

Eine neue Methode der Refraktionsbestimmung im umgekehrten Bilde.

Von

Dr. Franz Becker,
Augenarzt in Düsseldorf.

Mit einer Figur im Text.

An Methoden zur objektiven Refraktionsbestimmung ist kein Mangel. Dass indes auch nur eine derselben wirklich allen Anforderungen völlig Genüge leiste, wird wohl kein Sachverständiger behaupten wollen. Dagegen wird gewiss jeder zugeben, dass die Refraktionsbestimmung im umgekehrten Bilde mindestens theoretische Vorzüge vor andern gebräuchlichen Methoden besitzt. Wir sind bei dieser Methode nicht wie bei der Refraktionsbestimmung im aufrechten Bilde von der Einstellung unseres eigenen Auges abhängig und wir messen nicht bloss wie bei der Skiaskopie Bewegungsphänomene, wobei es ganz unmöglich ist, die Refraktion eines bestimmten, begrenzten Bezirkes im Augenhintergrunde festzustellen¹⁾, sondern wir haben es bei der Refraktionsbestimmung im umgekehrten Bilde mit einem reellen optischen Bilde zu tun, dessen Entfernung von der entwerfenden Sammellinse, wenigstens unter gewissen, leicht zu erfüllenden Bedingungen, direkt abhängig ist von der Refraktion des untersuchten Auges. Wenn daher die Refraktionsbestimmung im umgekehrten Bilde bisher nicht so allgemein gebräuchlich war, wie man erwarten sollte, so kann das nur darin seinen Grund haben, dass eben der praktischen Ausführung der Methode erhebliche

¹⁾ Auch die „Spezialisten“ der Skiaskopie geben zu, dass das mit derselben erhaltene Resultat mitunter erheblich abweicht von dem, was die direkte Prüfung mit Brillengläsern ergibt. Der Grund ist wohl in der Regel, wie schon Fick erkannt hat (Die Bestimmung des Brechzustandes eines Auges durch Schattenprobe, Wiesbaden 1891, S. 47), darin zu suchen, dass eben bei der Skiaskopie tatsächlich nicht die Refraktion der Fovea centralis, sondern die mittlere des ganzen hinteren Bulbussegmentes bestimmt wird.

Schwierigkeiten im Wege stehen müssen. Dass dieselben in der Tat nicht gering sein können, dafür ist wohl der stärkste Beweis, dass die bekannte Methode von Schmidt-Rimpler auch noch heute, und wohl mit Recht, als die weitaus beste Lösung des Problems gilt, trotzdem dieselbe bereits seit mehr als 30 Jahren bekannt ist. Dass die Methode aber schliesslich nicht schlechthin als ideal gelten kann, dafür spricht wiederum in erster Linie die Tatsache, dass dieselbe eben im ganzen doch wohl nur ziemlich geringe Verbreitung erlangt hat¹⁾.

Die Hauptschwierigkeit, welche bei der Refraktionsbestimmung im umgekehrten Bilde zu überwinden ist, ist offenbar die, den Ort des umgekehrten Bildes in einfacher und bequemer Weise jedesmal genau und scharf festzustellen. Dass dazu, wenigstens bei der gewöhnlichen Anordnung von Lichtquelle, Spiegel und Linse, die sonst für ähnliche Zwecke gebräuchliche Mattscheibe absolut ungeeignet ist, bedarf wohl keiner weiteren Ausführung. Aber selbst wenn sich der Hauptübelstand dabei, die zweimalige Passage des Lichtes durch die Mattscheibe, durch eine anderweitige Arrangierung der optischen Hilfsmittel vermeiden liesse, so würde trotzdem eine solche Einstellung des optischen Bildes noch immer nicht empfehlenswert sein, bzw. an Exaktheit vermissen lassen. Die unvermeidliche Verwendung künstlichen Lichtes, die zum Teil damit zusammenhängende relative Lichtschwäche des optischen Bildes vom Augenhintergrunde, die ebenfalls nicht zu umgehende Benützung von Linsen mit sehr kurzer Fokaldistanz, alles das kompliziert die Verhältnisse bei der Ophthalmoskopie doch wesentlich und würde eine Einstellung des optischen Bildes mittels Mattscheibe, etwa wie bei der photographischen Kamera, nicht recht praktisch erscheinen lassen.

Von dieser Erwägung ausgehend bin ich nun bei meinen Versuchen auf ein ziemlich einfaches Ersatzmittel gestossen: Es gibt nämlich tatsächlich ausser der Mattscheibe noch ein sehr einfaches Verfahren, den Ort eines optischen Bildes äusserst scharf einzustellen,

¹⁾ Die Methode von Schmidt-Rimpler muss meines Erachtens, was die Einfachheit des Grundgedankens betrifft, auch heute noch als wahrhaft genial bezeichnet werden. Dass es trotzdem nicht ganz leicht ist mit dieser Methode, namentlich bei Astigmatismus, einigermassen genaue Resultate zu erhalten, weiss jeder, der sie praktisch versucht hat. Die wesentlichsten Mängel des Verfahrens hat übrigens Schmidt-Rimpler selbst schon in seiner ersten Veröffentlichung wenigstens angedeutet. (Vgl. Schmidt-Rimpler, Eine neue Methode ophthalmoskopischer Refraktionsbestimmung. Berliner klin. Wochenschr. Nr. 4 u. 5. 1877.)

und es nimmt mich nur wunder, dass dieses meines Erachtens sehr nahe liegende Mittel bisher anscheinend noch niemals versucht wurde. Das Mittel besteht einfach in der Verwendung zweier aneinander ruhender, verkehrt zueinander gerichteter Prismen (d. h. die Basis des einen Prismas ruht auf der Kante des andern und umgekehrt). Mittels einer solchen Prismenkombination kann man in der Tat den Ort jedes optischen Bildes genau feststellen. Betrachtet man nämlich durch zwei in dieser Art verbundene Prismen ein optisches Bild in der Weise, dass die Trennungslinie der Prismen mitten durch das Bild hindurchgeht, so erscheinen nach bekannten physikalischen Gesetzen die beiden Hälften des Bildes genau wie bei einem reellen Gegenstande mehr oder weniger gegeneinander verschoben. Befindet sich dagegen diese Prismenkombination, vom Beschauer aus gerechnet, jenseits des optischen Bildes, also zwischen diesem und der Sammellinse, so entsteht natürlich ebenfalls eine Verschiebung der Bildhälften, nunmehr aber selbstverständlich im entgegengesetzten Sinne. Eine einfache Erwägung macht dies ohne weiteres verständlich: Nehmen wir zunächst an, wir hätten nur ein Prisma und betrachteten durch dasselbe ein optisches Bild, so dass also dieses weiter von unserm Auge entfernt wäre als das Prisma. Wenn sich dabei die Basis des Prismas auf unserer rechten, die Kante auf unserer linken Seite befände, so würde uns das Bild etwas nach links verschoben erscheinen. Das heisst: In Wirklichkeit wird jeder von dem Bilde ausgehende Lichtstrahl durch das Prisma nach der Basis zu, also nach rechts abgelenkt. Da jedoch das Bild von uns in die gerade Verlängerung der in unser Auge fallenden Strahlen projiziert wird, so erscheint uns das Bild nach links verschoben, wie das ja in jedem physikalischen Lehrbuche auseinandergesetzt wird. Anders liegen die Dinge jedoch, wenn sich das Prisma jenseits des optischen Bildes befindet, so dass die Lichtstrahlen das Prisma passieren müssen, ehe das Bild zu stande kommt. Auch jetzt wird natürlich wieder jeder Lichtstrahl nach rechts abgelenkt; das bewirkt aber jetzt, dass das optische Bild auch tatsächlich etwas weiter nach rechts zu stande kommt und uns nun gegen seine ursprüngliche Lage etwas nach rechts verschoben erscheint. Benützt man nun zwei in der oben beschriebenen Weise miteinander verbundene Prismen, so werden uns also die durch die Trennungslinie der Prismen gebildeten beiden Hälften des optischen Bildes einmal in diesem, das andere Mal in jenem Sinne gegeneinander verschoben erscheinen, je nachdem sich eben

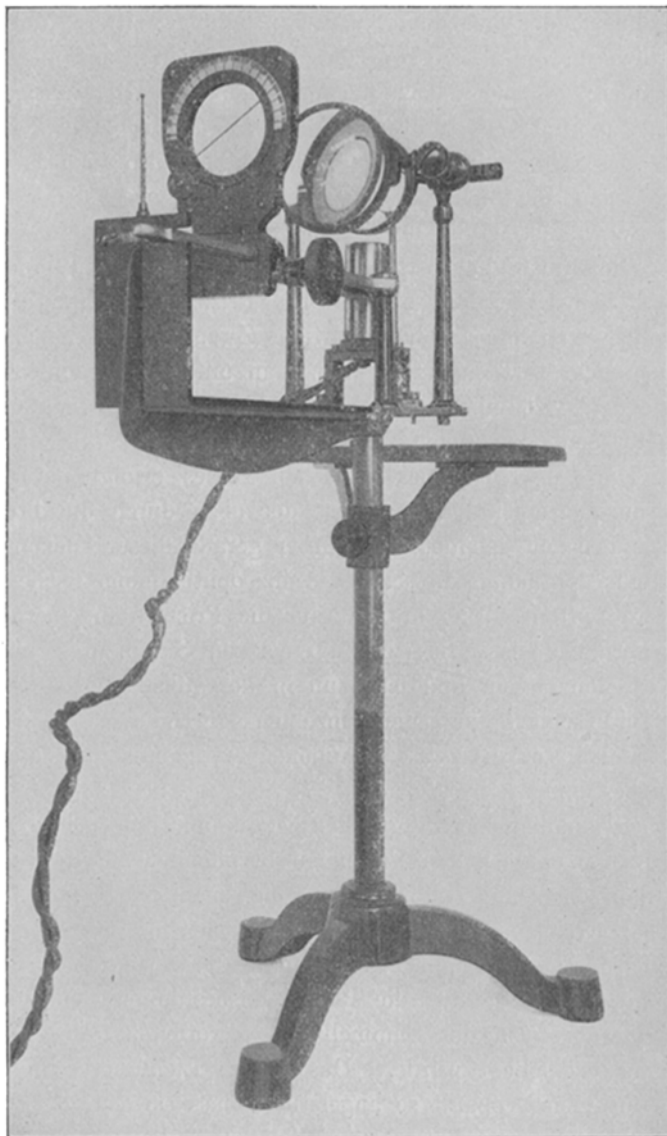
die Prismen vor oder hinter dem optischen Bilde befinden, und nur wenn sich Prismen und Bild genau an derselben Stelle befinden, werden wir den Eindruck haben, dass die beiden Hälften des Bildes kontinuierlich ineinander übergehen. Die Vorteile, welcher dieser Einstellungsmodus gegenüber der Einstellung mittels Mattscheibe, namentlich für ophthalmoskopische Zwecke, bietet, sind mannigfaltig. Insbesondere kommen jedoch folgende Punkte in Betracht:

1. Das Bild verliert absolut nichts von seiner Helligkeit.
2. Das Bild ist stets vollkommen sichtbar, also auch dann, wenn es sich (vom Beschauer aus gerechnet) weit jenseits der Prismen, also zwischen diesen und der Sammellinse befindet.
3. Die Einstellung ist zweifellos schärfer als mit einer Mattscheibe. Selbst mit sehr schwachen Prismen — stärkere Prismen sind selbstverständlich für derartige Zwecke aus naheliegenden Gründen nicht verwendbar — kann man unter sonst günstigen Umständen den Ort eines optischen Bildes bis auf Bruchteile eines Millimeter genau einstellen.
4. Die Einstellung des optischen Bildes erfolgt natürlich zunächst nur für einen Durchmesser, der eben durch die Trennungslinie der Prismen gebildet wird. Aber gerade dieser Umstand bietet speziell für ophthalmoskopische bzw. für ophthalmometrische Zwecke besondere Vorteile. Man braucht nur die Prismen in einer Fassung so anzubringen, dass sie sich in einer zur Sammellinse parallelen Ebene drehen lassen, und ist dann in der günstigen Lage, das optische Bild schnell für jeden einzelnen Durchmesser scharf einzustellen und so einen etwa vorhandenen Astigmatismus zu erkennen und zu bestimmen.

Nach mannigfachen Versuchen ist es mir nun gelungen, einen auf den eben entwickelten Prinzipien beruhenden Apparat zur ophthalmoskopischen Refraktionsbestimmung zu konstruieren¹⁾. Dabei war ich zugleich auch noch darauf bedacht, die verschiedenen in Betracht kommenden optischen Hilfsmittel so anzuordnen, dass eine bequeme Messung der für die Refraktionsbestimmung massgebenden Entfernung des von der Sammellinse entworfenen optischen Bildes von jener ermöglicht würde. Das heisst: Lichtquelle und Spiegel sind bei meinem Apparat so angebracht, dass sie sich zwischen dem untersuchten Auge und der Sammellinse befinden und dass deshalb das von jener entworfene optische Bild jenseits von Lichtquelle und Spiegel etwa in ähnlicher Weise wie das Bild in einer photographi-

¹⁾ Angefertigt in der optischen Werkstätte von A. Schumann in Düsseldorf.

schen Kamera zu stande kommt. Gerade dadurch wird es möglich, die Entfernung des Bildes von der dasselbe entwerfenden Sammel linse bequem und mit grosser Genauigkeit zu messen.



Nach diesen Vorbemerkungen dürfte die beigefügte Abbildung des Apparates jedem Sachverständigen bereits in der Hauptsache verständlich sein. Unmittelbar vor dem zu untersuchenden Auge

befindet sich ein Spiegel, der, ähnlich dem ursprünglichen Helmholtzschen Augenspiegel, nur aus mehreren ebenen, übereinander gelegten Glasplatten besteht. Dieser Spiegel, der um eine transversale Achse drehbar ist, wirft das Licht einer direkt darunter befindlichen elektrischen Glühlampe in das zu untersuchende Auge und gestattet gleichzeitig den aus dem Auge austretenden Strahlen den Durchgang in gerader Richtung. Der Übelstand, den solche unbelegten Spiegel sonst an sich haben, dass sie nämlich sehr lichtschwach sind, macht sich bei meinem Apparate deshalb weniger bemerkbar, weil die Anordnung unmittelbar über der Glühlampe und direkt vor dem zu untersuchenden Auge gleichwohl eine sehr ausgiebige Beleuchtung des Augenhintergrundes ermöglicht. In einiger Entfernung von dem Spiegel befindet sich die Sammellinse und zwar habe ich eine solche von 13 *D* gewählt, wofür doch wohl die meisten praktischen Erwägungen sprechen. Dahinter wiederum kommen die Prismen, welche also direkt dem Untersucher zugekehrt sind. Die Prismen sind, wie oben schon angedeutet, in einer zur Sammellinse parallelen Ebene um die optische Achse drehbar und können ausserdem auf einer mit entsprechender Skala versehenen Metallschiene mittels Stellschraube vor- und rückwärts bewegt werden. Diese Skala reicht bei meinem Apparate von 12 *D* Myopie bis 10 *D* Hypermetropie. Die Linse sowohl als auch die Metallschiene sind überdies um seitliche Scharniere drehbar, so dass diese beiden Teile beliebig in das System ein- und ausgeschaltet werden können. Endlich sind noch zwei kleine Nebengeräte auf der Abbildung zu erkennen, welche nicht unbedingt nötig sind, aber immerhin die Untersuchung erleichtern. Zunächst befindet sich unmittelbar vor dem Spiegel noch ein kleiner Ring von etwa 20 mm Durchmesser, welcher als eine Art Visier dient, damit das zu untersuchende Auge die richtige Entfernung von der Linse beständig einhalten könne. Wenn das zu untersuchende Auge nämlich dicht an den Ring herangebracht wird, so befindet sich der Knotenpunkt des Auges etwa 77 mm von der Linse entfernt, also in dem einen Fokus derselben. Ferner befindet sich an dem andern Ende des Apparates, also auf der Seite des Untersuchers, noch eine feine vertikale Nadel, deren Köpfchen dem Untersucher, auch nach Einschaltung von Linse und Prismen, jederzeit ein Urteil über die Lage der optischen Achse bzw. der Pupille gestattet.

Der Gang der Untersuchung selbst gestaltet sich, wie sich hier-nach eigentlich von selbst versteht, etwa folgendermassen: Nachdem

man die elektrische Lampe eingeschaltet und das Auge durch entsprechende Stellung des Spiegels zum Aufleuchten gebracht hat¹⁾, bringt man zunächst die bis dahin zur Seite gedrehte Linse an die richtige Stelle und hat jetzt das nunmehr entstehende umgekehrte Bild des Augenhintergrundes vor sich. Hierauf wird auch die Metallschiene mit den Prismen an ihren Ort gebracht und alsdann das optische Bild vorerst für einen beliebigen Meridian eingestellt. Dreht man jetzt die Prismen etwa bis zu 90° um die optische Achse, so erkennt man sofort, ob die gleiche Refraktion auch in allen übrigen Meridianen besteht, bzw. ob und welcher Grad von Astigmatismus etwa vorhanden ist.

Was die Stärke der Prismen betrifft, so verwende ich gegenwärtig nur Prismen von 1° . Prismen von 2° würden allenfalls auch noch zulässig sein, doch entstehen bei Verwendung von Prismen von 2° bereits ab und zu störende Reflexe, die bei Prismen von 1° nie beobachtet werden. Die Genauigkeit der Einstellung ist auch bei Prismen von 1° völlig ausreichend. Denn ein Unterschied von $1 D$ bedingt bei einer Konvexlinse von $13 D$ etwa eine Verschiebung des optischen Bildes um 6 mm (siehe das folgende); ein Abstand der 1° starken Prismen von dem optischen Bilde von 6 mm aber bewirkt bereits eine seitliche Verschiebung der beiden Bildhälften gegeneinander von rund 0,1 mm. Bei Einstellung feiner Netzhautgefäße lässt sich nun eine derartige seitliche Verschiebung noch recht gut unterscheiden, ja man kann unter günstigen Umständen selbst eine noch beträchtlich geringere Verschiebung deutlich wahrnehmen.

Dem entsprechend sind auch die mit dem Apparate erzielten Resultate sehr befriedigend. Ich habe meinen Apparat jetzt etwa ein halbes Jahr im Gebrauch und habe mit demselben bereits eine grössere Anzahl von Untersuchungen ausgeführt. Die Abweichungen von dem durch direkte Prüfung mit Brillengläsern ermittelten Resultate sind meist unerheblich und überschreiten selten den Wert von $0,5 D$. Sehr selten findet man die Refraktion mit dem Apparate zu stark, dagegen allerdings in etwa der Hälfte der Fälle um $0,25$ — $0,5 D$ zu schwach. (Das heisst also: Die Hypermetropie wird etwas stärker, die Myopie etwas schwächer gefunden, als sie in Wirklichkeit ist.) Doch spricht gerade dieser Umstand wohl nur für die Genauigkeit, mit welcher der Apparat arbeitet; denn tatsächlich dürfte ja die Refraktion in der Umgebung der Fovea centralis, wo

¹⁾ Erweiterung der Pupille ist angenehm; doch genügt meist Kokain und nur, wo es auf besondere Genauigkeit ankommt, ist Homatropin zu empfehlen.

die zur Einstellung benützten feinen Gefässe liegen, meist ein wenig schwächer sein, als in dieser selbst. Trotzdem liegt es mir fern zu behaupten, dass der Apparat in der vorliegenden Form bereits seine letzte Vollendung erreicht habe; derselbe mag vielleicht in Einzelheiten noch mancher Verbesserung fähig sein. Doch scheint mir jedenfalls das demselben zugrunde liegende Prinzip besondere Beachtung zu verdienen. Die „Prismenmethode“ dürfte allen andern Methoden zur Ortsbestimmung eines ophthalmoskopischen Bildes an Genauigkeit überlegen sein und damit die Möglichkeit bieten, den Refraktionszustand und zwar für jeden einzelnen Bezirk des Augenhintergrundes und in jedem einzelnen Durchmesser mit einer bisher nicht erreichten Sicherheit objektiv zu bestimmen.

Zum Schlusse möchte ich noch kurz eine einfache Anleitung zur Berechnung der Dioptrienskala mitteilen, da es vielleicht doch erwünscht sein könnte, gelegentlich auch Linsen von grösserer oder (wohl eher!) geringerer Stärke zu verwenden.

Dass bei Emmetropie und völliger Accommodationsruhe das optische Bild im Fokus der Linse zu stande kommt, ist ohne weiteres klar und zwar würde es in diesem Falle auch nicht auf den Abstand der Linse vom Auge ankommen. — Anders aber liegen die Dinge bei abnormen Refraktionszuständen. Ein myopisches Auge von $1 D$ ist ein Auge, das in Accommodationsruhe Lichtstrahlen aussendet, welche sich in $1 m$ Entfernung vom Auge schneiden. Treffen nun diese, schon an sich konvergenten Strahlen auf eine vor dem Auge befindliche Konvexlinse, so wird ihr Vereinigungspunkt natürlich nun nicht mehr im Fokus der Linse, sondern er wird in geringerer Entfernung von der Linse liegen. Nehmen wir weiter an, die Konvexlinse sei $13 D$ stark und befinde sich $77 mm$ von dem Knotenpunkt des Auges entfernt, so würden sich die von einem Auge mit Myopie $1 D$ ausgehenden Strahlen an und für sich, ohne die Wirkung der Konvexlinse, $923 mm$ jenseits der Linse schneiden, oder mit andern Worten: Ihr Vereinigungspunkt läge dort, wo der Vereinigungspunkt paralleler Strahlen liegen würde, wenn dieselben auf eine Linse von $\frac{1000}{923} D$ d. h. $1,08 D$ treffen würden.

Rechnet man nun dazu die Wirkung der Linse von $13 D$, so müssen sich die von einem Auge mit Myopie $1 D$ ausgehenden Lichtstrahlen, wenn sie auf eine $77 mm$ vor dem Auge befindliche Linse von $13 D$ treffen, da schneiden, wo sich parallele Strahlen schneiden würden, wenn sie auf eine Linse von $14,08 D$ treffen würden, d. h. $71 mm$

von der Linse entfernt. Die Formel würde also für eine 77 mm vom Knotenpunkt des Auges entfernte Linse von 13 D folgendermassen lauten:

B sei der Bildpunkt,

R die Entfernung, in welcher sich die von dem betreffenden myopischen Auge ausgehenden Strahlen schneiden würden, wenn keine Konvexlinse vor dem Auge vorhanden wäre.

$$B = \frac{1000}{\frac{1000}{77} + \frac{1000}{R - 77}} = \frac{1000}{\frac{77R - 77 \cdot 77}{77R - 77 \cdot 77}} = \frac{77R - 77 \cdot 77}{R} = 77 - \frac{77 \cdot 77}{R}$$

oder ganz allgemein, wenn F die Fokaldistanz der Linse bedeutet:

$$B = F - \frac{F^2}{R}.$$

Wenn B gegeben ist, so ist:

$$R = \frac{F^2}{F - B}.$$

Bei Hypermetropie werden die Verhältnisse natürlich ähnlich liegen; nur wird man hier, wie eine kurze Überlegung ohne weiteres erkennen lässt, das Vorzeichen ändern müssen, so dass die betreffenden Formeln dann lauten werden:

$$B = F + \frac{F^2}{R},$$

$$R = \frac{F^2}{B - F}.$$

Einige Beispiele mögen das Gesagte erläutern:

1. Wo liegt der Bildpunkt bei einer Myopie von 5 D ?

$$B = F - \frac{F^2}{R};$$

$$B = 77 - \frac{77 \cdot 77}{200} = 77 - \frac{5929}{200} = 77 - 30 = 47.$$

Das heisst also, der Bildpunkt liegt 47 mm von der Linse (oder 30 mm vom Fokus) entfernt.

2. Gesucht wird die Refraktion, wenn der Bildpunkt 30 mm von der Linse abliegt:

$$R = \frac{F^2}{F - B}; \quad R = \frac{5929}{47} = 126,$$

das heisst, die vom Auge ausgehenden Strahlen treffen sich 126 mm vom Auge oder das Auge hat eine Myopie von 8 *D*.

3. Der Bildpunkt wird gesucht bei einer Hypermetropie des Auges von 3 *D*:

$$B = F + \frac{F^2}{R};$$

$$B = 77 + \frac{5929}{333} = 77 + 18 = 95.$$

Der Bildpunkt liegt also 95 mm von der Linse (oder 18 mm auswärts vom Fokus).

4. Welche Refraktion hat das Auge, wenn der Bildpunkt 118 mm von der Linse abliegt?

$$R = \frac{F^2}{B - F}; \quad R = \frac{5929}{41} = 144,$$

d. h. das Auge hat eine Hypermetropie von 7 *D*.

Wie die vorliegenden Beispiele schon erkennen lassen, nimmt das Intervall ganz gleichmässig zu und ab und zwar entspricht bei einer Linse von 13 *D* jeder einzelnen Dioptrie fast genau der Wert von 6 mm, weshalb dieser Wert bei meinem Apparat der Dioptrien-skala einfach zugrunde gelegt wurde. — Allgemein lässt sich der Satz, wie folgt, ausdrücken: Wenn sich vor einem Auge eine Konvexlinse von bestimmter Stärke befindet, derart, dass der Knotenpunkt des Auges in dem einen Fokus liegt, so verschiebt sich der Bildpunkt bei Änderung der Refraktion stets um dasselbe Intervall für jede einzelne Dioptrie. Der Wert dieses Intervalls wird gefunden, wenn man einfach die Fokaldistanz durch die Dioptrienzahl der Linse dividiert. Schon aus diesem Grunde empfiehlt es sich deshalb, die Entfernung der Konvexlinse vom Auge stets so zu bemessen, dass der Knotenpunkt mit dem Fokus zusammenfällt. Übrigens lässt sich natürlich auch für jeden andern Abstand nach den obigen Darlegungen leicht eine einfache Formel finden.
