Ueber den Brechungsindex der menschlichen Hornhaut.

Von

Dr. Th. Lohnstein (Berlin).

Bei Gelegenheit einer Untersuchung über die Wirkung eines von mir construirten, zur Correction des unregelmässigen Hornhautastigmatismus bestimmten optischen Apparates¹⁾ benötigte ich der genaueren Kenntniss des Werthes des Brechungsexponenten n der menschlichen Hornhaut. Alles, was bisher hierüber bekannt ist, findet sich in der zweiten Auflage des Handbuches der Physiologischen Optik von Helmholtz²⁾ zusammengestellt. Es fand Chossat $n=1,33$, W. Krause Werthe, die sich zwischen 1,3431 und 1,3569 bewegten und deren Mittelwerth 1,3507 war, während er an Kalbsaugen, die sofort nach dem Tode untersucht wurden, im Mittel $n=1,3467$ bestimmte. Endlich fanden die Herren Aubert und Matthiessen in zwei gemeinsamen Beobachtungen an den Augen eines Mannes von 30 und eines Kindes von 2 Jahren $n=1,377$ bzw. 1,372.

Die grosse Verschiedenheit dieser Ergebnisse muss auffallen, wenn man sich erinnert, dass der Brechungsindex einer Substanz im wesentlichen durch ihre chemische Zusammensetzung bestimmt ist; letztere kann unmöglich bei der Hornhaut der einzelnen Menschen so variiren, um derartige Zahlenunterschiede zu erklären. Chossat's Werth ist ohne weiteres zu verwerfen, da sein Brechungsexponent nicht einmal ganz so gross ist wie der des destillirten Wassers;

1) Zehenders klinische Monatshefte für Augenheilkunde. Dezember 1896.

2) v. Helmholtz, Handbuch der physiologischen Optik, II. Aufl. p. 98 und 99. Dasselbst findet sich auch die vollständige Litteratur des Gegenstandes angegeben, auf die ich hier verweise.

es kommen also nur in Betracht die Werthe von W. Krause einerseits und Aubert und Matthiessen andererseits. Während sich W. Krause zur Ermittlung der Brechungsexponenten einer indirecten auf der Messung von 3 mikroskopischen Bildern beruhenden Methode bediente, stellten Aubert und Matthiessen ihre Versuche mit dem für derartige Zwecke besonders geeigneten, nur eine Ablesung erfordernden Abbe'schen Refractometer an. Schon aus diesem Grunde würden die Werthe dieser Beobachter als der Wahrheit am nächsten kommend betrachtet werden können. Ich hätte gern diese Bestimmungen wiederholt, hatte aber dazu keine Gelegenheit. Es gelang mir aber auf einem andern Wege, die Werthe der Herrn Aubert und Matthiessen zu verificiren, der mir interessant genug erscheint, um seine Mittheilung auf den folgenden Zeilen zu rechtfertigen.

Bezeichnet man mit d_1 und d_2 die Dichten, mit n_1 und n_2 die Brechungsindices zweier mit einander mischbarer durchsichtigen Flüssigkeiten, so kann man den Brechungsexponenten des Gemisches berechnen, wenn man das Mischungsverhältniss kennt. Werden nämlich p_1 Theile der Flüssigkeit 1 mit p_2 Theilen der Flüssigkeit 2 vermengt, so hat die resultirende Flüssigkeit einen Brechungsindex n , welcher durch folgende Gleichung bestimmt ist:

$$(p_1 + p_2) \frac{(n-1)}{d} = p_1 \frac{n_1-1}{d_1} + p_2 \frac{n_2-1}{d_2},$$

d bezeichnet dabei die Dichte der Mischflüssigkeit.

Hat man m Componenten, so gilt unter Anwendung entsprechender Bezeichnungen die analoge Beziehung:

$$(p_1 + p_2 + \dots + p_m) \frac{n-1}{d} = p_1 \frac{n_1-1}{d_1} + p_2 \frac{n_2-1}{d_2} + \dots + p_m \frac{n_m-1}{d_m}$$

Dieses Gesetz gilt nun nicht nur für Gemische, sondern auch für Lösungen; dabei ist jedoch zu bemerken, dass man in den meisten Fällen den auf die gelöste feste Substanz bezüglichen Werth des Ausdrucks $\frac{n-1}{d}$ nicht direct bestimmen kann, sondern indirect durch Ermittlung des Brechungsindex einer Lösung von bekannter Concentration eruiiren muss. Es gilt ferner nach den Forschungen von Gladstone, Dale, Landolt und Brühl auch mit einer gewissen Annäherung für chemische Verbindungen, derart, dass man bei bekannter Zusammensetzung eines Körpers, falls er durchsichtig ist, seinen Brechungsindex berechnen, und, falls er

mit einem andern Körper zusammen eine durchsichtige Substanz bildet, seinen Einfluss auf den Brechungsexponenten dieser letzteren feststellen kann. Man hat für die einzelnen Atome Constanten, die sogenannten Atomrefractionen, bestimmt, welche den Ausdruck $\frac{n-1}{d}$ in folgender Weise zu berechnen erlauben: Es sei die chemische Formel der Substanz $A_a B_b C_c \dots$, ihr Molekulargewicht M , alsdann ist

$$M \frac{n-1}{d} = a r_a + b r_b + c r_c + \dots$$

$a, b, c, \dots$ sind ganze Zahlen, $r_a, r_b, r_c \dots$ sind die „Atomrefractionen“. Die Atomrefractionen sind nicht ganz constant, die Art des Aufbaues des chemischen Molecüls scheint einen gewissen Einfluss auf ihren Werth auszuüben; man hat z. B. gefunden, dass in organischen Verbindungen mehrfache Bindungen der Kohlenstoffatome die Refraction des Molecüls etwas erhöhen. Für den vorliegenden Zweck, wo es uns nur auf eine annähernde Berechnung ankommt, dürfen wir uns jedenfalls mit Mittelwerthen begnügen.

Um die vorstehend dargelegte Theorie in unserem Falle anwenden zu können, ist die Kenntniss der chemischen Zusammensetzung der Hornhautsubstanz nothwendig. In der mir zugänglichen Litteratur habe ich hierüber nur eine Angabe gefunden, nämlich in Halliburton's Lehrbuch der chemischen Physiologie und Pathologie (übersetzt von K. Kaiser 1892). Danach hat Morochowetz (Verhandl. des naturhist.-med. Vereins Heidelberg I) ermittelt, dass 1000 Theile Corneagewebe enthalten 242 Theile fester Stoffe, von denen 204 Theile Collagen, 28 Theile andre organischen Substanzen und 10 Theile Asche sind. — Das Collagen enthält nach Hofmeister¹⁾ 54,3% C, 6,6% H, 19,2% N, 19,9% O, hat also eine Zusammensetzung, welche von jener der echten Eiweissstoffe nicht allzusehr verschieden ist. Man kann nun wohl annehmen, dass die „28 Theile anderer organischen Substanzen“ eiweissartige Körper oder deren Abkömmlinge sind und wird daher nur einen kleinen, für den gegenwärtigen Zweck nicht sehr ins Gewicht fallenden Fehler begehen, wenn man die gesammte organische Substanz als Collagen in Rechnung zieht. Aus ähnlichen

1) Hofmeister, Zeitschrift für physiolog. Chemie II, 315.

Gründen werden wir die anorganischen Bestandtheile einfach als Kochsalz in Rechnung bringen, was nur einen ganz unerheblichen Fehler bedingen kann, da sich einprocentige Lösungen von Kochsalz, Kaliumchlorid und Glaubersalz in ihren Brechungsindices nur um eine bis zwei Einheiten der vierten Decimalstelle nach dem Komma von einander unterscheiden¹⁾. Um den Brechungsindex der Hornhaut auszuwerthen, haben wir daher nur zu berechnen:

1) die Dichtigkeit der Hornhaut, 2) den Ausdruck $\frac{n-1}{d}$ für Collagen, 3) diesen Ausdruck für Kochsalz.

Die Dichtigkeit der Hornhaut, für die ich eine experimentelle Angabe nicht auffinden konnte, habe ich berechnet, indem ich sie als eine 23procentige Eiweisslösung in einer 1procentigen Kochsalzlösung auffasste, und für den densimetrischen Coefficienten des Eiweisses den von mir für alkalische Eiweisslösungen festgestellten Werth verwendete²⁾. Für die Temperatur 15° C. finde ich so: $D = 1,061$. — Da Collagen sehr nahe die chemische Zusammensetzung einer Eiweisssubstanz hat, dürfte es auch auf das specifische Gewicht einen ähnlichen Einfluss ausüben wie gelöstes Eiweiss, so dass vorstehender Werth der Wahrheit nahe kommen dürfte.

Für den Ausdruck $\frac{n-1}{d}$ für Kochsalz ergibt sich nach den Bestimmungen Boerners der Werth 0,25.

Um die Grösse $\frac{n-1}{d}$ für Collagen zu berechnen, ist die Kenntniss der Atomrefractionen von C, H, N und O nothwendig. Die Bestimmungen von Gladstone, Dale, Landolt und Brühl³⁾ ergeben die Atomrefraction von C gleich 5,0, H gleich 1,3, N gleich 4,1 — in Nitriten und Nitraten gleich 5,3 — O gleich 2,8 resp. 3,4, je nachdem es sich um einfache oder doppelte Bindung handelt. Im Folgenden legen wir für die Atomrefraction des

1) Boerner, Ueber die Brechungsexponenten einiger Salzlösungen. Inaugural-Dissertation, Marburg 1869.

2) Ueber die densimetrische Bestimmung des Eiweisses. Pflüger's Archiv 59. 1895. Heft 1.

3) Die diesen Gegenstand betreffende Litteratur findet sich am vollständigsten angegeben im Artikel „Licht“ in Ladenburg's Handwörterbuch der Chemie.

Stickstoffs den Werth 4,1 zu Grunde, während wir für die Atomrefraction des Sauerstoffs den Mittelwerth 3,1 wählen. Aus den Atomrefractionen erhalten wir die auf die Gewichtseinheiten bezogenen Refraktionswerthe für die einzelnen Elemente, indem wir jene durch die Atomgewichtszahlen dividiren. Hiernach berechnet sich der Werth der Constante $\frac{n-1}{d}$ für das Collagen zu:

$$\begin{aligned}\frac{n-1}{d} &= \frac{54,3 \times 5}{100 \times 12} + \frac{6,6 \times 1,3}{100 \times 1} + \frac{19,2 \times 4,1}{100 \times 14} + \frac{19,9 \times 3,1}{100 \times 16} \\ &= \frac{1}{100} (22,63 + 8,58 + 5,61 + 3,86) = 0,407.\end{aligned}$$

Für die Hornhautsubstanz selbst ergibt sich somit

$$\frac{N-1}{D} = \frac{77}{100} \cdot 0,3326 + \frac{23}{100} \cdot 0,407 + \frac{1}{100} \cdot 0,25 = 0,3522;$$

0,3326 ist der Werth von $\frac{n-1}{d}$ für destillirtes Wasser.

Aus der vorstehenden Gleichung folgt weiter:

$$N = 1 + 0,3522 \times 1,061 = 1,3739.$$

Wir erhalten somit auf Grund unserer theoretischen Berechnungen einen Werth für den Brechungsexponenten der Hornhaut, welcher zwischen den beiden von Aubert und Matthiessen experimentell bestimmten Werthen liegt, und letztere sind somit unter den bisher vorliegenden Zahlen als allein glaubwürdig zu betrachten¹⁾.

1) Die im Text benutzten Brechungsindices beziehen sich durchgängig auf die Strahlen mittlerer Brechbarkeit und die Temperatur von 15° C. — Ein gewissermaassen experimenteller Beweis für die ungefähre Richtigkeit obiger Zahl findet sich im „Nachtrag“ am Schlusse der eingangs citirten Arbeit in „Zehenders Monatsheften“; es handelt sich dort um eine Beobachtung am lebenden Auge.