

Ueber den Brechungsindex des lebenden Axen-cylinders.

Von

Dr. **Gross** in Wien.

Hierzu 3 Figuren.

Die Frage, ob sich der Brechungsindex einer Muskelfaser ändere oder nicht, wenn dieselbe sich contrahirt, fand bis in die letzte Zeit eine verschiedene Beantwortung. S. Exner wies nun nach (Ueber optische Eigenschaften lebender Muskelfasern — Archiv f. d. g. Physiologie v. Pflüger, 40. Band), dass gewisse beobachtete Veränderungen pathologischer, respective postmortalen, Natur seien, und dass eine Aenderung des Brechungsindex der Muskelfaser während der normalen Contraction nicht stattfindet. Exner benutzte dabei das von ihm construirte Mikrorefractometer (Ein Mikrorefractometer — Archiv f. mikr. Anatomie Bd. XXV), mit dessen Hilfe man bekanntlich geringe Unterschiede im Brechungsindex von mikroskopischen Gegenständen und der umgebenden Flüssigkeit an der eigenthümlichen Schattirung der Conturen, welche die Gegenstände plastisch hervortreten lässt, mit verhältnissmässig grosser Genauigkeit erkennen und messen kann.

Dieses Instrument schien mir geeignet zur Beantwortung der Frage, wie gross der Brechungsindex einer Nervenfasers ist und ob sich derselbe, wenn die Faser gereizt wird, um ein Merkliches ändere, in Anwendung gebracht zu werden.

Angeregt und während der Arbeit aufs liebenswürdigste von Herrn Prof. S. Exner unterstützt, wofür meinen besten Dank auszusprechen ich mir gestatte, unternahm ich es, diese Frage, deren Beantwortung meines Wissens bis jetzt nicht versucht worden war, mit Hilfe des erwähnten Mikrorefractometers zu erledigen.

Da der Flusskrebs dicke Nervenfasern besitzt, wollte ich zuerst solche verwenden; sie erwiesen sich aber als unbrauchbar, da sie frei präparirt sehr bald absterben. Das ist nun bei Froschnerven nicht der Fall. Dieselben sind verhältnissmässig lange reizbar und unverändert unter dem Mikroskope zu erhalten. Da ich es hier mit markhaltigen Fasern zu thun hatte, so musste die Frage weiter dahin präcisirt werden: Welches ist der Brechungs-

index des Axencylinders, und ändert sich dieser bei der Erregung um ein Merkliches?

Es war nun mein Bestreben, eine Flüssigkeit oder ein Flüssigkeitsgemenge herzustellen, in welcher der Froschnerv einerseits nicht zu bald abstirbt, andrenseits sollte die Flüssigkeit einen Brechungsindex von solcher Grösse haben, dass der ruhende Axencylinder beiderseits gleich hell erschien. (Ich setze hier als bekannt voraus, dass die Bestimmung des Brechungsindex mit dem Mikrorefractometer im Allgemeinen so ausgeführt wird, dass der zu untersuchende Körper so lange in Flüssigkeiten von steigendem Brechungsindex übertragen wird, bis die dem Schirm des Instrumentes zugewendete Seite desselben weder heller noch dunkler, als die von diesem abgewendete, erscheint.) Es musste dann bei der Reizung des Nerven eine auftretende Schattirung oder eine Aenderung der schon vorhandenen sicher constatirt werden können, falls überhaupt ein Wechsel im Brechungsindex statt fand.

Eine diesen Anforderungen entsprechende Flüssigkeit hoffte ich durch Mengen von einprocentiger Kochsalzlösung und Hühner-eiweiss zu erhalten und stellte folgende Gemenge, deren Brechungsindices ich mit Hilfe des Abbé'schen Refractometers bestimmte, her:

1 procentige ClNa-Lösung mit dem Brechungsindex	1,3353
5 Theile Hühnereiweiss, 7 Theile ClNa-Lösung	1,3454
Hühnereiweiss und ClNa-Lösung zu gleichen Theilen	1,3496
Frisches Hühnereiweiss	1,3615
Hühnereiweiss, welches einige Tage unter der Luft-	
pumpe gestanden	1,3772.

Als ich die Nervenfasern in diesen Flüssigkeiten mit dem Mikrorefractometer untersuchte, fand ich bei allen Flüssigkeiten, dass sich die Schattirung des Axencylinders auf der Seite des Schirmes befindet, dass sie sich also so verhält, wie sich ein homogenes cylindrisches Gebilde verhalten würde, wenn es geringeren Brechungsindex als die umgebende Flüssigkeit hätte. Die parallel auf die Nervenfasern fallenden Strahlen treten demnach divergirend aus. Die Ursache davon liegt darin, dass der cylinderförmige Axencylinder von dem Mantel der stärker brechenden Markscheide umgeben ist.

Diese Umstände musste ich also in Rechnung ziehen, wenn ich den Brechungsindex des Axencylinders ermitteln wollte.

Nun ist der Brechungsindex der Markscheide, welchen ich

bestimmte, indem ich die an den Schnittenden der Nervenfasern hervorquellenden Myelinklumpchen mit dem Mikrorefractometer in verschiedenen Flüssigkeiten ansah, zwischen die zwei Werthe 1,4697 und 1,4688

(Brechungsindices des verwendeten Olivenöles und einer Glycerinlösung)

einzuschliessen. Natürlich ist der Brechungsindex der Markscheide auch grösser, als der einer einprocentigen Kochsalzlösung; warum trotzdem auch in dieser nicht eine Convergenz der parallel auf die Nervenfaser auffallenden Strahlen beim Durchgang durch dieselbe bewirkt wird, erhellt aus folgenden Betrachtungen.

In beistehenden Figuren seien die Querschnitte von Nervenfasern dargestellt; n_1 ist der Brechungsindex der umgebenden Flüssigkeit, n_2 der der Markscheide, n_3 der des Axencylinders. S sei einer der parallelen auf die Nervenfaser auffallenden Strahlen, der an der Grenze der Markscheide zum Einfallslothe gebrochen den Weg MN macht; im Axencylinder legt er den Weg NN' zurück und wird beim Eintritte in denselben entweder zum Einfallslothe (Fig. I) oder vom Einfallslothe (Fig. II) gebrochen, je nachdem man voraussetzen will, dass der Brechungsindex des Axencylinders grösser oder kleiner ist, als der der Nervenscheide.

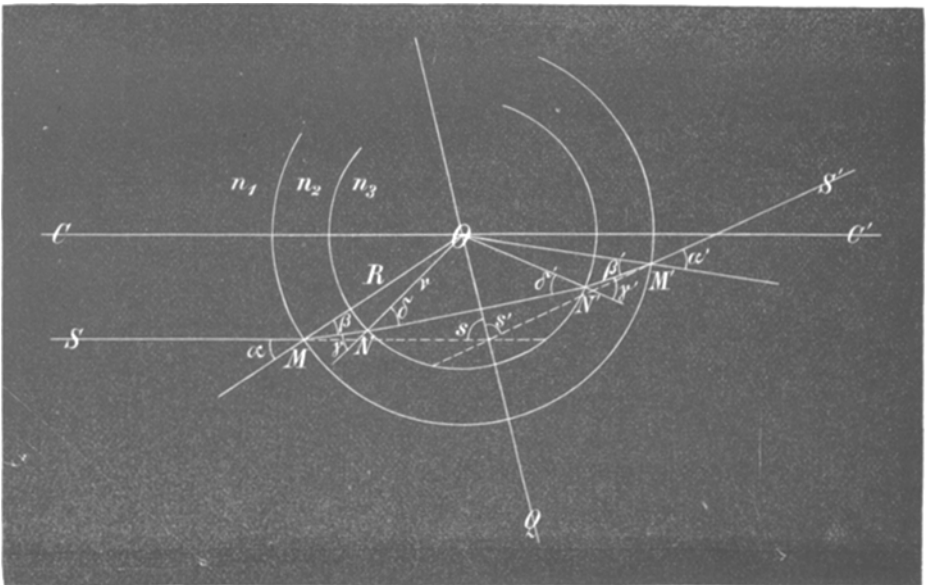


Fig. I.

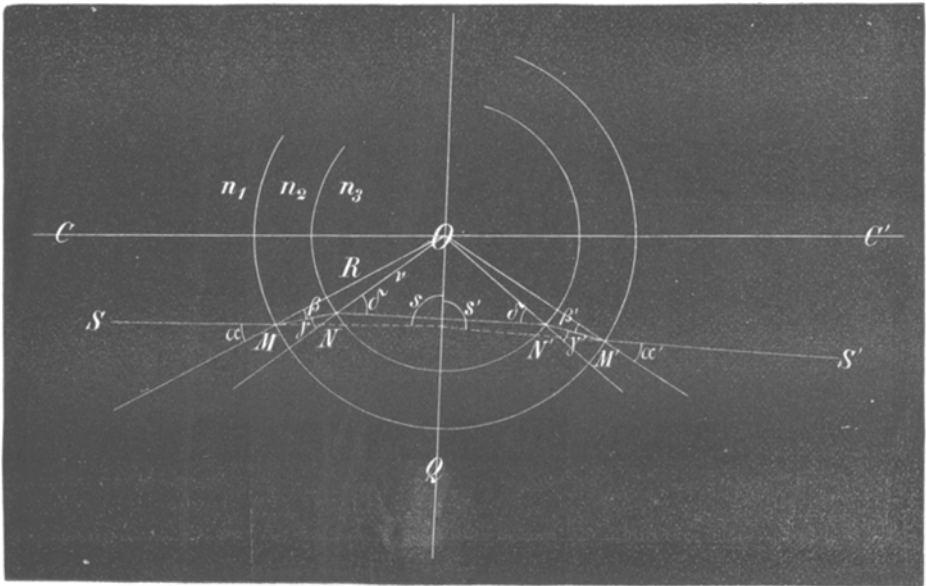


Fig. II.

Die Einfalls- und Brechungswinkel seien der Reihe nach $\alpha, \beta, \gamma, \delta$; die entsprechenden Winkel beim Austritte des Strahles seien $\alpha', \beta', \gamma', \delta'$.

Da $\delta = \delta'$ ist, sind auch

$$\delta = \delta'$$

$$\gamma = \gamma'$$

$$\beta = \beta'$$

$$\alpha = \alpha'$$

die von O auf NN' errichtete Senkrechte halbirt NN' und die Verlängerungen des einfallenden und austretenden Strahles schneiden sich in einem Punkte dieser Senkrechten. Die dabei entstehenden Winkel s und s' sind einander gleich.

Dieser Winkel $s < \frac{\pi}{2}$, wenn der austretende Strahl gegen den Centralstrahl CC' gebrochen, also convergent, wird

$$s = \frac{\pi}{2},$$

wenn der austretende Strahl parallel mit dem Centralstrahle verläuft (in der Richtung des einfallenden Strahles austritt)

$$s > \frac{\pi}{2},$$

wenn die austretenden Strahlen divergent sind.

Es ist nun

$$\begin{aligned} s &= 180 - \alpha - (\gamma - \beta) - (90 - \delta) \\ &= 90 + \beta + \delta - (\alpha + \gamma). \end{aligned}$$

Daher ist

$$s \begin{matrix} \leq \\ \geq \end{matrix} 90^\circ,$$

wenn

$$\beta + \delta \begin{matrix} \leq \\ \geq \end{matrix} \alpha + \gamma \text{ ist.} \quad (1)$$

Wir können nun die Grössen α , β , γ , δ durch n_1 , n_2 , n_3 , γ und R ausdrücken:

$$\begin{aligned} \sin \alpha : \sin \beta &= n_2 : n_1 \\ \sin \beta &= \frac{n_1}{n_2} \sin \alpha \\ R : \gamma &= \sin \gamma : \sin \beta \\ \sin \gamma &= \frac{R}{\gamma} \sin \beta = \frac{R n_1}{\gamma n_2} \sin \alpha \\ \sin \gamma : \sin \delta &= n_3 : n_2 \\ \sin \delta &= \frac{n_2}{n_3} \frac{R n_1}{\gamma n_2} \sin \alpha = \frac{R n_1}{\gamma n_3} \sin \alpha \end{aligned}$$

Im Folgenden ist es nöthig, nur die nahe der Mitte durch die Nervenfasern tretenden Strahlen zu berücksichtigen. In diesem Falle dürfen wir in dem Ausdrucke (1) die Winkel durch die Sinuse der Winkel ersetzen und erhalten dann:

$$\begin{aligned} \sin \beta + \sin \delta &\begin{matrix} \leq \\ \geq \end{matrix} \sin \alpha + \sin \gamma \\ \frac{n_1}{n_2} \sin \alpha + \frac{R n_1}{\gamma n_3} \sin \alpha &\begin{matrix} \leq \\ \geq \end{matrix} \sin \alpha + \frac{R n_1}{\gamma n_2} \sin \alpha \\ \frac{1}{n_2} + \frac{1}{n_3} \frac{R}{\gamma} &\begin{matrix} \leq \\ \geq \end{matrix} \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \frac{R}{\gamma} \\ \frac{R}{\gamma} \left(\frac{1}{n_3} - \frac{1}{n_2} \right) &\begin{matrix} \leq \\ \geq \end{matrix} \frac{1}{n_1} - \frac{1}{n_2} \\ \frac{R}{\gamma} \frac{n_2 - n_3}{n_2 n_3} &\begin{matrix} \leq \\ \geq \end{matrix} \frac{n_2 - n_1}{n_1 n_2} \\ n_1(n_2 - n_3) R &\begin{matrix} \leq \\ \geq \end{matrix} n_3(n_2 - n_1) \gamma \end{aligned} \quad (2)$$

Wenn in dem Ausdrucke (2) $n_3 > n_2$ und $n_2 > n_1$ ist, dann wird die rechte Seite positiv, also grösser als die linke Seite; \times s ist dann kleiner als 90° ; das heisst die Strahlen treten convergirend aus.

Ist aber $n_3 < n_2$ und $n_2 < n_1$, dann wird die linke Seite positiv — die Strahlen treten divergirend aus.

Wird $n_2 = n_1$ oder $n_2 = n_3$, so wird aus der Formel (2) die Formel $n_3 \geq n_2$ respective $n_2 \geq n_1$, d. h. wir haben dann den Fall des homogenen Cylinders.

In den eben erwähnten Fällen sind die Grössen R und γ ohne Einfluss in dem Ausdrücke (2).

Wenn die aus der Nervenfaser austretenden Strahlen parallel sind, gilt die Gleichung:

$$n_1(n_2 - n_3)R = n_3(n_2 - n_1)\gamma \quad (3)$$

Es erscheint in diesem Falle der Axencylinder mit dem Mikrorefractometer betrachtet ohne Schattirung.

Derartige Nervenfasern sind in grösserer Zahl im Brust- und im Halsmarke des Frosches zu finden. Eine solche Nervenfaser kann man dazu benützen, n_3 , den Brechungsindex des Axencylinders, zu berechnen.

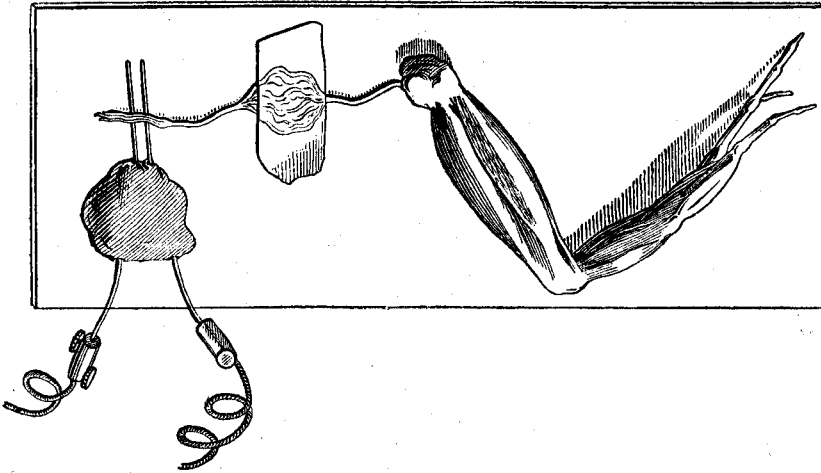
Da n_1 bekannt ist, n_2 oben bestimmt wurde, die Grössen R und γ gemessen werden können, kann man mit Hilfe der Gleichung (3) n_3 bestimmen. Als Mittelwerth mehrerer Bestimmungen fand ich den Brechungsindex des ruhenden Axencylinders

$$n_3 = 1,367.$$

Im Nervus ischiadicus des Frosches findet man nur ganz vereinzelt derartige Nervenfasern. Da es aber wegen der Anordnung des Versuches nothwendig ist, den Nervus ischiadicus zu verwenden, sah ich von der Forderung ab, nur derartige Nervenfasern in Betracht zu ziehen, da ja auch die Aenderung einer bereits bestehenden Schattirung, besonders wenn eine grössere Zahl solcher Fasern sich im Gesichtsfelde befindet, wahrgenommen werden muss.

Die Anordnung des Versuches selbst war folgende: Ich präparirte den Nervus ischiadicus aus dem Oberschenkel und dem Becken heraus, trennte ihn vom Rückenmarke, kneipte den Oberschenkel durch und legte das Präparat auf einen grossen Objectträger, an dem die beiden Elektroden eines Schlittenapparates angebracht waren. Nachdem nun der Nerv in seinem Verlaufe mit 0,7procentiger Kochsalzlösung umgeben war, wurden seine Fasern vorsichtig mit Nadeln getrennt, mit einem Deckglas oder Glimmerblatt bedeckt, und nun konnte mit dem Mikrorefractometer wäh-

rend der Reizung beobachtet werden (vgl. Fig. III). Die Zuckungen des am Präparate befindlichen Unterschenkels zeigten an, ob der Nerv noch leitungsfähig sei.



Figur III.

Man bekommt immer leicht eine grössere Zahl von Nervenfasern ins Gesichtsfeld und kann beobachten, dass die Schattirung derselben verschieden stark ist; dieselbe ist nämlich bedingt durch das Verhältniss der Grössen R und γ , die Halbmesser des Querschnittes der Nervenfaser und des Axencylinders.

Bei der elektrischen Reizung kann man nun weder an einzelnen Nervenfasern, noch an den in grösserer Menge bei einander liegenden eine Aenderung der vorhandenen Schattirungen wahrnehmen.

Das Resultat war immer dasselbe, als ich die Beobachtungen zu verschiedenen Zeiten mit einer grösseren Anzahl von Fröschen sowohl an einzelnen Nervenfasern, als auch an in Gruppen bei einander liegenden gemacht hatte. Da nun bis in die vierte Decimalstelle eine Aenderung des Brechungsindex mit dem Mikrorefractometer constatirt werden kann, darf ich auf Grund der Versuche behaupten:

Der Brechungsindex der Nervenfasern ändert sich bei der elektrischen Reizung bis in die Einheiten der vierten Decimalstelle nicht.
