungen nicht gestattet. Besten Falls sind ungefähre Bestimmungen des Höchstindex und des Niedrigstindex der unter dem Prisma befindlichen Substanz möglich, aber auch diese sind weit entfernt von objektiver Sicherheit. Ein gerade innerhalb des entnommenen Bröckels befindlicher steilerer Indexanstieg, resp. eine Indexstufe wird der Erkennung meist entgehen. Sucht man die Genauigkeit durch Verkleinerung der Untersuchungsportionen zu steigern, so wächst einmal mit der Dauer der erforderlichen Praeparation und dem wachsenden Verhältnis zwischen Oberfläche und Volum des Stückchens der Verdunstungsfehler, und zweitens leidet die Erkennbarkeit der geringen am Objekt entstehenden Helligkeitsdifferenzen zwischen dem durch totale und dem durch partielle Reflexion

erleuchteten Feldteil unter Ueberblendung durch die vermehrte Menge des schädlichen Nebenlichts.

Es muss nun Wunder nehmen, dass ein Mann wie Matthiessen, der als Physiker alle in dieses Gebiet gehörigen Fragen fachmännisch beherrschte, sich mit diesen verwaschenen und unsicheren Einzelablesungen begnügt hat und nicht das Instrumentarium den neuen Aufgaben entsprechend vervollkommnet hat. Seitdem mir klar geworden ist, dass die genaue Analyse der optischen Schichtung der menschlichen Linse nicht nur von hohem theoretischen Interesse, sondern auch von grosser praktischer Bedeutung für die Pathologie der Linse ist — ich habe in den letzten Jahren den Nachweis gebracht, dass zwei Augenkrankheiten, die bis dahin so gut wie unbekannte, aber recht häufige Scheinkatarakt, und die seltenere und längst bekannte Katarakta nigra, die beide durch Verursachung schwerer staarähnlicher Sehstörungen die Augen fast völlig unbrauchbar machen, im Wesentlichen auf einen unzuweckmässig verteilten und übermässig starken Anstieg der Linsenindicialkurven zurückzuführen sind — seitdem habe ich mir die Aufgabe gestellt, ein Instrument zu konstruieren, das die Indexbestimmung jeder beliebigen kleinsten Zone einer unversehrten frischen Linsenhalbierungsschnittfläche gestattete.

In diesen Bestrebungen hat mich die Firma Carl Zeiss verständnisvoll und opferwillig mit Rat und Tat unterstützt, wofür ich ihr auch an dieser Stelle meinen ergebensten Dank sagen möchte. Nach mancherlei Vorversuchen mit primitiven Hilfsmitteln sehe ich bis jetzt drei Lösungen des Problems. Die erste finden Sie hier in diesem Instrument (Fig. 1) verkörpert Verschiebungen der klebrig zähen Linse am Prisma entlang und Ausblendungen zwischen Linsensubstanz und Prisma sind nicht ohne grobe Alterationen des anatomischen Gefüges möglich. Deshalb sind die erforderlichen Isolationen kleiner Zonen der Objektfläche statt in ihr selbst in ihrem reellen Bilde vorzunehmen, welches das aus Objektiv und Okular zusammengesetzte System in der Austrittspupille *PP* entwirft. Zu dem Zweck ist der Tubus des Fernrohres bis in die Austrittspupille zu verlängern und in ihr eine innerhalb eines rechtwinkligen Koordinatensystems frei verschiebbliche Lochblende anzubringen. Mit dieser kann man



dann beliebige kleine Zonen des Objektflächenbildes herausblenden. Nach den bekannten Darlegungen Abbe's über die Strahlenbegrenzung in optischen Instrumenten ist der Effekt derselbe, wie wenn ich im Objekt selbst eine Ausblendung vorgenommen hätte. Durch die Lochblende hindurch können nur die Strahlen zu irgendwelcher optischer Wirksamkeit kommen, welche die entsprechenden Objektteile getroffen haben. Stellt man also unter Benutzung solcher Blende die Grenzlinie, die dabei ganz scharf wird, in den Fadenkreuzschnittpunkt, so kann man an der Kreisteilung den Brechungsindex der Schnittzone ablesen, deren reelles Bild von der Blende umgrenzt ist. Eine richtige und genügend genaue Vorstellung vom optischen Gefüge des Untersuchungsgebildes verschaffe ich mir, indem ich das Objektbild auf Millimeterpapier skizziere und nun längs mich interessierender Durchmesser meine Blende von einem Endpunkt zum andern, von  $\frac{1}{2}$  zu  $\frac{1}{2}$  mm fortschreitend, durch das Beobachtungsfeld führe, und in meine Skizze die betreffenden Indexwerte eintrage (cf. Figur 2). Die entsprechenden Indicial-Kurven für die

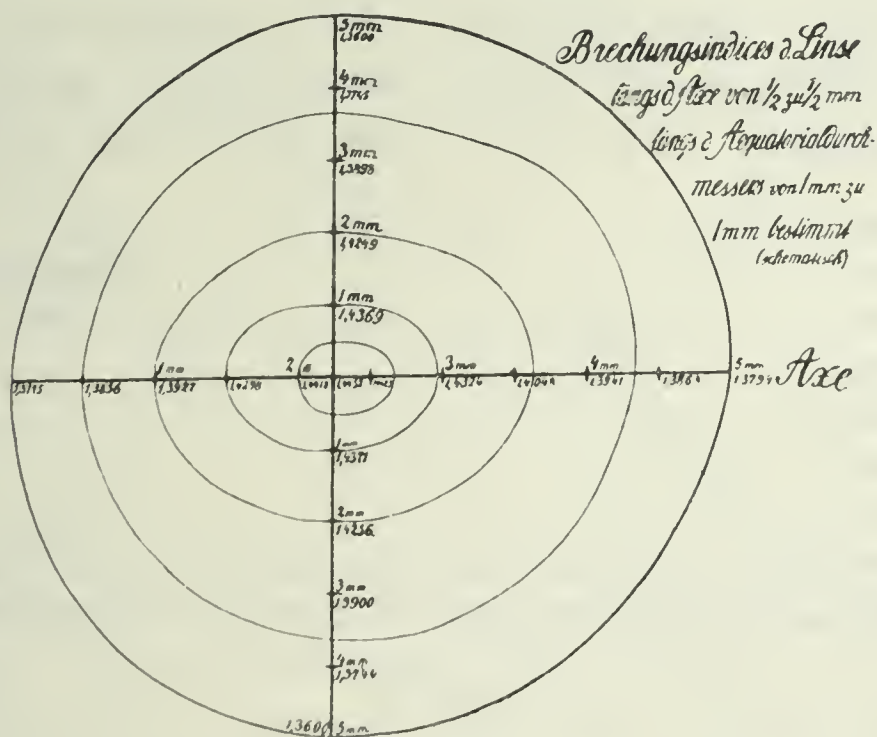


Fig. 2.

benutzten Durchmesser kann ich mir dann leicht graphisch darstellen (cf. Figur 3 und 4). Eine noch hübschere Uebersicht über die Indicialschichtung erhalte ich, indem ich mit

der Blende das Feld nach den Stellen des höchsten und niedrigsten Index absuche, diese einzeichne und dazwischen liegende Isoindicialzonen durch Absuchen mit der Blende umgrenze. Ein solches Isoindicialzonendiagramm, das Sie an die Isothermen-, Isobaren-, Isohypsen- etc. Karten erinnert,

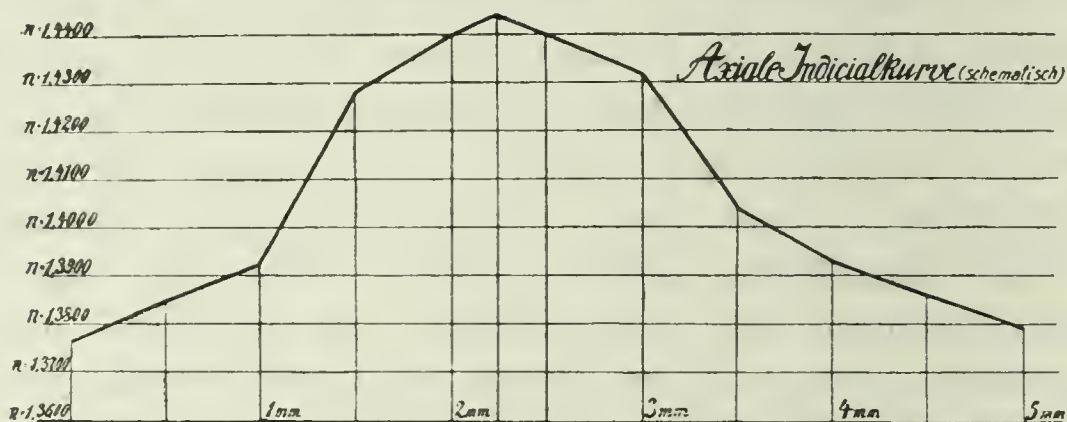


Fig. 3.

sehen Sie in Fig. 5 schematisch gezeichnet; Nachbarzonen differieren im Index um  $\frac{1}{2}$  der zweiten Decimale.

Das Princip der beweglichen Blende in der Austrittspupille ist nicht neu. Czapski hat es im Krystallgoniometer, Pulfrich im Krystallrefraktometer verwandt. Nur im Abbe'schen Refraktometer und überhaupt zur Indexbestimmung in Medien von kontinuierlich oder diskontinuierlich veränderlichem Brechungsindex hat es bisher nicht Anwendung gefunden.

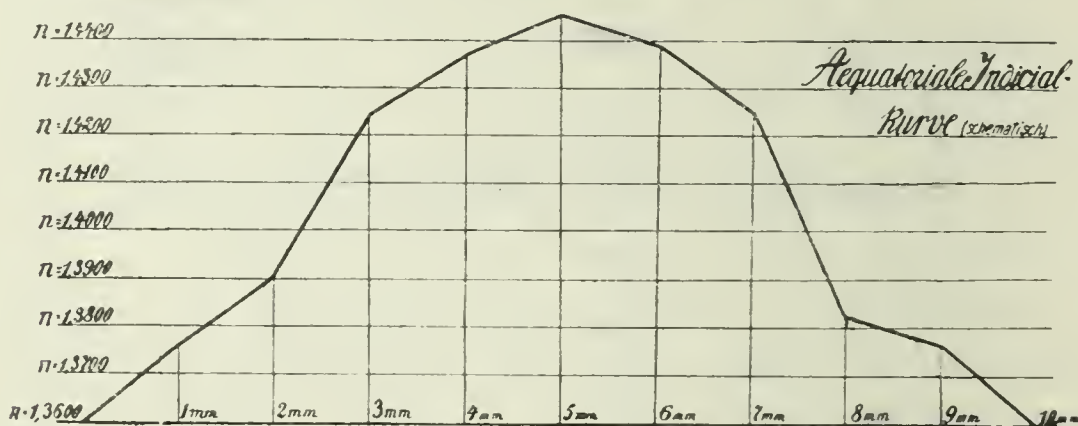


Fig. 4.

In seiner bisherigen Ausführung genügt dieses von mir als Differentialrefraktometer bezeichnete Instrument noch nicht meinen Ansprüchen an leichte und exakte Indicialanalyse der Linse. Immerhin ergeben die bisherigen Bestimmungen schon mit Sicherheit, dass der Matthiessen'sche Satz von der pa-



rabolischen Form der Indicialkurve zum mindesten für viele Fälle auch nicht annähernd richtig ist.

Durch Verbesserung des Okulars und durch die technisch allerdings schwierige und kostspielige Vergrößerung aller Dimensionen des Instruments lässt sich eine Vergrößerung des vorläufig für sichere Bestimmungen zu kleinen ausnutzbaren Feldes erzielen. Ein anderer Fehler wird aber bestehen bleiben. Mit der Veränderung der Winkelstellungen zwischen Fernrohr und Prisma bei Einstellung indexdifferenter Zonen

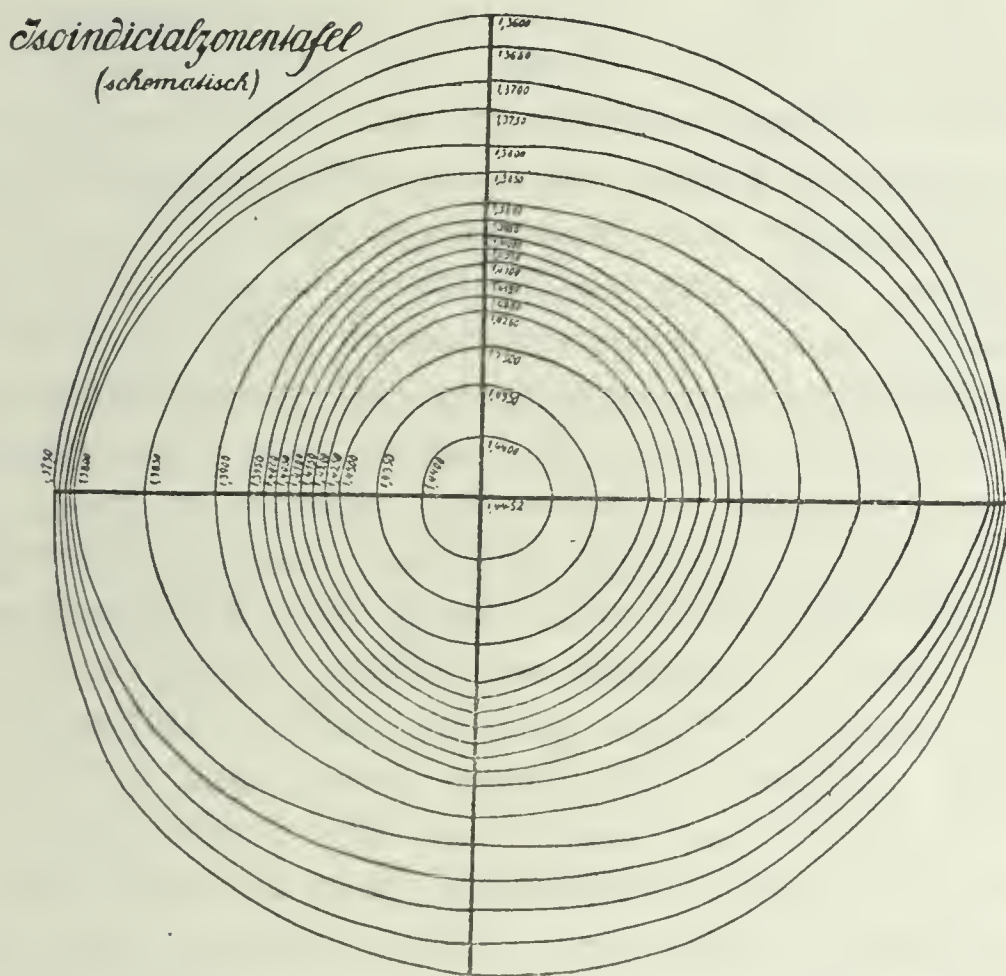


Fig. 5.

ändern sich die Identitätsbeziehungen zwischen Punkten der Austrittspupille  $pp$  und Punkten der dem Prisma aufliegenden Objektfläche. Dieser Fehler liesse sich vermeiden durch eine Konstruktion, die sich an das Zeiss'sche Eintauchrefraktometer anzulehnen hätte, auf welches mich Herr Dr. Löwe von der Firma Zeiss aufmerksam gemacht hat. Das Prisma bleibt mit dem Fernrohr fest verbunden, die Blendvorrichtung muss wie in dem heute Ihnen vorgeführten Instrument bestehen bleiben, die Lage der Grenzlinienebene  $gg$  ist direkt

an einem Okularmikrometer abzulesen; die den Skalenteilen entsprechenden Brechungsindices sind aus einer Tabelle zu ersehen. Ein solches Refraktometer für einen Bereich von 1,3 bis 1,6 herzustellen, stösst technisch auf grosse Schwierigkeiten.

Diese verschiedenartigen Schwierigkeiten haben mich nach weiteren Lösungen suchen lassen. Eine solche scheint mir gegeben, wenn man unter Verzicht auf Vervollkommenung der Randpartieen des optischen Apparats und Vergrösserung seiner Dimensionen, in einem Pulfrich'schen Refraktometer gleichfalls eine Rohrverlängerung bis in die Austrittspupille und daselbst eine kleine centrale einschaltbare Lochblende anbringt, und dann zeitlich nacheinander die verschiedenen Punkte der unversehrten Objektschnittfläche in den Mittelpunkt der Glashalbkugel bringt. Das lässt sich ermöglichen, wenn man wie Pulfrich es schon früher angegeben hat (Zeitschr. f. Instrumentenkunde XIX. Jan. 1899) von der Glashalbkugel 1 mm abschleifen lässt und den Höhenunterschied durch eine planparallele Glasplatte von 1 mm ausgleicht. Statt diese Glasplatte wie bisher fest aufliegen zu lassen, muss man sie für unsere Zwecke auf einer kapillaren Monobromnaphthalinschicht schwimmend durch eine Kreutztischvorrichtung in zwei zu einander senkrechten Richtungen um beliebige messbare Strecken gleitend auf der Halbkugel verschieblich einrichten. Die Platte armiert man mit dem ihr leicht anzupressenden Objekt, das zum Schutz gegen Verdunstung und gegen durchfallendes Licht mit einer schwarzen Gummikappe überdeckt wird. Wie in meinem ersten Instrument durch Blendenverschiebung in der Austrittspupille, so bringt man jetzt bei stabiler Blende, durch Kreutztischverschiebung längs beliebiger Durchmesser von  $\frac{1}{2}$  zu  $\frac{1}{2}$  mm fortschreitend, der Reihe nach die verschiedenen Punkte des Objekts selbst zur isolierten refraktometrischen Messung, indem man sie in den Halbkugelmittelpunkt und damit zur Abbildung gerade im Blendenloch der Austrittspupille bringt. Man hat dabei den Vorteil, dauernd ausschliesslich die axialen Partieen des optischen Systems zu verwenden.

Ich habe diese Probleme vielleicht übertrieben ausführlich dargelegt, besonders da ich mich zur Erläuterung der



Verwendung des neuen Verfahrens auf ein nur mir nahe-  
liegendes Objekt, die menschliche Linse, beschränkte. Ich  
bin aber überzeugt, dass die Bedeutung der Methode weit  
über die Grenzen meines Specialgebiets hinausreicht. Dabei  
denke ich an ihre Verwendbarkeit zum Studium des zeitlichen  
Ablaufs und des räumlichen Fortschreitens mancher chemischer  
und physikalischer Processe (Synthese, Diffusion, Wärme-  
leitung etc.) und zur Erkenntniss der Konzentrationsverteilung  
beispielsweise der Eiweisssubstanzen in tierischen und pflanzlichen  
Zellen und Geweben. In solchen und ähnlichen Richtungen hoffe  
ich Anregung geben und empfangen zu können. Es liegt mir  
ausserordentlich viel daran, gerade von Nichtmedicinern eine  
Meinungsausserung über den voraussichtlichen Nutzen der-  
artiger Differentialrefraktometer auf andern Wissensgebieten  
zu hören. Ich denke speciell an die Physiker, Chemiker,  
Mineralogen, Botaniker und Zoologen. Denn je allgemeiner  
das Interesse für die Vervollkommnung dieser Methoden und  
je ausgebreiteter das Anwendungs- und Absatzgebiet für solche  
Apparate ist, um so leichteren Herzens und um so ausgiebiger  
glaube ich die Arbeitskraft und die Munificenz der Firma  
Carl Zeiss, die mir schon so sehr entgegengekommen ist, in  
Anspruch nehmen zu dürfen.



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

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mittheilungen aus dem naturwissenschaftlichen Vereine von Neu-Vorpommern und Rügen](#)

Jahr/Year: 1905

Band/Volume: [37](#)

Autor(en)/Author(s): Halben R.

Artikel/Article: [Über die Refraktometrie optisch inhomogener Substanzen 1-11](#)