Ueber den Grund der accommodatorischen Formveränderung der Linse.

Von

Medicinalrath Witter in Meiningen.

Zwei Flüssigkeiten A und B, welche durch eine bewegliche Scheidewand getrennt, ein geschlossenes Gefäß erfüllen, stehen abgesehen von den Wirkungen der Schwere und der Molekularkräfte, unter allen Umständen unter gleichem Druck. Erfährt die Flüssigkeit A den Druck k , so theilt sich dieser der Flüssigkeit B gerade so mit, als ob die Scheidewand nicht vorhanden wäre. Bstößt aber die Scheidewand ihre passive Beweglichkeit ein und übt sie durch eigene Kraftentwicklung von sich aus den Gegendruck nk auf A, so wird die Vertheilung des Druckes eine ungleiche in der Weise, dass A nunmehr unter einen Druck zu stehen kommt, welcher der Summe $k(1 + n)$, B unter einen solchen, welcher dem Unterschiede $k(1 - n)$ der beiden drückenden Kräfte gleichkommt.

Derselbe Fall tritt ein, wenn eine anfangs erschlaffte Membran, welche die Stelle der beweglichen Scheidewand vertritt, durch irgend eine Kraft in Spannung versetzt wird, und zugleich das Bestreben erhält, den Raum der Flüssigkeit, von welcher die Drucksteigerung ausgeht, zu vermindern, sie also einen aktiven Gegendruck auf diese ausübt.

Im Auge liegt der Fall so, dass die Kammerflüssigkeit einem permanenten physiologischen Drucke unterliegt, die Flüssigkeit des Petit'schen Kanales dagegen nicht. Beide sind durch die Zonula getrennt, welche durch einen eigenen Muskel abwechselnd in Erschlaffung und in Spannung versetzt werden kann, wodurch im ersten Falle der Druck des Kammerwassers auf den Inhalt des Petit'schen Kanals ungeschwächt fortgepflanzt wird, im zweiten das Kammerwasser eine der Muskelwirkung entsprechende Zunahme, die den Petit'schen Kanal erfüllende Flüssigkeit eine gleiche Verminderung des Drucks erfährt. Im ersten Falle ist die Linse ringsum einem gleichmässigen Drucke ausgesetzt, im zweiten wird sie von den Polen her, soweit sie mit dem Kammerwasser und dem Glaskörper in Berührung steht, stärker gedrückt, als vom Rande her, so weit der Petit'sche Kanal reicht, sie erleidet also eine Zusammendrückung in diesem Sinne oder eine Verkürzung der Achse, welche wieder einer Formveränderung in entgegengesetztem Sinne weicht, sobald die Spannung der Zonula nachlässt.

Um eine annähernd richtige Vorstellung von der Grösse dieser Druckschwankungen zu erhalten, nach welcher man ihre Wirkungen bemessen kann, substituirt man der Linse eine ihrer Oberfläche congruente mathematische feste Fläche, deren Theile den einwirkenden Kräften gegenüber unzertrennlich verbunden sind, so dass ein in Bezug auf die Pole symmetrisch vertheilter

Druck in der Richtung der Achse nur eine Verkürzung dieser und eine Erweiterung des Aequators, ein Druck senkrecht auf die Achse nur eine Verlängerung derselben und Abnahme des Durchmessers des Aequators unter entsprechender Anordnung der zwischenliegenden Punkte bewirken kann, und zwar unter Ausschluss einer jeden anderen Richtung der Bewegung der einzelnen Theile. Den Druck, welcher irgend einen Punkt dieser Fläche trifft, zerlegt man in zwei Componenten, deren eine der Linsenmasse parallel, die andere auf ihr senkrecht ist. Die Richtung der Bewegung, die jede dieser Componenten für sich unter den gegebenen Voraussetzungen einem beliebigen Punkte der Oberfläche ertheilen kann, ist derjenigen, welche die zu ihr gehörige andere Componente hervorzubringen vermag, entgegengesetzt. Die gleichzeitige Wirkung beider resultirt demnach von dem Unterschiede der den Componenten zukommenden, auf den Rand und auf die Pole bezüglichen Kraftmomente. Bezeichnet man nun das Maass des Druckes des Kammerwassers bei Erschlaffung der Zonula mit k , die mit der Achse parallele Componente dieser Kraft mit s , die auf der Achse senkrechte mit w , und nimmt man die Durchschnittslinie der Meridianebene des angenommenen Punktes mit dem Aequator als Abscissenachse, so ist

$$s = k \frac{dx}{\sqrt{dy^2 + dx^2}}$$

$$w = k \frac{dy}{\sqrt{dy^2 + dx^2}}$$

Bezeichnet man ferner die quadrirte Oberfläche der Linse mit P , so ist die Summe des dieser Oberfläche zukommenden Druckes in der Richtung der s Compe-

tente $\int sdP$, und in der Richtung der w Componente $\int wdP$, und da

$$dP = 2\pi k \sqrt{dy^2 + dx^2}$$

so ist weiter

$$\int sdP = \int 2\pi k x dx = \pi k x^2$$

und

$$\int wdP = \int 2\pi k x dy.$$

Der der s -Componente entsprechende Druck ist demnach unabhängig von der Gleichung der linsenerzeugenden Curve und gleich demjenigen, welchen die Constante k gleichmässig auf den Aequator ausüben würde, während der der w -Componente entstammende Druck je nach der Besonderheit dieser Curve variiert.

Sieht man nach der gewöhnlichen Annahme die vordere Fläche der Linse als aus der Rotation einer Ellipse entstanden an, (halbe grosse Achse $= a$, halbe kleine $= b$), deren Gleichung aus dem Mittelpunkte also

$$y^2 = \frac{b^2}{a^2} (a^2 - x^2),$$

so ergibt sich

$$\frac{dy}{dx} = - \frac{b}{a} \frac{\sqrt{b^2 - y^2}}{y}$$

und

$$\int w dP = 2\pi k \int x dy =$$

$$\frac{\pi a k}{b} \left[b^2 \arccos \left(\cos = \frac{y}{b} \right) - y \sqrt{b^2 - y^2} \right]^*$$

Ist ferner die hintere Fläche der Linse aus einer Parabel entstanden, deren Abscissenachse in der Linsenachse liegt, deren Gleichung aus dem Scheitel also

$$y^2 = px,$$

(die Coordinaten sind der bequemerer Rechnung wegen im Vergleiche zu der Ellipsengleichung vertauscht) so ist

$$\frac{dy}{dx} = \frac{p}{2y}$$

$$\int w dP = 2\pi k \int y dk =$$

$$\frac{4\pi k}{3p} y^3.$$

Diese Ergebnisse auf eine den Messungsmitteln entsprechende Normalellipse ($a = 2''$, $b = 1''$) und Parabel ($p = 4''$) bezogen, liefern folgende Werthe:

$$*) \quad x dy = - \frac{a}{b} \sqrt{b^2 - y^2} \, dy$$

$$b^2 - y^2 = y^2 z^2$$

$$dy = - \frac{bz \, dz}{(z^2 + 1)^{3/2}}$$

$$- \frac{a}{b} \sqrt{b^2 - y^2} \, dy = ab \frac{z^2 dz}{(z^2 + 1)^2}$$

$$\frac{z^2 dz}{(z^2 + 1)^2} = - \frac{dz}{(z^2 + 1)^2} + \frac{dz}{z^2 + 1}$$

$$\int \frac{dz}{z^2 + 1)^2} = \frac{1}{2} \frac{z}{z^2 + 1} + \frac{1}{2} \int \frac{dz}{z^2 + 1}$$

$$\int \frac{z^2 dz}{(z^2 + 1)^2} = - \frac{1}{2} \frac{z}{z^2 + 1} + \frac{1}{2} \arccos (\tan = z)$$

$$\int 2\pi k ab \frac{z^2 dz}{(z^2 + 1)^2} = \pi k ab \left[\arccos (\tan = z) - \frac{z}{z^2 + 1} \right]$$

$$2\pi k \int x dy = \frac{\pi a k}{b} \left[b^2 \arccos \left(\cos = \frac{y}{b} \right) - y \sqrt{b^2 - y^2} \right]$$

1. Ellipse

$$\int \text{sdP} = 4\pi k (1 - y^2)$$

$$\int \text{wdP} = 2\pi k \left[\arccos(y) - y \sqrt{1 - y^2} \right]$$

2. Parabel

$$\int \text{sdP} = \pi k y^2$$

$$\int \text{wdP} = \frac{\pi k}{3} y^3.$$

Die Insertion des vorderen und des hinteren Blattes der Zonula der Abscisse der Ellipse 1,8''' (Ordinate = 0,436..''') entsprechend und kreisförmig genommen, sind

$$\text{A. } \int_{y=0,436..}^y = 1 \quad \text{sdP} = 10,178.. k$$

$$\text{B. } \int_{y=0,436..}^y = 1 \quad \text{wdP} = 4,571.. k$$

die Gesamtdrucke der respectiven Componenten auf die Fläche der Linse, welche von dem Kammerwasser beeinflusst wird,

$$\text{C. } \int_{y=0}^y = 0,436.. \quad \text{sdP} = 2,388.. k$$

$$\text{D. } \int_{y=0}^y = 0,436.. \quad \text{wdP} = 5,298.. k$$

dieselben relativen Druckmengen für die zwischen der vorderen Insertion der Zonula und dem Rande gelegenen Theile des Petit'schen Kanales, und

$$\text{E. } \int_{y=1,8}^y = 2 \quad \text{sdP} = 2,388.. k = C$$

$$\text{F. } \int_{y=1,8}^y = 2 \quad \text{wdP} = 2,270.. k$$

die gleichen für den zwischen dem Rande und der hinteren Insertion der Zonula gelegenen Theil.

Im Zustande der Erschlaffung der Zonula ist der in der Achsenrichtung überwiegende Druck, unter welchem die Linse steht.

$$\alpha (A + C + E) - \beta (B + D + F),$$

wenn α den Aequatorialdurchmesser und β die Achse der Linse bedeuten, weil für jeden Punkt der Fläche mit der Achse parallele Kräfte des Durchmessers des Aequators, auf ihr senkrechte der Achse, als constanter Factoren zur Vervollständigung ihres Kraftmomentes in Beziehung auf den Rand und auf die Pole bedürfen.

Nach den bisherigen Maassen und $\alpha = 4'''$, $\beta = 2'''$, ist dieser Druck

$$\begin{aligned} G. \quad & 4 (A + C + E) - 2 (B + D + F) \\ & = 35,538.. k \end{aligned}$$

Wird dagegen die Zonula durch Muskelthätigkeit gespannt, und der Druck des Kammerwassers dadurch um nk verstärkt, der Druck im Petit'schen Kanal um ebensoviel vermindert, so beträgt dieser Druck nunmehr

$$\begin{aligned} H. \quad & 2 \left[(2A - B) (1 + n) + (2C - D + 2E - F) (1 - n) \right] \\ & = 35,538.. k + 27,602.. nk \end{aligned}$$

und der Erfolg ist derselbe, als ob die Linse in der Achsenrichtung mit einer Kraft zusammengedrückt würde, welche dem Unterschiede $H - G$ oder

$$\begin{aligned} & 2n (2A + D + F - B - 2C - 2E) - \\ & 27,602.. nk \end{aligned}$$

gleich ist.

Diese Resultirende ist in der Wirklichkeit um ein Namhaftes grösser, weil unter Anderen die hintere Linse erzeugende Curve in der Aequatorialgegend von der Parabel bedeutend abweicht, so dass am Aequator ihre Tangente senkrecht auf diesem steht, woraus folgt, dass F merklich grösser wird, während E constant bleibt, und weil die berechneten Grössen nur für den Anfang der

Bewegung gelten, sobald eine solche aber eingetreten ist, alle zu Gunsten einer Vergrösserung der Differenz variiren.

Das geometrische Verhältniss der beiden Kräfte $\frac{H}{G}$ schliesslich ist $1 + 0,777.. n$.