Demonstration eines Modells zur Veranschaulichung der Akkomodation des Auges [1]).

Von

Professor **F. Schenck** in Marburg.

M. H.! Ich beabsichtige, Ihnen ein Modell vorzuführen, das ich konstruiert habe, um beim physiologischen Unterricht den Vorgang der Akkommodation des menschlichen Auges zu veranschaulichen. Dieser Vorgang ist nämlich nicht so einfach, dass er ohne die Hilfsmittel des Anschauungsunterrichts von unseren Studierenden leicht begriffen werden kann. Um Ihnen das Modell verständlich zu machen, will ich einige einleitende Bemerkungen über das Wesen des Akkomodationsvorgangs vorausschicken.

Unser Auge besteht bekanntlich aus einer Blase, die mit teils flüssigem, teils festweichem Inhalt gefüllt ist. Die Wand der Blase ist gebildet aus drei Häuten (vergl. Figur 1),

1. der äusseren, der Lederhaut, deren vorderer durchsichtiger und etwas stärker gekrümmter Teil die Hornhaut ist,

---

1) Obwohl der vorliegende Vortrag dem Fachmanne nichts Neues bietet, veröffentliche ich ihn doch in extenso auf besonderen Wunsch des Vorstandes des naturhistorischen Vereins, welcher der Ansicht war, dass die hier gegebene kurze Darstellung der Akkomodationslehre für viele Mitglieder des Vereins Interesse haben dürfte.

2. der mittleren, der Aderhaut, die in ihrem vorderen, Regenbogenhaut genannten Teil das Pupillenloch enthält,
3. der inneren, der Netzhaut, die nicht weit nach vorne reicht, sondern nur den hinteren Teil der Augenblasenwand bilden hilft.

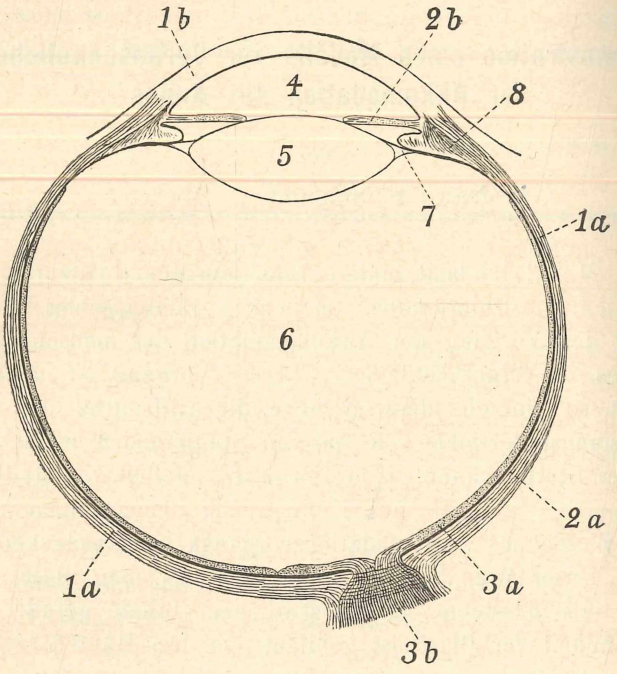

Fig. 1. Horizontalschnitt durch den Augapfel (nach Rauber).
1a Lederhaut. 1b Hornhaut. 2a Aderhaut. 2b Regenbogenhaut. 3a Netzhaut. 3b Sehnerv. 4 Kammerwasser. 5 Linse. 6 Glaskörper. 7 Linsenaufhängeband. 8 Akkommodationsmuskel.

In der Netzhaut endigen die Fasern des Sehnerven, die von hinten her ins Auge eintreten und auf der Netzhaut sich ausbreitend dort mit stäbchen- und zapfenartigen Gebilden verbunden sind. Die Stäbchen und Zapfen der Netzhaut sind so gerichtet und nebeneinander gestellt, dass sie gegen die Netzhautfläche hin angesehen, ein

feines Mosaik darstellen; sie sind die Gebilde, auf welche das ins Auge einfallende Licht erregend wirkt, und von denen aus die Erregung durch die Sehnervenfasern den Gehirnzellen zugeleitet wird, in welch letzteren die Lichtempfindung dann zustande kommt.

Die vor der Netzhaut gelegenen Teile des Augeninnern bilden nun einen lichtbrechenden Apparat, dem die Aufgabe zukommt, die ins Auge einfallenden Lichtstrahlen so zu brechen, dass ein scharfes Bild der vor dem Auge stehenden Gegenstände genau auf der Netzhaut entworfen wird. Das Entstehen dieses Bildes ist zum Sehen erforderlich. Das Sehen, das deutliche Sehen, besteht darin, dass wir uns mit Hilfe der Lichtempfindungen eine richtige Vorstellung von der Form und dem Orte der lichtaussendenden Körper machen. Damit wir diese Vorstellung gewinnen können, damit wir beispielsweise die verschiedenen Orte eines rechts und eines links vor dem Auge stehenden Lichtes erkennen können, ist es erforderlich, dass wir die von den beiden Lichtern erzeugten Lichtempfindungen getrennt von einander wahrnehmen und unterscheiden können. Diese Unterscheidung wäre aber nicht möglich, wenn die Netzhaut, ohne die lichtbrechende Vorrichtung vor sich zu haben, frei auf der Aussenseite des Auges läge und so ohne weiteres den beiden Lichtern gegenüberstände, denn dann würde die Netzhaut von dem einen Lichte aus, gerade so wie von dem anderen ganz belichtet und ganz erregt werden, und die beiden von den Lichtern hervorgerufenen Lichtempfindungen würden nicht zu unterscheiden sein.

Anders aber, wenn durch eine lichtbrechende Vorrichtung die Lichtstrahlen, bevor sie auf die Netzhaut auftreffen, so gebrochen werden, dass die Strahlen des einen Lichtes sich auf einer beschränkten Stelle der Netzhaut zu einem Bilde des Lichtes vereinigen, und die Strahlen des anderen Lichtes auf einer anderen Stelle. Dann sind die Lichtstrahlen der getrennten Lichter auch wieder auf der Netzhaut getrennt und können getrennte,

unterscheidbare Empfindungen vermitteln, indem der eine Lichtbildpunkt den unter ihm gelegenen Netzhautzapfen mit der zugehörigen Sehnervenfaser erregt, und nur diesen, während der andere Lichtbildpunkt einen anderen Zapfen erregt. Wenn so durch die verschiedenen Lichter verschiedene Sehnervenfasern erregt werden, dann ist die Möglichkeit gegeben, dass auch die entstehenden Lichtempfindungen von einander unterschieden werden können. Und was für die beiden Lichter gilt, muss selbstverständlich für alle anderen angeschauten Objektpunkte gelten. — Kurz: Für das deutliche Sehen ist es erforderlich, dass durch den lichtbrechenden Apparat des Auges scharfe Bilder der angeschauten Gegenstände auf der Netzhaut entworfen werden, geradeso etwa, wie durch das Objektiv eines photographischen Apparates scharfe Bilder der zu photographierenden Gegenstände auf der lichtempfindlichen Platte entworfen werden müssen, damit eine deutliche Photographie erhalten wird.

Die durchsichtigen, lichtbrechenden Teile des Auges sind nun, von vorne nach hinten aufgezählt:

1. die Hornhaut eine kugelig gekrümmte dünne Haut,
2. das Kammerwasser, eine sehr wasserreiche Flüssigkeit,
3. die Krystalllinse, eine Bikonvexlinse,
4. der Glaskörper, eine auch sehr wasserreiche Gallerte, an welche hinten die Netzhaut angrenzt.

Das Brechungsvermögen des Kammerwassers und des Glaskörpers ist etwa gleich dem des Wassers, das Brechungsvermögen der Hornhaut und noch mehr das der Krystalllinse ist aber grösser, letzteres nahezu gleich dem des Glases. Wir können daher das lichtbrechende System des Auges hinsichtlich seiner Wirkung auf die Lichtstrahlen auch vergleichen einem System, das aus Luft vorne und Wasser hinten besteht, beide gegen einander abgegrenzt durch eine dünne Glasschale, und welches ausserdem noch eine gläserne Bikonvexlinse in das Wasser ziemlich dicht hinter die Glasschale eingesetzt enthält.

Um uns die Wirkung eines solchen Systems klar zu machen, gehen wir aus von dem Falle, dass Licht von einem weit entfernten Punkt kommend in das System einfällt, dass also der in das System gelangende Teil des Lichts ein Bündel von nahezu parallelen Lichtstrahlen umfasst. Diese Strahlen werden beim Übergang aus der Luft in die gewölbte Seite der Glasschale so gebrochen, dass sie nun einander zugeneigt verlaufen und sich in einem Punkte vereinigen würden, falls sie weiter im Glas bleiben würden. Beim Austritt des Lichts auf der Hohlseite der Glasschale wird aber die erste Brechung wieder rückgängig gemacht; wäre auch auf der Hohlseite Luft vorhanden, so würden die Strahlen sogar wieder parallel werden, aber da auf der Hohlseite das stärker als Luft brechende Wasser sich befindet, so bleiben die Strahlen einander zugeneigt, freilich in geringerem Grade, als nach der ersten Brechung. Die von dem weit entfernten Lichtpunkt kommenden Strahlen werden also beim Durchgang aus Luft durch die Hornhaut in das Kammerwasser so gebrochen, dass sie sich danach, wenn sie weiter in Wasser verliefen, in einem Punkte vereinigen würden, der den Bildpunkt des Lichtpunktes darstellt; Hornhaut und Kammerwasser allein wirken schon als optisches Sammelsystem.

Bevor die Strahlen sich aber im Kammerwasser vereinigt haben können, treffen sie auf die Linse und durchsetzen diese. Die Linse wirkt, analog einem Brennglas, auch als Sammelsystem, und verstärkt die Wirkung der Hornhaut, so dass nun die Strahlen einander mehr zugeneigt sind und sich früher zu einem Bildpunkte vereinigen.

Da also die Linse die ohnehin schon vorhandene Strahlenbrechung nur verstärkt, so würde sie auch fehlen dürfen, wenn etwa die Netzhaut, auf welche das Bild fallen soll, etwas weiter hinten läge, oder wenn der Hornhaut durch etwas stärkere Krümmung eine grössere Brechkraft verliehen worden wäre. Wenn wir uns aber die

Linse ganz weg denken können, ohne dass das Sehen dann unmöglich erschiene, was hat sie dann wohl für einen Zweck? Wozu diese anscheinend überflüssige Komplikation im Aufbau des Auges?

Nun, die Linse hat doch einen sehr wichtigen Zweck. Ihre Bedeutung liegt in der Rolle, die sie bei der Akkomodation des Auges spielt.

Der lichtbrechende Apparat des Auges hat die Aufgabe, das Bild an einer ganz bestimmten, durch die Lage der Netzhaut gegebenen Stelle zu entwerfen. Nun lehrt die Physik, dass bei einem solchen lichtbrechenden Apparat für eine bestimmte Lage des Bildes auch der abzubildende Gegenstand eine bestimmte Entfernung vom Apparat haben muss. Für das normal gebaute Auge müssen die Gegenstände weit vom Auge entfernt sein, um scharf auf der Netzhaut abgebildet zu werden. Nahe Gegenstände geben auf der Netzhaut kein scharfes, sondern ein verschwommenes Bild, ähnlich wie es bei einem schlecht eingestellten photographischen Apparat der Fall ist; das scharfe Bild der nahen Gegenstände würde hinter der Netzhaut liegen. Nahe Gegenstände können wir deshalb nicht ohne weiteres deutlich sehen, wir müssen dazu eine Änderung an dem lichtbrechenden Apparat unseres Auges vornehmen.

Die Änderung, die wir an unserem Auge beim Sehen in die Nähe vornehmen, ist eben die Akkomodation für die Nähe; sie besteht darin, dass wir willkürlich die Linse stärker krümmen. Durch Verstärkung der Linsenkrümmung können wir, wie sich aus bekannten physikalischen Lehrsätzen ergibt, die Brechkraft des brechenden Systems unseres Auges verstärken, und dadurch erzielen, dass auch von nahen Gegenständen scharfe Bilder nicht hinter, sondern noch auf der Netzhaut entworfen werden.

Darin liegt also der Zweck der Linse, sie dient zur Akkommodation. Wie kommt aber die Veränderung der Linsenkrümmung zustande?

Die Linse ist biegsam und elastisch, d. h. ein von aussen auf sie wirkender Zug oder Druck verändert leicht

ihre Gestalt, aber sie nimmt vermöge ihrer Elastizität die alte Gestalt wieder an, wenn der Druck oder Zug aufhört zu wirken.

An der im Auge befindlichen Linse wird ein Zug ausgeübt von dem Bande aus, an dem die Linse befestigt ist. Dieses Band ist ringförmig, der innere Rand desselben ist angeheftet an dem Linsenrande, der äussere Rand des ringförmigen Bandes ist verwachsen mit der Aderhaut, die Verwachsungsstelle liegt etwas nach hinten von der Stelle, wo die Aderhaut in die Regenbogenhaut übergeht und zugleich mit dem Hornhautrande zusammenhängt. Von der Aderhaut her wird der Zug an dem Aufhängeband der Linse ausgeübt und von da auf die Linse übertragen, dadurch wird die Linse gegen ihren Rand hin gestreckt und die Folge muss sein, dass die Linse in der Richtung von vorne nach hinten sich verschmälert und dass ihre Krümmung sich abflacht.

Man kann sich dies klar machen an folgender Vorrichtung. Zwei gebogene federnde Streifen aus Stahlblech sind, die Hohlseiten einander zugekehrt, an ihren oberen und an ihren unteren Enden aneinander befestigt. An die Vereinigungsstellen oben und unten sind Bänder angeknüpft. Diese Vorrichtung ahmt einen Durchschnitt durch die Linse (die allerdings nur im Durchschnitt ihrer vorderen und hinteren Begrenzungsfläche dargestellt ist) und durch das Aufhängeband nach. Ziehe ich an den Bändern nach oben und unten, so flachen sich die Stahlstreifen ab, lasse ich den Zug nach, so krümmen sie sich wieder stärker. Ersteres entspricht der Einstellung für die Ferne, letzteres für die Nähe.

Im Auge wird die Anspannung des Linsenaufhängebandes bewirkt von der Aderhaut her. Die Aderhaut selbst ist nämlich ausgedehnt und gespannt und überträgt ihre Spannung auf das an ihr befestigte Linsenband. Die Dehnung der Aderhaut wird nach der Ansicht Helmholtz' bewirkt durch die pralle Füllung des Augeninneren.

Die Entspannung der Linse beim Sehen in die Nähe

wird durch Muskelzug zustande gebracht. Die Muskelfasern haben die Eigenschaft, sich in ihrer Längsrichtung zu verkürzen und dadurch einen Zug auf die mit den Faserenden verknüpften Teile auszuüben, wenn sie erregt werden, ihre normale Erregung erfolgt vom Nervensystem aus.

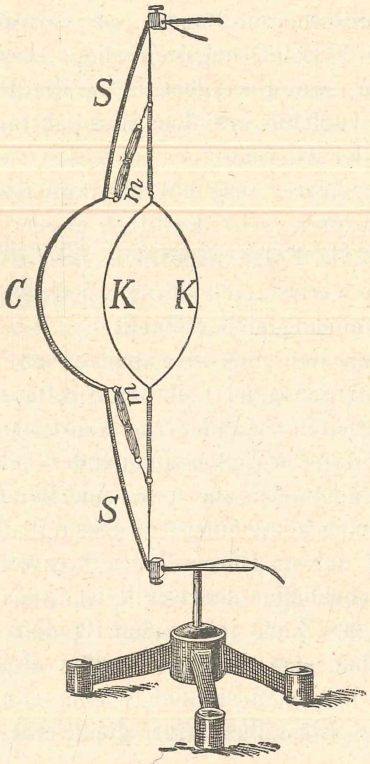

Fig. 2. Akkommodationsmodell. *C* Hornhaut. *SS* Lederhaut. *KK* Linse. *mm* Akkommodationsmuskel.

Im Auge befindet sich ein Muskel, dessen Fasern, in einem ringförmigen Bande radiär gerichtet, mit einem Ende angeheftet sind an dem Hornhautrande innen, mit dem anderen Ende an der Aderhaut da, wo auch das Linsenaufhängeband befestigt ist.

Verkürzung dieser Muskelfasern bewirkt Zug an der Aderhaut gegen den Hornhautrand hin. Dadurch wird der Kreis, in dem das Linsenband an der Aderhaut befestigt ist, gegen die Hornhaut hin gezogen und verkleinert. Der Muskelzug wirkt dabei entgegen dem Zuge, den die gespannte Aderhaut am Linsenbande ausübt und hebt daher die Wirkung der Aderhautspannung auf die Linse auf. Die Linse wird so entspannt und geht ihrer Elastizität folgend in den Zustand stärkerer Krümmung über.

Da es nun nicht leicht ist, sich von dem beschriebenen Vorgang eine klare Vorstellung zu machen, so will ich Ihnen den Vorgang durch den Versuch mit dem Modell veranschaulichen.

Das Modell stellt einen Durchschnitt durch die vorderen Teile des Auges vor. Der Durchschnitt durch die Hornhaut und die angrenzenden Teile der Lederhaut, *SCS* in der nebenstehenden Figur 2, ist gebildet von einer passend gebogenen Eisenstange, der der Linsenflächen durch zwei gekrümmte federnde Stahlstreifen, *KK* in der Figur, welche befestigt sind an zwei Bändern. Letztere sind oben und unten an die Eisenstange angeheftet. Die den Anheftungsstellen angrenzenden Stücke der Bänder bestehen aus Gummiband, welches gespannt ist, dadurch einen Zug auf die Linse ausübt, und so die Linsenflächen abflacht. So ist der Zug, den die Aderhaut auf die Linse ausübt, nachgeahmt.

Nun finden Sie zwischen dem Hornhautrande einerseits und dem an die Aderhaut grenzenden Rande des Linsenbandes anderseits ausgespannt ein Paar Muskeln *mm*. Die Lage dieser Muskeln entspricht einem Durchschnitt durch die Fasern des Akkommodationsmuskels. Die Muskeln im Modell sind präpariert aus den Schenkeln frisch getöteter Frösche. Diese bleiben auch nach dem Tode der Tiere noch einige Zeit erregbar, und wir können die Erregung künstlich bewirken, wenn wir elektrische Ströme durch die Muskeln hindurchleiten.

Leite ich nun die Ströme, die mir von einem Induktionsapparat mit Wagnerschem Hammer geliefert werden, hindurch, so verkürzen sich die Muskeln und ziehen die Gummibänder gegen den Hornhautrand hin; die Linse wird dadurch entspannt und wölbt sich stärker.

An dem Modell können wir also die Einstellung des Auges für die Nähe und für die Ferne nachahmen. Bei Ruhe des Akkommodationsmuskels haben wir die Einstellung für die Ferne, bei der Kontraktion des Muskels haben wir die Einstellung für die Nähe.

Die Vermutung, dass der Mechanismus des Akkommodationsaktes in der hier vorgeführten Weise erfolgt, ist zuerst von Helmholtz ausgesprochen worden, aber erst in den letzten Jahren ist von C. Hess der Nachweis erbracht worden, dass die Helmholtzsche Akkommodationstheorie richtig ist. Hess hat durch sorgfältige Beobachtung der Linse nachgewiesen, dass die Linse bei angestrengter Akkommodation schlottert und der Schwere folgend nach unten sinkt, eine Erscheinung, die darauf zurückzuführen ist, dass das Linsenaufhängeband, welches im nicht akkommodierten Auge die Linse durch seine Spannung festhält, bei der Akkommodation entspannt wird und dann die Linse nicht mehr fixiert hält.

Der Akkommodationsakt vollzieht sich in der angegebenen Weise bei Säugern, Vögeln und bei manchen Reptilien. Interessant ist nun, dass bei anderen Tieren eine andere Art der Einstellung des Auges vorkommt, nämlich nicht eine Veränderung der Linsenkrümmung, sondern eine Verlagerung der Linse. In welcher Weise Verlagerung der Linse auf den Lichtstrahlengang wirkt, das kann man sich leicht klar machen, wenn man die Einstellung bei einem photographischen Apparat bedenkt Durch das Objektiv des photographischen Apparates soll ein Bild der zu photographierenden Gegenstände genau auf der lichtempfindlichen Platte entworfen werden. Die

Einstellung geschieht da durch Entfernen oder Annähern des Objektivs gegen die Platte: bei Einstellung auf nahe Gegenstände wird das Objektiv von der Platte entfernt, bei Einstellung auf ferne Gegenstände wird das Objektiv der Platte genähert. Analog lässt sich eine Einstellung des Auges für die Nähe durch Entfernen der Linse von der Netzhaut bewirken, eine Einstellung für die Ferne durch Annähern der Linse an die Netzhaut. Dass solche Linsenverlagerungen im Tierreiche tatsächlich vorkommen, ist von Th. Beer gezeigt worden. Derselbe hat erstens gefunden, dass bei Amphibien und Schlangen ein in der Aderhaut gelegener Ringmuskel durch seine Kontraktion einen Druck auf das Augeninnere ausübt, und dass die Linse, diesem Drucke nachgebend, nach vorne rückt, wodurch die Einstellung für die Nähe hervorgebracht wird. Und zweitens hat Beer gezeigt, dass bei Fischen und Cephalopoden, bei denen das Auge schon in Akkommodationsruhe für die Nähe eingestellt ist, eine aktive Einstellung für die Ferne erfolgt dadurch, dass Muskelfasern, die von hinten kommend an dem Linsenrande ansetzen, bei ihrer Kontraktion die Linse nach hinten ziehen und so der Netzhaut nähern.

Bemerkenswert ist, dass die im Wasser lebenden Fische und Cephalopoden eine andere Ruheeinstellung haben, als die anderen Tiere. Darin haben wir wohl eine Anpassung an die Lebensweise der Tiere zu sehen. Für die Wassertiere kommt hauptsächlich das Sehen in die Nähe in Betracht, weil von dem Licht im Wasser auf grosse Entfernungen nur wenig durchdringt.

Auch in der verschiedenen Ausbildung des Akkommodationsvermögens bei verschiedenen Tieren liegen Anpassungserscheinungen vor. Tieren mit nächtlicher Lebensweise fehlt die Akkommodation fast ganz. Raubtiere, die in raschem Sprunge die von weitem erblickte Beute erhaschen müssen und daher kaum nötig haben, die Beute näher anzusehen, haben ein viel geringeres Akkommodationsvermögen, als z. B. Menschen und Affen, deren normale

Nahrung Früchte sind, und welche zur Zubereitung ihrer Nahrung, zur Ausscheidung der unnützen Schalen und Kerne der Früchte des Sehens in die Nähe in besonderem Masse bedürfen.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Verhandlungen des naturhistorischen Vereines der preussischen Rheinlande

Jahr/Year: 1902

Band/Volume: 59

Autor(en)/Author(s): Schenck F.

Artikel/Article: Demonstration eines Modells zur Veranschaulichung der Akkomodation des Auges 9-20