Die Accommodation des Fischauges.

Von

Dr. **Theodor Beer.**

Hierzu Tafel III und 35 Textfiguren.

Die vorliegende Arbeit hatte ihren Ausgangspunkt in der Frage: Kommt den Fischen das Vermögen der Accomodation zu oder nicht?

Bevor ich die Ergebnisse meiner eigenen Versuche darlege, will ich eine kurze Zusammenstellung dessen geben, was ich in der an Hypothesen reichen, an Thatsachen armen Literatur des Gegenstandes vorfinden konnte.

I. Einleitung.

Dass in der von Albrecht Haller entdeckten und späterhin nach ihm benannten „Campanula" des Fischauges glatte Muskeln vorkommen, hat Leydig zuerst behauptet (1852). Er sagt: „Dass dieser Muskel auf die Accommodation des Auges einen bedeutenden Einfluss wird ausüben können, liegt gewiss nahe . . . Es wäre zu wünschen, dass Forscher, welche sich speciell mit den Bewegungen der Linse beschäftigen, ihre Aufmerksamkeit in dieser Beziehung dem Fischauge zuwenden möchten."

Dieser Anregung ist Manz gefolgt. In seinen „Anatomisch-Physiologischen Untersuchungen über die Accommodation des Fischauges" sagt er: „Ob die Fische das Vermögen der Accommodation wirklich besitzen, dafür konnte ich in Beobachtungen am lebenden Fische nirgends Beweise finden;

doch geht die Bejahung der Frage aus anderen Gründen mit der grössten Wahrscheinlichkeit hervor.

Vor allem ist kaum anzunehmen, dass einem so vollkommen gebildeten Auge, wie die meisten Fische es besitzen, jene für alle anderen Wirbelthiere so werthvolle Fähigkeit abgehen sollte.

Es ist dies um so weniger denkbar, da die sphärische Gestalt der Fischlinse nothwendigerweise eine hohe Kurzsichtigkeit bedingt, wofür der bei vielen Fischen trotz der relativen Grösse des Bulbus so geringe Abstand zwischen Linse und Retina spricht. Die Flachheit der Cornea ist hier in sofern von keiner Bedeutung, als das Brechungsvermögen des Wassers und Humor aqueus sehr wenig differirt, somit ganz ausser Rechnung bleiben kann, und da die Brechkraft der Linse zu jenem Effekt vollständig ausreicht. Ein solcher Grad von Myopie muss wohl corrigirt werden können, und dies kann nur dadurch geschehen, dass die Brechkraft der Linse ab- oder ihr Abstand von der Netzhaut zunimmt."

Zum Verständniss des folgenden ist es nöthig, einiges aus der Anatomie des Fischauges in Erinnerung zu bringen[1]). Manz sagt in seiner anatomisch mehr als physiologisch werthvollen (zweiten) Abhandlung: „Während im Säugethier- und Vogelauge die Linse in ihrer ganzen Peripherie an Glaskörper und Chorioidea befestigt ist, bleibt diese Befestigung im Fischauge nur auf zwei Stellen beschränkt und zwar so, dass an der einen die Linse mit dem Glaskörper resp. der Hyaloidea, an der anderen mit der Chorioidea zusammenhängt, — jenes geschieht durch das Ligamentum suspensorium (Lig. quadratum, Rosenthal), dieses durch die Campanula Halleri."

„Letzteres Organ . . . kann füglich als das vordere Ende des Processus falciformis, da, wo ein solcher vorhanden ist, betrachtet werden. Dieser, eine Einstülpung der Chorioidea, und zwar ihrer Membrana chorio-capillaris, verläuft bei vielen Fischen als eine mehr weniger hohe Leiste am Boden des Auges — manchmal

1) Zu genauerer Information verweise ich auf die Arbeiten von Haller, Rosenthal, Soemmering, Vogt, Stannius, Leydig, Manz, Leuckart, Beauregard und Berger.

mehr nach der äusseren oder inneren Seite hin — von hinten nach vorn, indem sie an der Eintrittsstelle des Sehnervens beginnend, durch eine Spalte der Retina in den Glaskörper hineinragend, den Ursprung der Iris (manchmal selbst deren Pupillarrand) erreicht. Hier angekommen, befreien sich die Bestandtheile jener Falte von der Chorioidea und treten als ein fadenförmiger Fortsatz über den die Linse umgebenden Glaskörperwall zu dieser, und heften sich, etwas vor deren Aequator, an ihre Kapsel. An dieser Anheftungsstelle schwillt der Fortsatz kolbenförmig an und präsentirt sich als ein, von theils fest, theils nur lose aufliegendem Pigment theilweise bedecktes schwarz und weisses Knötchen, auf welchem manchmal mit blossem Auge Blutgefässe und Nervenverästelungen bemerkt werden."

Neben Bindegewebs- und elastischen Fasern, Blutgefässen und Nerven enthält die Campanula eine grosse Anzahl länglicher, scharf conturirter Kerne in Reihen, deren Richtung mit der Längsaxe des ganzen Gebildes parallel läuft, daher senkrecht zur Kapsel geht. Die von Leydig behauptete muskulöse Natur jener Kernelemente wird von Manz durchaus bestätigt.

Auf Grund der anatomischen Verhältnisse[1]) stellt Manz folgenden Accommodationsmechanismus auf: „Die im senkrechten Linsendurchmesser liegenden Muskelfasern contrahiren sich und da das ihrer Insertion gegenüberstehende Ende jenes Diameters unbeweglich festgehalten wird durch das unnachgiebige Lig. suspensorium, so muss die Wirkung der Muskelcontraction eine Verlängerung jenes senkrechten Durchmessers sein. Die Folge dieser Verlängerung für die ganze Gestalt der Linse kann eine doppelte sein — die Umwandlung derselben in einen Cylinder, wenn ihre Ränder frei sind, und Zug und Gegenzug nur auf eine kleine Stelle der Linsenperipherie beschränkt sind oder die einfache Abplattung der Linse, durch Annäherung ihrer hinteren und vorderen Fläche, wenn Zug und Gegenzug in einer gewissen Breite wirken. In beiden Fällen tritt eine Verkürzung der optischen Achse der Linse ein. Ob diese auch von einer Verkürzung des dritten Durchmessers

1) Ich werde die hierüber herrschenden Anschauungen später in mehrfacher Hinsicht zu erweitern und zu berichtigen haben.

begleitet sein wird, dies hängt, wie eben angedeutet, von der Grösse der Fläche, auf welche die beiden Faktoren wirken, sowie von der seitlichen Befestigung der Linse ab. Von der letzteren können wir keine irgend beträchtliche Leistung erwarten. Dagegen wissen wir, dass das Lig. suspensorium eine gewisse nicht unbeträchtliche Breite besitzt, und dass auch die Muskeln der Campanula durch ihre Sehne, das Lig. musculo-capsulare, auf einen grösseren Theil des Linsenäquators einwirken. Durch diese Verbreiterung des Zugs und Gegenzugs wird eine starke Verkürzung des 3. (2. horizontalen) Durchmessers verhindert, und es bleibt somit nur die der optischen Achse der Linse.

Die Möglichkeit einer Formveränderung der Fischlinse liegt in den weichen peripherischen Schichten derselben, welche eine Verschiebung oder Compression sehr wohl erleiden können."

Ich komme auf die Abplattung der sphärischen Linse, welche Manz in physikalisch nicht ganz klarer Weise durch den Zug der Campanula zu Stande kommen lässt[1]) später zurück; mag übrigens dieser Accommodationsmechanismus mehr oder weniger plausibel erscheinen, sicherlich musste er, so lange die Stütze des Experimentes fehlte, rein hypothetisch bleiben, ja es möchte vom physiologischen Standpunkte gewagt erscheinen, irgendwelche anatomische Gebilde als „Accommodationsapparat" zu bezeichnen, so lange an dem betreffenden oder wenigstens an einem ähnlich construirten Auge nicht irgend eine mit Sicherheit als accommodative zu deutende Veränderung nachgewiesen ist. Es ist ja nicht a priori sicher, dass die Fische überhaupt eine Accommodation besitzen.

Die Nothwendigkeit des Experimentes verhehlte sich Manz keineswegs; doch sind seine Versuche sowohl hinsichtlich ihrer geringen Zahl als der zu seiner Zeit noch primitiven Methodik unzureichend.

Er sagt: Ich benutzte „die Purkinje-Sanson'schen Spiegel-

---

1) In neuester Zeit hat Tscherning — auch auf Grund von Ueberlegungen und ohne Experiment am Fischauge — die gerade entgegengesetzte Ansicht aufgestellt, nämlich dass im Centrum die Krümmung der vorderen Linsenfläche durch den Zug der Campanula zunehme.

bilder, welche mir bei einigen Fischen (Cyprinus barbus) ganz so erschienen wie beim Menschen und glaube auch in einem Falle, als ich mittelst Nadeln den elektrischen Strom durch die Sclera zur Campanula leitete, mittelst der Loupe bei Schliessung der Kette eine Vergrösserung des umgekehrten Bildes gesehen zu haben, welcher beim Oeffnen der Kette eine Verkleinerung desselben folgte.

In anderen und zwar den meisten Fällen konnte der Versuch aber nicht angestellt werden, da bei allen möglichen Stellungen des Lichtes nur ein aufrechtes, jedenfalls der Cornea angehöriges Bild wahrgenommen werden konnte".

Er resümirt: „Sollte sich meine Beobachtung nicht als Täuschung herausstellen, so gibt die Vergrösserung des umgekehrten, der hinteren Linsenfläche angehörigen Bildes bei Einwirkung des elektrischen Stroms einen direkten Beweis für die Abplattung der Linse. Dass diese Abplattung eine Wirkung der in der Campanula gefundenen Muskelfasern sei, müssen wir so lange annehmen, als wir keine näherliegenden contractilen Elemente im Innern des Fischauges gefunden haben".

Jede rationelle Theorie einer Accommodation setzt klare und gesicherte Anschauungen über die Refraction voraus. Wir haben gesehen, dass Manz das Fischauge ohne weiteres als myopisch, ja sogar als mit „hoher Kurzsichtigkeit" behaftet ansah, wozu weder eine einwandfreie Beobachtung, noch eine solche Ueberlegung berechtigte; denn es ist nicht verständlich, warum aus der „sphärischen Gestalt der Linse" und aus dem „geringen Abstand zwischen Linse und Retina" auf hochgradige Myopie geschlossen werden soll[1]). Bestände sie wirklich, so würde ja eine weitere Verringerung jenes Abstandes die Myopie corrigiren. Manz scheint hier in einem physikalischen Irrthum befangen gewesen zu sein; er meint, dass die Myopie

---

1) Dieser Schluss findet sich auch bei früheren Autoren, beispielsweise sagt Jones: „Le poisson plongé dans un milieu dense ne peut voir autour de lui que jusqu'à une distance limitée, et la sphericité du cristallin à laquelle s'ajoute comme conséquence la brèveté du diamètre antéroposterieure du globe oculaire montre combien est petite la sphère de vision dont jouissent les animaux aquatiques."

corrigirt werde dadurch, „dass die Brechkraft der Linse ab- oder ihr Abstand von der Netzhaut zunimmt"; es muss natürlich heissen: abnimmt.

Von Interesse erscheint es daher, bevor wir weiter gehen, die Ansichten anderer Autoren über die Refraction des Fischauges anzuführen.

Der erste, welcher den Versuch gemacht hat, die Refraction eines Fischauges wirklich zu bestimmen, ist meines Wissens Plateau, welcher in seiner Arbeit „Sur la vision des Poissons et des Amphibies" eine Reihe von „mittleren Distancen scharfen Sehens" angibt, die ich weiter unten reproducire.

Plateau construirt sich „un oeil idéal, typique; sa cornée sera parfaitement plane, son cristallin sphérique et les humeurs aqueuse et vitrée de même densité que l'eau et en petite quantité".

„Montrer que l'oeil des poissons se rapproche considérablement de notre type idéal, que celui des amphibies lui est presque complétement semblable, prouver enfin que la vision distincte se fait á des distances sensiblement égales dans l'air et dans l'eau et avec autant de perfection dans ces deux milieux pour tous les animaux dont il s'agit, tel est l'objet de mes recherches".

Die Abflachung der Hornhaut bemühte er sich an Gipsabgüssen zu erweisen; ich komme später darauf zurück. Zur Refractionsbestimmung bediente er sich der folgenden Methode: An dem enucleirten Auge wurde in die Mitte des hinteren Theiles der Sklera ein Fenster etwa vom Durchmesser der Pupille geschnitten; in dasselbe wurde ein entsprechendes Segment einer an der concaven, inneren Seite matt gemachten, geblasenen Glaskugel eingesetzt.

Das Auge wurde in ein Kästchen gesetzt, welches mit Wasser gefüllt werden konnte und entwarf nun als Camera ein Bild von einem $^2/_3$ mm starken, vor einer Petroleumflamme befindlichen Eisendraht auf dem Kugelfragment; die Schärfe dieses Bildes wurde während der Annäherung und Entfernung des Objektes beobachtet.

Die folgende Tabelle gibt die so gefundenen, aus je ca. 5 Beobachtungen an 12 Fischen ermittelten Resultate.

Species	Distances moyennes de vision distincte		Refraction in Dioptrien[1])	
	dans l'air	dans l'eau	in Luft	in Wasser
Anguilla acutirostris	47,3 mm	53,2 mm	21	18
Cyprinus blicca	43,5	45,5	22	21
Abramis brama	43,4	50,0	23	20
Perca fluviatilis	42,2	61,0	23	16
Tinca chrysitis	42,0	48,1	23	20
Esox lucius	40,2	50,5	24	19
Gadus lota	39,8	41,9	25	23
Cyprinus leuciscus	39,2	47,0	25	21
Pleuronectes flesus	38,7	42,9	25	23
Cyprinus erythrophthalmus	34,3	36,2	29	27
Gadus aeglefinus[2])	78,9	94,0	12	10
Trigla gurnardus	72,0	82,1	13	12

Nach Plateau käme also den Fischen im Wasser eine Kurzsichtigkeit von ca. 16—27 Dioptrien zu, nur um wenige Dioptrien stärker wäre die Myopie in Luft. Hierauf gründet er die Behauptung „que les poissons voient dans l'air aussi bien que dans l'eau et à des distances peu différentes".

Gegen Plateaus Versuche ist — abgesehen von manchem anderen — einzuwenden, dass er nicht die Refraction des lebenden Thieres untersucht hat, ferner dass er nicht die Refraction für die lichtempfindende Netzhautschicht, sondern für ein vor die Sklera eingesetztes Glasstückchen bestimmt hat. Die Sklera hat aber gerade bei den Fischen einen besonders grossen Abstand von der Netzhaut; er kann bei grossen Augen mehrere Millimeter betragen.

Es wäre also anzunehmen — vorausgesetzt die Messungen wären sonst fehlerfrei — dass die Myopie zu hoch bestimmt wurde. Da aber die jeweiligen Abstände des der Sklera vorgesetzten matten Glases von der lichtempfindenden Netzhautschicht nicht gemessen wurden, so sind Plateau's Bestimmungen ziemlich werthlos; man kann aus denselben nicht entnehmen, ob die von ihm untersuchten Fische in Wirklichkeit myopisch, emmetropisch oder hypermetropisch waren.

Die in viele Bücher übergegangene Behauptung, dass die

1) Von mir berechnet. Bruchtheile von Dioptrien können hier vernachlässigt werden.

2) Die Meerfische waren längere Zeit todt.

Fische (und die amphibiotischen Thiere aller Klassen) im Wasser ebenso gut wie in der Luft sehen und dass ihr Auge in beiden Medien ohne Zuhülfenahme einer Accommodation für annähernd gleiche Entfernungen eingestellt sei, ist daher vorläufig als unbewiesen zu betrachten.

Sonderbar ist jedenfalls, dass Plateau sich über das Vorhandensein einer Accommodation bei den Fischen sehr reservirt ausspricht; er bemüht sich zu beweisen, dass die Fische in der Luft so gut wie im Wasser sehen, was sie doch — abgesehen vielleicht von einigen wenigen, ganz bestimmten Arten — gar nicht nöthig haben und vergisst ganz, dass sie im Wasser selbst — nach seinen Annahmen — halbblind sind. Es ist a priori fast undenkbar, dass Raubthiere, wie so viele Fische es sind, mit einer uncorrigirbaren Myopie von 20—30 Dioptrien behaftet, jagen und ihre Beute fangen sollen. Eine Menge von Beobachtungen, ja die einfache Erfahrung jedes Anglers lehrt, dass die Fische auf viel grössere Entfernung als 4—5 cm deutlich sehen können; dies fände, wenn Plateau's Zahlen richtig wären, Erklärung nur durch Annahme einer Accommodation für die Ferne und einer enormen Accommodationsbreite.

So mag es zu erklären sein, dass Leuckart, welcher die Resultate der Plateau'schen, von der königlich belgischen Akademie preisgekrönten Arbeit ohne Kritik annahm, sich in seiner hervorragenden „Organologie des Auges" der von Manz aufgestellten Accommodationshypothese anschloss; damit wurde diese gewissermassen zur officiellen[1]), wiewohl auch Leuckart keinen Versuch zu ihrer Stütze anführen kann. Er sagt von der Campanula: „Der Zug geschieht . . . nach Unten und etwas nach Hinten gegen den Augengrund, da der Muskel nicht bloss nach oben, sondern auch zugleich um ein Weniges nach Vorn d. h. der Pupille zu gerichtet ist. Es wird unter solchen Umständen wesentlich auf die Befestigung der Linse ankommen, ob sie in Folge des

---

1) Nicht nur bei vielen Zoologen, sondern auch bei den Physiologen: beispielsweise citirt Steinach (Ueber Irisbewegung bei den Wirbelthieren 1890): „Durch Verkürzung ihrer (der Campanula) Fasern soll der Muskel seinen Insertionspunkt an der hinteren Linsenkapsel der Gegend der Ciliarfortsätze nähern und dadurch, wie Manz annimmt, die Linse abplatten können." Auch Tscherning (1894) betrachtet die Abplattung als das bisher geltende.

Muskeldruckes sich abplattet oder der Netzhaut um ein Geringes sich annähert oder vielleicht gar beide Veränderungen eingeht."

Mit diesen Worten umschreibt Leuckart sehr vorsichtig die Unsicherheit der Kenntnisse über den Gegenstand; immerhin beruht seine Vorstellung auf besserer anatomischer Anschauung als die von Manz, trifft aber auch noch nicht das richtige; der Muskel ist nicht „um ein weniges", sondern, wie mich Gefrierschnitte des frischen Auges lehrten, ganz wesentlich nach vorne (cornealwärts) gerichtet; ferner übersieht auch Leuckart, dass — wenigstens bei der grossen Mehrzahl der Fische — der Muskel von temporalwärts (caudalwärts) her gegen die Linse herantritt. Ich komme auf diese Verhältnisse später ausführlich zurück. Wenn Leuckart behauptet: „In allen Fällen geschieht durch die Wirkung des Muskels eine Accommodation für die Ferne, so dass wir annehmen dürfen, es sei das Auge der Fische im Gegensatze zu dem der übrigen Wirbelthiere während der Ruhe für die Nähe eingestellt", so lässt sich dagegen einwenden, dass jene Accommodation genau so unbewiesen geblieben ist, als die hochgradige Myopie der Fische, aus welcher eben Manz auf die Einstellung für die Ferne geschlossen hatte.

In einer sehr ausführlichen, auf Milne Edwards' Anregung unternommenen Arbeit „Sur les réseaux vasculaires de la chambre postérieure de l'oeil des vertebrés" hat Beauregard das Vorkommen und Verhalten des Processus falciformis und der Campanula bei einer grossen Anzahl von Fischen nicht nur histologisch, sondern auch am lebenden Thier mit Hülfe des Ophthalmoskops untersucht. Er wendet in dem physiologischen Theil seiner Arbeit gegen Leuckart folgendes ein: „En nous reportant aux rapports d'attache de cette cloche avec le cristallin nous voyons que cette attache a lieu sur le bord inférieur de la capsule et non sur le cristallin lui-même. D'après cela il est évident que le cristallin ne sera point attiré tout entier en arrière mais tendra à faire un mouvement de bascule. Ce déplacement l'aménera donc non pas en arrière mais un peu en bas."

„Une autre objection se présente encore . . . il y a des cas où la cloche n'existe pas; faut-il admettre qu'alors l'accommodation se fait par un autre procédé?"

„ . . . Je puis affirmer qu'en aucun cas l'ophthalmoscope

ne m'a permis de saisir des mouvements de la cloche capables de confirmer les idées ci-dessus émises."

Um die Einstellungsverhältnisse der mit dem Augenspiegel untersuchten Fische hat sich B. nicht gekümmert; er macht keine diesbezügliche Angabe; aus seiner Beschreibung geht hervor, dass er bloss das in Luft befindliche Auge untersuchte.

Die Refraction eines lebenden Fisches hat zuerst Hirschberg mit Hülfe einwandfreier Methoden zu bestimmen gesucht. Um die Einstellung in Luft zu finden, wurde die Distanz des Fernpunktes vom Auge — die brechenden Medien des Fischauges entwarfen in Luft ein umgekehrtes Bild des Augenhintergrundes — gemessen; um die Refraction in Wasser zu bestimmen, wurde der Einfluss der Hornhaut nach Art der Czermak'schen Kammer ausgeschaltet, indem der pupillare Hornhautbereich mit Wasser bedeckt und darauf ein Deckglasstückchen gelegt wurde; hierauf Untersuchung im aufrechten Bilde. Dem durch die Netzhautdicke bedingten Unterschiede zwischen wahrer und scheinbarer Refraction wurde Rechnung getragen.

Die von Hirschberg angegebenen Resultate habe ich in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Species	Luft		Wasser	
	Abstand des Fernpunktes in Zollen	Myopie in Dioptrien	Abstand des Fernpunktes in Zollen	Myopie in Dioptrien
Hecht, 60 cm lang	3—2½	13—16	24—16	1,6—2,4
Hecht, 30 cm lang	2	20	24	1,6
Grosser Hecht	2	20		
Grosse Plötze	2	20		
Kleine Plötze	1½	26,6		
Kleinste Plötze	1	40		
Aal, 60 cm lang	starke Myopie			

Es wurden also zwei Hechte leicht myopisch befunden; für die übrigen Fische ist nur die Refraction in Luft angegeben, diese schwankte zwischen einer Myopie von 30 bis 40 Dioptrien. Hirschberg sagt: „Der Betrag dieser Kurzsichtigkeit wird nahezu gedeckt durch die Brechkraft der Hornhaut, wie sie sich aus dem Krümmungsradius der Hornhaut annähernd berechnen lässt. Hiernach ist zu vermuthen, dass die Refraction des in Wasser getauchten Fischauges nur wenig von dem normalsichtigen, emmetropischen Zustand abweichen werde."

„Die directe Beobachtung mit dem Augenspiegel bestätigt die Vermuthung in unwiderleglicher Weise. Das in Wasser getauchte Fischauge ist aber nicht vollkommen normalsichtig, sondern leicht kurzsichtig. Der Fernpunkt des Hechtauges liegt etwa in 24 Zoll, vielleicht etwas näher, vielleicht auch nicht. Die optischen Bilder des in Wasser getauchten Auges vom Hecht sind recht gute. Wir verstehen in optischer Hinsicht die kraftvolle Action dieses kühnen Räubers; auch ein Mensch mit einem ähnlich geringen Grade von Myopie sieht recht gut für alle gewöhnlichen Verrichtungen selbst ohne Concavglas."

„Ich bemerke übrigens noch, dass vom teleologischen Standpunkte aus eine mässige Kurzsichtigkeit der Fische nicht unzweckmässig scheint. Auch das klarste Wasser ist auf grössere Strecken undurchsichtig."

„Es ist nicht wahrscheinlich, dass den Fischen eine accommodative Linsenverdickung gegeben ist[1]), wie dem Menschen, der übrigens im ganzen

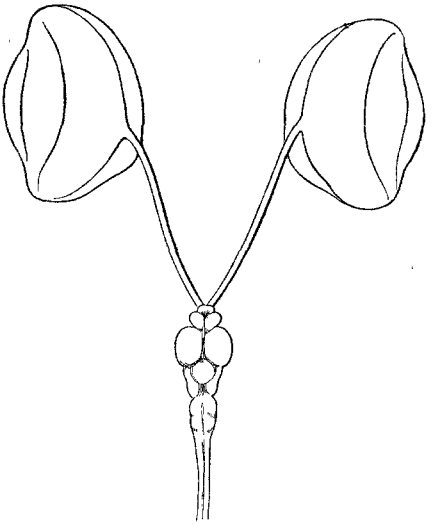
1) Es ist darüber gestritten worden, ob die Fische eine Accommodation „brauchen" oder nicht, meist im Anschlusse an die Frage, ob sie gut und weit sehen. Cuvier sagt: „D'après la structure générale de l'oeil des poissons, la sphericité à peu près complète de son cristallin, l'immobilité de sa pupille, la difficulté où il est de changer la longueur de son axe on ne peut douter que leur vision ne soit très-imparfaite. Les images ne peuvent que se peindre confusément sur leur rétine et il est en consequence peu probable qu'ils soient susceptibles d'avoir des perceptions bien distinctes des formes des objets." Ich will auf ähnliche, meist nicht sehr werthvolle Erörterungen der ichthyologischen Literatur nicht näher eingehen und nur folgendes erwähnen: Das gute Sehvermögen der Fische — von einzelnen ganz bestimmten Arten abgesehen — kann für jemanden, der sie in der Freiheit oder im Aquarium sorgfältig beobachtet hat, nicht zweifelhaft sein, der Geruchsinn spielt bei der raschen und sicheren Orientirung der Teleostier nicht die Hauptrolle; die Fische schiessen bekanntlich auch auf künstlichen Köder los etc. Vom Schützenfisch (Toxotes iaculator) berichtet Brehm: „Sobald sie eine Fliege oder ein anderes Kerbthier auf einer über das Wasser hängenden Pflanze sitzen sehen, nähern sie sich bis auf eine Entfernung von einem bis anderthalb Meter und spritzen aus ihrem röhrenförmigen Schnabel einige Wassertropfen so heftig und so sicher nach der Beute, dass sie selbe selten verfehlen" Solcher Beispiele liessen sich leicht mehrere anführen.

Für eine hohe Function des Auges bei den Fischen spricht ganz besonders seine Grösse; nach Matthiessen hat unter allen lebenden Thieren

Thierreich relativ die flachste Linsenform besitzt. Die Fischlinse ist kugelig d. h. ungünstig für eine Verlängerung in

der Blauwal das grösste Auge (Innenraum 123 ccm); indes fand ich ein grösseres Auge (ca. 180 ccm Innenraum) bei einem Exemplare von Orthagoriscus; das Organ kann hier die Dimensionen einer grossen Orange, die Linse die Grösse eines menschlichen Bulbus erreichen. Wie bedeutend die relative Grösse des Auges ist, geht schon aus der Vergleichung der Körperlänge mit dem Augendurchmesser — vergl. die bezüglichen Angaben in der unten gegebenen Tabelle über Hornhautkrümmungsradien — hervor; erstaunlich ist die Grösse des Sinnesorgans im Verhältniss zum Hirn, wofür die Skizze Fig. 1 ein eclatantes Beispiel liefert. (Vergl. auch die enormen Augen von Pomatomus Fig. 2.)

Fig. 1.



Gehirn und Augen von Lophius piscatorius.

In bestimmten Fällen treten allerdings die Augen relativ an Grösse zurück, so z. B. bei Haien und Rochen gegenüber der mächtigen Entwicklung des Geruchsorgans oder des elektrischen Organs (Torpedo).

Was die Undurchsichtigkeit des Wassers betrifft, so erwähne ich, das es keine genauen Angaben darüber gibt, in welchem Grade verschieden dicke Wasserschichten — die Durchsichtigkeit gleich dicker Schichten verschiedener Gewässer mag auch sehr differiren — die menschliche Sehschärfe herabsetzen; nur beiläufige Versuche sind gemacht worden, z. B. konnte man im stillen Ocean (Kapitän Bérard) einen weissen Porcellanteller, der 40 Meter tief hinabgelassen wurde, noch erkennen.

Fol sagt: „Il est clair que les animaux marins, j'entends ceux qui vivent dans les couches superieures et éclairées de la mer se meuvent comme dans un brouillard. Ils ne peuvent pas éviter les surprises et une vue à longue portée leur serait inutile; aussi voyons-nous que tous ceux d'entre eux qui sont agiles ont l'habitude, lorsqu'on les effraye, de fournir une course effrénée de quelques mètres et puis de s'arrêter comme s'ils sentaient qu'ils ont dépassé le cercle de vision de leur persécuteur."

„Les engins de pêche consacrés par l'expérience seraient inefficaces

der Richtung der Sehaxe, auch zu fest um rasch ihre Form zu ändern; aber unmöglich ist es nicht, dass Fische doch

---

pour capturer des animaux capables de voir à quelque distance." (Citirt nach Regnard.)

Was die erstere Bemerkung betrifft so mag die Thatsache richtig sein, der daraus gezogene Schluss scheint mir nicht unanfechtbar; ein aufgescheuchter Vogel fliegt auch oft nur ein paar Meter weit, um sich wieder niederzulassen; zudem bedeuten mehrere Meter im Wasser, wo die Schnelligkeit der Locomotion wegen des grösseren Widerstandes des Mediums nothwendig eine geringere ist, eine grössere Distanz als in der Luft.

Auch die zweite Bemerkung scheint mir nicht überzeugend; man weiss nicht wie viele Fische den Netzen entkommen, viele bleiben auf der Flucht aus dem grossen Umkreise mit den Kiemen hängen, viele, die gefangen werden, haben kranke oder verletzte Augen, wovon ich mich an der zoologischen Station in Neapel oft überzeugte. Keinesfalls glaube ich, dass die Undurchsichtigkeit des Wassers immer und überall so gross ist, um bei den Fischen eine mässige Kurzsichtigkeit — ohne Möglichkeit der Correctur — vom teleologischen Standpunkte zweckmässig zu finden. Man müsste sich im Gegentheile wundern, wenn nicht auch im Wasser im Kampfe um's Dasein Thiere besser überlebt hätten, die auf einige vielleicht sogar viele Meter noch deutlich sehen konnten; hierzu bedürfte es aber bei mässiger Myopie einer Accommodation für die Ferne; freilich wären solche Thiere auch wieder schlecht daran — etwa wie ein presbyopischer Myop —, wenn sie nicht auch auf kürzere Distanzen als ihren Fernpunkt, also auch für die Nähe, accomodiren könnten.

Was die Finsterniss in grösseren Tiefen betrifft, so geht aus Versuchen von Fol und Sarrasin u. A. hervor, dass photographische Platten, während des Tages in einer Tiefe von 400 m exponirt, nicht mehr verschleiert werden. Die Dunkelheit, die bis zu solchen Tiefen herrscht, ist natürlich eine relative; es gibt bis jetzt keinen sicheren Anhaltspunkt, die Lichtempfindlichkeit der Fische zu beurtheilen. Regnard sagt: „Sans chercher loin il nous est souvent difficile de nous diriger dans une cave qui nous paraît profondément obscure alors qu'un chat se sauve devant nous en courant et en évitant les moindres obstacles." Aber auch die in noch grösseren Tiefen lebenden Fische existiren vermuthlich nicht in absoluter Finsterniss, auf welche wir aus dem Nichtschleiern versenkter Platten nicht schliessen müssen — so wenig wie auf absolute Finsterniss in unseren photographischen Dunkelkammern. Die mächtig entwickelten Augen vieler Tiefseefische — vergl. die nach einer von mir angefertigten Photographie gezeichnete Fig. 2 — deuten darauf, dass in Tiefen von vielen 100, ja vielleicht von 2000 Metern gut gesehen wird. Phosphorescirende Meeresthiere dürften hier Licht liefern. Viele Tiefseefische z. B. die

eine Art von Accommodation besitzen, nämlich durch Lageveränderung der Krystalllinse."

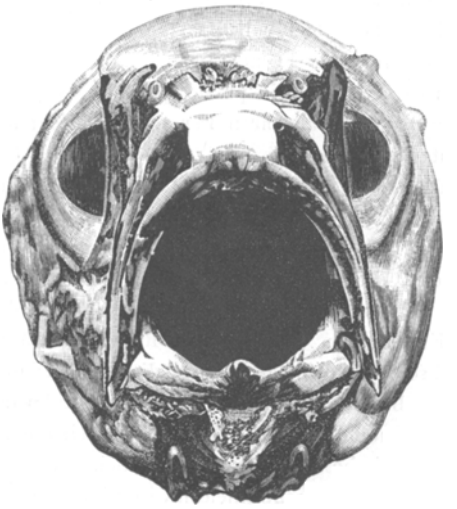
Dass die Linse zu fest ist, um rasch ihre Form zu ändern, müsste erst bewiesen werden.

Was die Accommodation durch Lageveränderung der Linse betrifft, so spricht sich Hirschberg vorsichtig nicht darüber aus, in welcher Richtung sie stattfinden soll; doch scheint er, da er das Fischauge nur für ganz leicht kurzsichtig und das Wasser auf grössere Strecken doch für undurchsichtig hält, auch von einer Verlängerung der Linse in der Richtung der Sehaxe spricht, an

---

Scopeliden besitzen selbst Leuchtorgane. Emery sagt von diesen: „Si puo supporre che gli organi luminosi servano a rischiarare la via di chi li porta in mezzo alle tenebre degli abimi del mare. L'organo preoculare può essere paragonato ad una lauterna che dirige la sua luce in avanti mentre il suo fondo argenteo foderato di pigmento agisce ad un tempo come un specchio e come un schermo che ripari l'occhio dai raggi luminosi." „In quanto alle macchie dell' ioide e del tronco sono disposte in modo che la loro luce si projetta in basso e rischiara gli oggetti situati al disotto del corpo del pesce." „Si può ammettere ancora che la luce serva a richiamare piccoli animali di cui i pesci fosforescenti si cibano; essi farebbero cosi la pesca con le fiaccole." Regnard meint von der Tiefsee: „. . . il y regne tout au moins une demi-lumière analogue à celle que nous avons dans notre atmosphère aérienne quand la lune est cachée et que le fond de la mer d'air sous laquelle nous vivons n'est eclairé que par le scintillement des étoiles." „Cette lueur nous suffit pour nous diriger et elle suffit aussi pleinement aux animaux chasseurs et nocturnes pour découvrir et poursuivre leur proie."

Fig 2



Kopf von Pomatomus telescopium.

Fische, ja überhaupt Thiere, die in absoluter Finsterniss (Adelsberger Grotte, Mammuthöhle etc.) leben, sind blind.

eine Accommodation für die Nähe, somit an ein Vortreten der Linse gegen die Hornhaut zu denken.

Resumire ich kurz, so soll im Wasser nach Manz, Plateau und Leuckart — von älteren Autoren abgesehen — das Fischauge im Ruhezustande hochgradig kurzsichtig sein.

Nach Hirschberg soll das Fischauge ganz leicht myopisch sein; solche Refraction fand er bei zwei Hechten.

Nach Manz und Leuckart soll eine Accommodation bestehen und zwar wesentlich durch Abplattung der Linse im anteroposterioren Durchmesser; nach Hirschberg wäre — wenn ich nicht irre — eine Accommodation für die Nähe durch Vortreten der Linse gegen die Hornhaut möglich.

Dass die Fische das Vermögen der Accommodation überhaupt besitzen, ist aber bisher nur aus teleologischen und anatomischen Betrachtungen gefolgert worden, gesehen hat meines Wissens bisher noch niemand eine accommodative Veränderung am Fischauge.

Ich gehe nun zur Mittheilung meiner eigenen Untersuchungen über[1]); dieselben wurden zum grössten Theile im physiologischen Laboratorium der zoologischen Station in Neapel ausgeführt. Der Schweizer sowie der Oesterreichischen Regierung, welche mir längeren Aufenthalt daselbst ermöglichten, Herrn Prof. Dohrn, dem Direktor der Station und Prof. Schönlein, dem Vorstande der physiologischen Abtheilung, sowie den übrigen Herren spreche ich für ihr stets freundliches Entgegenkommen hiermit meinen besten Dank aus; desgleichen Herrn Lo Bianco, der mich mit reichlichem Materiale versorgte und Herrn Merculiano, von dessen Hand der grösste Theil der Abbildungen stammt.

Bevor ich Versuche anging, welche die Frage entscheiden sollten, ob die Fische ein Accommodationsvermögen besitzen

---

1) Meine Versuche erstreckten sich auf ca. 500 Fische. Wenn ich nicht ausdrücklich anderes erwähne, so ist stets von Teleostiern die Rede.

oder nicht, hielt ich es für nothwendig, zuerst eine richtige Vorstellung von der Refraction des Fischauges mir zu bilden.

Ich bemühte mich daher zunächst bei einer grösseren Anzahl von lebenden Fischen mit möglichster Genauigkeit die Refraction zu bestimmen.

II. Die Refraction im Wasser.

Die Bestimmung der Refraction, welche den Fischen in ihrem natürlichen Medium zukommt, ist nicht immer ganz einfach. Man hat hier vor allem mit der Schwierigkeit der Untersuchung eines unter Wasser getauchten Thieres zu kämpfen; der Fundus bei der grossen Mehrzahl der von mir untersuchten Species ist nicht reich an ophthalmoskopisch erkennbaren Details; selten kann man — dann allerdings in höchst auffallender Weise — die Netzhautmosaik erblicken, bei den meisten Fischen sieht man von gleichmässigem Grunde nur den Sehnerveneintritt, Gefässe und den Processus falciformis sich abheben; viele Fische machen unausgesetzt Augenbewegungen, besonders wenn man mit dem Spiegel Licht ins Auge wirft.

Hat man die Refraction an der Papille oder an einem Gefäss etc. bestimmt, so ist damit noch lange nicht die wirkliche Refraction des Fisches gegeben. Beim Menschen bestimmt man die Refraction mit ziemlich grosser Genauigkeit an den zur Macula lutea ziehenden feinen Gefässen, die geringe Dicke der Netzhaut inducirt — bei der relativ grossen hinteren Brennweite des Auges — keinen nennenswerthen Fehler. Einem Niveauunterschied von 1 Millimeter erst entspricht ein Refractionsunterschied von ca. 3 Dioptrien.

Im Auge der Fische — von besonders grossen Exemplaren, die man aber selten lebend bekommt und deren Untersuchung auf grosse äussere Schwierigkeiten stösst, abgesehen — ist die hintere Brennweite wesentlich kürzer; der Niveauunterschied zwischen den lichtreflectirenden Gebilden, deren Refraction bestimmt werden kann und der mit dem Augenspiegel meist nicht unterscheidbaren lichtpercipirenden Netzhautschicht ist relativ gross; die wirkliche Refraction muss demnach auf Grund der Messung aller dieser Factoren berechnet werden.

Nach einigen orientirenden Versuchen erwies sich mir fol-

gendes Verfahren zur Refractionsbestimmung am zweckmässigsten: Der Fisch wird in ein kleines Handtuch gewickelt, so dass bloss der Kopf bis über den Rand der Kiemendeckel unbedeckt bleibt — um den Athembewegungen freies Spiel zu gewähren —, dann mit einer millimeterdicken Bleiplatte[1]) umschlossen und in ein kleines Aquarium mit planparallelen Glaswänden, das mit Zu- und Abfluss versehen ist, hineingesetzt, so dass das zu untersuchende Auge der vorderen Glaswand möglichst nahe anlag, ohne sie jedoch zu berühren. Hinter dem Bassin ist ein Rundbrenner aufgestellt, das Licht passirt das Wasser[2]) und wird mit dem Spiegel ins Auge geworfen; so wird weder der Fisch noch der Untersucher von der Hitze belästigt; es gelingt bei einiger Uebung, sich dem Auge des Fisches so weit zu nähern, dass der Abstand vernachlässigt werden kann. Im Allgemeinen zog ich diese Art der Untersuchung der von Hirschberg angewendeten vor; der Fisch befindet sich in der Luft immer unter abnormen Bedingungen; das Deckgläschen rutscht von der Hornhaut häufig ab oder läuft an, diese trübt sich u. s. w.; auch ist es aus später zu erörternden Gründen angezeigt, auf die bei vielen Fischen sehr zarte Hornhaut auch nicht den geringsten Druck auszuüben, will man die wahre Refraction bestimmen.

Nur wenn die Untersuchung des Fisches im Wasser wegen seiner Grösse oder Gestalt unthunlich war, wenn man nicht nahe genug an das Auge herankommen konnte etc., wurde der Fisch in später zu schildernder Weise ausserhalb des Wassers fixirt und künstlich geathmet, der brechende Einfluss der Hornhaut durch ein ihr angelegtes Deckglasstückchen ausgeschaltet.

Um die Augenbewegungen — die z. B. bei den unausgesetzt umherblickenden Labriden und Spariden, auch bei den mit einem kräftigen Retractor bulbi ausgestatteten Pediculaten sehr störend sind — auszuschliessen, habe ich eine Reihe von

---

1) Solche erwiesen sich praktisch, um die Fische zu immobilisiren, deren kraftvolle Bewegungen sonst schwer zu beherrschen sind; auch wird so verhütet, dass die Fische vermöge der Glätte des Leibes entschlüpfend auf den Boden fallen und sich die Augen verletzen.

2) Unter Wasser ist, soweit es sich um Meeresfische handelt, immer Seewasser zu verstehen.

Thieren schwach curarisirt[1]); solchen wurde — da sie die Kiemen nicht bewegen — zur künstlichen Athmung ein Wasser in kräftigem Strahle zuführender Schlauch ins Maul gesteckt und mittelst einer gekrümmten durch Oberlippe, Schlauch und Unterlippe gesteckten Nadel fixirt.

Eine Reihe von Thieren habe ich ferner — durch subcutane oder intramusculäre Injection einer 1 % Lösung von Atropinum sulfuricum — atropinisirt, in der — durch die bisherigen Kenntnisse über die Wirkung des Atropins bei niederen Wirbelthieren allerdings nicht sehr gerechtfertigten — Erwartung, die etwaige Accommodation des Thieres während der Untersuchung auszuschliessen und so die Einstellung des Auges im Ruhezustande zu ermitteln.

Die Refraction wurde nach zwei Methoden bestimmt; zumeist im aufrechten Bilde: das schwächste Concav- resp. das stärkste Convexglas, mit welchem Details des Fundus mit maximaler Schärfe gesehen werden, gibt die Refraction der untersuchten Stelle an. Seltener verwandte ich die Skiaskopie[2]): Aus einer Entfernung von ca. 60 cm wird mit dem Planspiegel Licht in's Auge geworfen; verschiebt sich bei Drehung des Spiegels der Pupillenschatten gleichsinnig, so liegt der Einstellungspunkt des untersuchten Auges hinter dem Beobachter; entgegengesetzte Verschiebung beweist, dass der Einstellungspunkt vor dem Beobachter liegt. Im letzteren Falle geht man unter leichten Spiegeldrehungen allmählich näher, bis die den Spiegeldrehungen entgegengesetzte Bewegung des Pupillenschattens undeutlich wird. Die Entfernung des untersuchten vom beobachteten Auge in diesem Momente gibt die Fernpunktdistanz an. Im ersteren Falle wird dem Auge ein Convexglas von 2, 5, 10 Dioptrien u. s. w. vorgesetzt, die hierdurch hervor-

---

1) Fische von ca. 50—500 gr Körpergewicht wurden durch subcutane oder intramusculäre Iniection von 5—20 ccm einer 4 % Lösung des käuflichen Curare ausreichend gelähmt. Meist werden wenige Minuten nach der Injection die Bewegungen des Thieres kraftlos, es gibt mitunter klonische Krämpfe, die Fische legen sich um und nach wenigen schnappenden Respirationsbewegungen cessirt die Athmung. Bei ausreichender Spülung durch die Kiemen kann man die Fische stundenlang am Leben und trotz nicht absoluter Lähmung ruhig erhalten.

2) Von ihrem Erfinder Cuignet Keratoskopie genannt.

gerufene oder verstärkte Myopie gerade so wie früher bestimmt und von der gefundenen Zahl die Anzahl der vorgesetzten Dioptrien subtrahirt. Ich verwandte die Methode hauptsächlich zur raschen Orientirung über die Art der Einstellung, dann auch in Fällen, wo ich jeden Einwand gegen die eigene Accommodation — deren Anspannung und Entspannung ich für gewöhnlich vollständig beherrsche — auszuschalten wünschte.

So habe ich bei ca. 100 Fischen die Refraction bestimmt und bei den meisten Arten leichte Hypermetropie, nur bei wenigen Myopie gefunden.

Aber auf eine mehr oder weniger vor der Zapfenmosaik liegende Stelle des Augenhintergrundes bezieht sich in der Mehrzahl der Fälle die so bestimmte Refraction; um aus ihr die wahre Refraction mit einiger Genauigkeit zu berechnen, ist es nöthig, die vordere und hintere Brennweite des betreffenden Auges — diese sind sub aqua im wesentlichen gleich der Brennweite der kugeligen Linse[1]) — sowie den Abstand der untersuchten Stelle des Fundus von der Zapfenschicht der Netzhaut zu kennen.

Nennen wir F die Brennweite der Kugellinse (Abstand des Brennpunktes vom Knotenpunkte), φ den Abstand des hinteren Brennpunktes der Kugellinse von ihrer Hinterfläche, so ist

$$F = \varphi + r$$

$$\varphi = \frac{(2n_1 - n_2)\,r}{2\,(n_2 - n_1)}\ ^{2)}$$

worin r den Radius der Linse, n_1 den Brechungsindex des Wassers, n_2 den Totalbrechungsindex der Linse bedeutet. r bestimmte ich aus dem Durchmesser der in situ befindlichen, durch Abtragung der Hornhaut und des Pupillarrandes der Iris blossgelegten Linse, öfters auch durch Messung mit Hülfe des Helmholtz'schen Ophthalmometers; $n_1 = 1{,}339$; n_2 kann nach Messungen und Berechnungen von Matthiessen für Seefische im Mittel $= 1{,}654$ gesetzt werden.

Nach Beendigung der Refractionsbestimmung wurde der Fisch

---

1) Nach Matthiessen „wirkt das Hornhautsystem der Süsswasserfische wie eine sehr schwache Collectivlinse, das der Seefische wie eine sehr schwache Dispersivlinse.“ „Ihr Brechwerth kann vollständig vernachlässigt werden.“

2) Vergl. Hirschberg, Elementare Dioptrik der Kugellinsen.

rasch getötet, die Augen wurden enucleirt und in eine Härtungsflüssigkeit [1]), aus dieser durch Wasser und — sehr allmählich — durch Alkohol und Benzol resp. Aether in Paraffin resp. Celloidin übertragen; der hintere Augenabschnitt wurde mit einem Jung'schen Mikrotom in — selbstverständlich nicht lückenlose — Serien von Schnitten zerlegt, an denen der Abstand (a) der bei der Refractionsbestimmung ins Auge gefassten Stelle (Pigment auf der Papille, Ausstrahlung des Sehnerven, Arterie des Processus falciformis etc.) von der Mitte der Zapfenschicht mit dem Ocularmikrometer eines Reichert'schen Mikroskops gemessen wurde.

Nennen wir die zu suchende wahre Refraction R und wäre, um ein Beispiel zu geben, die an einer bestimmten Stelle gefundene Refraction $\varrho = +8\,D$ (Hypermetropie), $F = 5$ mm, $a = 0{,}2$ mm, so wäre

$$R = \varrho - \frac{1000}{\frac{FF}{a}} = 8 - 8 = 0$$

Es bestände Emmetropie.

Die Berechnung von φ konnte in einigen Fällen folgendermassen controlirt resp. umgangen werden: Im Fundus einiger Fische finden sich, wie später ausgeführt werden soll, relativ grosse Niveauunterschiede; ich messe die Refraction an einem stark prominirenden Theile p — z. B. + 10 D Hm — und an einem tiefer liegenden q — z. B. + 5 D Hm —; das Auge wird geöffnet, die Linse vorsichtig entfernt, ein schwach vergrösserndes Mikroskop erst auf p, dann auf q eingestellt; die verticale Verschiebung des Tubus — an der Mikrometerschraube abgelesen — ergebe 0,2 mm; somit entsprechen 0,2 mm Niveaudistanz in dem betreffenden Auge einem Refractionsunterschiede von 5D. Kennt man a, so ist R leicht zu berechnen.

Zum Verständniss der unten folgenden Angaben über die Refraction des Fischauges im Wasser ist es nöthig, zuvor mit einigen Worten auf das ophthalmoskopische Bild des Augen-

---

1) Ich verwandte Salpetersäure, Sublimat, Rabl'sche Flüssigkeit und das in neuester Zeit von Blum empfohlene Formol; mit dem besten Erfolge das letztere; es kam mir weniger auf histologische Details als auf ein möglichst glattes Anliegen der Netzhaut ohne Faltenbildung und Schrumpfung an; hiefür erwies sich das Formol ausgezeichnet.

hintergrundes bei den Fischen einzugehen; es bietet dieses auch an sich einiges Interessante dar [1]).

Ich konnte mehrere Typen von Fundusbildern unterscheiden, zwischen denen es aber mannigfache Uebergange gibt. Bei den Spariden (Brassen) fand ich die Netzhaut mit dem Augenspiegel ohne Gefässe und andere Details; ihre Farbe ist hellgrau, manchmal mit einem Stich in's Grünliche oder Gelbliche. Blickt man von vorne und etwas von unten ins Auge, so findet man unschwer die Stelle des Sehnerveneintritts, welcher zusammen mit dem Processus falciformis und den Gefässen der Hyaloidea und des Glaskörpers hier die einzigen von der homogenen Fläche der Netzhaut sich abhebenden Details des Fundus darstellt. Die Papille erscheint oft etwas über das Niveau der Netzhaut erhaben, kolben- oder verkehrt birnförmig, ihre Farbe variirt zwischen einem hellen grau-röthlichgelb und einem tiefen braunroth; in ihrer Mitte liegt bräunliches bis schwarzes Pigment in Punkten, Strichen, Flecken, ihr Saum ist stark lichtreflectirend; flammige oder faltige Ausstrahlungen des Sehnerven sind mehr weniger deutlich, sie lassen sich selten weiter als etwas über den Rand der Papille in die Netzhaut hinein verfolgen und geben jener oft ein Streitkolben- oder Stechapfelartiges Ansehen. Nach vorne unten geht die Papille in den Processus falciformis über, der als ein ganz schmaler, oft hellgesäumter, mehr weniger über das Niveau der Netzhaut vorragender Streif erscheint und dessen auffälligster Bestandtheil die Arteria processus falciformis ist; diese ist weit nach vorne unten hin, aber nicht bis an ihr Ende zu verfolgen. Papille und Proc. falc. zusammen erinnern in ihrer Form

---

1) Beauregard sagt: „M. Cuignet ayant essayé l'examen (ophthalmoscopique) sur des poissons placés dans des vases de verre mince ne put arriver à éclairer le fond de l'oeil. Cette méthode ne donne en effet aucun résultat.“ B. hat eine grosse Anzahl von Fischen mit dem Augenspiegel untersucht, aber stets so, dass das Auge in Luft war. Das umgekehrte Luftbild des Fundus ist aber sehr klein und oft stark verzerrt, es erlaubt nicht die Erkenntniss so feiner Details wie sie bei der Untersuchung im aufrechten Bilde, die ich bald beherrschte, möglich ist. Daher kommt es, dass B.'s Abbildungen des Fundus viel zu wünschen übrig lassen. Auch sind einige — besonders negative — Angaben, wie über das Fehlen der Campanula, der Glaskörpergefässe etc. mit grosser Vorsicht aufzunehmen.

öfters sehr an ein Tennisracket oder eine Fliegenklatsche. Die Blutströmung in der Arterie ist — je nach der Vergrösserung — mehr weniger deutlich zu erkennen, wenn auch die einzelnen Blutkörperchen für gewöhnlich nicht sichtbar werden. Die Arterie entspringt von der Mitte der Papille und gibt in ihrem Verlaufe keine ophthalmoskopisch sichtbaren Aeste ab. Feinere Gefässe sind öfter auf der Papille sichtbar und verlieren sich im Glaskörper. Besonders deutlich sind die Glaskörpergefässe bei Pagellus erythrinus, wo von der Mitte der Papille regelmässig ein, anfangs oft tiefschwarz pigmentirtes, starkes Gefäss in den Glaskörper in der Richtung nach dem hinteren Linsenpol zieht; eine Strecke weit von der Papille theilt sich das Gefäss Y oder ankerförmig in 2 Aeste, von denen der eine nach oben gegen die Netzhaut zurückbiegt und in mehrere feine Aeste zerfällt, die sich im Glaskörper verzweigen. Der untere regelmässig stärkere Ast biegt gegen die Papille zurück, erreicht deren unteres Ende und bildet von da ab die Arteria proc. falc. Der obere Ast kann mehr oder weniger obliterirt sein, so dass sich an dessen Stelle oft nur ein pigmentirter bindegewebiger Strang findet, der lebhaft an das Bild des Restes der embryonalen Glaskörperarterie beim Menschen erinnert.

Glaskörpergefässe in analoger Anordnung finden sich auch bei einigen Perciden (Barschen), z. B. bei Labrax lupus mächtig entwickelt; ihr Augenhintergrund ist im Ganzen ähnlich dem der Spariden, die Papille meist langgestreckt, schmal kolbenförmig.

Der Fundus der Labriden (Lippfische) zeichnet sich vor allem durch den grossen Reichthum an Gefässen der Hyaloidea aus; die Farbe des Augenhintergrundes ist meist graugrün, die Papille wird mehr langgestreckt bis streifenförmig, starke Gefässe treten nahe ihrem oberen Ende in das Innere des Auges und verzweigen sich dichotomisch nach verschiedenen Richtungen — oft sehr an das Verhalten im menschlichen Auge erinnernd; sie sind bis weit in die Peripherie zu verfolgen. Ein starkes Gefäss verläuft in der Längsrichtung der Papille nach vorne unten und geht in den Proc. falc. über; die Blutströmung ist oft besonders deutlich zu sehen; bei genügender ophthalmoskopischer Vergrösserung sind die Blutkörperchen zu erkennen; abweichend von dem Verhalten in der erstgeschilderten Gruppe gibt die Art. Proc. falc. hier mehrere Sei-

tenäste ab. Inmitten der Papille am Ursprung der Gefässe sitzt oft tiefbraunes bis schwärzliches Pigment, das in Aussehen und Anordnung an gespritzte Flecken erinnert; die Papille ist oft leuchtend grün, die Sehnervenfaserstrahlung etwas weiter in die Peripherie hinaus zu verfolgen. Deutlich ist der Niveauunterschied zwischen der Eintrittsstelle der Gefässe und der vor der Netzhaut liegenden Ebene ihrer Ausbreitung (parallactische Verschiebung, verschiedene Refraction).

Bei den Triglen (Knurrhähnen) hebt sich die Stelle des Sehnerveneintritts als ein langgestreckter schmaler, von hinten oben nach vorne unten ziehender grauröthlicher etwas prominenter Streifen von dem gleichmässig hellgrauen Fundus ab. Nahe dem unteren, etwas verbreiterten Ende der Papille tritt ein Gefäss in das Innere des Auges, beschreibt oft einen seichten Bogen gegen den Glaskörper und geht nach abwärts in den Proc. falc. über, in welchem es wie auf einem First verläuft; ein Ast des Hauptstammes verläuft nach hinten oben über die Papille; auf dieser dunkles Pigment in verschiedener Anordnung. Die ganze Papille ist von einem stark lichtreflectirenden Saum umgeben, die Sehnervenstrahlung in die Netzhaut verschwindet nicht weit von der Papille.

Bei den Pediculaten (Armflossern) fand ich den Fundus vollständig gefässlos; auch fehlt hier ein Processus falciformis. Der Sehnerveneintritt stellt eine relativ grosse auffallend helle, runde Scheibe dar, von der gelblichweisse bis röthlichgraue an gespannte Tuchfalten erinnernde Ausstrahlungen weit in die dunkelgraue Peripherie hinaus sich verfolgen lassen; das ganze Bild erinnert an die Form mancher Heliozoen oder Radiolarien. Inmitten der Papille sitzt regelmässig ein röthlichbrauner bis schwarzer etwas prominirender Pigmentpunkt, manchmal auch ein ganz kurzer pigmentirter, in den Glaskörper ragender Strang (vielleicht Rest eines embryonalen Glaskörpergefässes); in dessen unmittelbarer Nähe finden sich oft noch einige, aber viel feinere Pigmentpunkte auf der Papille.

Ich lasse nun auszugsweise einige meiner Protokolle über die Bestimmung der Refraction in Wasser folgen:

Sargus Salviani 18,5 cm lang, curarisirt, geathmet.

Linkes Auge: Refraction an der flammigen Strahlung der Papille nach

aussen oben: + 1,5 Dioptrien[1]), an den Pigmentpunkten um den Gefässeintritt E. An der Spitze des Gefässbogens + 5,5 D.

Rechtes Auge: Refraction an der Papillenstrahlung E. In der Mitte der Papille tritt ein starkes Gefäss ins Innere des Auges und theilt sich in 2 Aeste, von denen der eine nach hinten oben über die Papille, der andere nach vorne unten in den Processus falciformis verläuft. Refr. an den prominentesten Punkten + 4 D. Auffallend helle Gefässreflexe.

Linsenradius (Lr) = 3,0 mm; Brennweite (F) = 7,8 mm; Abstand (a) zwischen Papillenstrahlung und Mitte der Zapfenschicht 0,377 mm[1]).

L.A.: 4 D entsprechen einem Niveauunterschied von 0,158 mm, wahre Refraction (R) = 1,5—9,5 = — 8 D.

R.A.: Wahre Refraction (R) = 0—6 = — 6 D.

Chrysophrys aurata 28 cm lang.

L.A.: Papillenstrahlung nicht mit voller Schärfe einzustellen, wie wenn eine leichte diffuse Trübung davorläge.

R.A.: Refr. an der Art. proc. falc. knapp unterhalb der Papille: + 3,5 D. Nach Curarisirung Refr. unverändert.

Lr = 3,2; F = 8,3; a = 0,522; R = + 3,5 — 7,5 = — 4 D.

Pagellus erythrinus 37 cm lang.

L.A.: Refr. an der Papillenstrahlung und am Proc. falc.: + 3,5 D; an der Umbiegungsstelle der grossen Glaskörperarterie: + 7,5 D.

R.A.: An den analogen Stellen + 1,5 und + 8,5 D.

Das Thier wird durch einen Schlag auf den Kopf betäubt. Athmung geht fort.

L.A.: An denselben Stellen + 0,5 und + 5,5 D.

R.A.: Papillenstrahlung: — 1,0 D.

Lr = 4,2; F = 10,92; a = 0,528; R = — 1,0—4,5 = —5,5 D.

Der Refractionsdifferenz von 7 D (im r. A.) entspricht eine Niveaudifferenz von 0,535 mm, was mit der Berechnung genügend übereinstimmt.

Pagellus mormyrus 19,5 cm lang, atropinisirt.

L.A.: Refr. an der Papillenstrahlung + 2,5 D, am Gefässbogen + 5,5 D.

R.A.: Refr. an der Papillenstrahlung und am Gefässeintritt + 2,5 D; am Gefässbogen + 5,0 D; am Proc. falc. knapp unterhalb der Papille + 2,5 D.

Lr = 2,55; F = 6,63; a = 0,29; R = + 2,5 — 6,5 = — 4 D.

Labrax lupus 29,5 cm lang.

L.A.: Refr. an der Papillenstrahlung nach aussen oben + 1,5 D; ein starkes Gefäss zieht von der Papille gegen den hinteren Linsenpol, theilt sich in 3 Aeste (Teilungsstelle + 11,5 D) von denen einer in der Richtung des Hauptstammes, die beiden anderen nach hinten oben und vorne unten

---

1) Die zahlenmässigen Angaben sind stets als Mittel aus mehreren Einzelbestimmungen aufzufassen.

im Glaskörper verlaufen. Die Fortsetzung des Hauptstammes theilt sich abermals in 2 Aeste (Refr. an der Theilungsstelle + 14 D) die den ersteren parallel verlaufen.

Lr = 3,0; F = 7,8; a = 0,386; R = + 1,5—6 = —4,5 D.

Der Refractionsdifferenz von 10 D entspricht eine Niveaudifferenz von 0,612 mm, was mit der Berechnung genügend übereinstimmt.

Labrus turdus 27 cm lang, curarisirt, geathmet.

L.A.: Refr. an den feinen über den oberen Rand der Papille verlaufenden Gefässen + 2,5 D, an den starken, weit in die Peripherie hinaus ziehenden Getässen + 3,5 D; verfolgt man die Gefässe centralwärts, indem man allmählich schwächere Convex- resp. stärkere Concavgläser vorsetzt, so wird die Stelle des Gefässeintritts deutlich; hier liegen zwischen den Gefässstämmen Pigmentflecken an denen die Refr. mit grosser Genauigkeit bestimmt werden kann: —3,5 D.

R.A.: Refr. an der Sehnervenstrahlung nach aussen oben + 2,0 D, an der Eintrittstelle der Gefässe und den daselbst befindlichen Pigmentflecken: —3,0 D.

Lr = 2,3; F = 5,98; a (Pigment—Zapfen) = 0,22; R = —3—6 = —9 D.

Labrus turdus 40 cm lang curarisirt, atropinisirt, geathmet.

L.A.: Refr. an den Gefässen ausserhalb des Sehnerveneintritts —2 D am Pigment inmitten des Gefässeintrittes in der Tiefe der Papille —7 D.

R.A.: Refr. an den analogen Stellen —3 und —8 D.

Die mikroskopische Untersuchung zeigt, dass im Niveau des Pigmentepithels der Netzhaut fein verästigtes Pigment den Sehnerven durchzieht; hier wurde also annähernd die wahre Refraction bestimmt: —7 resp. —8 D.

Crenilabrus pavo 25 cm lang atropinisirt, künstlich geathmet.

L.A.: Fundus wegen Hornhauttrübung nicht genau sichtbar.

R.A.: Gefässeintritt mit 0 deutlich. Skiaskopisch ca. —7 D.

Lr = 2,0; F = 5,2; a = 0,27; R = 0—10 = —10 D.

Trigla gurnardus 20 cm lang curarisirt, atropinisirt, geathmet.

L.A.: Refr. an der Ausstrahlung des Sehnerveneintritts in die Netzhaut + 1,0 D.

Lr = 2,25; F = 5,85; a = 0,319; R = + 1 — 9 = — 8 D.

Peristedion cataphractum 29 cm lang, curarisirt, geathmet.

L.A.: Refr. an der Ausstrahlung der Papille nach aussen oben + 1,0 D.

R.A.: Refr. an analoger Stelle: + 0,5 D.

Lr = 3,4; F = 8,84; a = 0,406; R = + 1,0—5,0 = — 4,0 D.

Die folgende Tabelle enthält die Resultate der Refractionsbestimmungen, die ich in der geschilderten Weise durchgeführt habe. Da ich niemals nennenswerthe Anisometropie fand, so ist immer nur die Refraction eines Auges gegeben.

Species und Länge des Fisches (cm)		Refraction in Dioptrien	Species und Länge des Fisches (cm)		Refraction in Dioptrien
Sargus Salviani	18,5	—6	Labrus turdus	27	— 9
Sargus Salviani	25	—6,5	Labrus turdus	40	— 7,5
Sargus annularis	25	—4	Labrus turdus	35	—12
Sargus Rondeleti	24	—4,5	Labrus festivus	35	— 9
Box boops	30	— 3	Labrus festivus	20	— 9,5
Chrysophrys aurata	28	—4	Crenilabrus pavo	25	—10
Chrysophrys aurata	33	—4,5	Crenilabrus pavo	21	— 8,5
Chrysophrys aurata	35	+2,5	Trigla hirundo	23,5	— 3,5
Pagellus erythrinus	37	—5,5	Trigla lineata	21	— 8
Pagellus erythrinus	17	—4	Trigla gurnardus	20	— 8
Pagellus erythrinus	19	—4,5	Peristedion cataphractum	29	— 4
Pagellus mormyrus	19,5	—4	Trachinus draco	28,5	— 6,5
Cantharus vulgaris	15	—6	Lichia glauca	22	— 5
Labrax lupus	29,5	—4,5	Lophius piscatorius	40	+ 3
Labrax lupus	25	—3,5	Lophius piscatorius	35,5	+ 2,5
Serranus scriba	20	—7	Lophius budegassa	33	+ 2,5

Ich mache mir keine Illusionen über die Fehlerfreiheit dieser Refractionsbestimmungen. Bei Thieren, auf deren lichtempfindliche Netzhautschicht nicht scharf eingestellt werden kann und deren Augen eine relativ kurze hintere Brennweite haben, die Refraction auf eine Dioptrie genau zu bestimmen, wird wohl immer seine Schwierigkeiten haben. Aber es kam mir ja nicht darauf an, den Fischen Brillen zu verschreiben, sondern ein richtiges Urtheil über die Art der Refraction zu gewinnen. Solches gestatten meine Messungen. In der Einleitung habe ich zur Genüge auseinandergesetzt, dass Manz auf Grund eines physikalischen Irrthums, Plateau auf Grund von nichtsbeweisenden Versuchen, Leuckart bewogen durch diese Versuche und die — niemals bewiesene — Accommodationshypothese von Manz die Behauptung von einer hochgradigen Kurzsichtigkeit des Fischauges aufgestellt hatten. Erst durch meine Versuche ist erwiesen, dass das Fischauge im Ruhezustande wirklich für die Nähe eingestellt ist.

Den von mir untersuchten Fischen ist eine mässige Myopie — ca. 3—12 Dioptrien — im Ruhezustande des Auges zuzuschreiben[1]). Vielleicht ist in vielen Fällen die Myopie noch etwas

1) Bei den Pediculaten wurde zwar Hm gefunden; die Thiere waren nicht atropinisirt und wurden nicht im Wasser, sondern in Luft untersucht;

höher anzunehmen (etwa um 1—3 D), denn ich habe einerseits die hintere Brennweite meist eher etwas zu gross angesetzt[1]), andrerseits die durch die Härtung und Einbettung bedingte Schrumpfung der Netzhaut — sie beträgt in Paraffin oft bis 10 % — gewöhnlich nicht berücksichtigt.

Die bei der Refractionsbestimmung durch den Abstand zwischen lichtempfindender und lichtreflectirender Schicht bedingten Fehler müssen, wie sich leicht ergibt, um so geringer ausfallen, je grösser — ceteris paribus — die hintere Brennweite ist, also im allgemeinen je grösser die linearen Dimensionen des Auges sind. Dies konnte ich durchaus bestätigen. In den grössten Augen war die scheinbare Hm oft sehr gering — 1, 1,5 D. — öfter hatte hier sogar schon die Sehnervenfaserschicht schwach myopische Einstellung, so dass in solchen Fällen ohne weiteres auf eine wahre Myopie von mehreren Dioptrien geschlossen werden durfte.

Mit meinen Resultaten stimmen die Angaben Hirschberg's über die Refraction zweier Hechte — die einzigen verwerthbaren, die in der Literatur vorliegen — hinsichtlich der Art der Einstellung wohl überein. Seine Ansicht, dass den Fischen im allgemeinen ein nur sehr geringer Grad von Kurzsichtigkeit zukommt, halte ich nach meinen Untersuchungen nicht für berechtigt. Die Myopie ist bei vielen Fischen entschieden beträchtlicher[2]),

---

der Hornhaut wurde ein Deckglasstückchen aufgelegt. Es ist aus später zu erörternden Gründen wahrscheinlich, dass auch hier in Wirklichkeit M bestand, ebenso vielleicht bei der einen gleichfalls hypermetrop befundenen Goldbrasse.

1) Die Berechnung von φ nach Matthiessen's Integralrechnung ergibt etwas kleinere Werte; ich glaubte für meine Zwecke mit der elementaren Berechnung auskommen zu können; dass ich keine groben Fehler beging, lehrte die zur Controle an Gefrierschnitten des Auges öfter angestellte Messung der Netzhaut-Linsenmittelpunkt-Distanz.

2) Hirschberg setzt die Dicke der Hechtretina zu 0,2 mm und zur Correctur der Refractionsbestimmung nur 0,1 mm an; aber es ist nicht gesagt, ob diese Dicke an der Retina der untersuchten oder anderer Exemplare, auch nicht, ob gerade die Dicke entsprechend der untersuchten Stelle gemessen wurde. Krause gibt die Dicke der Hechtretina zu 0,4 mm an. Ich fand öfter bemerkenswerthe Unterschiede zwischen der Dicke der Netzhaut in der Umgebung des Sehnerveneintritts und in der Peripherie.

wenn auch nicht so hoch, wie ältere Autoren, Manz, Plateau und Leuckart angenommen haben.

Plateau hat — wenigstens für die überwiegende Mehrzahl der Fische — die Myopie im Wasser zu hoch angesetzt; eine Myopie von 20 D. habe ich niemals gefunden; seine Resultate erklären sich vermuthlich daraus, dass er am toten Auge und mit Hülfe einer ungenauen Methode gearbeitet hat; sie sind fortan nicht als massgebend zu betrachten.

Es war mir sehr erwünscht, meine Ansicht von der Refraction des Fischauges durch direkte Untersuchung der lichtempfindlichen Schicht mit dem Augenspiegel zu bestätigen. Dies ist mir, als ich zu diesem Zweck eine grosse Anzahl von Arten untersuchte, wirklich gelungen, nämlich bei Scorpaena, Blennius und Capros.

Ich will zunächst eine kurze Schilderung des merkwürdigen Augenhintergrundes der Seekröte (Scorpaena) geben[1]).

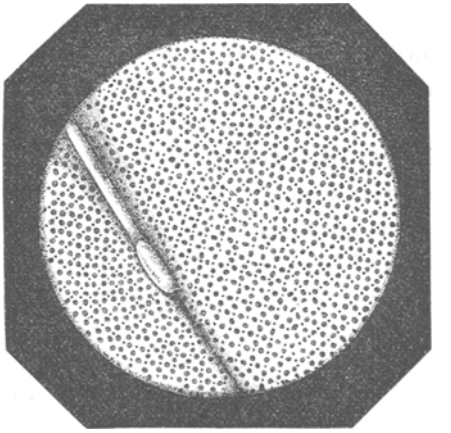
Schon dem Laien ist die rothe Pupille des Thieres (Var. scrofa) auffallend; es gelingt hier — und zwar unter Umständen ohne alle Hülfsmittel, wie künstliche Beleuchtung, Augenspiegel etc. — wenn man dem ruhig an der Glaswand seines Bassins liegenden Thiere in das Innere des Auges blickt, die Eintrittsstelle des Sehnerven, den Processus falciformis, Gefässe und, was das interessanteste ist, die **Zapfenmosaik der Netzhaut** zu sehen, was meines Wissens bisher bei keinem lebenden Thiere gelungen ist.

Am bequemsten ist es, das in der gewöhnlichen Weise gefesselte Thier mit dem Augenspiegel zu untersuchen, der hier weniger nöthig ist, Licht in das — zwar nicht albinotische, aber doch, abgesehen von der Iris, sehr pigmentarme — Auge zu werfen, denn um als Schirm für das eigene Auge zu dienen und um Refractionsanomalien auszugleichen. Man erblickt dann — um gleich das auffallendste hervorzuheben — auf hellem gelblichen bis röthlichen, dunkel gefleckten Grunde ein überaus zierliches Netz von regelmässigen, parallelen, zumeist unter rechten Winkeln sich durchkreuzenden Linien; bei scharfer Einstellung lösen sich diese

1) Eine genaue Beschreibung des ophthalmoskopischen Befundes und der Netzhaut bei den genannten Arten soll demnächst an anderem Orte erfolgen.

Linien in Punktreihen auf und zwar wechseln Reihen, in denen alternirend grosse und kleine Punkte stehen, mit solchen ab, in denen sich nur grosse und zwar in denselben gegenseitigen Abständen, wie in den ersteren befinden. Diese an dem lebenden Thiere mit dem Augenspiegel sichtbaren Punkte sind, wie die mikroskopische Untersuchung an frischen Flächenpräparaten der Netzhaut und an Schnitten lehrte, nichts anderes als die Zapfen der Netzhaut. Auf grossen Strecken des ophtalmoskopischen Gesichtsfeldes stehen die Zapfen so wie mit dem Lineal gerichtet. Nur ab und zu geräth ein Zug von Punktreihen schief in die anderen hinein, so besonders in der Nähe der Papille und des Processus falciformis, wo gewissermassen Verwerfungen vorkommen. Im grossen und ganzen ist die Anordnung bis weit in die Peripherie hinaus dieselbe. Die vorerwähnten dunklen Flecken (in Fig. 3 nicht wiedergegeben) liegen hinter der Netzhautmosaik, sie gehören der Chorioidea an.

Fig. 3[1]).
Augenhintergrund von Scorpaena.



Scorpaena porcus 13 cm lang. Rechtes Auge. Ein kleiner centraler Theil des opthalmoskopischen Gesichtsfeldes. (Uebergangsstelle des Sehnerveneintritts in den Processus falciformis.) Die Gefässe sind nicht gezeichnet, da sie bei Einstellung auf die Zapfenmosaik nicht scharf erscheinen. Die ophthalmoskopische Vergrösserung ist ca. 60 fach.

Die Eintrittsstelle des Sehnerven ist im allgemeinen ähnlich der der naheverwandten Triglen. Ein starkes Gefäss tritt regelmässig an dem verbreiterten unteren Ende der Papille ins Auge und theilt sich alsbald in zwei Aeste, von denen der eine nach rückwärts oben biegt und über die Papille verläuft; der andere zieht an der nasalen Seite des Proc. falciformis nach vorne unten

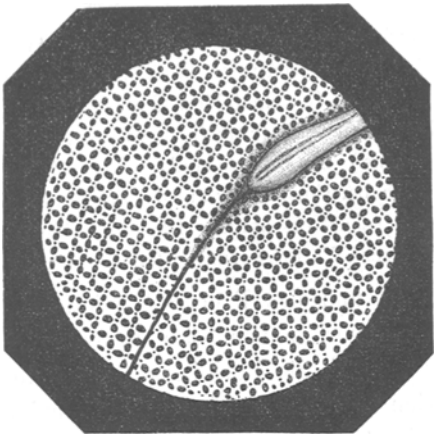
1) Bei normaler Sehschärfe aus einer Entfernung von ca. 50 cm zu betrachten; ebenso Fig. 4.

(Art. proc. falc.). Von beiden Aesten gehen feinere hellrothe Zweige weit in die Peripherie hinaus und verästeln sich weiter. Parallactische Verschiebung dieser feinen Blutgefässe gegen die dahinterliegende Zapfenmosaik (Refractionsunterschiede von mehreren Dioptrien) ist leicht wahrzunehmen. Die Blutcirculation kann sowohl in der Art. proc. falc. als in den mehr peripheren Aesten mit grosser Deutlichkeit wahrgenommen werden.

Zwischen den drei Arten scrofa, porcus, ustulata besteht hinsichtlich des ophthalmoskopischen Bildes anscheinend kein wesentlicher Unterschied.

Ganz ähnliche Verhältnisse wie bei Scorpaena finden sich bei Blennius (ocellaris, tentacularis) — aber sonderbarer Weise nur in einem Theile des Augenhintergrundes; die untere Hälfte des Fundus zeigt auf hellröthlichem Grunde grosse schwarze unregelmässige Flecken — bei genauer Einstellung zeigt sich, dass sie hinter der Netzhaut liegen und der Chorioidea angehören. Die Netzhaut selbst erscheint mit einem Netz regelmässiger paralleler Linien überzogen, welche sich bei genauer Einstellung im aufrechten Bilde in Punktreihen auflösen. Die Zapfen sind hier mehr elliptisch, der Grössenunterschied zwischen den grossen und kleinen Elementen ist grösser als bei Scorpäna, im übrigen herrscht aber ganz dieselbe Anordnung, wie ich sie dort geschildert habe; nur in den an die dunkle obere Hälfte des Fundus angrenzenden Partien stehen die Zapfen viel dichter; „Verwerfungen" scheinen hier seltener zu sein. Papille und Gefässe verhalten sich ganz ähnlich wie bei Scorpäna.

Fig. 4.
Augenhintergrund von Blennius.



Blennius ocellaris 9 cm lang. Linkes Auge. Ein kleiner Theil aus der unteren Hälfte des ophthalmoskopischen Gesichtsfeldes. Unterer Theil der Papille und Ursprung des Processus falciformis. Ophthalmosk. Vergrösserung ca. 80 fach.

Bei der Sektion des Auges zeigt sich die obere Hälfte viel dunkler pigmentirt als die untere.

Der Augenhintergrund von Capros endlich stellt gewissermassen einen Uebergang zwischen dem der letztgenannten Arten (Scorpäna und Blennius) und dem der übrigen von mir untersuchten Fische dar. Der Fundus ist nicht so hell wie bei Scorpäna, aber doch nicht so opak und homogen wie bei vielen anderen Fischen; er erscheint meist grau, gelblichroth — gelbbräunlich und weist bei genauer Einstellung zwar weder das Liniennetz noch die Punktreihen in der für Scorpäna und Blennius so charakteristischen Anordnung, aber doch eine deutliche netzige Zeichnung, ähnlich fein chagrinirtem Leder, auf, von welcher sich helle gelbgraue bis röthliche Fleckchen und einzelne sehr helle Stellen von anscheinend grosser Durchsichtigkeit abheben. Was man hier sieht, ist offenbar — die mikroskopische Untersuchung bestätigt dies — auch die Zapfenmosaik, aber ihre Anordnung ist hier eine ganz andere, die Zapfen stehen in geringeren gegenseitigen Abständen[1]) und nicht in regelmässig abwechselnden Reihen.

Bei Scorpäna, Blennius und Capros ist es — und dies ist hier von wesentlichem Interesse — möglich, mit dem Augenspiegel direkt die wahre Refraction — und zwar unter Umständen bis auf 0,5 D. genau — zu bestimmen. Ich habe dies bei 20 sehr verschieden grossen Exemplaren von Scorpäna (scrofa, porcus und ustulata), bei 10 Exemplaren von Blennius (zumeist ocellaris, aber auch tentacularis und sanguinolentus), bei 5 Exemplaren von Capros aper gethan und sowohl im aufrechten Bilde, als mit Hülfe der Skiaskopie stets myopische Einstellung gefunden[2]). Die Uebereinstimmung unter den Angehörigen derselben Species war sehr gross; ich führe daher die Resultate nicht im einzelnen an; bei Scorpäna fand ich M. von ca. 4—10, bei Blennius solche von ca. 4—12, bei Capros solche von ca. 3—5 D.

---

1) Nach den grossen Abständen, in denen die Zapfen bei den Scorpaenen stehen, zu urtheilen, dürfte die Sehschärfe dieser Thiere nicht sehr hervorragend sein.

2) Die Thiere waren sämmtlich atropinisirt.

Dass die Augen vieler Fische im Ruhezustande für die Nähe eingestellt sind, war für mich nach diesen Ergebnissen erwiesen.

III. Die Refraction in Luft.

Wiewohl dies nicht streng zu meinem Thema gehörte, so habe ich doch in Anbetracht — einerseits der günstigen Gelegenheit — andererseits der in der Literatur noch herrschenden Unklarheit der Anschauungen über diesen Gegenstand, bei einer Anzahl von Fischen auch die in Luft ihnen zukommende Refraction bestimmt.

Der Fisch wird in Handtuch und Bleiplatte gewickelt und in der Klammer eines starken gusseisernen Stativs befestigt. Wasser wird in regulirbarem Strahle theils in das Maul des Fisches geleitet, theils auf das zu untersuchende Auge geträufelt; während der Untersuchung wird die Anfeuchtung des letzteren unterbrochen, bei einer Unterbrechung der Untersuchung aber sofort wieder in Gang gesetzt, so dass die bei den Teleostiern des Lidschutzes entbehrende Hornhaut vor dem Vertrocknen bewahrt bleibt: einige Fische wurden — hauptsächlich wegen der unerwünschten Lebhaftigkeit ihrer Augenbewegungen — schwach curarisirt; solchen muss, da sie die Kiemen nicht bewegen, ein stärkerer Strahl ins Maul geleitet werden.

Neben und etwas hinter dem Fische befindet sich ein Rundbrenner; gegen die von der Flamme ausstrahlende Wärme kann der Kaltblüter durch einen Schirm geschützt werden. Das Stativ erlaubt Drehungen der Klammer um 3 Axen, so dass der Fisch leicht in verschiedene Lagen gebracht werden kann; es ist dies von Wichtigkeit wegen der excentrischen Lage des Sehnerveneintritts, der hier mit dem Proc. falc. die bei der Refractionsbestimmung wesentlich in Betracht kommenden Fundustheile darstellt.

Das an dem Handtuch ohne Geräusch und ohne Spritzen ablaufende Wasser fliesst durch eine Oeffnung der eingerandeten, wasserdichten Tischplatte ab.

Um mich über die Refraction rasch zu orientiren, bediente ich mich zweckmässig der Skiaskopie; man wirft mit dem

Planspiegel Licht ins Auge; bei Drehung des Spiegels wandert der in der Pupille auftauchende Schatten in entgegengesetzter Richtung: es besteht also Myopie; da man mit dem Spiegel nahe an das Auge herankommen kann, ohne dass die Richtung der Schattenwanderung der Spiegeldrehung gleichsinnig wird, so muss der Fernpunkt sehr nahe dem Auge liegen, die Myopie also eine hochgradige sein.

Genauer wurde die Refraction des Auges in Luft nach der für die Bestimmung starker Myopie beim Menschen üblichen Methode durch Messung der Fernpunktdistanz ermittelt; durch Vorsetzen einer entsprechenden Linse im Augenspiegel erzeuge ich mir eine Myopie von z. B. 6,5 Dioptrien; mein Fernpunkt liegt dann in 15,38 cm Entfernung von meinem Auge. Das Fischauge entwirft in Luft ohne Ausnahme ein umgekehrtes Bild des Augenhintergrundes, die maximale Entfernung von meiner Hornhaut zu der des Fisches, bei welcher ich im umgekehrten Luftbilde die Papille (Sehnervenstrahlung etc.) oder von ihr ausgehende Gefässe, den Ursprung des Proc. falciformis etc. mit maximaler Schärfe wahrnehme, wird — in Centimetern — gemessen; wird von der gefundenen Zahl 15,38 subtrahirt, so resultirt die Fernpunktdistanz des untersuchten Auges; dividirt man diese in 100, so erhält man die Myopie in Dioptrien [1]).

Die Zahlen der folgenden Tabelle geben Mittel aus je 4—5 Einzelbestimmungen an Augen, die mir normal erschienen (keine Hornhaut-, Linsentrübungen etc.).

---

1) Streng genommen sollte als „Myopie" die in 100 dividirte Distanz des Fernpunktes vom Knotenpunkte — statt von der Hornhaut — des untersuchten Auges bezeichnet werden; indessen kann dieser Unterschied hier vernachlässigt werden, wie auch der Fehler, welcher — im entgegengesetzten Sinne — dadurch begangen wurde, dass bei den meisten Species nur die Distanz des Luftbildes der Papille oder der Gefässe etc. gemessen werden konnte, während die lichtempfindende Netzhautschicht etwas hinter dem Niveau der Papille liegt.

Species	Länge des Fisches in cm	Abstand des Fernpunctes von der Hornhaut des linken Auges in cm	Abstand des Fernpunctes von der Hornhaut des rechten Auges in cm	Myopie des linken Auges in Dioptrien	Myopie des rechten Auges in Dioptrien
Conger vulgaris	53	1,28	1,38	78	72
Belone acus	52	1,38	1,58	72	63
Labrus turdus	28,5	1,60	1,44	62	69
Labrus turdus	33	2,02	1,91	49	52
Labrus festivus	27	—	1,27	—	78
Crenilabrus pavo	25	1,48	1,51	67	66
Crenilabrus pavo	19	1,18	1,25	84	80
Serranus cabrilla	16	—	1,32	—	75
Labrax lupus	29,5	2,12	1,97	47	50
Labrax lupus	25	1,67	—	59	—
Chrysophrys aurata	28	1,40	1,97	71	50
Chrysophrys aurata	33	5,92	3,66	16	27
Chrysophrys aurata	35	1,14	2,43	57	41
Pagellus erythrinus	15,5	2,58	2,16	38	46
Pagellus erythrinus	19	1,77	—	56	—
Pagellus mormyrus	19,5	2,62	2,28	38	43
Sargus Salviani	15	2,10	1,53	47	65
Sargus annularis	16,5	0,39	0,45	256	222
Sargus Rondeleti	18	1,62	2,00	61	50
Scorpaena scrofa	25	2,01	1,81	50	55
Scorpaena porcus	23	1,88	2,22	53	45
Trigla corax	23,5	1,17	1,47	85	68
Trigla gurnardus	27	1,13	1,02	88	98
Peristedion cataphractum	29,5	1,83	1,98	54	50
Corvina nigra	20	1,22	1,12	81	89
Capros aper	11,5	1,60	1,67	62	59
Capros aper	12	1,26	1,42	79	70
Blennius ocellaris	13,5	1,06	1,15	94	86
Lophius piscatorius	33	2,17	2,19	46	45
Lophius piscatorius	47	1,38	1,58	72	63

Es fand sich also in Luft bei sämmtlichen der von mir untersuchten Teleostier hochgradige Myopie — am häufigsten von ca. 40—90 Dioptrien; trotzdem bei den Fischen im Vergleich zu den Augen der meisten Landwirbelthiere der Abstand zwischen Linse und Netzhaut gering ist, so liegt der Vereinigungspunkt paralleler aus der Luft in das Auge eintretender Strahlen doch erheblich vor der letzteren; dies wird zum grossen Theil bewirkt durch die Brechkraft der im Wasser unwirksamen Hornhaut, welche nichts weniger als abgeflacht ist, wie Plateau und viele andere irrthümlich behaupteten, sondern, wie mich ophthalmometrische Messungen am lebenden Thiere lehrten[1]) — vergl. die

1) Messungen der Hornhautkrümmung an todten Fischen sind ziemlich werthlos. Berger gibt z. B. den — nach seiner Meinung relativ kleinen —

unten gegebene Tabelle — im Centrum oft Krümmungsradien von ca. 4—9 mm aufweist.

Meine Fernpunktbestimmungen sind, wie ich ausdrücklich selbst hervorheben will, durchaus nicht absolut genau; es liegt an der Methode, dass Fehler um mehrere Dioptrien nicht ausgeschlossen sind; doch spielen diese bei der Höhe der hier gefundenen Myopie keine Rolle — praktisch besteht kein wesentlicher Unterschied zwischen einer Myopie von 70 und einer von 85 D.

Die grössten Abweichungen von einander zeigten die Einzelbestimmungen bei einigen Spariden, bei denen das Luftbild oft so verzerrt ist und auf einer so langen Brennstrecke entworfen wird, dass von präciser Einstellung auf ein bestimmtes Detail keine Rede sein kann; die Ursache dieses Verhaltens ist der hochgradige unregelmässige Astigmatismus der Hornhaut, den diese Fische — Sargus, Chrysophrys, Pagellus etc. — oft aufweisen; es finden sich hier besonders häufig — abgesehen von offenbar pathologischen, mit Trübungen (auch der Linse) einhergehenden Krümmungsänderungen der Hornhaut — keratoconische Vorwölbungen und facettenartige Abflachungen etc. Erstere erklären die in manchen Fällen gefundene excessive Myopie von über 200 Dioptrien, letztere die in anderen Fällen vorhandene unter der Norm bleibende Myopie von nur 15—30 D.

Die Facettirung der Hornhaut ist mitunter so ausgesprochen, dass man 2 — sehr verzerrte — Bilder des Augenhintergrundes zu sehen bekommen kann; umgekehrt müsste für den Fisch in Luft monoculare Diplopie bestehen.

Der unregelmässige Astigmatismus der Hornhaut erklärt auch, warum hier die Bestimmungen sowohl für verschiedene Individuen derselben Species als auch für das linke und rechte Auge desselben Thieres oft erheblich von einander verschieden sind, während bei der Refraction im Wasser stets grosse Uebereinstimmung gefunden wurde.

Hirschberg, der einige Flussfische untersucht hat, sagt: „Die Fischcornea, die im Wasser nicht gebraucht wird, ist ebensowenig ausgearbeitet, wie die dem Beschauer abgewendete Seite

---

Hornhautkrümmungsradius für Uranoscopus zu 15 mm an, ich fand ihn beim lebenden Thier (grosses Exemplar) ophthalmometrisch = 2 mm. Am besten conservirt Formol die natürlichen Formen, das Auge muss sofort nach der Enucleation eingelegt und darf nicht gedrückt werden.

der Giebelstatuen altgriechischer Künstler. Im Ganzen ist die Hornhaut flach im Verhältniss zur Sehaxenlänge." Für eine grosse Anzahl der von mir untersuchten Species der Knochenfische — von Haien und Rochen vorläufig ganz abgesehen — kann diese Behauptung in solcher Allgemeinheit nicht aufrecht erhalten werden; bei vielen Species fand ich die Hornhaut — normaler Weise — glatt, glänzend, klar, regelmässig und relativ stark gewölbt, so besonders bei den Pleuronectiden, Labriden und Scorpänen, bei Capros und den Blenniiden u. m. a.; der Astigmatismus ist hier oft gering oder in nennenswerthem Grade überhaupt nicht vorhanden, so dass eine scharfe Einstellung des nicht oder sehr wenig verzerrten Luftbildes möglich ist; hier stimmten auch die Einzelmessungen, deren Mittel in der Tabelle gegeben sind, im allgemeinen unter einander überein und die Werthe können wohl bis auf zehn Dioptrien genau gelten.

Die Durchleuchtbarkeit des Auges und die Möglichkeit, die Zapfenmosaik der Netzhaut zu unterscheiden gestattet bei Scorpaena und Blennius die Fernpunktdistanz des Auges in Luft bis auf Bruchtheile eines Millimeters genau zu bestimmen. Ich schlug zu diesem Zweck das folgende überaus einfache Verfahren ein: Dem rasch in Handtuch und Bleiplatte gewickelten Fisch wird ein Auge enucleirt; hierauf wird er in der verstellbaren Klammer eines Stativs derart befestigt[1]), dass das ihm gebliebene Auge mit der Hornhaut nach oben über den Ausschnitt des Objekttisches einer Zeiss'schen Präparirlupe zu liegen kommt. Die Orbita des enucleirten Auges wird von untenher mit dem Concavspiegel der Lupe beleuchtet — sofort erscheint die Pupille des zu untersuchenden Auges hell. Die Hornhaut wird öfters aus einem Tropfglas mit Seewasser befeuchtet; auf ihren Scheitel wird ein Russstäubchen gebracht. Die Lupe wird einmal

1) Der künstlichen Athmung bedarf es während der kurzen Zeit, welche diese Untersuchung in Anspruch nimmt, nicht; bringt man die Thiere nach derselben in ihr Bassin zurück, so sind sie vollkommen munter. Sc. porcus ist gewöhnlich dunkler — ihr Körper weniger durchleuchtbar — als die der beiden anderen Arten; die Pupille erscheint gewöhnlich nicht roth. Hier war es mitunter nöthig, die knöcherne Orbitalwandung des enucleirten Auges abzutragen, um den Fundus des anderen genügend zu erleuchten. Oefter verwandte ich Fische zur Untersuchung, denen schon längere Zeit vorher ein Auge enucleirt worden war.

auf das verkehrte Luftbild des Augenhintergrundes, dessen zierliche Mosaik — ebenso wie die Papille, Gefässe, Processus falciformis etc. — in dieser Weise auch dem des Ophthalmoskopirens Ungewohnten in bequemer Weise zur Anschauung gebracht werden kann, dann auf das Russstäubchen eingestellt. Die verticale Verschiebung der Lupe wird an der Triebtheilung abgelesen und ergibt sofort die Fernpunktdistanz des untersuchten Auges; drückt man sie in Centimetern aus und dividirt in 100, so resultirt die Myopie in Dioptrien.

Die folgende Tabelle gibt die in der geschilderten Weise gewonnenen Befunde der Refraction in Luft. (Mittel aus je drei Bestimmungen).

Species und Länge des Fisches (cm)		Abstand des Fernpunctes in cm	Myopie in Dioptrien
Scorpaena scrofa	31	2,52	39
„ „	30	2,10	47
„ „	15	1,30	76
Scorpaena porcus	21	1,90	52
„ „	18,5	1,66	60
„ „	11,5	1,0	100
Scorpaena ustulata	12	1,20	83
„ „	10	1,01	99
„ „	9,5	0,76	131
Blennius ocellaris	15	1,47	68
„ „	12	1,11	90
Blennius tentacularis	9	0,60	166

Auch nach diesen genauen Befunden kommt also dem Fischauge in Luft eine ganz excessive Myopie zu. Sie ist im grossen und ganzen am stärksten bei den kleinsten Fischen, etwas geringer bei den grossen, was offenbar mit dem Verhalten des Hornhautkrümmungsradius zusammenhängt, der umgekehrt bei grösseren Thieren höhere Werthe als bei kleineren — innerhalb derselben Species — erreicht.

Vergleiche ich die Refraction des Fischauges in Luft mit der in Wasser, so ergibt sich zwar kein qualitativer, wohl aber ein sehr erheblicher quantitativer Unterschied. Um ca. 30—100 Dioptrien stärker ist die Myopie des Fischauges in Luft als in Wasser und wenn es einerseits nicht unwahrscheinlich ist, dass die letztere verringert oder sogar aufgehoben werden kann, so ist es doch andererseits fast a priori sicher, dass ein so hochgradiger Refractionsfehler, wie er dem Fischauge in Luft zu-

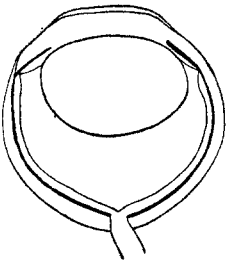
kommt, durch keine Accommodationseinrichtung corrigirt werden dürfte. Der Refractionsunterschied in beiden Medien ist natürlich um so grösser, je stärker gewölbt die Hornhaut ist.

Dass Plateau's Angaben von meinen Resultaten so sehr abweichen, dürfte vermuthlich weniger daran liegen, dass er vorwiegend die Augen von Flussfischen untersucht hat — Hirschberg fand auch bei dem mit sehr wenig gewölbter Hornhaut ausgestatteten Hecht einen Refractionsunterschied von 18,5 Dioptrien — als dass er nicht am lebenden Thier und mit einer, wie Controlversuche lehren, weniger genauen Methode gearbeitet hat. Er hat die Myopie in Wasser zu hoch, die in Luft zu niedrig angenommen und ist so zu der — noch immer verbreiteten — Ansicht gekommen, dass die Fische in Luft und Wasser für annähernd gleiche Entfernungen eingestellt sind [1]).

Vergleichen wir das Sehen des unter Wasser tauchenden Menschen mit dem Sehen des aus seinem Element gezogenen Fisches, so ergibt sich folgendes: Der in Luft emmetropische Mensch wird, wenn er unter Wasser taucht, stark hypermetropisch, da die Brechkraft der Hornhaut im Wasser wegfällt [2]). Die Hyper-

1) Was die Amphibien betrifft, so hat Hirschberg gezeigt, dass der Frosch in Luft kurzsichtig (ca. 5—8 D), in Wasser stark übersichtig ist. Plateau hat sich für das Fisch- wie für das Froschauge eine Abflachung der Hornhaut zurecht gemacht, von der am lebenden Thier nichts zu sehen ist. Vergl. Fig. 5 und 6.

Fig. 5.



Schnitt durch das Froschauge nach Plateau (Zoologie élementaire). $^5/_1$ d. n. G.

Fig. 6.

Der vordere Abschnitt des linken Auges einer Rana esculenta, von oben betrachtet. Nach dem lebenden Thier. ca. $^5/_1$ d. n. G.

2) Die Brechkraft der Linse ist überdies für Strahlen aus dem Wasser geringer als für solche die aus der Luft kommen. Die Hm unter Wasser muss daher noch etwas höher sein, als sie es wäre, wenn in der Luft der

metropie beträgt etwa 25 D.; sie kann durch Accommodation nur zum Theil gedeckt werden. Trotzdem sieht man beim Tauchen gut genug, um sich zu orientiren und kann sogar kleine Gegenstände mit dem Auge finden; ich habe oft aus über 3 Meter tiefem Wasser Handschuhknöpfchen vom Grunde geholt.

Der Fisch erlangt, wenn man ihn aus dem Wasser zieht, durch das Inkrafttreten seiner Hornhautbrechung eine excessive Myopie; was er da sieht, ist schwer zu sagen und von geringem Interesse, viel wird es jedenfalls nicht sein. Mache ich mich durch Vorsetzen zweier Linsen von je 25 D. so kurzsichtig, wie viele Fische in Luft sind, so bin ich nicht im Stande, auf mehr als 10 cm „Finger zu zählen."

Die Abweichung von der E. kann 2—4 mal so gross geschätzt werden, als die für den Menschen unter Wasser; so ergäbe sich das Resultat, dass der Mensch für das Sehen unter Wasser nicht so schlecht eingerichtet ist, wie der Fisch für das Sehen in Luft.

Plateau's Behauptung „que les poissons voient dans l'air aussi bien que dans l'eau" wäre in dieser Allgemeinheit unrichtig, auch wenn der Unterschied der Refraction in beiden Medien ein geringerer wäre, da der bei manchen — und zwar gerade bei den mit wenig gewölbter Hornhaut ausgestatteten — Arten oft vorhandene, hochgradige, unregelmässige Astigmatismus der Hornhaut eine übermässige Verzerrung des Netzhautbildes und so eine Herabsetzung der Sehschärfe bewirken würde. Weiter auf die Kurzsichtigkeit des Fischauges in Luft einzugehen, erscheint mir nicht gerechtfertigt [1]).

---

brechende Einfluss der Hornhaut wegfiele. Am besten müsste unter Wasser ein hochgradig Kurzsichtiger daran sein.

1) Nicht ohne Interesse wäre es vielleicht die Refraction des Auges in Luft bei solchen Fischen zu bestimmen, welche direkt ans Land gehen, wie z. B. die Kletterfische; solche lebend zu untersuchen hatte ich keine Gelegenheit.

Ganz sonderbare Verhältnisse scheinen bei dem in Surinam heimischen Vierauge (Anableps tetrophthalmus) zu bestehen. Die Hornhaut dieses Fisches ist durch einen horizontalen pigmentirten Streifen in zwei halbkreisförmige durchsichtige Theile zerlegt, ebenso bestehen an der Iris zwei von einander geschiedene Pupillenöffnungen. Die Thiere schwimmen nur an der Oberfläche mit einem Theil des Kopfes und des Rückens über Wasser. „Dabei liegt der horizontale Pigmentstreifen der Cornea genau in

IV. Lassen sich Aenderungen der Einstellung nachweisen?

Während früher die Sache so lag, dass aus der — niemals bewiesenen — negativen Accommodation, welche den Fischen von Manz zugeschrieben worden war, die ebenfalls unbewiesene Schlussfolgerung gezogen wurde, dass ihr Auge hochgradig kurzsichtig sei, so konnte ich umgekehrt jetzt, wo es mir nach der objectiven Untersuchung einer grossen Anzahl lebender Fische zur Gewissheit geworden war, dass ihr Auge zwar nicht hochgradig kurzsichtig, aber doch im Ruhezustande jedenfalls für die Nähe eingestellt ist, mit grosser Wahrscheinlichkeit ein Vermögen, das Auge für grössere Entfernungen als den Nahepunkt [1]) einzustellen, erwarten.

Mein Bemühen ging zunächst durchaus nicht dahin, eine Abplattung der Krystalllinse zu suchen, wie sie der angeführten Hypothese zu Folge — deren Berechtigung mir übrigens schon nach dem Studium der anatomischen Verhältnisse des Fischauges zweifelhaft geworden war — hätte eintreten sollen, sondern ich legte mir — ohne über den Mechanismus der erwarteten Accommodation irgend etwas zu präjudiciren [2]) — die Frage

der Wasserlinie, das untere „Auge" unterhalb, das obere Auge aber oberhalb derselben. Auf der unteren Hälfte der Retina werden die aus der Luft kommenden Lichtstrahlen, auf der oberen die aus dem Wasser kommenden gebrochen. Das Thier besitzt also jederseits zwei Augen, das eine für das Sehen in der Luft, das andere für das Sehen im Wasser eingerichtet." Leider findet sich bei Klinckowström, dem ich diese Beschreibung entnehme, keine bestimmte Angabe über die Hornhautkrümmung oder über die Refraction; so viel scheint aber sicher zu sein, dass in diesem Falle, wo ein Fisch wirklich auf das Sehen in Luft und Wasser angewiesen ist, andere Einrichtungen bestehen, als sich die Schulweisheit träumen liess. Es ist interessant, dass sich bei einigen Insekten ähnliche Verhältnisse vorfinden, wie bei Anableps, so z. B. bei Gyrinus mergus. Taschenberg sagt von diesem: „Höchst eigenthümlich sind die Augen gebildet, indem jedes von einem breiten Querstreifen in eine obere und eine untere Partie getheilt wird, so dass der Käfer, wenn er umherschwimmt, gleichzeitig unten in das Wasser, oben in die Luft wahrscheinlich aber nicht in gerader Richtung mit dem Wasserspiegel schauen kann."

1) So nenne ich hier — wie sich erweisen wird, mit gutem Recht — was man im menschlichen myopischen Auge als Fernpunkt bezeichnet.

2) A priori war es ja nicht ausgeschlossen, dass noch auf ganz anderem Wege als durch Veränderungen an der Linse eine Accommodation zu Stande

vor: Lässt sich am Fischauge eine Aenderung der Einstellung nachweisen?

Dass diese Frage bejaht werden muss, war mir schon bei meinen Refractionsbestimmungen klar geworden, denn oft änderte sich die Refraction während der Untersuchung um mehrere Dioptrien; besonders deutlich war dies mitunter bei der skiaskopischen Untersuchung: während eben noch

---

kommen konnte; es findet sich bei vielen — nicht bei allen Fischen — zwischen der Lamina argentea und der L. vasculosa der Chorioidea ein Wundernetz — die früher so genannte Chorioidealdrüse; man konnte in Erwägung ziehen, ob nicht etwa Veränderungen in der Blutfülle des Organs den Ort der Netzhaut ändern würden. Eine solche Ansicht ist, wie ich nachträglich fand, bereits von Cuvier ausgesprochen worden: „Peut-être est-ce un tissu érectile analogue à celui du corps caverneux et qui a quelque influence pour accommoder la forme de l'oeil aux distances et à la densité des milieux."

Auf anderem Wege lässt Brass die Accommodation des Fischauges zu Stande kommen. Er fand in der Chorioidealdrüse eine „beträchtliche Anzahl glatter Muskelfasern, welche radiär zum Sehnerv verlaufen." Dieser Muskel, den er als „Musculus chorioidealis" bezeichnet, zieht sich „in Hufeisenform um den Sehnerv herum und zwar so, dass die offene Seite nach vorne gerichtet ist und der Sehnerv in dem hinteren unteren Theile des von demselben gebildeten Mittelfeldes liegt, der Fleck des deutlichsten Sehens über und vor dieser Stelle liegt." „Von diesem Muskel verlaufen Radiärmuskelfasern in der Chorioidea einerseits zur Durchtrittsstelle des Sehnerven, andererseits zum Ursprung der Iris" . . . In folgenden schönen Sätzen entwickelt Brass den Accommodationsmechanismus: „„Bringt man nun alle diese Betrachtungen in einen logischen Zusammenhang mit allgemeinen physiologischen Thatsachen, so ergibt sich als Schluss leicht, dass der ganze Bau des Knochenfisch-Auges darauf hinweist, eine mögliche Accommodation annehmen zu dürfen. Dieselbe wird bewirkt durch den M. chorioid.; denken wir zunächst, dass sich derselbe, wie seine Bestimmung ist, einmal contrahire, so wird durch diese Contraction, da für ihn im Umkreis der Ansatzstelle der Iris und durch die Festigkeit der vorderen Theile der Sclerotica an dieser Stelle ein Fixationspunkt gegeben ist eine Annäherung der Rückwand der Chorioidea gegen die Linse bewirkt; dasselbe geschieht dadurch auch mit der der Chorioidea aufliegenden Retina und besonders des Flecks des deutlichsten Sehens derselben. Es kann also der Abstand zwischen Linsenmittelpunkt und Retina geändert werden und dadurch wird die Accommodation des Fischauges eingeleitet."" „„Somit wäre die Frage nach dieser Accommodation befriedigend gelöst."" Die Genügsamkeit ist zu bewundern.

der Schatten in der Pupille gleichsinnig der Spiegeldrehung wanderte, war im nächsten Momente die Richtung der Schattenwanderung umgeschlagen u. s. w. Auch aus dem Einflusse, den die Betäubung des Thieres durch einen Schlag auf den Kopf, ferner auch die Atropinisirung in einigen Fällen auf die Refraction hatte, musste auf Veränderungen der Einstellung geschlossen werden.

Um das Problem mit Sicherheit zu entscheiden und in bequemer Weise experimentellem Studium zu unterwerfen, habe ich folgende Versuche angestellt: 1. Eine kleine — eventuell curarisirte — Scorpaena wurde in der zuletzt (p. 558) geschilderten Weise derart fixirt, dass das Auge über dem Objecttischausschnitt einer Präparirlupe zu liegen kam; oben und unten vom Auge waren Nadelelektroden in das subconjunctivale Gewebe gestochen. Die Lupe wurde auf das umgekehrte Luftbild eingestellt. Bei elektrischer Reizung des Auges wurde das früher scharf gesehene Bild des Augenhintergrundes undeutlich, die Lupe musste in verticaler Richtung verschoben werden, um wieder ein scharfes Bild zu geben, die Distanz des Luftbildes vom Auge hatte sich also geändert.

Um den Einfluss der durch die Reizung bewirkten Bewegung des ganzen Auges auszuschliessen und zu entscheiden, in welchem Sinne die Aenderung der Einstellung stattfindet, wurde in der oben angegebenen Weise die Distanz des Luftbildes — mit anderen Worten die Myopie — einmal im Ruhezustande, dann während elektrischer Reizung des Auges — und zwar nachdem dasselbe in der Reizungsstellung zur Ruhe gekommen war — gemessen.

Als Paradigmen gebe ich die beiden folgenden Protokolle:

Scorpaena scrofa 12 cm lang, linkes Auge enucleirt, rechtes Auge untersucht.

Im Ruhezustande:

Ablesung an der Lupe bei Einstellung auf das Luftbild:	4,25 cm
„ „ „ „ „ „ „ den Hornhautscheitel:	2,50 „
Distanz des Luftbildes:	1,75 cm
Myopie:	57 Dioptrien.

Während der Reizung:

Ablesung an der Lupe bei Einstellung auf das Luftbild:	3,86 cm
„ „ „ „ „ „ „ den Hornhautscheitel:	2,50 „
Distanz des Luftbildes:	1,36 cm
Myopie:	73 Dioptrien.

Während der Reizung fand eine Abnahme der Myopie um 16 Dioptrien statt.

Scorpaena porcus 13 cm lang, linkes Auge enucleirt, rechtes Auge untersucht.

Myopie während elektrischer Reizung des Auges: 61 D; der Fisch bekommt 2 ccm einer 1 % Lösung von Atrop. sulf. subcutan inicirt und wird in sein Bassin gesetzt. Nach einer halben Stunde die Myopie in Luft gemessen: 75 D. Abnahme der Myopie während der Reizung um 14 D.

Die Distanz des Luftbildes vom Auge wurde während der Reizung oft grösser befunden; diese hatte unzweifelhaft Abnahme der Myopie zur Folge. Ganz analoge Resultate erhielt ich bei Blennius.

Um von Bewegungen des Auges ganz unabhängig zu sein, stellte ich den analogen Versuch an frisch enucleirten Augen an. Auf eine Reihe von Objektträgern kittete ich Korkringe von verschiedenen Durchmessern auf. Das Auge wurde sofort nach der Enucleation von allen Muskeln befreit und auf einen passenden Ring gelegt; die Nadelelektroden wurden durch den Kork gestochen, so dass die Spitzen zwei einander gegenüberliegende Stellen des Auges berührten.

Das Bild des Fundus wurde bei elektrischer Reizung undeutlich und beim Heraufschrauben der Lupe wieder scharf.

Beispiele: linkes Auge von Scorpaena scrofa.

Myopie während elektrischer Reizung:	132 D
„ nach dem Aussetzen der „	120 D
Refractionsabnahme:	12 D

Rechtes Auge von Blennius ocellaris.

Myopie während elektrischer Reizung:	97 D
„ nach dem Aussetzen der „	82 D
Refractionsabnahme:	15 D.

Sonderbarer Weise trat auch hier mit der Aenderung der Schärfe eine Verschiebung des Bildes ein, wiewohl das Auge selbst — wie ich mich durch genaue Beobachtung überzeugte — auch nicht eine Spur von Bewegung aufwies.

2. Das längere Ueberleben des Auges machte es mir leicht, auch die Aenderunng der Einstellung im Wasser zu untersuchen. Aus drei Brettchen und zwei grossen Objektträgern verfertigte ich ein — oben offenes — Kästchen, das mit Asphalt gedichtet wurde. Das enucleirte Auge wurde in das mit Wasser

gefüllte Kästchen gesetzt und mit den Nadelelektroden an den mit einer Korkplatte bedeckten Boden derart befestigt, dass die Hornhaut nahe der vorderen Glaswand lag. Neben und etwas hinter dem Kästchen war ein Rundbrenner aufgestellt. Mit dem Augenspiegel bestimmte ich die Refraction des enucleirten Auges vor und während elektrischer Reizung. Regelmässig zeigte sich eine Verminderung der Refraction. Als Paradigmen führe ich auszugsweise einige Protokolle an:

Blennius ocellaris 11 cm lang, linkes Auge enucleirt.

Skiaskopisch: Bei einer Spiegeldistanz von 20 cm ist die Schattenwanderung der Spiegeldrehung entgegengesetzt ($M > 5$ D), während der Reizung Schattenwanderung gleichsinnig.

Rechtes Auge: Idem.

Labrus festivus 18 cm lang, rechtes Auge enucleirt.

Aufrechtes Bild: Ein prominenter schwarzer Pigmentstreif auf der Papille wird mit + 9 D scharf gesehen; während der Reizung bedarf es hierzu + 13 D.

Scorpaena ustulata 15 cm lang, rechtes Auge enucleirt.

Die Zapfenmosaik in der Nähe des Sehnerveneintritts scharf mit − 5,5 D; während der Reizung mit + 1,0 D.

Nach den geschilderten Versuchen hielt ich es für erwiesen, dass die Fische eine Accommodation besitzen und dass Einrichtungen zu einer activen Einstellung für die Ferne vorhanden sein müssen. Ich suchte nun jene Einrichtungen zu finden.

V. Lassen sich Aenderungen der Linsenkrümmung nachweisen?

Durch die zuletzt geschilderten Versuche war nicht nur entschieden, dass die Fische eine Accommodation besitzen, sondern auch, dass jene Accommodation unabhängig von der Contraction äusserer Augenmuskeln, unabhängig von Veränderungen der Blutfüllung sei es der Chorioidealdrüse, sei es anderer Theile des Auges zu Stande kommt. Die Hauptaufmerksamkeit musste sich der Linse zuwenden.

Wenn die von Manz aufgestellte, von Leuckart u. v. a. angenommene Hypothese, wonach die Accommodation des Fischauges durch Abplattung der Linse zu Stande kommen sollte, mit den Thatsachen im Einklang stand, so musste sich ein Aus-

einanderrücken der vorderen Linsenbildchen[1]) während elektrischer Reizung des Auges nachweisen lassen. Es gelang mir stets mit Leichtigkeit dieselben zur Anschauung zu bringen, indem ich das zu untersuchende Auge resp. den Fisch unter Wasser — in ein kleines Bassin mit planen Glaswänden — brachte und so die störenden Hornhautreflexbildchen wegschaffte. In der Höhe des Auges und in einiger Entfernung von demselben waren zwei um wenige Centimeter von einander entfernte Gasrundbrenner aufgestellt, deren Licht durch eine Glaswand des Bassins auf das Auge fiel. Die als zwei helle Reflexe erscheinenden vorderen Linsenbildchen[2]) wurden von oben her — eventuell mit Hülfe einer Zeiss'schen Lupe — beobachtet. Die Thiere waren in der gewöhnlichen Weise immobilisirt, zum Theil curarisirt und geathmet; an zwei einander diametral gegenüberliegenden Stellen des Hornhautrandes waren Nadelelektroden in die Conjunctiva gestochen, gereizt wurde durch Schliessung eines Schlüssels im primären Stromkreise: Bei keinem der in dieser Weise untersuchten Fische, nämlich bei

Conger vulgaris	Scorpaena scrofa
Labrus turdus	Scorpaena porcus
Crenilabrus pavo	Trigla hirundo
Serranus cabrilla	Capros aper
Sargus Salviani	Zeus faber
Sargus Rondeleti	Blennius ocellaris

konnte während der elektrischen Reizung des Auges eine Veränderung des gegenseitigen Abstandes der vorderen Linsenbildchen wahrgegenommen werden; ich hielt es in Anbetracht der grossen Uebereinstimmung, welche die Augen der Teleostier in anatomischer Hinsicht aufweisen, für überflüssig, die Zahl dieser negativen Versuche zu vermehren.

---

1) Um Veränderungen der Linsenkrümmung zu studiren, ist es zweckmässiger, auf die Distanz zweier Reflexbilder, anstatt, wie Manz dies that, auf die Grösse eines Bildes zu achten.

2) Als solche konnten die Reflexe mit Leichtigkeit diagnosticirt werden, da ihre Distanz — entsprechend dem kleineren Krümmungsradius der Linse — erheblich geringer war als die der Hornhautbildchen und da sie bei Verschiebung der Flammen gleichsinnig wanderten.

Hingegen habe ich noch bei einer Anzahl von Fischen das Verhalten der Linsenbildchen während elektrischer Reizung mit der feinsten zur Verfügung stehenden Methode, nämlich mit dem Helmholtz'schen Ophthalmometer[1]) untersucht. Zu diesem Zweck wurden die Fische in der unter „Refraction in Luft" geschilderten Weise fixirt, curarisirt und geathmet. Mit dem Gräfe'schen Messer und der krummen Scheere wurde die Hornhaut des zu untersuchenden Auges abgetragen; die Reflexbilder zweier Gasflammen erscheinen scharf und hell auf der vorderen Linsenfläche; sie werden im Ophthalmometer in der von Helmholtz für die Beobachtung der hinteren Linsenbildchen bei der Accommodation des menschlichen Auges angegebenen Weise eingestellt; auch bei den in dieser Weise untersuchten Fischen, nämlich bei

Crenilabrus pavo	Capros aper
Box salpa	Zeus faber
Scorpaena porcus	Blennius ocellaris
Scorpaena ustulata	Trachinus draco
Trigla hirundo	Lophius piscatorius

änderte sich während elektrischer Reizung des Auges nichts an der gegenseitigen Stellung der Bildchen.

Nach diesen Versuchen hielt ich es nicht für nöthig, auch das Verhalten der hinteren Linsenbildchen eingehend zu studiren. In drei Fällen habe ich die Hinterfläche der Linse durch Eröffnung des Auges von rückwärts her blossgelegt und die hinteren Linsenbildchen während elektrischer Reizung des Auges ophthalmometrisch beobachtet — ebenfalls mit vollständig negativem Resultat; es ist auch höchst unwahrscheinlich, dass durch den Zug der Campanula bloss die Hinterfläche der kugeligen Linse abgeplattet werden soll.

Man könnte endlich daran denken, dass die Linse für gewöhnlich durch den Zug der Campanula und des Ligamentum suspensorium in relativ abgeflachter (nach Tscherning[2]) in verdickter) Form erhalten, bei der Accommodation entspannt und im anteroposterioren Durchmesser dicker (resp. platter) würde. Ich habe an einigen Augen den Krümmungsradius der vorderen Lin-

1) Das Instrument gestattet Aenderungen des Krümmungsradius der menschlichen Hornhaut um $^1/_{200}$ seiner Grösse wahrzunehmen.

2) Vergl. die Anmerkung p. 83.

senfläche vor und nach Durchschneidung der Campanula und des Ligamentum suspensorium mit dem Ophthalmometer gemessen und keinen Unterschied gefunden.

Nach diesen negativen Resultaten hielt ich dafür, dass die Accommodation der Fische nicht durch Krümmungsänderungen der Krystalllinse, sondern auf anderem Wege zu Stande kommt.

Die bisher geltende Hypothese, dass der Zug der Campanula die Linse abflache, konnte experimentell nicht erwiesen werden und ist nicht länger aufrecht zu erhalten.

VI. Die Ortsveränderung der Linse.

Die Forschung nach Krümmungsänderungen der Krystalllinse des Fischauges hatte mir negative Resultate ergeben; ich fragte mich jetzt, ob es gelingen könnte, Ortsveränderungen der Linse zu beobachten.

Mehrmals glaubte ich an Fischen, welche ruhig am Grunde ihres Behälters lagen — bei Scorpaena, Blennius und Labrus — Bewegungen der Linse wahrgenommen zu haben; doch mass ich dieser Beobachtung kein grosses Gewicht bei, bevor es mir gelang, Ortsveränderungen der Linse durch elektrische Reizung des Auges mit Sicherheit hervorzurufen; dass die Linse sich hierbei bewegt, lehrte bereits ein ganz primitiver Versuch: An einem frischenucleirten Auge stach ich eine feine Insektennadel durch die Mitte der Hornhaut in die Linse; diese ist im Inneren des Auges sehr beweglich und weicht vermöge der grossen Härte ihrer inneren Schichten dem Drucke der Nadel fast immer so aus, dass es nur selten gelingt, sie in die centralen Theile der Linse zu stossen; die Nadel ragt dann gewöhnlich mehr oder weniger schief aus dem horizontal, mit der Hornhaut nach oben, gelagerten Auge. Während der Reizung des mit Elektrodennadeln auf der Unterlage fixirten Auges sieht man deutlich die Nadel sich bewegen, während jenes vollkommen ruhig bleibt; die Nadel zeigt also eine Bewegung der Linse an. Diese Erscheinung habe ich bei folgenden Teleostiern beobachtet:

Labrax lupus	Trigla gurnardus
Serranus scriba	Corvina nigra
Pagellus erythrinus	Scorpaena porcus
Sargus Salviani	Esox lucius

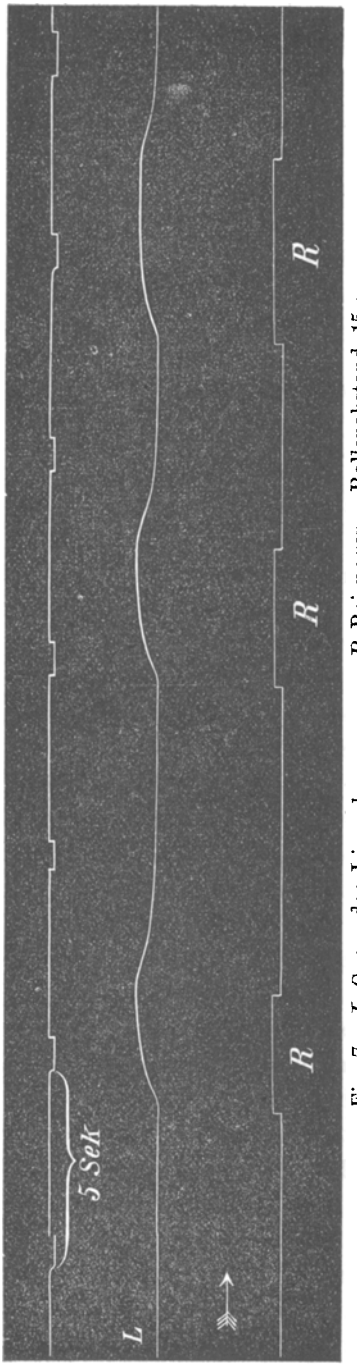


Fig. 7. *L* Curve der Linsenbewegung. *R* Reizungen. Rollenabstand 15 cm.

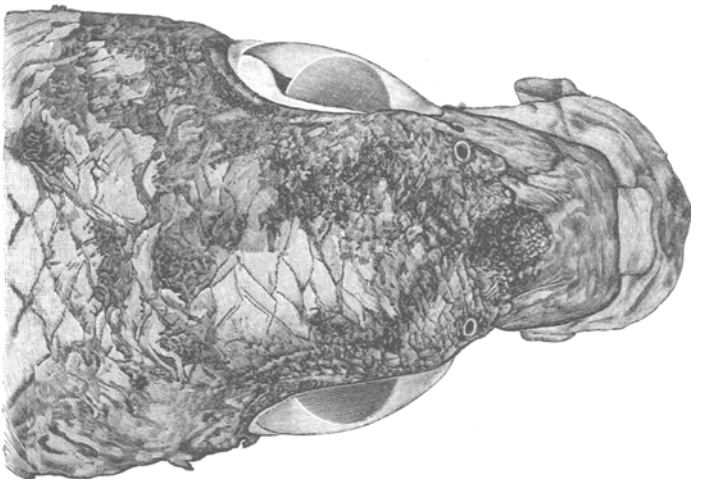
Mehrmals habe ich mit Erfolg versucht, die Bewegung der Linse graphisch zu registriren; zu diesem Zweck wurde der mit mässiger Geschwindigkeit rotirenden Trommel eines Baltzar'schen Kymographion das Auge so genähert, dass das freie Ende der in die Linse gestochenen Nadel die berusste Fläche eben berührte. Als Paradigma diene die nebenstehende Curve, Fig. 7, welche an dem Auge einer Rothbrasse gewonnen wurde.

Auszug aus dem Versuchsprotokoll: Pagellus erythrinus 16,5 cm lang. Linkes Auge enucleirt, von Muskeln befreit, mit 2 Elektrodennadeln an ein Korkbrettchen fixirt; eine feine Insektennadel von 33,5 mm Länge in die Linse gestossen, so dass 3 mm davon im Auge stecken. Das freie Ende der Nadel, an die Trommel angelegt, schreibt die Curve L, während das Auge selbst absolut ruhig bleibt.

Näheres über die Art der Bewegung lehrt besser als diese graphische Methode die direkte Beobachtung der Linse; ich fand es sehr zweckmässig, den Fisch resp. das Auge hierzu unter Wasser zu versenken. In Luft scheint die Hornhaut weniger gewölbt zu sein, die Iris scheint der Hornhaut näher zu liegen und mehr nach vorne gewölbt, als der Wirklichkeit entspricht. Bringt man den Fisch unter Wasser und betrachtet ein

Auge im Profil z. B. von oben oder von vorne her, so tritt die Hornhaut wie eine durchsichtige Blase hervor, die stärker gewölbt ist und mehr vorspringt, als es an dem in Luft besehenen

Fig. 8. Kopf von Pomatomus telescopium.



Thiere den Anschein hat und auch in den meisten Abbildungen zu finden ist[1]). Die Iris tritt — in der grossen Mehrzahl der Fälle

1) Wer sich jemals die Mühe genommen hat, das Auge eines lebenden Fisches in der beschriebenen Weise zu beobachten, wird es kaum begreiflich finden, dass Plateau trotz der Belehrung, die ihm hinsichtlich des Hechtes, der Plötze und des Frosches von Hirschberg bereits ertheilt wurde, noch immer seine Behauptung von der Abflachung der Cornea bei den Wasserthieren aufrecht erhält. Er sagt in seiner Zoologie élementaire: „On peut donner comme principe général que la cornée a une assez forte courbure chez les animaux terrestres tandisque sa courbure devient faible et sa region médiane presque plane chez les animaux aquatiques.“ Ich habe um diese Behauptung, deren Unrichtigkeit sich mir schon bei der einfachen Betrachtung des unter Wasser getauchten Auges ergab, endgiltig und objectiv zu prüfen, bei einer grösseren Zahl von lebenden Fischen den Hornhautkrümmungsradius mit dem Helmholtz'schen Ophthalmometer bestimmt. Die Thiere waren in der oben beschriebenen Weise gefesselt, zum Theil curarisirt und künstlich geathmet; die Angaben der folgenden Tabelle

— als ebene Blende zurück; die Tiefe der Vorderkammer ist der Peripherie der Linse entsprechend meist nicht gering, im Cen-

sind Mittel aus je 4 Einzelbestimmungen, sie beziehen sich auf den centralen Theil der Hornhaut, zumeist auf den horizontalen Meridian.

Species	Länge des Fisches in cm	Horizontaler Durchmesser der Hornhaut in mm	Krümmungsradius der Hornhaut des linken Auges in mm	Krümmungsradius der Hornhaut des rechten Auges in mm
Conger vulgaris	47	12,5	6,82	6,54
Myrus vulgaris	58	8	5,98	6,66
Muraena helena	60	6	2,20	2,31
Gadus minutus	13,3	9	9,76	10,02
Gadus minutus	22	14,5	14,60	14,25
Merlucius vulgaris	32	15,2	16,24	9,54
Merlucius vulgaris	22	11,3	10,45	14,59
Motella tricirrata	24,5	7,1	2,81	2,78
Rhombus maximus	37	10	2,92	3,12
Solea vulgaris	27	7	2,15	2,18
Eucitharus linguatula	18	7,2	3,14	3,25
Arnoglossus Boschii	18,5	9,5	4,05	3,95
Labrus turdus	33	16	6,90	6,95
Labrus festivus	27	10,1	4,88	4,94
Crenilabrus pavo	18,5	9,5	4,43	4,22
Labrax lupus	25	13,5	10,33	10,81
Labrax lupus	22,5	15	10,83	2,89
Serranus cabrilla	15	9	7,67	7,38
Chrysophrys aurata	28	15,5	7,81	5,23
Chrysophrys aurata	35	17	15,97	12,71
Pagellus erythrinus	20	15	8,02	5,49
Pagellus mormyrus	19,5	10	3,59	4,37
Sargus Salviani	14,5	10	8,53	11,83
Scorpaena scrofa	25	15,5	6,15	7,03
Scorpaena porcus	23	12,2	7,11	6,98
Scorpaena ustulata	14	12	6,22	6,55
Trigla hirundo	30	13	7,20	6,28
Peristedion cataphract.	29	15	6,21	6,61
Uranoscopus scaber	19,5	6,5	1,98	1,90
Corvina nigra	36	14,5	8,57	7,77
Zeus faber	23	10,2	2,82	2,89
Capros aper	11,5	11,5	6,61	6,25
Blennius ocellaris	18	8,5	5,21	5,30
Blennius ocellaris	11	5	1,54	2,02
Lophius piscatorius	47	19	7,98	8,11
Lophius piscatorius	23	14,2	6,15	5,24
Scyllium catulus	49	12,5	4,46	4,49
Scyllium canicula	29	8,4	5,44	5,04
Torpedo marmorata	26	7	2,19	2,13
Raja asterias	45	9	4,22	4,04

Die stärkste Krümmung im Centrum der Hornhaut findet sich unter den von mir untersuchten Fischen — abgesehen von kleinen Exemplaren einiger anderer Gattungen wie Uranoscopus, Zeus, Blennius etc. — bei den

trum dagegen ist sie bei vielen Fischen gleich Null; aus der Pupille nämlich ragt halbkugelförmig die stark lichtbrechende Linse

---

Pleuronectiden — vergl. z. B. die untenstehende Skizze Fig. 9, sowie Fig. 18 und 19 Taf. III, die schwächste (10—16 mm Krümmungsradius) bei Labrax lupus, Chrysophrys aurata, Mugil cephalus und einigen Gadiden (Merlucius vulgaris, Gadus minutus); wie wenig gewölbt bei diesen letzteren

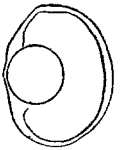
Fig. 9.

Rechtes Auge von Arnoglossus Boscii von oben gesehen; n. d. L.

Fig. 10.

Rechtes Auge von Merlucius vulgaris; n. d. L.

Fig. 11.

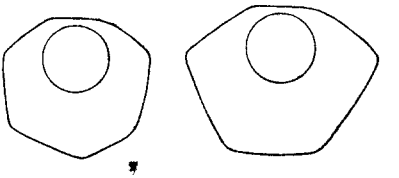


Verticalschnitt durch das linke Auge von Pagellus erythrinus.

die Hornhaut ist, lehrt die nebenstehende Skizze des unter Wasser getauchten Auges vom Meerhecht. Solches Verhalten ist aber geradezu als Ausnahme zu betrachten, schon bei einer anderen Species derselben Familie (Motella) ist die Hornhaut sogar sehr stark gewölbt (r = 2,8 mm) und bei der überwiegenden Mehrzahl der Fische fand ich Krümmungsradien von ca. 4—9 mm; von einer centralen Abflachung der Hornhaut kann demnach im allgemeinen keine Rede sein. Facettenartige Abflachungen fand ich allerdings nicht selten bei einigen Spariden, wie Sargus, Pagellus, Chrysophrys; solche schienen mir aber oft pathologisch zu sein — gleichzeitige Hornhauttrübungen, Narben, punktförmige Linsentrübungen u. s. w. — und sie nehmen durchaus nicht gerade das Centrum ein, wie z. B. aus der Skizze des Verticalschnittes durch ein Auge von Pagellus erythrinus hervorgeht; hier bestand gerade im Centrum der Hornhaut eine sehr starke Wölbung, so dass das lebende Auge in Luft eine Myopie von ca. 150 Dioptrien aufwies.

Plateau's Behauptung von der Abplattung der Fischcornea, welche auf der Messung von Gipsabgüssen beruht, bei denen die so nachgiebige Cornea des Fischauges offenbar künstlich abgeflacht wurde — man vergleiche die hier reproducirten Abbildungen, welche Plateau von dem „flachsten" Auge (des Aales) und von dem „wenigst flachen" Auge (der Quappe) in 3 facher Vergrösserung gibt — ist in eine Menge von Lehrbüchern der Zoologie und vergleichenden Anatomie übergegangen. Claus

a Fig. 12. b



a Aal-, b Quappenauge nach Plateau.

hervor und berührt mit ihrem vorderen Pole in mehr oder weniger inniger Osculation die hintere Fläche der Hornhaut.

Je nach der Stellung zum Auge, die der Beobachter einnimmt, der Beleuchtung, der Helligkeit des Grundes u. s. w., kann die Linse durchsichtig hell oder ganz dunkel oder in der Farbe der jenseits liegenden Iris erscheinen; die Pupille erscheint bei den meisten Fischen schwarz, bei einigen wie Scorpaena scrofa und unter Umständen auch bei Blennius ocellaris roth — ähnlich wie bei Albinos —, andere Farben — z. B. blau (Lophius) und grün (Serranus, Trachinus) — rühren oft von den prächtig schillernden Pigmenten der Hornhaut her; bei einigen Labriden ist die Hornhaut gelb.

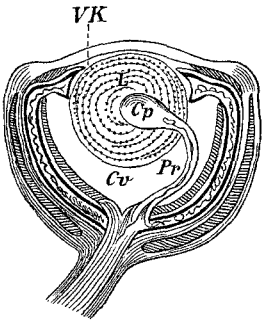
Vergl. die Abbildungen Fig. 8, dann Taf. III Fig. 1, 2, 12a, Taf. III Fig. 13a, 14a.

Tastet man mit einer Nadelspitze ganz fein die Hornhaut des unter Wasser befindlichen Auges ab, so bleibt die Linse so lange ruhig, als man nicht die dem Linsenpol entsprechende Stelle der Hornhaut berührt; thut man dies, dann bewegt sie sich sofort; der

---

spricht von der „auffallend geringen Wölbung der Hornhaut", Leunis sagt: „Die Hornhaut ist abgeflacht", Schmidt: sagt: „Die Cornea ist sehr flach; ihre grössere Convexität würde bei der brechenden Kraft des Wassers dem deutlichen Sehen hinderlich sein" (?); Wiedersheim sagt, dass die Cornea bei den Fischen „so gut wie bei allen übrigen Wasserthieren fensterartig flach und dünn ist." In seinem „Grundriss der vergleichenden Anatomie" gibt er folgende Schilderung des Fischauges: „Da die grosse Cornea sehr flach ist und der Linse fast direkt aufliegt, so besitzt der Bulbus stets eine hemisphärische oder ellipsoide Gestalt und die vordere Augenkammer wird in ihrer Ausdehnung sehr beschränkt. Die Linse . . . füllt das Innere des Bulbus zum grössten Theil aus, so dass für den Glaskörper nicht viel Raum übrig bleibt." Der Processus falciformis soll sich an der Linse „mittels einer knopfartigen Auftreibung" inseriren u. s. w. Man vergleiche mit dieser Schilderung und der Zeichnung, welche W. als „Typus des Fischauges" gibt, meine nach dem lebenden Thiere oder dem frischenucleirten Auge angefertigten Abbildungen.

Fig. 13.



VK Vordere Kammer, *L* Linse, *Cp* Campanula, *Pr* Processus falciformis, *Cv* Corpus vitreum.

Widerstand der Hornhaut ist sehr gering und der geringste Druck pflanzt sich auf die ihr unmittelbar anliegende Linse fort, deren Lage zur Netzhaut dadurch verändert werden kann. Schon hieraus ergibt sich, wie vorsichtig bei Bestimmungen der Refraction zu Werke gegangen werden muss, warum ich speciell das Auflegen von Deckgläschen auf die Hornhaut zu vermeiden trachtete.

Die geschilderte Stellung der Linse zur Hornhaut[1]) entspricht dem Ruhezustande des Auges; ich habe sie an den verschiedensten Fischen der grossen Aquarien der Station, in denen sich die Thiere vermöge der eigenthümlichen Beleuchtungsverhältnisse nicht beobachtet wissen, oft constatiren können, sie besteht bei dem frisch getöteten Thiere oder am frischenucleirten Auge; legt man einen horizontalen oder verticalen Schnitt durch ein solches, so kann man sich ebenfalls davon überzeugen, dass die Linse der Hornhaut anliegt, wie dies die Abbildungen Fig. 28 und 30 illustriren.

Eine weitere Eigenthümlichkeit vieler Fischaugen besteht in dem Lageverhältniss der Iris zur Linse. In den Augen der höheren Wirbelthiere deckt die Iris nicht nur den circumlentalen Raum, so dass kein Strahl ins Auge gelangen kann, der nicht die Linse passirt hätte, sondern auch mehr oder weniger, auf der Linse schleifend, die peripheren Theile derselben in grösserer oder geringerer Ausdehnung und hält so als richtige photographische Blende die Randstrahlen ab.

Bei der grossen Mehrzahl der Teleostier dagegen — auf einige Ausnahmen komme ich später zu sprechen — bleibt schon bei der gewöhnlichen Pupillenweite nicht nur die Peripherie der Linse ungedeckt, sondern theilweise auch der Linsenrand,

---

1) In vielen Beschreibungen des Fischauges wird von der grossen Seichtheit der Vorder-Kammer gesprochen (vergl. Wiedersheim l. c.) und das Auge dementsprechend abgebildet; für die überwiegend grosse Mehrzahl der Teleostier, die ich untersucht habe, kann diese Beschreibung nicht gelten. Ein wesentlicher Unterschied ihres vorderen Augenabschnittes gegen das Verhalten bei den Landwirbelthieren liegt darin, dass die Linse mit ihrem vorderen Pol die Hornhaut berührt; an dieser Stelle gibt es im Ruhezustande keine Vorderkammer oder mit anderen Worten ihre Tiefe ist = 0; im übrigen aber ist diese durchaus nicht gering.

ja sogar in grösserer oder geringerer Ausdehnung der circumlentale Raum. Bei der Betrachtung en face — am besten bringt man auch hier das Auge unter Wasser — sieht man in der dunklen, fast immer mehr oder weniger querovalen Pupille — annähernd kreisrunde Pupillen, mit denen sie gewöhnlich dargestellt werden, fand ich bei den Fischen sehr selten, z. B. bei Motella, Corvina, ein wenig längsovale etwas häufiger z. B. bei Merlucius, Umbrina, Mugil — den Linsenrand in grösserer oder geringerer Ausdehnung als helle, scharfe, oft gelblich oder grünlich metallisch glänzende, kreisrunde Linie; selten ist nur der nasale Linsenrand sichtbar, sehr häufig auch der temporale, wie in Taf. III Fig. 3, 4, 9a; bei manchen Fischen überblickt man unter Umständen — Erweiterung der Pupille bei herabgesetzter Beleuchtung — den ganzen Linsenrand, wie dies in Taf. III Fig. 5 und Fig. 15 dargestellt ist.

Im durchfallenden Lichte[1]) erscheint natürlich die ganze Linse, soweit sie sichtbar ist, hell; sie hebt sich mehr weniger grell gegen die nicht erleuchtete aphakische Pupillenzone ab, wie dies die Figuren 4, 6, 9c (Taf. III) illustriren.

Nasalwärts, im horizontalen Durchmesser erreicht der Abstand von Pupillar- und Linsenrand regelmässig das Maximum; die Iris ist hier kolobomartig ausgeschnitten und lässt einen sichel- bis halbmondförmigen Raum frei, dessen Ausdehnung natürlich je nach der Weite der Pupille, ausserdem aber auch bei verschiedenen Fischen ziemlich stark variirt; bei einigen ist er nur angedeutet, bei anderen ist er relativ gross; besonders ausgebildet finde ich ihn bei den Barschen (Serranus) — vergl. Taf. III Fig. 9a —: hier kann die Distanz zwischen Pupillar- und Linsenrand ein Drittel ja bis fast die Hälfte des Linsendurchmessers erreichen.

Bei solchen Augen passiren also nicht nur Randstrahlen

---

1) Auf die Sichtbarkeit des Linsenrandes beim Hechte hat Hirschberg bereits aufmerksam gemacht. Er sagt: „Wer mit Hülfe des Augenspiegels das Hechtauge durchleuchtet, sieht den grossen mittleren Bereich der querovalen Pupille hell röthlich leuchten, dann folgt eine zartgrauliche Randzone der Krystallinse und nasen- wie schläfenwärts der eigentliche Rand der Krystalllinse, welcher eine metallisch schimmernde Linie darstellt; der Zonularraum, der nasenwärts im Pupillarbereich frei liegt, erscheint ganz dunkel.“

die Linse[1]), sondern es gelangt sogar ganz ungebrochenes diffuses Licht zur Netzhaut; das Auge ist in dieser Hinsicht einem nicht lichtdichten photographischen Apparate zu vergleichen.

Das geschilderte Verhalten findet sich, worauf ich noch ausdrücklich aufmerksam machen will, nicht etwa bloss bei Mydriasis — solche in nennenswerthem Grade mit Atropin hervorzubringen, ist mir, nebenbei bemerkt, bei vielen Fischen nicht gelungen — sondern bei der tagsüber gewöhnlich zu beobachtenden Pupillenweite[2]). Wir haben einigen Grund anzunehmen, dass die Pupille der in Freiheit lebenden Fische wegen der relativen Dunkelheit grösserer Tiefen noch etwas weiter sein wird, als bei den Thieren in den gewöhnlichen Versuchsbassins, die in einer für sie vielleicht blendenden Helle leben. Bei vielen Haifischen und Rochen tritt sogar in den dunkleren grossen Aquarien der Station tagsüber eine so starke Miosis ein, dass die Pupille — die Nachts, resp. im Dunkeln sehr weit ist und dann auch hier den Linsenrand sehen lässt — fast gar nicht sichtbar, sondern in der in Fig. 7 und Fig. 8 (Taf. III) wiedergegebenen Weise verschlossen wird; die Thiere benehmen sich auch wie blind, stossen überall — nicht nur wie andere

---

1) Matthiessen hat auf analytischem Wege gezeigt, dass bei der Annahme einer parabolischen Indicialcurve von der Gleichung

$$n = N_1\left(1 + \zeta\frac{b^2-y^2}{b^2}\right)$$

worin N_1 den Index der äussersten Corticalschicht, b ihren Abstand vom Kerncentrum, y den Abstand einer Schicht auf der untersuchten Axe vom Centrum und ζ eine Constante (das Increment) bedeutet, die Linse der Fische „trotz ihrer Kugelgestalt und weiten Pupillenöffnung vollkommen aplanatisch ist.“

2) Verengerung der Pupille bei Belichtung des Auges ist wie die Untersuchungen von Steinach ergeben haben bei vielen Fischen, denen die Lichtreaktion anscheinend fehlt, hervorzubringen, wenn die Thiere vorher im Dunklen gehalten wurden, doch ist auch unter dieser Bedingung die Verengerung eine sehr geringe; dass die Pupille der im gewöhnlichen Lichte gehaltenen Thiere aber doch auch nicht maximal eng ist, geht daraus hervor, dass ich bei elektrischer Reizung des Auges stets weitere Verengerung der Pupille beobachten konnte; bei vielen Pleuronectiden, bei Lophius und Uranoscopus kann sie sogar beträchtlich sein, ja bei einigen dieser Fische fast bis zum Verschluss gesteigert werden.

Fische am durchsichtigen Glase — an und finden ihr Futter — wenigstens bei Tage — augenscheinlich nur durch den Geruch.

Die den Linsendurchmesser überschreitende Weite der Pupille bei den Teleostiern ist nicht auf Angst, Schmerzen oder Erstickung der Thiere zu beziehen, denn sie findet sich nicht nur an den aus dem Wasser genommenen oder gefesselten, sondern auch an den unter möglichst natürlichen Verhältnissen lebenden Fischen der grossen dunklen Aquarien, ferner auch am toten Thiere und am enucleirten Auge[1]; man wird vielleicht nicht fehlgehen, wenn man sie mit dem in der Wassertiefe herrschenden relativen Lichtmangel in Zusammenhang bringt[2].

Die hervorgehobenen Besonderheiten des Fischauges machen es nun verhältnissmässig leicht, Ortsveränderungen der Linse zu beobachten; ich bediente mich solche herbeizuführen der elektrischen Reizung des Auges und fand, dass sich die Linse hierbei von der Hornhaut weg gegen die Netzhaut und zugleich ein wenig seitwärts und zwar temporalwärts (caudalwärts) bewegte; vergl. Fig. 14.

Ich habe die Versuche anfangs an gefesselten, sonst intacten, dann an curarisirten, geathmeten Thieren vorgenommen, überzeugte mich aber sehr bald, dass die Reizbarkeit der hier in Frage kom-

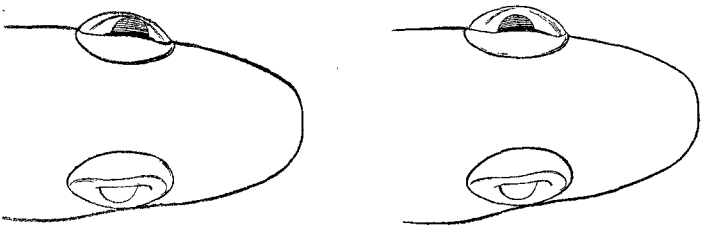
---

1) Hier kann eventuell die Pupille in Folge der geringeren Blutfülle der Iris noch etwas weiter sein als im Leben; unter Umständen aber auch enger, da sich bei vielen Fischen auch die Pupille des enucleirten Auges bei stärkerer Belichtung verengt.

2) Bei vielen Fischen, welche in geringer Tiefe leben und deren nach oben gerichtete Augen intensiverem Lichte — die Beleuchtung im Meere geschieht wesentlich durch Oberlicht — ausgesetzt sind, wie Uranoscopus, viele Pleuronectiden und Rochen, nähert sich die Gestaltung des vorderen Augenabschnittes in mancher Hinsicht dem der Landwirbelthiere, der freie Linsenrand ist hier für gewöhnlich nicht oder nur zum geringsten Theile sichtbar, die Iris deckt in grösserer oder geringerer Ausdehnung die Peripherie der Linse, diese berührt bei Uranoscopus z. B. nicht die Hornhaut, es besteht eine seichte Vorderkammer u. s. w., die Pupille ist hier auch starker Verengerung fähig. Bei den übrigen Fischen hat es sich vermuthlich vortheilhaft erwiesen, dass die Helligkeit des Netzhautbildes durch ein enges Diaphragma nicht beeinträchtigt werde; sein Mangel im Auge der Landwirbelthiere würde Blendung bewirken und die sphärische Aberration beträchtlich vermehren.

menden Muskulatur den Tod des Thieres um Minuten bis Stunden überdauert; — wie es scheint — länger in der kälteren Jahreszeit.

a Fig. 14. b



Kopf von Serranus cabrilla von oben gesehen; das Thier war schwach curarisirt, unter Wasser fixirt. a Linkes Auge im Ruhezustande, b während elektrischer Reizung.

Daher wurden — um das Experiment zu vereinfachen und den Thieren unnöthigen Schmerz zu ersparen — die im folgenden en détail zu schildernden Versuche grösstentheils an Augen angestellt, welche dem lebenden oder frisch getöteten Fisch enucleirt waren.

Im ersteren Falle wird der Fisch in ein Handtuch gewickelt und von einem Gehülfen festgehalten; das Auge wird an der Conjunctiva mit der Pincette gefasst und vorsichtig mit der krummen Scheere enucleirt; die Blutung ist meistens gering und wenn es darauf ankommt, kann man die Fische längere Zeit nach der Verletzung am Leben erhalten[1]). Das Auge wird von allen anhaftenden Muskeln, da deren Contraction zu Bewegungen des ganzen Auges Veranlassung geben könnte, sorgfältig befreit; häufig trug ich auch die äusserste, sehr lockere und leicht verschiebliche Hornhautschichte ab, welche oft Neigung hat, sich zu trüben oder zu falten, oder Luftblasen aufzunehmen und so die Beobachtung erschweren kann. Mit 2 Nadelelektroden[2]), die durch anhaftende

1) Fische, die nach verschiedenen Eingriffen — wie lange Untersuchung in Luft, Vergiftungen, Operationen — sehr nahe dem Sterben waren oder auch solche, die anscheinend moribund gebracht wurden, habe ich oft durch mehrere Stunden lange künstliche Athmung wieder vollständig zur Erholung gebracht.

2) Da unter Wasser gereizt wird und da die dicke Sklera grösserer Augen einen beträchtlichen Widerstand setzt, bedurfte es manchmal grosser

Reste der Conjunctiva gestochen werden, wird das Auge nun an ein mit Blei beschwertes Korkbrettchen fixirt. Das Ganze wird in eine seichte mit frischem Wasser[1]) gefüllte Schale versenkt; je nach der Stellung, die man dem Brettchen gibt, kann das Auge im Profil oder en face beobachtet werden.

Im letzteren Falle nimmt man während der elektrischen Reizung — Schliessung des Schlüssels im primären Stromkreise — eine deutliche, mehr oder weniger grosse, seitliche Verschiebung der Linse, und zwar stets nach der Schläfenseite zu, wahr. Als Paradigmen dieses Verhaltens gebe ich die Figuren 9, a, b, c und 10, a, b (Taf. III).

Fig. 10 stellt das frisch enucleirte linke Auge eines 22 cm langen Petermännchens (Trachinus draco) dar; sowohl der nasale als der temporale Linsenrand sind deutlich zu sehen. Während der Reizung (Rollenabstand 20,0) rückt die Linse temporalwärts, der temporale Linsenrand verschwindet hinter der Iris, die Verschiebung beträgt etwa 1 mm. Wird die Reizung unterbrochen, so kehrt die Linse in ihre ursprüngliche Stellung zurück. Der Versuch gelingt noch eine halbe Stunde nach der Enucleation.

Fig. 9a stellt das frisch enucleirte linke Auge eines Seebarsches (Serranus cabrilla) dar; während der Reizung (*b*) rückt die Linse um 1 mm temporalwärts; das Phänomen ist auch sehr deutlich bei Beobachtung im durchfallenden Lichte (*c*).

Man würde fehlgehen, wollte man aus der geschilderten Erscheinung auf eine bloss seitliche Verschiebung der Linse schliessen: es ist nur eine Componente der Gesammtbewegung,

---

Stromstärken; ich verwendete für gewöhnlich 2 Tauchbatterien im primären Kreise, einen mittelgrossen du Bois-Reymond'schen Schlittenapparat mit Eisenkern. Es erwies sich zweckmässig, die von der secundären Spirale kommenden Drähte bis über die Köpfe der Nadeln mit dünnen Kautschukschläuchen, deren Enden und die Nadeln selbst mit Asphalt zu überziehen, so dass nur die Nadelspitzen frei blieben; so wurden die Stromschleifen eingeschränkt, das Eindringen des Seewassers an die Drähte wurde vermieden und eine hohe Stromdichte erzielt. Unter „elektrischer Reizung" ist stets die mit den secundären Strömen des Schlitteninductoriums zu verstehen.

1) Bei der Verwendung von See- und Süsswasser fand ich keinen besonderen Unterschied in der Dauer der Reizbarkeit des enucleirten Auges; im Süsswasser bedarf es ceteris paribus geringerer Stromstärken, da das Auge — gleichsam einer stärkeren Salzlösung entsprechend — erheblich besser leitet als die Umgebung.

die bei der Betrachtung en face zur Beobachtung kommt; man kann allerdings, wenn man genau zusieht, bei vielen Fischen — ich finde dies in meinen Protocollen speciell bei Labrus, Serranus, Apogon, Pagellus, Trachinus und Capros notirt — auch hier schon erkennen, dass die Linse zugleich mit der temporalwärts gerichteten Verschiebung sich von der Hornhaut entfernt; hat man eine Lupe auf den leuchtenden Linsenrand so eingestellt, dass er eben scharf erscheint, so entschwindet er — bei einer gewissen Grösse der Veränderung — während der Reizung und kommt erst, wenn man die Lupe tiefer schraubt, wieder zum Vorschein. Zweckmässiger ist es, das Auge im Profil z. B. von oben her zu beobachten; man sieht dann deutlich, dass sich die Linse während der Reizung seitlich verschiebt

Fig. 15.

Linkes Auge von Blennius sanguinolentus, von oben her gesehen. a im Ruhezustande, b während der Reizung. ca. $^3/_1$ d. n. G.

und sich zugleich von der Hornhaut entfernt — also der Netzhaut nähert, wie dies F. 15a und b illustriren; sie stellen das linke Auge eines 13 cm langen Schleimfisches, von oben gesehen im Ruhezustande (a) und während elektrischer Reizung (b) dar; die Contouren wurden mit Hülfe des Zeiss-Abbe'schen Zeichenapparates genau nach der Natur gezeichnet.

Fig. 11a und b Taf. III zeigt die Ortsveränderung der Linse beim Seepferdchen, Fig. 12a und b beim Ziegenfisch (Capros aper), Fig. 13a und b beim Seeteufel (Lophius piscatorius). Nach dem Aussetzen der Reizung kehrt die Linse in ihre Ausgangsstellung zurück.

In der folgenden Tabelle sind sämmtliche Species aufgezählt, bei denen ich die geschilderte Bewegung der Krystalllinse bei elektrischer Reizung des Auges constatiren konnte.

Ordnung	Familie	Species
I. Lophobranchii (Büschelkiemer)	Syngnathoidei (Nadelfische)	Syngnathus acus (Seenadel) Hippocampus brevirostris Hippocampus guttulatus (Seepferdchen)
II. Plectognathi (Haftkiemer)	Molina (Mondfische) Balistina (Hornfische)	Orthagoriscus mola (Meermond) Balistes capriscus (Drückerfisch)
III. Physostomi (Edelfische)	Clupeidae (Heringe) Scomberesocidae (Hornhechte) Esocidae (Hechte)	Clupea alosa (Maifisch) Belone acus (Auglia) Esox lucius (Hecht)
IV. Anacanthini (Weichflosser)	Pleuronectidae (Flachfische)	Rhombus maximus (Steinbutt) Rhombus laevis (Glattbutt) Arnoglossus Boscii (Suace) Eucitharus linguatula (Suacia de fango) Rhomboidichthys podas (Palaja de scoglio) Solea vulgaris (Seezunge) Solea Kleinii (Palaja monaca)
V. Acanthopterygii-Pharyngognathi (Schlundkiefer)	Pomacentridae Labridae (Lippfische)	Heliases chromis (Mönchsfisch) Labrus turdus (Marvizzo) Labrus festivus Crenilabrus pavo (Goldmaid) Coricus rostratus (Muso longo) Julis pavo (Meerjunker) Coris iulis (Cazzillo)
VI. Acanthopterygii sensu strictiore (Stachelflosser)	Percidae (Barsche)	Polyprion cernuum (Wrackfisch) Labrax lupus (Wolfsbarsch) Serranus gigas (Riesenbarsch) Serranus scriba (Schriftbarsch) Serranus cabrilla (Perchia foretana) Anthias sacer (Guarracino rosso) Apogon rex mullorum
	Maenidae	Maena zebra (Mennella) Smaris vulgaris (Rotunno)
	Mullidae (Rothbarben)	Mullus barbatus (Meerbarbe) Mullus surmuletus (Streifenbarbe)
	Sparidae (Brassen)	Cantharus vulgaris (Brandbrasse) Dentex vulgaris (Zahnbrasse) Chrysophrys aurata (Goldbrasse) Pagellus acarne Pagellus erythrinus (Rothbrasse) Pagellus mormyrus (Màrmoro) Sargus Salviani (Sàragu)

Ordnung	Familie	Species
VI. Acanthopterygii sensu strictiore Stachelflosser)	Triglidae (Seehähne)	Sargus Rondeleti (Sario) Sargus annularis (Geisbrasse) Box boops (Goldstrich) Scorpaena scrofa (Seekröte) Scorpaena porcus (Scorfanonero) Scorpaena ustulata (Scorfanello) Trigla lineata (Ballerina) Trigla corax (Knurrhahn) Trigla gurnardus (Seehahn) Peristedion cataphractum (Panzerfisch) Dactylopterus volitans (Flughahn)
	Trachinidae (Drachenfische)	Uranoscopus scaber (Sterngucker) Trachinus draco (Petermännchen)
	Scombridae (Makrelen)	Zeus faber (Petrusfisch)
	Carangidae	Lichia glauca Caranx trachurus (Sauro) Seriola Dumerilii (Ricciòla de funnale) Capros aper (Ziegenfisch)
	Gobiidae (Grundeln)	Gobius capito Gobius paganellus (Meergrundel) Gobius auratus
	Blenniidae (Schleimfische)	Blennius ocellaris (Seeschmetterling) Blennius tentacularis Blennius sanguinolentus (Vavosa)
	Cepolidae	Cepola rubescens (Bandfisch)
	Centriscidae	Centriscus scolopax (Schnepfenfisch)
	Pediculati (Armflosser)	Lophius piscatorius (Seeteufel) Lophius budegassa (Pescatrice)

Ich konnte, wie aus der Tabelle zu ersehen ist, bei einer grossen Anzahl (68 Species aus 22 Familien) von Repräsentanten aus sämmtlichen Ordnungen der Knochenfische durch elektrische Reizung des Auges eine Annäherung der Linse an die Netzhaut hervorrufen; da ich jene Repräsentanten in keiner Weise ausgewählt, sondern fast sämmtliche Arten von Fischen, welche lebend an die Station zu gelangen pflegen, auf ihr Accommo-

dationsvermögen untersucht habe, so kann nunmehr der überwiegenden Mehrzahl der Teleostier das hier im ganzen Thierreiche zum erstenmale nachgewiesene Vermögen einer **negativen Accommodation** d. h. einer **activen Einstellung des Auges für die Ferne** zugesprochen werden[1]).

---

1) Eine Ausnahme bildeten unter den von mir untersuchten Fischen Fierasfer acus (Fam. der Ophidiidae) und drei Vertreter aus der Familie der Gadoidei (Schellfische): Motella tricirrata (Seewiesel), Gadus minutus (Zwergdorsch) und Merlucius vulgaris (Meerhecht). Beide Familien gehören zur Ordnung der Weichflosser.

Der erstgenannte Fisch hat die eigenthümliche Gewohnheit, sich in den Leib einer Seewalze (Holothuria tubulosa) zu verkriechen, aus deren After er mitunter den Kopf hervorsteckt. Er wurde früher als Beispiel eines parasitischen Wirbelthieres betrachtet, ist aber passender als „inquilino" zu bezeichnen. Emery sagt von ihm: „L'oloturia è la casa del fierasfer il quale vi trova non altro che un riparo sicuro contro la voracità di altri pesci." Ich habe nur ein Exemplar untersucht und konnte keine Linsenbewegung bei elektrischer Reizung wahrnehmen. Das Auge weicht auch noch in anderer Hinsicht vom Typus ab, ich kann hier nicht näher darauf eingehen.

Motella ist ein Aquariumfisch, Merlucius dagegen lebt in grossen Tiefen — bis 500 Meter unter dem Meeresspiegel; er gelangt fast stets moribund mit stark geblähter Schwimmblase, die ihn zum Rückenschwimmen zwingt, an die Station und lebt im Aquarium meist nur wenige Stunden. Aehnliches gilt von Gadus minutus, doch pflegt er sich etwas länger zu halten. Bei keiner dieser drei Species konnte ich — weder an den enucleirten noch an den in situ befindlichen Augen lebender möglichst frischer Exemplare — bei elektrischer Reizung auch nur eine Spur der bei den anderen Fischen so leicht sichtbaren Linsenbewegung wahrnehmen. Diesen Fischen fehlt augenscheinlich das Vermögen der Linsenretraction; es muss weiterer Untersuchung vorbehalten bleiben, ob sie überhaupt ein Accommodationsvermögen besitzen. Das Auge der beiden letztgenannten Fische weicht im ganzen Habitus ein wenig von dem der meisten Teleostier ab, indem die Hornhaut hier sehr wenig gewölbt ist, die Linse nur mit einem relativ kleinen Segment in die Vorderkammer ragt (vergl. Fig. 10) die Pupille fast kreisrund oder eher etwas länglich oval, der Linsenrand von der Iris gedeckt oder gerade nur an einer ganz kleinen Stelle nasalwärts sichtbar ist. Sehr häufig sind Hornhaut- und Linsentrübungen, bei Merlucius fand ich einige Male die ganze Linse kreideweiss (dabei keine Hornhautnarben).

Der Nachweis eines solchen Accommodationsvermögens steht in vollem Einklang mit der von mir gefundenen Myopie des Fischauges und ist umgekehrt geeignet, die Richtigkeit meiner Befunde auch für die Fälle, in denen die Refraction nicht direkt bestimmt werden konnte, sondern berechnet werden musste, wahrscheinlich zu machen.

Es soll nun das Phänomen der Linsenretraction, wie ich es kurz bezeichnen will, näher beschrieben und hierauf der Accommodationsmechanismus eingehend erörtert werden.

Bei der Betrachtung des Auges en face kommt für gewöhnlich, wie bereits bemerkt, nur eine seitliche Verschiebung der Linse (temporalwärts) zur Beobachtung. Diese Wanderung der Linse ist auf den ersten Anblick überaus merkwürdig und verschieden von allem, was bei der Accommodation der höheren Wirbelthiere zu sehen ist; sie ist bei den meisten Fischen sehr erheblich — besonders deutlich bei den Labriden, bei Serranus, Pagellus, Trachinus, den Gobiiden und Blenniiden —; bei einzelnen Species z. B. den Pediculaten und einigen Pleuronectiden ist sie gering; ebenso an absterbenden, an zu oft und stark gereizten Augen überhaupt.

Es ist mir — speciell unter den letzterwähnten Umständen — vorgekommen, dass andere, denen ich das Experiment vorführte, im ersten Momente die seitliche Verschiebung der Linse für eine optische Täuschung — nach Art der scheinbaren Bewegung der Eisenbahnzüge — hielten, verursacht durch die sich contrahirende Iris. Wirklich kann auch, wie ich mich einigemale überzeugte, die Verschiebung des Pupillarrandes bei ruhiger Linse eine Bewegung der letzteren vortäuschen und umgekehrt. Dass aber bei elektrischer Reizung des Auges thatsächlich die Linse sich verschiebt, geht auch für Fälle, in denen dies nicht ohne weiteres klar ist, aus folgendem hervor: 1. Die oben geschilderte Bewegung der Nadel beweist eine Ortsveränderung der Linse. 2. Es gelingt, Stromstärken zu finden, welche Verschiebung der Linse bewirken, aber zu schwach sind,

---

Auffällig wäre das Fehlen jedes Accommodationsvermögens bei Motella, welche eine stark gewölbte, vollständig klare Hornhaut und ebensolche Medien besitzt, ihrer Lebensweise und Agilität nach recht gut zu sehen scheint.

um Contraction der Iris hervorzurufen; als Beispiel führe ich die in den Figuren 9 und 10 (Taf. III) im Ruhezustande und während der Reizung dargestellten Augen von Serranus und Trachinus an. 3. Die Verschiebung des Linsenrandes kann auch durch einen Ausschnitt, der kleiner als die Pupille ist, beobachtet werden. 4. Der nasale Pupillenrand bewegt sich gleichsinnig mit dem nasalen Linsenrand temporalwärts; fasst man diesen ins Auge, so ist jede Täuschung über eine temporalwärts gerichtete Bewegung der Linse ausgeschlossen. Endlich wird die letztere mit Sicherheit erkannt, wenn man das Auge im Profil (von oben her) betrachtet, vergl. Fig. 12 a und b (Taf. III); hier tritt neben der Retraction der Linse ihre seitliche Verschiebung deutlich zu Tage: die Distanz zwischen Hornhautrand und Linse wird während der Reizung auf der nasalen Seite grösser, auf der temporalen kleiner.

Die Wanderung der Linse — und somit auch des Netzhautbildes — auf deren Bedeutung für das Sehen der Fische ich später noch zurückkomme, bildet, wie bereits bemerkt, nur eine — bei der Beobachtung en face allerdings vorwiegend in die Augen fallende — Componente der gesammten Linsenbewegung; von wesentlicher Bedeutung hinsichtlich der Accommodation ist aber, dass zugleich eine Annäherung der Linse an die Netzhaut stattfindet. Will man die Retraction der Linse allein ungestört von der seitlichen Verschiebung zur Anschauung bringen, so muss man das Auge nicht von oben oder unten, sondern (im Thier orientirt) von vorne oder von rückwärts her im Profil betrachten. Bei elektrischer Reizung wird die Linse ganz auffallend in das Innere des Auges zurückgezogen, wie dies die Figg. 16 und 17 illustriren.

a Fig. 16. b

Linkes Auge von Blennius ocellaris, von rückwärts her beobachtet; a im Ruhezustande, b während elektrischer Reizung. ca. $^3/_1$ d. n. G.

a Fig. 17 b

Linkes Auge von Scorpaena ustulata, von rückwärts her beobachtet; a im Ruhezustande, b während elektrischer Reizung.

Ist die Reizung zu schwach, um zugleich Pupillenverengerung

zu erzeugen, so kann oben oder unten ein dunkler Zwischenraum zwischen Iris- und Linsenrand entstehen, wie das in Fig. 16b dargestellt ist.

Was nun die Linsenretraction betrifft, so kommen bei den verschiedenen Species kleine Variationen innerhalb des als typisch angegebenen Verhaltens vor. Bald scheint mit der Retraction zugleich eine Drehung der Linse um eine anteroposteriore Axe (z. B. bei Pagellus), bald eine solche um eine verticale Axe (z. B. bei Seriola) stattzufinden, bald bewegt sich die Linse anscheinend in einer Geraden temporalretinalwärts, bald scheint sie in einem Bogen zu gleiten; mitunter scheint sie sich erst bloss seitlich der Cornea entlang zu verschieben, worauf sich dann die Retraction anschliesst u. s. w. Erwähnenswerth ist die grosse Verschiedenheit der Zeiten, um welche die Reizbarkeit der hier in Betracht kommenden Gebilde bei den verschiedenen Species den Tod des Thieres überdauert. Bei manchen Fischen, z. B. Scorpaena, Labrus, Uranoscopus, Gobius kann das Phänomen der Linsenretraction, besonders in der kälteren Jahreszeit, noch stundenlang nach der Tötung des Thieres resp. nach der Enucleation des Auges beobachtet werden. Bei anderen Fischen, wie Clupea, Heliases, Apogon, Lichia, Centriscus, Mullus erlischt die Reizbarkeit des enucleirten Auges rasch, mitunter nach wenigen Minuten, ja ich glaube einige negative Resultate — abgesehen von zu schwacher Reizung — dem Umstande zuschreiben zu müssen, dass ich anfangs auf die Enucleation und Zurichtung des Auges zu viel Zeit verwandte. Es empfiehlt sich eventuell bei solchen Thieren den Kopf abzuschneiden, ihn ganz oder in der Mittellinie halbirt, unter Wasser zu fixiren und das Auge rasch in situ zu reizen. Man erhält dann unter Umständen den regelmässigen Effekt der Linsenretraction auch, wo man ihn sonst vermisste. Bewegungen des ganzen Auges als Folge der Reizung sind hierbei allerdings kaum zu vermeiden, doch kann bei einiger Uebung von solchen — zumal sie mit anderer Latenz und Geschwindigkeit verlaufen — leicht abstrahirt und das Lageverhältniss der Linse zu den übrigen Theilen des Auges in Betracht gezogen werden. Auch der Zutritt von Wasser zu dem enucleirten Auge, besonders nach Abtragung der vorderen Hornhautlamelle scheint das Absterben zu begünstigen. Ich habe mich regelmässig überzeugt, z. B. bei Capros, Pagellus, Cepola, Zeus, dass, wenn an einem Auge bloss eine

geringe temporale Verschiebung der Linse stattfand, ohne dass sich gleichzeitig die Distanz des vorderen Linsenpols zur hinteren Hornhautfläche in nennenswerthem Grade änderte, — wie dies z. B. Fig. 14 (a und b) Taf. III am Auge von Cepola rubescens darstellt[1]) — einer der angeführten Umstände die Schuld trug und konnte stets unter den nöthigen Kautelen — eventuell am curarisirten oder intacten Thier — an anderen Individuen derselben Species die Linsenretraction nachweisen.

Was die Latenz der Erscheinung betrifft, die Schnelligkeit, mit der die Veränderung ihr Maximum erreicht und mit der die Linse nach dem Aussetzen der Reizung in ihre Ruhelage zurückkehrt, so bestehen auch hier grosse Verschiedenheiten: Relativ geringe Latenz und rasche Retraction findet sich bei den Labriden, Perciden und Spariden, bei Trachinus und Capros; bei Hippocampus[2]) und Blennius bewegt sich die Linse, wenn

---

1) Sehr auffallend war hier das im Gefolge der Reizung auftretende Erblassen der rothen Iris. Solches habe ich auch bei einigen anderen Fischen beobachtet; sehr schön z. B. bei Serranus, dessen dunkelbraune Iris in Folge der Reizung silberweiss wird. Der Farbenwechsel der Iris erfolgt mit grosser Langsamkeit.

2) Das Seepferdchen ist, nebenbei bemerkt, der kleinste Fisch und sein Auge das kleinste, bei welchem ich die accommodative Linsenretraction — und zwar eine sehr rasche und ausgiebige — beobachtet habe. Es ist erstaunlich und ich hätte es von vornherein nicht erwartet, dass ein so minutiöses Auge — sein Durchmesser beträgt bei den gewöhnlich vorkommenden Exemplaren 1—3,5 mm — mit einer so vorzüglich functionirenden Einstellungsvorrichtung ausgestattet ist; man hätte eher vermuthen können, dass die Enge der Pupille — ihr Durchmesser beträgt bei mittelgrossen Exemplaren etwa 0,5 – 1,5 mm — eine solche fast überflüssig mache.

Ich habe die Refraction des Seepferdchenauges nicht bestimmt, doch lässt sich vielleicht aus der relativen Grösse der Linsenretraction auf höhere Kurzsichtigkeit im Ruhezustande schliessen, womit die Kleinheit des Thieres, die Art seiner Ernährung und sein oft deutlich myopisches Gebahren wohl im Einklang stehen. Die Ausstattung eines Auges, dessen Netzhautbildchen minimal und sehr lichtschwach sein müssen, mit einem so trefflichen Accommodationsapparat gestattet auch einen beiläufigen Schluss auf die Sehschärfe des Thieres — seine Netzhaut ist ebenfalls relativ hoch entwickelt — und auf das Sehen unter Wasser überhaupt; das Seepferdchen lebt in Tiefen bis zu 20 m und darunter. Die Lichtempfindlichkeit

man sehr kurz reizt, wie mit einem plötzlichen Ruck retinalwärts und wieder zurück.

Längere Latenz und langsamere Retraction findet sich bei den Gobiiden, einigen Pleuronectiden, bei Uranoscopus und den Scorpaenen; am längsten dauert es bei den Pediculaten — bei Lophius piscatorius mitunter bis 4 Sekunden — bis die Linse das Maximum der Retraction erreicht; ebenso langsam kehrt sie hier nach dem Aussetzen der Reizung in ihre Ruhelage zurück.

Man kann — wie ich bei Durchsicht meiner Protokolle, ohne danach zu suchen, fand — beiläufig als Regel angeben, dass die Accommodation bei den agilen Grundfischen, bei den rasch und virtuos die Flut durcheilenden Schwebefischen und bei den pelagischen Schwimmern am raschesten erfolgt[1]), am lang-

---

und die Sehschärfe der mit guter Accommodation ausgestatteten Fische dürfte viel grösser sein, als man sich bisher vorgestellt hat.

Dass auch in Tiefen, die weit unter dem Niveau liegen, wo stundenlang exponirte Platten nicht mehr schleiern, von manchen Fischen noch gut gesehen wird, ist für mich nicht mehr zweifelhaft, seit ich Gelegenheit hatte, das Auge von Pomatomus telescopium zu untersuchen. Dieser exquisite Tiefseefisch, ein Barsch, hat unter allen Teleostiern — vielleicht unter allen Wirbelthieren — das relativ grösste Auge; (das absolut grösste Auge dürfte dem Orthagoriscus zukommen). Der horizontale Durchmesser der Hornhaut betrug bei dem von mir untersuchten 48 cm langen, todten, aber frischen Exemplare 4,5 cm, also etwa $^1/_{10}$ der Körperlänge. Die Hornhaut war noch nicht getrübt und ziemlich prall; auffallend war ihr regelmässiger Astigmatismus. Im horizontalen Durchmesser war sie relativ wenig, im verticalen stark gewölbt. Wenn ich den Fisch in ein Bassin des mit einer Gasflamme erleuchteten Dunkelzimmers brachte, so leuchteten seine Augen wie zwei Laternen. Die Pupillen und das Augeninnere sind hier nicht schwarz, sondern hellgraugrün, wie bei den Selachiern; der Fisch besitzt auch wie diese ein Tapetum. Die Pupille war so weit, dass man die ganze Linse und den Accommodationsmuskel übersehen konnte, der hier vorzüglich entwickelt war und in keiner wesentlichen Hinsicht von dem später zu schildernden Verhalten bei anderen Fischen abwich.

Es wäre angezeigt die Untersuchungen über das Licht in der Meerestiefe mit empfindlicheren Platten als sie Fol zur Verfügung standen wieder aufzunehmen. Auch müssten noch grössere Tiefen untersucht werden; es wäre nicht unmöglich, dass die Intensität des Lichtes im Meere bis zu einer gewissen Tiefe ab- dann aber wieder zunimmt.

1) Die unter allen Thieren mit der schnellsten Locomotion be-

samsten bei den trägen „Grundfischen", welche auf dem Meeresgrunde auf Beute lauern, nur selten und unbeholfen umherschwimmen[1]).

Bei vielen Fischen kann die Linse lange in der der Reizung entsprechenden Stellung verharren — minutenlang z. B. bei mehreren Pleuronectiden, bei Scorpaena, Uranoscopus etc. —, bei anderen, z. B. Serranus, kehrt sie oft trotz fortdauernder Reizung nach einiger Zeit in ihre Ausgangsstellung zurück. Es würde zu weit führen, auf die Schilderung aller dieser Verhältnisse, die eventuell

---

gabten Vögel besitzen auch die rascheste Accommodation; ihre inneren Augenmuskeln gehören der Gruppe der quergestreiften an.

1) Es ist interessant, wie sehr sich hinsichtlich der Schnelligkeit der Accommodation drei, in ihrer Lebensweise im allgemeinen, einander so nahestehende Species wie Scorpaena, Gobius und Blennius unterscheiden. Allen dreien fehlt die Schwimmblase, es sind Fische, die wenig schwimmen. Die mit Giftstacheln wohl bewehrte Seekröte (Scorpaena) liegt, in frappirender Weise der Umgebung angepasst, in Felswinkeln, zwischen Steinen und Wasserpflanzen — oft tagelang, ohne ihren Ort zu verändern. Der Fisch schwimmt nur im Jugendzustande umher wie andere, erwachsen hat er das Schwimmen fast verlernt und bewegt sich aufgescheucht, nur plump und unbeholfen eine kurze Strecke weit, um in einem anderen Winkel seines Bassins wieder niederzufallen. Er verfolgt die Beute nicht, sondern wartet bis sie ihm fast vor's Maul kommt. Seine Accommodation ist besonders langsam. Etwas flinker ist sie bei den Meergrundeln (Gobius), welche in Felshöhlen, in den Seegraswiesen hausen und etwas bewegungslustiger sind als die Scorpaenen. Die schnellste, gewissermassen virtuoseste Accommodation — nicht nur unter den genannten drei, sondern unter einer grossen Anzahl von Arten — besitzen die Schleimfische (Blennius), wiewohl auch sie, die Algenregion der Felsküsten bewohnend, das Schwimmen fast verlernt haben und sich in vieler Hinsicht der Grundel ähnlich verhalten. Beobachtet man das Fischlein genauer, so zeigt sich jedoch, dass es weit agiler und unzweifelhaft intelligenter ist als die anderen Arten der Grundfische. „Mit ihren geschmeidigen Körpern huschen sie beständig umher und verschwinden bei Gefahr wie der Blitz in einem Versteck. Dazu kommt ihre Neugier und Dreistigkeit, welche sie treibt an allem zu naschen und wehrloses zu belästigen. Den Röhrenwürmern reissen sie die Kiemen ab, Krebsen und Fischen trachten sie nach den Augen, Ascidien zausen sie, bis sie absterben und ähnlich machen sie es mit allen vertheidigungslosen Wesen." Blennius ist unter allen Fischen, die ich untersucht habe, der einzige, der, wenn man ihn zu haschen trachtet, nicht fortschiesst, sondern — ein kleiner Held — sich muthig vertheidigt und mit seinen überaus kräftigen Kiefern tüchtig beisst.

mit Hülfe der oben angegebenen graphischen Methode zu verfolgen wären, im detail einzugehen; die nächste Aufgabe war den Mechanismus der Accommodation aufzudecken.

VII. Der Accommodationsmechanismus.

Die oben mitgetheilte Curve der Linsenbewegung liess mich einen glatten Muskel als ihren Urheber vermuthen; da die Mitwirkung der Iris an der accommodativen Linsenretraction, wie im folgenden Abschnitt gezeigt werden soll, für fast sämmtliche Familien der Teleostier ausgeschlossen werden konnte, von Veränderungen der Circulation am enucleirten Auge — und an solchen war die Mehrzahl der Versuche angestellt — keine Rede sein kann und an der Linse ausser der Campanula kein musculäres Gebilde sich ansetzt, so konnte von vorneherein an diese als an den Accommodationsmuskel gedacht werden. Die glatten Muskeln in der Campanula waren aber nur histologisch bekannt und durchaus nicht unbestritten, es schien mir von Wichtigkeit, mich von der Contractilität des Gebildes durch direkte Anschauung zu überzeugen.

Ich versuchte zunächst die Campanula am unversehrten Auge zur Anschauung zu bringen. Betrachtet man das Auge in der gewöhnlichen Weise von oben her, so gelingt es zwar durch die Linse hindurch resp. mit Hülfe ihrer prismatischen Wirkung hinter die Iris zu blicken, aber die mehr oder weniger dunkel pigmentirte Campanula hebt sich in der schwarzen Pupille nicht ab. Nur bei zwei Species mit hellem Fundus — bei Scorpaena und Blennius — war es möglich, in dieser Weise am lebenden Thier resp. am unverletzten Auge die Campanula bequem zu beobachten[1]). Sie erscheint — wie dies in

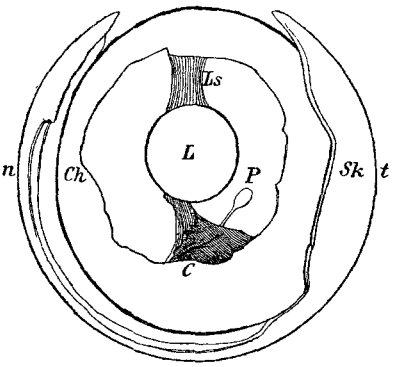
1) Bei dem — sehr selten und niemals lebend in die Station gelangenden — Tiefseefisch Pomatomus erlaubte die grosse Pupillenweite die Campanula ohne weiteres zu sehen — vergl. Fig. 15 (Taf. III). Bei Betrachtung von oben im Profil kann man sie auch wie bei Scorpaena und Blennius durch die Linse hindurch wahrnehmen. Sie ist hier gelblich und entbehrt des sonst so regelmässig vorhandenen Pigmentes. Bei dem von mir untersuchten todten aber frischen Thiere konnte ich noch eine Spur von Contraction bei elektrischer Reizung beobachten.

Durch ein Versehen des Zeichners sind die Augen von Pomatomus (Fig. 2) wie im Accommodationszustande abgebildet.

Fig. 17a (Taf. III) dargestellt ist — als ein dunkles annähernd dreieckiges Gebilde unter der durchsichtigen Linse — selbstverständlich nicht an ihrem wirklichen Ort; ihre Insertion an die Linsenkapsel ist deutlich sichtbar (in der Zeichnung nicht wiedergegeben). Bei Reizung des Auges kann man sehen, wie mit der Retraction der Linse eine Contraction der Campanula einhergeht, vergl. Fig. 17b (Taf. III). Näheres lehrt das Studium der Linsenbewegung am eröffneten Auge.

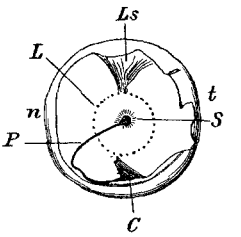
Mit dem Gräfe'schen Messer und einer feinen krummen Scheere trug ich die Hornhaut ab; als Effect der Reizung beobachtet man auch jetzt noch fast immer die seitliche Verschiebung der Linse und — unter Wasser — auch die Retraction. Hat man aber das Auge auf eine flache Unterlage mit der Hornhaut nach oben gelagert, so ist nur selten nach der Eröffnung die Zurückziehung der Linse zu beobachten, oft ändert sich ihr Abstand von der Netzhaut nicht mehr, ja in einer Reihe von Fällen tritt die Linse jetzt im Gegensatz zu ihrem früheren Verhalten während der Reizung um ein weniges aus dem Auge hervor: ihr

Fig. 18



Linkes Auge von Orthagoriscus mola (Mondfisch) nach Abtragung der Hornhaut und Iris. *n* Nasen-, *t* Temporalseite, *Sk* Sklera, *Ch* Chorioidea, *L* Linse, *P* Papille, *Ls* Ligamentum suspensorium lentis, *C* Campanula.

Fig. 19.



Linkes Auge von Dactylopterus volitans (Flugfisch) nach Abtragung der Hornhaut und Iris. *n* Nasen-, *t* Temporalseite, *L* Linse, *Ls* Ligamentum suspensorium, *S* Eintrittsstelle des Sehnerven, *P* Processus falciformis, *C* Campanula; *S* und *P* sind nach Entfernung der Linse eingezeichnet.

Abstand von der Netzhaut vergrössert sich; die Erklärung dieser Erscheinung werde ich später geben.

Trägt man auch die Iris ab — am besten mit den Weckerschen Pinces-ciseaux — so wird die Campanula und das Ligamentum suspensorium freigelegt; die erstere ist wegen ihrer

Fig. 20.

Campanula des linken Auges von Sargus Salviani mit dem Nerven des Processus falciformis; von der dem Augeninnern zugekehrten Seite. Frisches Präparat, ca. 40 fache Vergrösserung.

dunklen Pigmentirung an Augen mit schwarzem Fundus nicht ganz leicht sichtbar. Will man ihre Contouren genau beobachten, so empfiehlt es sich eine Lupe und seitliche Beleuchtung zu verwenden, eventuell ein Stückchen weisses Papier unter Linse und Campanula zu schieben; sie hebt sich dann als heller oder dunkler

---

1) Gegenbaur: „Das bei manchen Fischen durch eine Schichte glatter Muskelfasern ausgezeichnete Ende (des Proc. falc.) bietet eine an den hinteren Theil der Linsenkapsel befestigte Anschwellung (Camp. Halleri).“ Schmarda: „Der Proc. falc. . . . reicht bis an die hintere Wand der Linsencapsel, das anschwellende Endstück ist die Campanula“. Carrière: „Der Proc. falc. biegt vor der Iris quer ab zur Augenachse und befestigt sich mit einer knopfförmigen Anschwellung. der C. H., an den Aequator der Linselkapsel.“ Wiedersheim: „Der Accommodationsapparat besteht „in einer Falte (P. f) welche sich von der Eintrittsstelle des Sehnerven an bis gegen den Aequator der Linse erstreckt um sich hier mittelst einer knopfartigen Auftreibung (C. H.) zu inseriren.“

braunes bis schwarzes, meist annähernd dreieckiges oder trapezförmiges, von hinten unten nach vorne oben gegen die Linse ziehendes, plattes Gebilde vom hellen Grunde deutlich ab, ihr vorderer Rand ist häufig leicht gekrümmt; sie berührt nicht — wie sich dies in vielen Beschreibungen angegeben findet — direkt die Linse, sondern inserirt sich an ihr mit einer kürzeren oder längeren oft allerdings sehr zarten Sehne, die aber bei Lupenvergrösserung auch an kleineren Augen als feines fädiges, leicht grauliches Gebilde erkennbar ist; sie zieht vom oberen Ende der Campanula an den unteren Linsenpol, breitet sich manchmal gegen den nasalen Linsenrand aus. Etwas leichter wahrnehmbar ist gewöhnlich das Aufhängeband der Linse, ein zart grauliches membranöses Gebilde von dreieckiger, biconcaver oder sanduhrförmiger Gestalt.

Nach vorsichtiger Präparation sieht man oft auch deutlich die Stelle, an welcher der von der Papille nach vorne unten ziehende Processus falciformis in die Campanula eintritt, der er wesentlich Gefäss und Nerven zuführt [1]). Zur Illustration aller dieser Verhältnisse verweise ich auf die Figuren 18, 19 und 20, ferner Fig. 16 (Taf. III).

Hat man das von vorneher eröffnete Auge mit Elektroden armirt, so kann man nun mit Leichtigkeit beobachten, wie während der Reizung die Campanula sich zusammenzieht [2])

---

1) Eine sehr seltsame, entfernt an das Pecten des Vogelauges erinnernde Bildung, auf die ich zuerst bei der Untersuchung mit dem Augenspiegel aufmerksam wurde, fand ich im Auge des Hornhechtes (Belone acus). Von der kohlschwarzen Papille geht ein ins Innere des Auge vorspringender ebenso pigmentirter fadenförmiger Fortsatz nach vorne unten zu einer annähernd horizontal gestellten tiefschwarzen dünnen Platte, deren Lage und Dimensionen aus der Skizze Fig. 21 ersichtlich sind. Von der unteren Seite derselben geht ein dünnerer schwarzer Faden — ebenfalls frei durch den Glaskörper — zu der Campanula, die hier auf diesem Wege Blut oder Nerven zu bekommen scheint. Die physiologische Deutung des sonderbaren Schirmes im Auge muss weiterer Untersuchung vorbehalten bleiben.

Fig. 21.

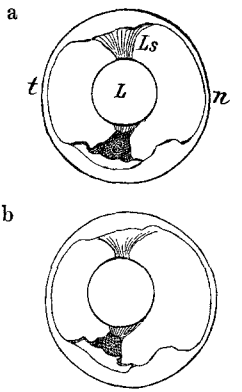
Rechtes Auge von Belone acus nach Abtragung der Hornhaut, Iris und Linse.

2) Ich bemerke hier nachträglich, dass ich mich bei den oben p. 46 angeführten Versuchen, in denen nach Aenderungen der Linsenkrümmung

und die Linse temporalwärts bewegt; unterbricht man die Reizung, so erschlafft die Campanula und die Linse kehrt in ihre Ruhelage zurück. Dasselbe kann man an dem von rückwärts her — durch Abtragung eines centralen Theiles der Augenwandungen — eröffneten Auge beobachten; da sich die dunkel pigmentirte Campanula von der schwarzen Iris schlecht abhebt, empfiehlt es sich hier, ein Stückchen weisses Papier unter die erstere zu schieben.

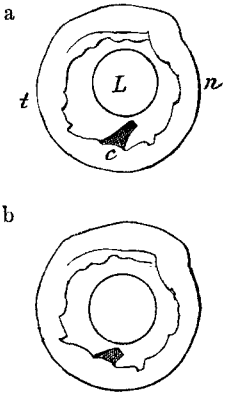
Am instructivsten ist die Reizung der Campanula, an einem durch einen vertikalen Schnitt — am besten hinter der Mitte (etwa wie in Fig. 29) — eröffneten Auge. Man kann hier — das Präparat muss unter Wasser gebracht werden, seitliche Beleuchtung zweckmässig — sehen wie mit der Contraction der

Fig. 22.



Rechtes Auge von Labrus festivus. a im Ruhezustande, b während elektrischer Reizung. *n* Nasen-, *t* Temporalseite, *L* Linse, *Ls* Ligamentum suspensorium, *c* Campanula.

Fig. 23.



Rechtes Auge von Labrax lupus. Das Ligamentum suspensorium bei der Präparation verletzt. Sehne der Campanula nicht gezeichnet.

Campanula die in ihrer Form unveränderte Linse gegen die Netzhaut zurückgezogen wird.

An dem eröffneten Auge kann manchmal die Campanula den

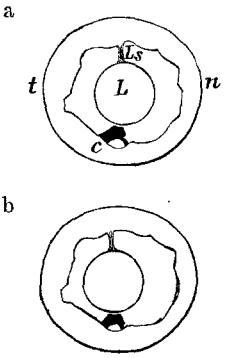
---

am intakten und am eröffneten Auge gesucht wurde, mehrfach davon überzeugt habe, dass die Reizung des Auges auch wirklich Contraction der Campanula bewirkte.

äussersten Rand der Iris oder sogar Theile der unteren Augenwandung gegen die Linse ziehen; im intacten Auge geschieht dies nicht, die Augenwandungen sind durch den intraocularen Druck ausgespannt, die Linse, als der beweglichere Theil, gibt dem Zuge nach.

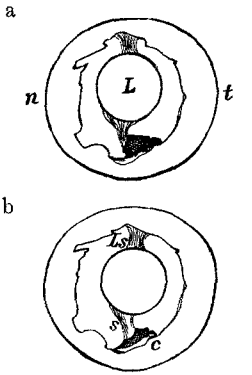
Die oben (p. 588) erwähnten Unterschiede hinsichtlich des zeitlichen Ablaufes der Linsenbewegung finden sich hier wieder

Fig. 24.



Rechtes Auge von Serranus cabrilla. *c* Campanula mit Einmündung des Processus falciformis.

Fig. 25.



Linkes Auge von Scorpaena scrofa. *S* Sehne der Campanula.

und lassen sich auch an der Contraction des Muskels selbst mit Leichtigkeit studiren. Als extreme Beispiele schneller und langsamer Contraction können einerseits Serranus und Blennius, andererseits Scorpaena und Lophius gelten.

Die Skizzen Fig. 22, 23, 24, 25 illustriren an den durch Abtragung der Hornhaut und Iris eröffneten Augen verschiedener Fische das Verhalten der Campanula im Ruhezustande und ihre Contraction während elektrischer Reizung sowie die dadurch hervorgerufene Verschiebung der Linse.

Die Linsenbewegung bei Contraction des Haller'schen Muskels — so darf man von nun ab die Campanula nennen — und den Ausfall der Linsenbewegung nach Durchschneidung desselben oder seiner Sehne habe ich bei einer Reihe von Fischen aus den verschiedensten Familien der Teleostier beobachtet; im folgenden gebe ich auszugsweise einige der bezüglichen Protocolle.

Crenilabrus pavo 21 cm lang. Linkes Auge, Hornhaut abgetragen. Reizung: Die Linse tritt ein wenig aus dem Auge hervor unter gleichzeitiger Verschiebung temporalwärts. Die letztere besteht auch noch nach Abtragung der Iris. Starke Contraction der Campanula; nach querer Durchschneidung derselben Ausfall der Linsenbewegung.

Rechtes Auge, idem.

Crenilabrus pavo 21 cm lang. Linkes Auge, Campanula blossgelegt. Reizung, Contraction, Linsenverschiebung. Ligamentum suspensorium lentis blossgelegt und durchschnitten. Die Contraction der Campanula bewirkt jetzt eine Verschiebung der Linse nach unten. Durchschneidung der Sehne des Haller'schen Muskels; Reizung: Linsenruhe; der Muskel contrahirt sich kräftig.

Labrus turdus 20 cm lang. Rechtes Auge eröffnet. Reizung. Die Linse tritt ein wenig aus dem Auge hervor unter gleichzeitiger Verschiebung temporalwärts, zugleich macht sie eine minimale Drehung im Sinne des Uhrzeigers; der Cornea-Irisrand wird von der sich contrahirenden Campanula etwas einwärts gezogen. Sucht man die Linse mit einer Präparirnadel aus ihrer Lage zu bringen, so zeigt sich, dass sie am schwersten nach unten — — gegen die Camp. — zu bewegen ist, leicht verschieblich dagegen in seitlicher Richtung. Nach Durchschneidung des Ligamentum suspensorium ist sie auch in verticaler Richtung sehr leicht beweglich. Reizung des Auges bewirkt jetzt, dass die Linse nach seitwärts und unten sich bewegt unter gleichzeitiger deutlicher Drehung im Sinne des Uhrzeigers. Nach Durchschneidung der Campanulasehne ist keine Ortsveränderung der Linse durch elektrische Reizung mehr zu erzielen.

Serranus scriba 16 cm lang. Rechtes Auge eröffnet. Reizung: Die Linse tritt hervor und temporalwärts; nach Durchschneidung des Lig. susp. intensive Drehung im Uhrzeigersinn und Bewegung nach abwärts. Durchschneidung der Campanulasehne. Starke Contraction des Muskels; Linse ruhig.

Labrax lupus 20 cm lang. An beiden Augen im wesentlichen dasselbe wie im vorhergehenden Fall, nur findet die Drehung der Linse am linken Auge entgegengesetzt der Uhrzeigerdrehung statt.

Serranus cabrilla 19 cm lang. Linkes Auge. Reizung. Verschie-

---

1) Nach Beauregard sollte den Labriden die Campanula fehlen. Es ist aber durchaus nicht richtig, wenn er sagt: Dans le grand groupe des Acanthopterygiens „la famille des Labroïdes fait seule exception, le repli falciforme et la cloche étant remplacés par un riche réseau vasculaire hyaloidien que nous n'avons d'ailleurs jamais rencontré conjointement avec la cloche. . ."

Nebenbei bemerkt gestattet jetzt der physiologische Nachweis der Linsenretraction das Vorhandensein einer Campanula mit Sicherheit zu behaupten auch in Fällen, wo es — wie an sehr kleinen Augen — nicht gelingt, sie makroskopisch zu präpariren.

bung und Hervortreten der Linse. An dem unter Wasser versenkten Präparate Verschiebung und Retraction der Linse. Durchschneidung der Campanula: Ausfall der Linsenbewegung.

Rechtes Auge auf einem Ringe hohl gelagert, sehr vorsichtig eröffnet, Glaskörperabfluss möglichst vermieden. Reizung: Retraction und seitliche Verschiebung. Lagerung auf ebener Unterlage: Vortreten und seitliche Verschiebung. Durchschneidung der Campanula. Ausfall der Linsenbewegung.

Serranus cabrilla 11 cm lang. Linkes Auge eröffnet, Ligam. susp. verletzt. Reizung: Verschiebung der Linse, Vortreten, Drehung entgegengesetzt dem Uhrzeiger, Durchschneidung der Camp.; der periphere Theil des Muskels contrahirt sich noch, die Linse bleibt ruhig.

Rechtes Auge eröffnet, Lig. susp. durchschnitten. Im wesentlichen dasselbe, nur findet die Drehung im Sinne des Uhrzeigers statt. Durchschneidung der Campanula, Ausfall.

Sargus Salviani 21 cm lang. Rechtes Auge eröffnet. Lig. susp. durchschnitten. Reizung: die Linse tritt hervor, temporalwärts und abwärts; sehr unbedeutende Drehung. Durchschneidung der Campanulasehne zerstört das Linsenspiel.

Scorpaena scrofa 30 cm lang. Linkes Auge eröffnet. Vortreten und seitliche Verschiebung der Linse. Fasst man die Linse mit der Pincette und sucht sie nach abwärts zu bewegen, so stösst man auf einen starken Widerstand, nicht so bei seitlichem Zug. Nach Durchschneidung des Lig. susp. ist die Linse nach allen Richtungen leicht beweglich; die Reizung bewirkt jetzt eine Verschiebung nach abwärts und ganz unbedeutende Drehung. entgegen dem Uhrzeiger. Durchschneidung der Campanulasehne Ausfall.

Rechtes Auge. Vorsichtige Eröffnung unter Wasser. Reizung: Retraction der Linse. Durchschneidung der Campanula, Ausfall.

Capros aper 13 cm. Linkes Auge auf einem Ring gelagert, vorsichtig eröffnet, Glaskörperabfluss vermieden. Reizung: Retraction der Linse. Ligamentum suspensorium in verticaler Richtung nicht dehnbar, wenig in nasaler, sehr in temporaler. Durchschneidung der Campanula. Linsenruhe.

Blennius ocellaris 15 cm. Rechtes Auge eröffnet. Vortreten und seitliche Verschiebung der Linse, sehr geringe Drehung im Uhrzeigersinne. Durchschneidung des Lig. susp., zu den früheren Bewegungen der Linse kommt jetzt noch die nach abwärts, die Drehung viel deutlicher. Durchschneidung der Campanula, Ausfall. Am andern Auge Drehung im entgegengesetzten Sinne, sonst idem.

Aus den Versuchen, von denen ich hier einige Paradigmen angeführt habe, ging mit Sicherheit hervor, dass die Campanula Halleri, deren muskulöse Natur so lange angezweifelt wurde [1]).

---

1) Noch Beauregard sagt: „Nous restons donc en presence de l'opinion de Leydig qui reconnaît à la cloche la structure d'un muscle lises,

contractil ist, dass der wesentliche Effect der Contraction des Haller'schen Muskels die Linsenbewegung ist, dass mit seiner Zerstörung oder Abtrennung das Linsenspiel bei elektrischer Reizung des Auges ausfällt[1]).

Manz hielt es für ausgeschlossen, dass die Contraction der Campanula eine Ortsveränderung der Linse zur Folge haben könne. Er sagt: Eine solche „könnte in einer Verrückung nach unten, vorn oder hinten bestehen. Der Fall ist nicht anzunehmen, weil eine zeitweilige Entfernung des Glaskörpers, sowie ein Heraustreten der Linse aus der tiefen Fossa patellaris kaum denkbar ist. Da die Sehne der Campanula in frischen Augen nahezu in der senkrechten Achse der Linse liegt, so ist auch eine Verrückung derselben nach vorne oder hinten nicht anzunehmen."

Hier hat sich, wie so oft gezeigt, dass die Deduction bei Vernachlässigung des Experiments zu unrichtigen Schlüssen führen kann. Aus meinen Versuchen geht zur Genüge hervor, dass die Medien des Auges einer Ortsveränderung der Linse kein Hinderniss bieten; der Humor aqueus sowohl als der halbflüssige Glaskörper schmiegen sich vielmehr der Linse in jeder Lage innerhalb ihres accommodativen Excursionsbereiches an.

Eine Bewegung der Linse „nach vorne" war mir von vornherein unwahrscheinlich, weil bei den meisten Fischen — was vie-

---

Malgré l'autorité de cet anatomiste nous nous voyons forcés de mettre en doute cette opinion car l'examen microscopique nous montre dans les éléments en question tout autre chose que les fibres granuleuses dont parle Leydig."

1) Aus dem Fehlen der Linsenretraction bei den drei oben genannten Gadiden schloss ich darauf, dass der Accommodationsmuskel bei diesen Fischen fehle oder nur rudimentär vorhanden sei. Dies hat sich bestätigt. Bei sorgfältiger Präparation grosser Augen von Gadus minutus z. B. fand ich an der Stelle der Campanula einen feinen dunklen Faden, der sich gegen die Linse zu einem annähernd dreieckigen dünnen grauen durchscheinenden wenig pigmentirten Gebilde etwas verbreitert (Fig. 26).

Ich bemerke nachträglich, dass ich auch bei den Muraenoiden Conger vulgaris (Meeraal) und Muraena helena (Muraene), ferner bei dem Mugiliden Mugil cephalus (Harder) die Linsenretraction vermisste, in manchen Fällen schien sie mir zwar — in sehr geringem Grade — vorhan-

len Beobachtern entgangen zu sein scheint[1]) — der vordere Linsenpol im Ruhezustande des Auges schon die hintere Hornhautfläche tangirt; ein Zug nach vorne (besser gesagt cornealwärts) findet auch wirklich nicht statt; die Campanula hat, wie ich mich durch eingehendes Studium der anatomischen Verhältnisse überzeugte, keine Componente zu einem cornealwärts gerichteten Zuge. Am eröffneten Auge habe ich allerdings, wie bereits erwähnt wurde und unten ausführlich erörtert und erklärt werden soll, ein Vortreten der Linse bei Reizung der Campanula wahrnehmen können, am intakten Auge habe ich aber dieses Phänomen — das im ersten Augenblick veranlassen könnte, an eine active Einstellung für Nähe und Ferne durch Linsenbewegung zu denken — niemals beobachtet.

Die von Manz von vornherein abgewiesene „Verrückung nach hinten" findet hingegen, wie aus meinen Versuchen hervorgeht, thatsächlich statt.

Es fragt sich nun: Wie kommt die eigenthümliche temporal-retinalwärts gerichtete Bewegung der Linse im intacten Auge zu Stande?

Die seitliche Componente des Zuges erklärt sich leicht, tritt doch der Haller'sche Muskel von der Schläfenseite her an die Linse heran, wie dies aus den Abbildungen Fig. 19, 23, 24, 25 und

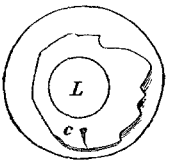
---

den, war aber — ich verfüge im ganzen über 9 Versuche — nie so deutlich, dass ich positives behaupten möchte. Ob der Accommodationsmuskel bei den genannten Fischen ursprünglich mangelhaft entwickelt oder aber zu einem Rudiment verkümmert ist u. s. w., muss weiterer Untersuchung vorbehalten bleiben, wie auch die Entscheidung der Frage, ob die ganzen Familien der

Ophidiidae,
Muraenoidei,
Gadoidei,
Mugilidae

hinsichtlich der Accommodation eine Ausnahmestellung einnehmen.

Fig. 26. Rudimentärer Accommodationsmuskel von Gadus minutus.



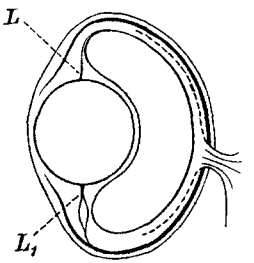
Linkes Auge nach Abtragung der Hornhaut und Iris. *L* Linse, *c* Campanula.

1) Vgl. Abbildungen von Sömmering, Wiedersheim, Matthiessen, Carrière u. a., die nicht dem Ruhe-, sondern dem Accommodationszustande des Teleostierauges entsprechen würden.

Fig. 15 und 16 (Taf. II) ersichtlich ist. Es gelingt leicht, sich davon zu überzeugen, dass, je ausgesprochener der seitliche Verlauf der Campanula, desto stärker die seitliche Verschiebung der Linse ist (z. B. bei Blennius, Serranus); je mehr sich die Längsrichtung der Campanula der Verticalebene nähert, desto mehr tritt die seitliche Verschiebung gegenüber der Retraction der Linse zurück (z. B. bei Lophius). Die letztere findet ihre Erklärung darin, dass der Haller'sche Muskel stets von rückwärts (retinalwärts) her an die Linse herantritt; dies lehrten mich Verticalschnitte durch das frische Auge. Nach Manz sollten die Muskelfasern der Campanula resp. ihre Sehne im senkrechten Linsendurchmesser liegen. Diese Anschauung und die Abbildung, welche er von dem Durchschnitt des Fischauges gibt (reproducirt in Fig. 27) entspricht aber — auch hinsichtlich der Lage der Iris zur Linse — durchaus nicht den natürlichen Verhältnissen. Man vergleiche dagegen die Fig. 28, 29 und 30, welche skizzenhaft,

Fig. 27.

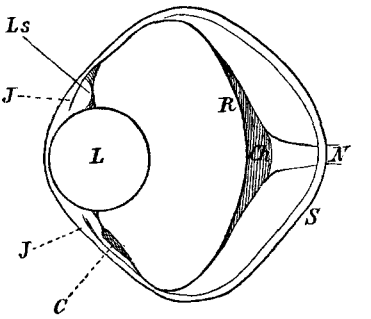
Durchschnitt des Fischauges nach Manz



L Ligamentum suspensorium, L_1 Ligamentum musculocapsulare.

Fig. 28.

Senkrechter Schnitt durch die Mitte des gefrorenen linken Auges von Lophius piscatorius.

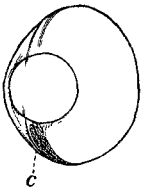


C Campanula, *Ch* Chorioidaldrüse, *J* Iris, *L* Linse, *Ls* Ligamentum suspensorium, *N* Nervus opticus, *R* Retina, *S* Sklera.

aber naturgetreu verticale Gefrierschnitte durch die frischenucleirten Augen verschiedener Fische darstellen. Aus diesen Abbildungen ist ohne weiteres ersichtlich, dass die Zugrichtung der Campanula nicht in der senkrechten Linsenaxe liegt, sondern dem Augenhintergrunde zu gerich-

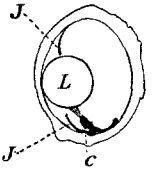
tet ist. In Anbetracht der anatomischen Verhältnisse kann es nicht Wunder nehmen, dass hier keine Krümmungsänderung[1]), sondern eine Retraction der Linse stattfindet.

Fig. 29.



Senkrechter Schnitt durch das linke Auge von Labrus turdus (hinter der Mitte). *C* Campanula. $^3/_2$ d. n. G.

Fig. 30.



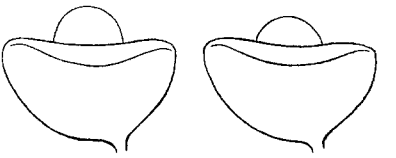
Senkrechter Schnitt durch die Mitte des linken gefrorenen Auges von Scorpaena porcus. *C* Campanula, *J* Iris, *L* Linse.

Wie kommt es nun, dass am eröffneten Auge der Zug des Haller'schen Muskels häufig ein Vortreten der Linse bewirkt? Der scheinbare Widerspruch mit dem Verhalten im intakten Auge ist nicht schwer zu lösen. Liegt das enucleirte Auge auf einer flachen Unterlage auf, so wird, besonders bei kleinen weichen Bulbis, die Rückwand leicht etwas eingedrückt, bei Eröffnung des Auges fliesst, zumal wenn auch die Iris entfernt wurde, mehr oder weniger vom Glaskörper ab, er quillt um die Linse hervor, diese sinkt tiefer in die tellerförmige Grube zurück. Dadurch wird die Zugrichtung der Campanula aus einer retinalwärts zu einer cornealwärts gerichten, wovon man sich leicht durch den Augenschein überzeugen kann; contrahirt sich der Muskel, so kann er nicht mehr, wie im intakten Auge, die Linse der Netzhaut nähern, er muss sie vielmehr aus dem Auge herausheben. Hat man aber ein grosses Auge mit resistenten Wandungen hohl gelagert und sehr vorsichtig eröffnet, derart, dass von der Hornhaut nur eine centrale, den Linsenumfang wenig überschreitende Partie entfernt und Glaskörperabfluss mög-

1) Man bedenke, dass es im Auge der höheren Wirbelthiere trotz der hier bedeutend grösseren Weichheit der Linsenmasse — bei vielen Vögeln ist sie in der Jugend fast flüssig — einer im ganzen Umkreise der Linse angeordneten kräftigen Muskulatur bedarf, um eine Aenderung der Krümmung herbeizuführen.

lichst vermieden wurde; oder bringt man das in der gewöhnlichen Weise eröffnete Auge unter Wasser, so dass die Wirkung der Schwere wegfällt, so wird auch an dem eröffneten Auge (vergl. Fig. 31) das regelmässige Phänomen der Linsenretraction bei elektrischer Reizung beobachtet.

Fig. 31.
Linsenretraction am eröffneten Auge von Lophius piscatorius.



Hornhaut und ein breiter Irisring abgetragen; Reizung unter Wasser.

Bei der Schilderung der Linsenbewegung am intakten Auge wurde erwähnt (s. p. 587), dass sich mitunter neben der Retraction und Verschiebung auch eine Drehung der Linse erkennen lasse. Eine solche Drehung — und zwar um eine anteroposteriore Axe — ist auch am eröffneten Auge öfter wahrzunehmen; sie erklärt sich leicht aus der Ansatzweise des Accommodationsmuskels. Seine Sehne inserirt sich oft nicht nur an dem unteren Theile des Linsenäquators, sondern auch am unteren nasalen Quadranten desselben (sehr deutlich bei Blennius, Scorpaena). Da zudem der Muskel selbst schief gegen den senkrechten Linsendurchmesser verläuft, so muss er — wenn nicht andere Einrichtungen dies verhindern — an der Linse eine Drehung ausüben, etwa wie ein Seil an einer Rolle. Da der Muskel von temporalwärts her gegen die Linse zieht, so erklärt sich leicht, warum bei Betrachtung des von vorne her eröffneten Auges die Drehung der Linse — wenn sie vorhanden ist — am rechten Auge im Sinne des Uhrzeigers, am linken Auge im entgegengesetzten Sinne gesehen wird. Die Drehung wird stets erheblich stärker und tritt in vielen Fällen überhaupt erst auf, wenn das Ligamentum suspensorium lentis durchschnitten ist. Es kann daher keinem Zweifel unterliegen, dass das Band im intakten Auge derart angeordnet ist, dass der Drehung der Linse ein grösserer oder geringerer Widerstand entgegengesetzt wird, die drehende Componente des Muskelzuges eventuell ganz aufgehoben werden kann. Die in einigen Fällen deutlich asymmetrische Anordnung des Bandes scheint mit dieser Funktion in Zusammenhang zu stehen. In optischer Hinsicht dürfte übrigens die Drehung der Linse in Anbetracht ihrer kugeligen Gestalt ohne Belang sein.

Noch eine andere wichtige Funktion kommt dem Ligamen-

tum suspensorium zu. Es erscheint vielleicht auf den ersten Blick sonderbar, dass die Campanula, die doch von unten her an die Linse herantritt, diese nicht nach abwärts zieht; einige Autoren, z. B. Beauregard, haben gemeint, dass sie dies thun müsste und daraus ein Argument gegen die Möglichkeit ihrer Accommodationsfunktion gezogen. Ein einfacher Versuch gibt die Aufklärung: Hat man an einem Auge die Cornea und Iris abgetragen und versucht man, die freiliegende Linse mit einer Pincette nach abwärts zu ziehen, so merkt man einen intensiven Widerstand; zieht man stärker, so bewegen sich die oberen Theile der Augenwandungen mit, aber die Distanz der Linse zu den letzteren vergrössert sich nicht: das Ligamentum suspensorium ist in verticaler Richtung ausserordentlich wenig dehnbar und verschiebbar. Nach allen anderen Richtungen lässt sich die Linse leicht verschieben, am leichtesten temporalwärts. Man kann so mit Sicherheit an einem Auge — wenn es nicht zu zart ist — die Lage der Campanula finden, ohne dass man weiss, was oben und unten ist: nach Abtragung der Hornhaut sucht man durch leichten Druck mit der geschlossenen Pincette auf die Linse die Richtung, in welcher sie am wenigsten verschieblich ist — in dieser liegt die Campanula; ihr entgegengesetzt das Aufhängeband.

Nach Durchschneidung des Lig. susp. zieht die Campanula bei ihrer Contraction die Linse nach abwärts.

Die Zugrichtung des Accommodationsmuskels lässt sich — wenn ich in Kürze resümire — in 4 Componenten zerlegen: eine retinalwärts, eine temporalwärts, eine abwärts gerichtete und eine drehende Componente. Die beiden ersten sind für die Bewegung der Linse im intakten Auge ausschlaggebend, die beiden letzten werden durch die eigenthümlichen Elasticitätsverhältnisse des Ligamentum suspensorium ganz resp. theilweise aufgehoben.

Hiermit glaube ich, den Accommodationsmechanismus des Teleostierauges erschöpft zu haben[1]); für das menschliche Auge

---

1) Dass bei manchen Vertretern der Teleostier noch andere, als die von mir beschriebenen accommodativen Veränderungen gefunden werden können, will ich natürlich nicht in Abrede stellen. Die Bedeutung der Linsenretraction würde dadurch kaum alterirt werden. Es dürfte vielleicht

sind in früherer Zeit unzählige, zum grössten Theil ganz absurde Accommodationshypothesen aufgestellt worden und auch jetzt, nachdem die Helmholtz'sche Auffassung im grossen und ganzen durchgedrungen ist — auch für das Vogelauge gilt ihr Grundgedanke, wie ich durch meine Versuche gezeigt habe — tauchen immer wieder neue Hypothesen auf — hauptsächlich zur Ergänzung und Verbesserung unserer Auffassung vom Mechanismus der Krümmungsänderung [1]).

Beim Fischauge liegen nach meinen Versuchen die Ver-

---

interessant sein, das Auge der Tunfische zu untersuchen; bei diesen beschreibt Moreau folgendermassen einen zum Theil quergestreiften „Muscle choroïdien ou Constricteur de la choroïde": „Il existe dans l'oeil de quelques poissons du genre Thon un muscle excessivement remarquable qui n'a jamais été signalé; il merite cependant de fixer l'attention d'une manière spéciale car il doit jouer un grand rôle dans l'accommodation. Ce muscle est placé entre la sclérotique et la choroïde; il occupe les deux tiers au moins du pourtour de l'os sclérotical postérieur; il a chez le Thon, le Germon environ 20 à 25 millimétres de longueur sur 3 à 6 millimètres de largeur; il est aplati arqué, plus large, plus épais dans son milieu qu'à ses extrémités. Il s'insère en dedans vers le pourtour de l'anneau de la sclérotique un peu en dehors du ligament ciliaire, dont il est toujours séparé; il se dirige en dehors pour se porter vers la partie réfléchie de la choroïde à laquelle il adhère très-fortement. Il se compose de fibres fusiformes qui se montrent sous deux aspects différents: les unes sont tout à fait lisses, avec un noyau allongé ou un contenu granuleux; les autres et ce sont les plus communes présentent des stries transversales. Ces stries sont faciles à distinguer mais elles sont peu nombreuses, éloignées les unes des autres." Ich hatte keine Gelegenheit, den Tunfisch lebend oder auch nur frisch zu untersuchen.

Bei einem andern Scombriden — Zeus faber — fand ich einige Male die bekannte Retraction, stets die seitliche Verschiebung und eine leichte Drehung der Linse, konnte auch die Contraction der blossgelegten Campanula, die nicht von dem gewöhnlichen Verhalten abweicht, bei elektrischer Reizung beobachten; der Fisch gelangt nur in moribundem Zustande an die Station. Noch bei einem anderen Scombriden — ich glaube Centrolophus — konnte ich das gewöhnliche Phaenomen der Linsenretraction nachweisen. Der Fisch konnte nicht genau bestimmt werden, ich habe ihn daher in der oben gegebenen Liste nicht angeführt.

1) In neuester Zeit hat Tscherning gefunden, dass bei der Accommodation des menschlichen Auges 1. die Linse ein wenig zurückweicht, 2. die Krümmung ihrer centralen Teile zu — die ihrer peripheren ab-

hältnisse der Accommodation durch Linsenretraction so klar zu Tage, dass für viele Hypothesen hier jetzt kein Feld mehr bleibt. Krümmungsänderungen der Krystalllinse finden hier nicht statt, es herrscht ein anderes Einstellungsprincip als im Auge der Landwirbelthiere: Ein glatter Muskel, welcher sich mit seiner Sehne an die Linse, das Objectiv des Fischauges, anheftet, besorgt die Einstellung; in einer Componente seiner Zugrichtung bewegt sich die Linse; sie wird wenn das Auge für die Ferne eingestellt werden soll, nach rückwärts gezogen, also der Netzhaut genähert, ganz ähnlich wie in vielen unserer photographischen Apparate zu gleichem Zweck das Objectiv dem lichtauffangenden Schirm genähert werden muss[1]).

---

nimmt, 3. dass der centrale Theil der Linse an Dicke zunimmt. Auf Grund dieser Beobachtungen und mehrerer Versuche an Leichenaugen von Pferd und Rind, bei denen Zug an zwei einander gegenüber liegenden Stellen der Zonula Zunahme der Krümmung im Centrum und Abnahme der Krümmung in der Peripherie der Linse bewirkte, stellt er die der Helmholtz'schen gerade entgegengesetzte Theorie auf, dass die Accommodation zu Stande komme „par une traction exercée par la zonule sur le cristallin"; ... l'extrémité antérieure du feuillet profond (sc. du muscle) recule et exerce ainsi une traction en déhors et en arrière sur la zonule." Tscherning meint von seiner Erklärung: „Quelques considérations, tirées de l'anatomie comparée, la rendent encore plus probable". Chez les poissons „le cristallin est, comme on sait, sphérique et le muscle ciliaire est remplacé par un muscle longitudinal qui se trouve dans la partie inférieure de la choroïde et dont l'extrémité antérieure s'insère au bord inférieur du cristallin en face d'un ligament suspensoire. Or comme le cristallin est déjà sphérique en état de repos, on ne pouvait pas admettre qu'il s'accommodait en se rapprochant de la forme sphérique comme on l'admettait pour l'homme. . . . Avec notre manière de voir, au contraire, rien n'empêche de se figurer que la traction (du muscle) augmente la convexité des parties centrales du cristallin en aplatissant les parties périphériques comme cela a lieu chez les autres animaux."

Es geht aus meinen Versuchen zur Genüge hervor, dass der Tscherning'schen Hypothese, soweit sie sich auf die Accommodation des Fischauges bezieht, keine Bedeutung zukommt.

1) In seiner „Philosophie der Technik" hat Kapp nachzuweisen gesucht, „dass der Mensch unbewusst Form, Functionsbeziehung und Normalverhältniss seiner leiblichen Gliederung auf die Werke seiner Hand über-

Die Accommodation des menschlichen Auges war Jahrhunderte lang bekannt, ja Scheiner (1619) und Des Cartes (1637) hatten schon die jetzt bewährte Ansicht, dass sie auf einer Formveränderung der Linse beruhe, aufgestellt, bevor es — im Jahre 1847 — Brücke gelang, den Accommodationsmuskel des menschlichen Auges aufzufinden, nachdem bereits 33 Jahre früher Crampton den nach ihm benannten Accommodationsmuskel des Vogelauges beschrieben hatte.

Der Accommodationsmuskel des Fischauges war als anatomisches Gebilde bereits Haller bekannt [2]); die muskulöse Natur des Gebildes wurde von ihm vermuthet, von Leydig behauptet, durch meine Versuche erwiesen.

---

trägt und dass er dieser ihrer analogen Beziehungen zu ihm selbst erst hinterher sich bewusst wird" (Organprojection). „Das Auge ist das Vorbild aller optischen Apparate."

Es ist mir nicht bekannt, dass zur Einstellung irgend eines unserer optischen Instrumente das Princip der Accommodation des menschlichen Auges, nämlich die Krümmungsänderung brechender Flächen jemals in Anwendung gekommen wäre; unsere Einstellungsvorrichtungen sind dagegen sämmtlich dem Accommodationsprincip des Fischauges analog, nämlich auf Aenderung des Abstandes der brechenden Flächen construirt.

2) Des historischen Interesses halber setze ich Hallers Beschreibung hierher: De l'extrémité antérieure de l'arc par lequel le nerf optique se termine, il sort deux vaisseaux recouverts d'une gaine noire, et bientôt la ruyschienne leur en donne un autre; un nerf né du nerf ciliaire, qui perce la sclérotique à côté de l'entrée du nerf optique, les accompagne; ils bordent le vitré, et forment un demi-circle autour de la convexité de l'oeil; quand ils sont presque parvenus jusqu'à l'uvée, une prolongation de la membrane noire et une autre de l'uvée, s'y attachent avec de nouveaux vaisseaux, et il s'en forme une petite cloche, comme parabolique, extérieurement tachetée et blanche en dedans, qui se termine par une pointe; il sort de cette pointe plusieurs filets attachés à la capsule du cristallin postérieurement et extérieurement; la direction de la cloche est en dehors et un peu en arrière."

„Il est difficile de définir l'utilité de cette cloche parabolique: il est vrai qu'elle soutient le cristallin, et apparemment y donne-t-elle des vaisseaux; mais le nerf qui s'y rend pourroit faire croire que c'est un organe musculeux, quoique je n'y distingue pas de fibres parallèles."

Von dem Engländer Dalrymple wurde die Campanula etwa 70 Jahre später wieder entdeckt; in seiner Mittheilung (1837), die ich erst nach Abschluss meiner Arbeit zu Gesicht bekam, heisst es: „In examining the organ

Die Function des Gebildes war unbekannt[1]). Beauregard sagt: „Le doute seul sera permis jusqu'à ce que des expériences

---

of vision in a pike (Esox lucius) I observed a small roundish, grey-coloured body about the size of a hemp-seed attached to the circumference of the lens . . .; from the circumstance of its large nervous apply I am inclined to believe it muscular, although at present direct and incontestible proof is wanting." Dalrymple, der weder von Leydig noch von Manz und Leuckart citirt wird, hatte eigentlich die beste Anschauung von der Wirkung, welche die Contraction des Muskels haben könnte: „If any action like that of contraction were to take place in this body the lens would be drawn slightly backwards and its focal relation altered. Upon a cessation of the contraction the lens would be restored to its place by the reaction of the elastic ligament." 3 Jahre früher hatte der Americaner Wallace einen Muskel im Auge von Perca nobilis entdeckt und — das Original ist mir nicht zugänglich, ich citire nach D. — folgendermassen beschrieben: „At the inferior axis of the crystalline lens and attached to its capsule is a small triangular body, having its inner surface covered with pigmentum nigrum. It adheres to a cord placed at the divided portion of the retina. It passes through a loop (?) in the iris and is inserted into the vitreous humour behind the crystalline. When the portion a part of which passes through the loop is brought into action the vitreous humour is drawn forwards and the lens is pushed before it. When the other portion acts the lens is drawn backwards."

Dalrymple hält es nicht für ausgeschlossen, dass sich W. unter amerikanischen Studenten des Moorfield Hospital befand, denen er — mehrere Jahre vor seiner eigenen Publication — den von ihm entdeckten Muskel gelegentlich demonstrirt hatte.

1) Die Campanula hat den Naturforschern viel Kopfzerbrechen gemacht. Eine ganz abenteuerliche Ansicht über ihre Function und die des Pecten im Vogelauge findet sich bei Treviranus: „Sie absorbiren vermöge des schwarzen Pigments, das sie bedeckt, die Sonnenstrahlen, sie werden dadurch mehr als alle übrigen Theile des Auges erwärmt . . . und ihre Wärme geht in den Nerven, mit welchem sie verbunden sind, über. Sie sind also den Vögeln und Fischen eine Art von Thermoskop. Eines solchen Werkzeugs bedürfen aber diese Thiere auch um zu ihren Wanderungen aufgeregt zu werden, die sich nicht nach dem Grade der athmosphärischen Wärme, sondern nach den Jahreszeiten, also nach der Stärke der Sonnenstrahlen richten . . . Die Fische im Meere machen . . . regelmässige Züge, obgleich die Temperatur des Meerwassers unter einerlei Graden der Breite unverändert bleibt. Wenn es ein äusseres Agens gibt, wodurch der Wanderungstrieb geweckt wird, so kann ein solches nur die erwärmende Kraft der Sonnenstrahlen sein . . . Soviel ist gewiss, dass der Storch und der Lachs, zwei

directes soient venues soulever le voile qui dérobe à nos yeux le mode d'action de la campanula."

Meine Versuche haben gezeigt, dass die Fische eine Accommodation besitzen und wie dieselbe durch Contraction der Campanula zu Stande kommt.

Den Accommodationsmuskel des Fischauges will ich fortan nicht mehr nach seinem anatomischen Verhalten[1]) benennen, sondern nach seiner wesentlichen physiologischen Function als **„Retractor lentis"** bezeichnen.

Zwei teleologische Bemerkungen: 1. Ich habe die Ansicht aussprechen hören, dass ein Muskel, der die Linse der Netzhaut nähern soll, am zweckmässigsten vom Augenhintergrunde gegen den hinteren Linpol verlaufen müsste — etwa wie das Pecten des Vogelauges, dem man ja auch zu einer Zeit, als noch bei den Landwirbelthieren eine Accommodation für die Ferne angenommen wurde, die Function der Linsenretraction zugeschrieben hat[2]). Neuere Untersuchungen[3]) haben gezeigt, dass das Pecten ein Schwellkörper und seine Function eine sehr wirksame Ergänzung der Irisblende ist. Nun ist schon die letztere im Auge der meisten Teleostier gewissermassen überflüssig; blendendes Licht kommt in der Wassertiefe nicht vor, die sphärische Aberration ist durch den Bau der Linse vermieden, es ist hier alles auf möglichste Lichtstärke des Netzhautbildes eingerichtet. Der Accommodationsmuskel des Fischauges ist derart angebracht, dass er unbeschadet seiner Function die Linse der Netzhaut zu nähern — grosser Excursionen bedarf es ja nicht — den Gang der Lichtstrahlen im Auge auch nicht im geringsten stört.

2. Die Fische sind dem Menschen — und vermuthlich allen übrigen Säugethieren — darin überlegen, dass sie im Alter nicht presbyopisch werden; bei jenem wächst mit abnehmender Jugend fort-

---

Thiere, die weite Züge in bestimmten Jahreszeiten machen, einen schwarzen Fächer, eine Campanula und einen sichelförmigen Fortsatz von ausgezeichneter Grösse besitzen." Es ist interessant zu sehen, wie unkritisch vor nicht viel mehr als 50 Jahren selbst hervorragendere Naturforscher dachten.

1) Die Bezeichnung „Campanula", „Cloche" etc. ist überdies für die grosse Mehrzahl der Fische durchaus unzutreffend.

2) Home: „Ne pourrait on pas attribuer au peigne la fonction d'attirer le cristallin en arrière dans le but de favoriser la vision des objets éloignés."

3) Vergl. die Arbeiten von Beauregard und Ziem.

während die Festigkeit der äusseren Linsenschichten, die Linse erstarrt schliesslich in einem gewissen Alter in der durch die Spannung der Zonula ihr aufgezwungenen Gestalt. Sobald der Accommodationsmuskel ihre Krümmung nicht mehr verändern kann, ist das Einstellungsvermögen erloschen; der Mensch muss — wenn er nicht früher in einem gewissen Grade myopisch war — zu Convexbrillen für die Nähe greifen. Hingegen die Fische, deren Accommodation durch Ortsveränderung der Linse zu Stande kommt, behalten ihr Einstellungsvermögen zeitlebens — und manche Fische sollen an 100 Jahre alt werden — mag jene erstarren oder nicht, sobald nur der Accommodationsmuskel contractil bleibt.

Eine Bemerkung über positive und negative Accommodation.

Ein emmetropisches oder hypermetropisches Auge bedarf bloss einer positiven Accommodation. Wenn man nicht etwa die vorläufig unbewiesene Annahme aufstellen will, dass zu feiner Coordination der accommodativen Bewegungen, ähnlich wie vielfach bei den Bewegungen der quergestreiften Skelett-Musculatur das Mitwirken von Antagonisten erforderlich sei[1]), so ist nicht einzusehen, was solchen Augen eine negative Accommodation nützen soll. Die früher vielfach für das menschliche und auch für das Vogelauge behauptete Einstellung für die Ferne ist noch niemals einwandfrei bewiesen worden. Soweit unsere Kenntnisse reichen, gibt es hier nur einerlei Einstellung, nämlich für die Nähe.

Einem myopischen Auge dagegen können unter Umständen beide Arten der Accommodation, positive und negative, von Vortheil sein. Die letztere dient dazu das Auge bis auf unendliche Entfernung einzustellen, die erstere könnte durch Heranrücken des Nahepunktes nützlich sein. Nachdem ich bei einer Anzahl lebender Fische myopische Einstellung im anscheinenden Ruhezustande des Auges gefunden hatte, war mir das Vorhandensein einer negativen Accommodation wahrscheinlich; meine Untersuchungen haben gezeigt, dass hier, was bisher noch bei keinem Thiere nachgewiesen werden konnte[2]), eine solche Accommodation

---

1) Die von Morat & Doyon aufgestellte Behauptung „Le sympathique cervical est le nerf inhibiteur de l'accommodation" ist nach genauen Versuchen von Heese vorläufig als nicht genügend bewiesen zu betrachten.

2) Nach Leuckart soll den Augen mancher Insekten eine Accommodation für die Ferne zukommen. Er sagt: „Man stösst in der Pigmentmasse des Insektenauges auf Muskelelemente, die in Form von quergestreiften Fibrillen den Nervenstab zu je vier umgeben und bis in den irisartigen Gürtel hinein sich verfolgen lassen . . . Man darf wohl annehmen, dass der Contractionseffect in einer Verkürzung des Krystallkegels seinen

thatsächlich besteht und wie sie zu Stande kommt. Ich möchte mich aber ausdrücklich dagegen verwahren, dahin verstanden zu werden, als ob ich allen Fischen das Vermögen positiver Accommodation von vornherein absprechen wollte. Solches würde mir gar nicht unwahrscheinlich vorkommen für Fische, bei denen nur schwache Myopie gefunden wurde. Der Nachweis derselben würde aber ebenso wenig wie die Auffindung noch anderer Einrichtungen für negative Accommodation die Bedeutung der von mir nachgewiesenen Einstellung für die Ferne durch Linsenretraction beeinträchtigen.

VIII. Kommt der Iris eine Betheiligung am Accommodationsakt zu?

Auf die Gestalt der Linse im Auge der Landwirbelthiere kann der geringe Druck der sich contrahirenden Iris bei der Schwäche der hierfür in Betracht kommenden Componente kaum einen Einfluss haben. Die Ansicht, dass der Iris bei der Veränderung der Linsenkrümmung im menschlichen Auge irgend eine wesentliche Rolle zufalle, ist auch längst aufgegeben; für das Vogelauge haben meine und v. Trautvetter's Versuche gezeigt, dass der Wegfall der Iris, welche nach Cramer hier wesentlich die Accommodation vermitteln sollte, diese nicht beeinträchtigt.

Für das Fischauge aber konnte a priori nicht ausgeschlossen werden, dass neben dem Retractor lentis auch der Iris eine Rolle beim Accommodationsakte zufalle, wenn auch hierbei kaum an Aenderungen der Linsenkrümmung zu denken war, die ja überdies an dem Verhalten der Linsenbildchen hätten erkannt werden müssen.

In den Augen der Landwirbelthiere ist die Linse im ganzen Umkreise ihrer Peripherie durch die Zonula Zinnii, bei den Vögeln ausserdem durch die Ciliarfortsätze befestigt, so dass ihre Beweglichkeit eine äusserst geringe ist. Linsenschlottern ist ein patho-

---

Ausdruck finde." „Das bis dahin für die Nähe eingestellte Auge wird mittelst dieser Veränderung zu einem fernen Sehen geschickt . . ."

Exner hält es für sehr unwahrscheinlich, dass es im zusammengesetzten Auge eine Accommodation gebe; auch konnte er von einer Accommodationseinrichtung zur Annäherung des dioptrischen Apparates und der Netzhaut nichts finden.

logisches Symptom. Hingegen die Linse des Fischauges ist nur an einem kleinen Theil ihrer Peripherie, an der Ansatzstelle des Lig. suspensorium, befestigt und ihre Beweglichkeit im Inneren des Auges ist, wie die geschilderten Versuche zur Genüge gezeigt haben, eine grosse. Hier könnte die sich contrahirende Iris die Linse nach rückwärts (gegen den Augenhintergrund zu) drängen, ja sie müsste dies stets bei einem gewissen Grade der Contraction thun, nämlich sobald sie sich hierbei zwischen Hornhaut und Linse einschieben würde; es müsste dann die Linse wenigstens um die Dicke der Iris der Netzhaut genähert werden.

Nun zu den Thatsachen: Bei der weitaus überwiegenden Mehrzahl der Teleostier konnte ich keine Betheiligung der Iris an der Linsenretraction bei elektrischer Reizung des Auges nachweisen[1]).

1. Bei dem Versuche, die beiden Phänomene der Iriscontraction und der Linsenbewegung durch Abstufung der Reizstärke zu trennen, ergab sich folgendes: Selten traten Iris- und Linsenbewegung bei derselben Stromstärke auf; in wenigen Fällen brachten Stromstärken, welche Contraction der Iris bewirkten, noch keine Linsenretraction hervor; in der grossen Mehrzahl der Fälle gelingt es, Stromstärken zu finden, bei welchen die Linsenbewegung deutlich wahrnehmbar ist, ohne dass zugleich eine active Veränderung an der Pupille auftritt; oft wird sogar das Maximum der Linsenbewegung bei Stromstärken erreicht, die noch keine oder bei weitem nicht maximale Contraction der Iris hervorbringen. Steigert man in solchen Fällen den Reiz bis zum Eintreten der letzteren, so wird dadurch die bereits erreichte Grösse der Linsenretraction nicht vermehrt.

2. Die Iriscontraction und die Linsenretraction unterscheiden sich fast stets hinsichtlich der Latenz und der Geschwindigkeit. Werden bei einer bestimmten Stromstärke beide Erscheinungen herbeigeführt, so beobachtet man fast stets, dass die Bewegung der Iris später beginnt als die der Linse, noch später ihr Maximum erreicht und dass, wenn beide Erscheinungen

---

1) Die folgenden Beobachtungen entstammen einer grossen Zahl von — grösstentheils am enucleirten Auge — angestellten Versuchen; ich halte es nicht für nöthig, Paradigmen en détail anzuführen; einige Belege finden sich in den im XII. Abschnitt mitgetheilten Protokollen.

ihr Maximum erreicht haben, nach dem Aussetzen der Reizung die Linse früher in ihre Ruhelage zurückkehrt als die Iris.

3. In einer Reihe von Versuchen gelang es nicht, den Retractor lentis zu tetanisiren — so häufig bei Serranus —; hier kehrte bei andauernder Reizung trotz tetanischer Contraction der Iris, die Linse nach wenigen Sekunden in ihre Ruhelage zurück.

4. Der Retractor lentis ermüdet gewöhnlich früher und stirbt auch gewöhnlich früher ab als die Muskulatur der Iris; dementsprechend kann man an einem Auge, an welchem anfangs Pupillen- und Linsenbewegung vorhanden waren, nach einer Reihe von Reizungen oft ein Stadium beobachten, in welchem bei einer bestimmten Reizstärke die Iris nach wie vor sich contrahirt, während die Linse ihren Ort nicht mehr verändert.

Bei der überwiegenden Mehrzahl der von mir untersuchten Teleostier fand ich die durch direkte elektrische Reizung des Auges zu erzielende Contraction der Pupille sehr gering[1]); nur bei Lophius, einigen Pleuronectiden und bei Uranoscopus — sämmtlich Fische, die im Sande verborgen liegen und mit den mehr weniger nach oben gerichteten Augen nach Beute spähen — tritt bei elektrischer Reizung des Auges eine starke concentrische Verengerung der Pupille ein, welche hier — durchaus von dem Verhalten der Rochen abweichend — durch den Reiz des Tageslichtes noch nicht maximal verengt ist. Bei vielen andern Fischen aber nähert sich der nasale Pupillarrand, der, wie bereits erwähnt, in der Ruhe gewöhnlich durch eine mehr weniger breite

---

1) Doch ist eine — wenn auch oft nur geringe — Bewegung der Iris fast immer zu erzielen. Manz sagt: „Pupillenbewegung der Fische . . . wird von einigen behauptet, von anderen geleugnet; ich selbst vermochte weder durch Licht, noch elektrische Reizung etwas dergleichen hervorzubringen.“ Vermuthlich hat er nicht stark genug gereizt.

Auf Licht reagirt sehr intensiv die Pupille des oben erwähnten Fierasfer; der Fisch ist in dieser Hinsicht vielleicht ein Unicum unter den Teleostiern. Emery sagt diesbezüglich: „Quando sta nell' oloturia le sue pupille sono piuttosto ampie; cosi pure se lo si tiene in un luogo scuro; esposto alla luce si ristringono gradatamente e a capo di mezzo minuto sono ridotte a piunti piccolissimi.“

aphakische Zone von dem Linsenrand getrennt ist, diesem auch während der Reizung nicht bis zur Berührung, bei anderen geht die Verengerung gerade nur so weit, dass der Linsenrand eben etwas gedeckt wird. Dass solche schwache Bewegung der Iris keinen Einfluss auf die Linse haben kann, ist einleuchtend.

Um den Einfluss der Iris ganz auszuschalten, habe ich einige Versuche an eröffneten Augen vorgenommen. Es thut der hier zu beobachtenden seitlichen Verschiebung, dem Zurücktreten (eventuell dem Hervortreten) oder der Drehung der Linse absolut keinen Eintrag, ob man die Iris stehen lässt oder im ganzen Umkreise abträgt; nur wenn man bei letzterem Eingriffe das Ligamentum suspensorium lentis oder den Retractor lentis verletzt, kann sich der Charakter der Linsenbewegung verändern resp. letztere ganz ausfallen.

Durchschneidet man hingegen bei intakter Iris den Retractor lentis oder dessen Insertion an die Linse, so fällt jede Bewegung derselben bei elektrischer Reizung des Auges trotz fortbestehender Contraction der Iris aus.

Ich komme nun auf die in der Art ihrer Linsenbewegung und ihres Pupillenspiels etwas abweichenden Species Lophius, Uranoscopus und einige Pleuronectiden zurück.

Bei Lophius piscatorius, jenem sonderbaren Fisch, der im Sande vergraben die Endläppchen seiner Kopfflossenstrahlen gleich dem Köder einer Angel im Wasser spielen lässt, um Fische anzulocken, die er dann mit seinem Riesenmaule aufschnappt, gelang es mir nicht, Linsenbewegung und Pupillencontraction zu trennen. Die seitliche Verschiebung der Linse ist hier sehr unbedeutend, es findet fast reine Retraction statt, vergl. Fig. 13, Taf. III; das Auge war einem frischgefangenen Exemplare enucleirt, die vorderste, sehr lockere Hornhautschicht und die Sklera abgetragen. Auf die lange Latenz sowie die grosse Langsamkeit, mit der die Linsenbewegung zu Stande kommt, auf die langsame Erschlaffung des Retractor wurde bereits hingewiesen; alles dies gilt hier auch für die Iris, von der ich es nicht für ausgeschlossen halte, dass sie bei kräftiger Contraction im Stande ist, die Linse ein wenig nach rückwärts zu drängen.

Auch bei einigen Pleuronectiden tritt die seitliche Verschiebung der Linse, wiewohl sie deutlicher als bei Lophius ent-

wickelt ist, gegenüber der Retraction zurück. Dem Verhalten des letzteren schliesst sich vielleicht am meisten das der Seezunge (Solea vulgaris, Solea Kleinii) an, vergl. Taf. III Fig. 18a und b; Linsenretraction und Pupillencontraction geschehen hier nicht so faul wie bei Lophius, aber — die erstere wenigstens — doch nicht so rasch wie bei vielen anderen Fischen. Durch Abstufung der Reizstärke die Phänomene zu trennen, ist mir hier nicht gelungen, bei derselben Stromstärke treten beide auf, bei derselben Stromstärke werden sie maximal. Zu gleicher Zeit erlosch die Erregbarkeit der Iris und des Linsenretractor.

Anders verhält sich das Auge von Rhomboidichthys podas[1]); hier gelang es leicht, bei einem bestimmten Rollenabstand die Linse zu — sehr rascher und ausgiebiger — Retraction zu bringen, ohne dass eine active Veränderung an der Pupille eintrat; doch bewegte sich die Iris und zwar sonderbarerweise auch retinalwärts, der Linse mit gleicher Geschwindigkeit folgend, also passiv wie von ihr angesaugt. Bei Verringerung des Rollenabstandes contrahirte sich auch die Pupille, erreichte aber stets später das Maximum der Veränderung als die Linsenretraction. Ganz ähnlich verhielt sich das Auge des Steinbutt (Rhombus maximus); vergl. Fig. 19a und b (Taf. III).

---

1) Ich möchte nebenbei auf die grosse Beweglichkeit der Augen dieses Fisches aufmerksam machen. Er kann sie fast wie eine Schnecke einziehen und vorstrecken. In vielen Büchern findet sich die Angabe, dass die starren Augen der Fische nur geringer Bewegungen fähig seien. Dies gilt aber nicht für alle. Es ist in solcher Allgemeinheit nicht richtig, wenn Wiedersheim sagt: „Ihre Beweglichkeit ist nie bedeutend.“ Ganz abgesehen von dem Vermögen der Bulbusretraction, dass sich bei Lophius, Uranoscopus und mehreren Pleuronectiden sehr ausgebildet findet, sind auch Augenbewegungen in unserem Sinne — abgesehen von der letzterwähnten Familie — vorzüglich entwickelt bei Serranus, bei den Syngnathiden, den Blenniiden und besonders bei den Labriden. Die Fische der beiden letztgenannten Arten sehen einen direkt an, ohne sich sonst zu bewegen, ihr Blick ist viel intelligenter als der anderer Fische mit „starren Augen“. Das Blickfeld der Labriden dürfte grösser sein als das des Menschen; ihre Augenmuskeln sind mächtig entwickelt. Auffallend ist bei diesen Fischen der Mangel an Coordination zwischen den Bewegungen beider Augen, wie er bisher meines Wissens bloss dem Chamaeleon und dem Hippocampus zugeschrieben wurde; diese Eigenheit dürfte sich vermuthlich noch bei vielen anderen Fischen finden.

Eine ganz merkwürdige Erscheinung konnte ich an der Iris des Sternguckers (Uranoscopus) bei elektrischer Reizung des Auges wahrnehmen. Aehnlich wie Lophius seine Angel, lässt dieser Fisch ein langes wurmförmiges Bändchen, das am Unterkiefer angewachsen ist, im Wasser spielen und lockt damit Beute an. Die Augen stehen auf dem Scheitel; der freie Linsenrand ist an keiner Stelle sichtbar, sondern von der Iris bedeckt; die Pupille ist nicht rund, sondern besitzt die in Fig. 20c (Taf. III) wiedergegebene, der Pupillenform seines Verwandten, Trachinus (vergl. Fig. 10a (Taf. III), sich annähernde Gestalt; ein gelappter Fortsatz der Iris, das sogenannte Operculum iridis, hängt von oben her in die Pupille herein[1]); ihm gegenüber liegt ein kleiner dreieckiger Fortsatz. Bei der Beobachtung en face ist von einer seitlichen Verschiebung der Linse hier nichts wahrzunehmen; die Pupille contrahirt sich bei genügend starker Reizung bis zum Verschluss.

Wird das Auge in der gewöhnlichen Weise fixirt und im Profil — von rückwärts her — betrachtet, so gewahrt man während der elektrischen Reizung ein Zurückweichen der Linse und eine Verengerung der Pupille, wobei die sich contrahirende Iris immer auf der vorderen Linsenfläche gleitet und diese anscheinend zurückdrängt. Reizt man stärker, so steigern sich die Linsenretraction und die Pupillencontraction; durch Abstufung der Reizstärke beide Phänomene zu trennen, ist mir nicht gelungen. Einen Unterschied in der Latenz, im Ablauf, in der Restitution beider Phänomene vermochte ich nicht zu finden, sie scheinen ganz gleichzeitig zu verlaufen.

Interessant ist nun folgendes: Bei genügend starker Reizung erhebt sich zum Schluss der Pupillencontraction das Operculum und der ihm gegenüberliegende Fortsatz der Iris erigirt sich förmlich[2]), so dass die Linse an-

---

1) Ein solches findet sich zwar andeutungsweise bei vielen Species, sehr ausgebildet aber bei einigen Flachfischen und — hier in besonders vollkommener Entwicklung — bei den Rochen, also bei Fischen, deren Augen mehr weniger nach oben gerichtet und — da die Beleuchtung im Wasser durch Oberlicht erfolgt — stärkerem Lichte ausgesetzt sind, als die seitlich stehenden Augen der gewöhnlichen Fische. Nur bei den Rochen verschliesst das Operculum im gewöhnlichen Tageslicht die Pupille.

2) Der Ausdruck bezieht sich nur auf das äusserliche der Erscheinung; um Circulationsvorgänge kann es sich hier nicht handeln,

scheinend von der Hornhaut abgestemmt wird. In dieser Stellung können Iris und Linse durch tetanisirende Ströme minutenlang erhalten werden. Nach dem Aussetzen der Reizung legen sich das Operculum und der erwähnte — im erigirten Zustande einigermassen an den „Finger“ des Elephantenrüssels erinnernde — Fortsatz um und der Linse wieder an, die Pupille erweitert sich, die Linse tritt langsam vor.

Ich versuchte hier zu entscheiden, ob die Linse allein durch den Retractor retinalwärts gezogen oder etwa auch durch die Iris zurückgedrängt werden könne; ich eröffnete das Auge von rückwärts her und entfernte von den Augenhäuten und dem Glaskörper so viel, dass die hintere Linsenfläche blossgelegt wurde; diese beobachtete ich im Profil mit Hülfe einer Lupe. Während der Reizung trat der hintere Linsenpol deutlich retinalwärts. Ich durchschnitt nun sowohl das Ligamentum suspensorium, als den Retractor lentis, entfernte die Linse aus dem Auge, um mich von dem Effekte der Durchschneidung zu überzeugen — das Auge ist sehr klein — und legte sie wieder an ihre Stelle zurück. Auch jetzt noch hatte, wie ich mich an zwei Augen überzeugte, die eigenartige, durch elektrische Reizung hervorgerufene, Contraction der Iris ein Zurücktreten der Linse zur Folge.

Somit lässt sich behaupten, dass im Auge von Uranoscopus der Iris mit eine Rolle bei der Linsenbewegung zufallen kann; ob dies bei der spontanen Accommodation des Thieres geschieht, ist eine andere Frage. Beim Menschen und vielleicht bei den meisten Landwirbelthieren geht mit der Accommodation eine Contraction der Pupille einher; ob dies bei den Fischen ebenso ist, weiss ich nicht. Bei jenen begleitet Pupillenverengerung die Einstellung des Auges für die Nähe, hier findet aber eine active Einstellung für die Ferne statt, man könnte vielleicht erwarten, dass, wenn überhaupt Pupillenbewegung die Accommoda-

---

da dieselbe Irisbewegung am lebenden Thier wie am enucleirten Auge beobachtet wurde. Ich vermuthete anfangs, dass im letzteren Falle die hier sehr stark entwickelte Chorioidealdrüse als Reservoir für Veränderungen der Irisblutfüllung dienen könne; ich entfernte sie, das Phaenomen blieb unverändert. Es wäre vielleicht interessant, die Vertheilung der Musculatur in der Iris von Uranoscopus zu studiren.

tion begleitet, hier umgekehrt mit der Accommodation eine Erweiterung der Pupille eintritt. In diesem Falle käme, wie bei den meisten übrigen Fischen, so auch bei den mit der Fähigkeit kräftiger Pupillencontraction begabten Pediculaten, Pleuronectiden und Trachiniden der Iris keine Rolle beim Accommodationsakt zu; andererseits müsste allerdings — insbesondere nach dem Verhalten des Operculum und seines Gegenübers bei Uranoscopus — erwartet werden, dass bei kräftiger Contraction der Iris, also etwa in grellem Licht, die Linse auch ohne Innervation des Retractor lentis der Netzhaut genähert würde.

IX. Die Wanderung des Netzhautbildes.

Bisher war bloss von der Bedeutung der Linsenretraction für die Einstellung die Rede. Ich hatte gezeigt, dass bei elektrischer Reizung des Fischauges eine Verminderung der mit dem Augenspiegel zu beobachtenden Refraction eintritt, mithin die Bedingungen für eine negative Accommodation gegeben sein müssen. Die durch den Retractor lentis bewirkte Annäherung der Linse an die Netzhaut erklärt jene Accommodation. Aber für das Sehen der Fische kann der Umstand, dass die Linse ihren Ort verändert, noch in anderer Weise von Bedeutung sein.

Wird das menschliche Auge, in welchem Linsencentrum und Fovea einen nahezu unveränderlichen Abstand haben, auf einen früher unscharf gesehenen Gegenstand eingestellt, so wird — von Bewegungen des ganzen Auges abgesehen — auf derselben Stelle der Netzhaut, was früher Mittelpunkt eines Zerstreuungskreises war, bei der Accommodation zum scharf gesehenen Punkte. Eine Wanderung des Bildes eines äusseren Objectes auf der Netzhaut ist mit der Accommodation an sich nicht gegeben[1]), sondern kann

---

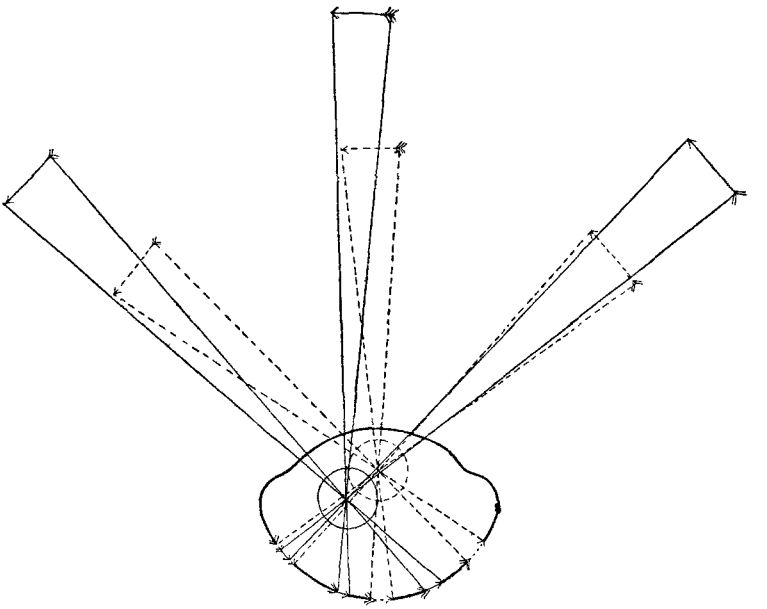
1) Oder wenn für die Peripherie des Gesichtsfeldes vorhanden, doch jedenfalls äusserst gering. Die Unterschiede der Orte des 1. und 2. Knotenpunktes im menschlichen Auge bei Einstellung für Ferne und Nähe betragen nach Helmholtz 0,402 und 0,356 mm.

Tscherning hat gefunden „que le cristallin subissait vers la fin de l'accommodation un deplacement en bas“ und meint: „Le deplacement avait pour effet de centrer l'oeil.“

nur durch Bewegung des ganzen Auges bewirkt werden. Etwas anders liegen die Dinge im Fischauge. Naturgemäss muss hier mit der relativ bedeutenden Ortsveränderung der Linse, resp. ihres Mittelpunktes, fast das ganze Netzhautbild der Aussenwelt eine Verschiebung erfahren. Nur für eine Stelle der Netzhaut werden ähnliche Verhältnisse wie für die Fovea des menschlichen Auges bestehen.

Denkt man sich den Ort des Linsencentrums, welcher dem Ruhezustande entspricht und den Ort des Linsencentrums bei maximaler Retraction durch eine Gerade verbunden und diese bis zur Netzhaut verlängert, so wird von ihr jene Stelle getroffen. Vergl. die grob-schematische Skizze Fig. 32.

Fig. 32.



Da die Retraction der Linse fast stets in mehr oder weniger temporaler Richtung stattfindet, so muss jene Stelle im allgemeinen ziemlich peripher in der Nähe der Eintrittsstelle des Sehnerven, vielleicht noch temporalwärts von dieser — wie beim Menschen — liegen.

Meine Deduktion von der Wanderung des Netzhaut-

bildes habe ich durch folgende Versuche bestätigt: 1. Bei einer Reihe von Fischen ist es möglich, durch die oben beschriebene, nasalwärts von der Linse gelegene aphakische Sichel der Pupille in das Innere des Auges zu sehen. Stellt man ein Licht vor dem Auge in einiger Entfernung, am besten temporalwärts auf, so kann man häufig von vorneher das Bildchen der Flamme auf der Netzhaut wahrnehmen; statt einer Flamme kann man auch einen Spiegel verwenden, mit dem man in passender Weise Licht ins Auge wirft. (Dies ist nebenbei bemerkt eine der bequemsten Methoden zur Demonstration des **umgekehrten Netzhautbildes** der Wirbelthiere; der Bau des Fischauges gestattet am intacten Thiere ohne jede Operation das Netzhautbild eines äusseren Objectes von vorneher zur Anschauung zu bringen.)

Bei elektrischer Reizung des frischenucleirten, von allen äusseren Muskeln sorgfältig befreiten, unter Wasser[1]) gebrachten Auges sieht man nun zugleich mit der Retraction der Linse eine deutliche Verschiebung des Netzhautbildes eintreten; sie erfolgt, wenn die Flamme temporalwärts aufgestellt war — vergl. Fig. 33 — im gleichen Sinne wie die Linsenbewegung.

Fig. 33.

Linkes Auge von Serranus cabrilla; a im Ruhezustande, b während elektrischer Reizung; durch den aphakischen Theil der Pupille ist das verkehrte Netzhautbildchen einer rechts (temporalwärts) vor dem Auge angebrachten Gasflamme zu sehen.

Der Versuch gelingt am schönsten bei Serranus (scriba,

---

1) In Luft ist das Fischauge, wie ich oben gezeigt habe, hochgradig kurzsichtig; man müsste aber — und dies ist unbequem — ein Licht unmittelbar vor dem Auge anbringen, um ein — nicht zu kleines — scharfes Bild auf der Netzhaut zu erhalten; versenkt man das Auge in Wasser, so fällt auch die durch den Astigmatismus der Hornhaut bewirkte Verzerrung des Bildes weg.

cabrilla, gigas), weil hier, wie ich bereits oben bemerkt habe, der linsenfreie Theil der Pupille besonders gross ist.

2. Die Wanderung des Netzhautbildchens von rückwärts her zu beobachten, eignet sich am besten das Auge von Scorpaena. Hier ist am unversehrten Thiere unter Umständen das Netzhautbildchen auch von rückwärts her ohne weiteres sichtbar, weil sowohl die Augenwandungen als auch die übrigen Gewebe des Thieres sehr lichtdurchlässig sind. Das auf der Haut über dem Auge sich als heller Fleck abzeichnende Bildchen einer etwas unterhalb des Auges angebrachten Flamme ist aber natürlich ganz unscharf; man muss daher die Retina blosslegen. Bei Scorpaena gelingt es besonders gut, die hier nicht sehr starke Sclera und die — intensiv gelb pigmentirte — Chorioidea zu entfernen, ebenso die Chorioidealdrüse, ohne die Netzhaut zu verletzen. Die Pigmentarmuth der äussersten Netzhautschicht ermöglicht eine besonders bequeme Beobachtung des Netzhautbildchens.

Wird das in der geschilderten Weise präparirte Auge in ein kleines Gefäss mit planparallelen Glaswänden gesetzt und mit Elektroden armirt, vor dem Auge eine Flamme angebracht oder mit einem Spiegel Licht gegen dasselbe geworfen, so sieht man bei Beobachtung von rückwärts her wie bei elektrischer Reizung des Auges, während die Linse sich retrahirt, das Bildchen der Flamme auf der Netzhaut nicht nur seine Schärfe, sondern auch seinen Ort verändert; das Auge selbst, dessen Muskeln sorgfältig abpräparirt sind, weist dabei keine Spur von Bewegung auf. War die Flamme annähernd in die Richtung der Linsenretraction gebracht, so wurde die bei der Reizung eintretende Verschiebung des Netzhautbildes — die schon bei mittelgrossen Augen unter Umständen über 1 mm betragen kann — ein Minimum.

Auch an den Augen von Blennius, Capros und anderen Fischen habe ich den Versuch mit demselben Erfolg angestellt.

3. Endlich kann man sich von der Wanderung des Netzhautbildes auch leicht mit dem Augenspiegel überzeugen. Verschiebt sich bei der Accommodation des Fischauges das Bild eines äusseren Objectes auf der Netzhaut, so muss umgekehrt, wenn man mit dem Augenspiegel den Fundus beobachtet, das Bild des Augenhintergrundes durch die Linsenbewegung eine —

scheinbare — Ortsveränderung erfahren[1]). Ich habe dies bei einer Reihe von Fischen, z. B. bei Labrus, Pagellus, Sargus, Scorpaena, Blennius mit Leichtigkeit bestätigen können. Das frischenucleirte von den äusseren Muskeln befreite Auge wird am zweckmässigsten in das vorerwähnte Glasgefäss gesetzt, neben und etwas hinter demselben ist eine Lichtquelle angebracht. Mit dem Augenspiegel wird der Fundus erleuchtet; bei elektrischer Reizung verschiebt sich — unter gleichzeitiger Veränderung seiner Schärfe und Vergrösserung — das Bild des Augenhintergrundes, wie wenn eine Augenbewegung stattgefunden hätte. Das Auge von Scorpaena ist auch zu diesen Versuchen besonders geeignet; bei Durchleuchtung des Auges kann man auch ohne Augenspiegel unter Umständen das Bild des Fundus deutlich wahrnehmen und seine Verschiebung bei der Linsenretraction beobachten. Mitunter ist die Aenderung der Einstellung lästig; man wartet dann zweckmässig, bis einige Zeit nach der Enucleation oder nach wiederholten Reizungen der Accommodationsmuskel soweit abgestorben oder ermüdet ist, dass nur mehr eine geringe Verschiebung — mit der wie es scheint die Accommodationsbewegung der Linse oft eingeleitet wird — keine nennenswerthe Retraction mehr stattfindet. Eine Wanderung des Fundusbildes kann dann oft ohne wesentliche Aenderung der Einstellung beobachtet werden.

Welche Bedeutung hat nun die Wanderung des Netzhautbildes für das Sehen der Fische? Die Beantwortung dieser Frage stösst auf einige Schwierigkeiten, weil wir über das Vorkommen und die eventuelle Ausdehnung etwaiger Stellen deutlichsten Sehens bei den Fischen nur sehr mangelhaft unterrichtet sind. Existirt eine solche Stelle[2]), so ist mit einiger Wahrscheinlichkeit anzunehmen,

---

1) Sie war mir, worauf ich erst nachträglich wieder aufmerksam wurde schon bei den ersten Versuchen über Accommodation aufgefallen. (Vergl. oben p. 43.)

2) Nach Carrière und Kraüse besitzt das Seepferdchen eine Fovea, in welcher die Zapfen und Pigmentzellen sehr lang sind; die Stäbchen und Stäbchenkörner können fehlen. Eine genaue Angabe über die Lage dieser Fovea findet sich nicht; sie ist auch aus der Abbildung des Durchschnittes durch das — sehr deformirte — Auge nicht klar ersichtlich.

Dass viele Fische eine Stelle deutlichsten Sehens besitzen, scheint mir nach der Art und Weise, wie sie den Beobachter oder Bewohner ihres Bassins „fixiren“, nicht ganz unwahrscheinlich; besonders auffallend ist dies bei

dass sie in der Verlängerung der Retractionsrichtung der Linse liegen würde; (es wäre vielleicht eine nicht undankbare Aufgabe, bei einigen Species wie Labrus, Blennius, Rhomboidichthys, Lophius dort nach ihr zu suchen). Die jene hypothetische Stelle der Netzhaut mit dem Linsencentrum verbindende Gerade wäre die Gesichtslinie des Fischauges, sie würde einen mehr weniger grossen Winkel mit der Augenachse bilden. Mit Hülfe von Augenbewegungen würde der Fisch äussere verschieden distante Objecte derart fixiren, dass ihr Bild stets auf die Stelle deutlichsten Sehens fiele. Die Wanderung der Bilder äusserer Objecte auf der übrigen Netzhaut könnte unter Umständen bei der Wahrnehmung von Bewegungen in der Peripherie des Gesichtsfeldes von Bedeutung sein.

Gesetzt es gäbe keine eng umschriebene Stelle deutlichsten Sehens und die Netzhaut der Thiere wäre in grösserer Ausdehnung zu distinkter Wahrnehmung befähigt — wie es mir nach dem Augenspiegelbilde bei Scorpaena wahrscheinlich ist — wäre mit anderen Worten mehr als eine Gesichtslinie vorhanden, so müsste im allgemeinen der Fisch, wenn er bald auf nähere, bald auf fernere Gegenstände accommodirte, das Bild derselben auf seiner Netzhaut wandern lassen. Käme es aber darauf an, auch in anderer Richtung als in der der Linsenretraction nähere oder fernere Objecte mit stets denselben Netzhautelementen zu verfolgen, so müsste der Fisch beim Accommodiren zugleich sein Auge so drehen, dass die durch die Bewegung der Linse hervorgerufene Wanderung des Bildes auf der Netzhaut compensirt würde. Im anderen Falle hätte die Wanderung der Bilder ruhender aber verschieden distanter Objecte auf der Netzhaut bei physiologischer Gleichwerthigkeit eines grossen Theiles derselben nicht viel auf sich. Der Mensch pflegt zwar eine Wanderung des Netzhautbildes, welche eintritt, ohne dass er den Bulbus mit seinen Augenmuskeln bewegt, oft auf Bewegung von in Wirklichkeit ruhenden äusseren Objecten zu beziehen. Solche Täuschung würde

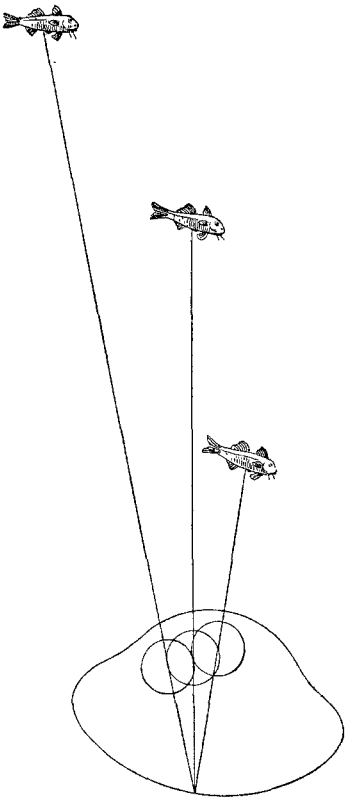
---

den Labriden, vielen Pleuronectiden, z. B. Rhomboidichthys, bei Blennius, Hippocampus u. a. Der Unterschied im Blick dieser Thiere gegenüber dem starren Glotzen anderer Knochenfische, auch der Haie und Rochen, ist auffallend. (Damit will ich aber den letzteren noch nicht a priori eine Fovea absprechen.)

beim Fisch nicht in Betracht kommen, wenn er gewohnt ist, verschieden distante Objecte mit verschiedenen Netzhautstellen zu sehen.

Es könnte in Anbetracht der zumeist stark seitlichen Stellung der Augen und der totalen Sehnervenkreuzung[1]) zweifelhaft sein, ob die grosse Mehrzahl der Fische ein grösseres gemeinsames Gesichtsfeld, ein binoculäres Sehen hat. Bei ihrem monoculären Sehen dürften zur Tiefenwahrnehmung die Accommodationsgefühle[2]) wesentlich beitragen. Den Fischen könnte aber zur sicheren Abschätzung der Entfernungen ausser den vom Retractor lentis gelieferten Innervationsgefühlen die Grösse der Verschiebung des Bildes äusserer Objecte über die Netzhaut als Anhaltspunkt dienen.

Fig. 34.



Es ist endlich nicht ausgeschlossen, dass die Linsenbewegung, abgesehen von ihrer Bedeutung für die Einstellung einen Vortheil für die Fische hat, den ich aber — schon in Anbetracht unserer mangelhaften Kenntniss über das Vorkommen einer Fovea — nur mit aller Reserve hinstellen will. So wie wir mit Bewegungen des Auges äussere Objecte optisch abtasten, so könnte dies unter Umständen der Fisch bei ruhigem Auge mit Bewegungen der Linse thun.

1) Lophius z. B. kann die Augen so stark nach vorne drehen, dass in ihrer Stellung kein Hinderniss für binoculares Sehen bestehen müsste.

2) Dass der Retractor lentis fein abgestufter Leistungen fähig ist, geht schon daraus mit einiger Wahrscheinlichkeit hervor, dass er — ähnlich wie die Augenmuskeln — sehr reichlich mit Nerven versorgt ist; man vergleiche das Verhältniss zwischen Muskel und Nerv in der Abbildung Fig. 20.

Er könnte z. B. — vergl. die (selbstverständlich in übertriebenen Verhältnissen) gezeichnete Fig. 34 — in bestimmter Richtung sich ihm nähernde oder von ihm sich entfernende Objecte mit dem Blick verfolgen, ohne das Auge zu bewegen, eine Fähigkeit, die bei den der Umgebung oft so ausserordentlich angepassten Thiere — welche fast durchweg vom Raube leben und fast stets in Gefahr sind, selbst Beute zu werden — wohl einen Sinn hätte, da sie sich Feinden und Opfern unter Umständen nicht einmal durch Bewegungen des Auges verrathen würden, ohne sie doch aus dem Auge zu lassen.

X. Ueber die Wirkung des Atropins auf die Accommodation des Fischauges.

Ich hatte, wie oben beschrieben wurde, eine grosse Anzahl der zu den Refractionsbestimmungen verwendeten Fische atropinisirt, in der Erwartung, vielleicht die Accommodation der Thiere, die damals allerdings noch ganz hypothetisch war, auszuschalten und so die Refraction im Ruhezustande des Auges zu ermitteln. Nachdem ich einmal die Accommodation gefunden hatte und genau kannte, lag es nahe, einige Versuche mit Atropin anzustellen, um die Wirkung desselben auf die Accommodation eingehend zu prüfen. Es hat sich hierbei das Resultat ergeben, dass das Atropin bei den Fischen — genau so wie beim Menschen — die Accommodation vollständig lähmt, wiewohl hier so ganz verschiedene und in verschiedenem Sinne wirkende Apparate in Betracht kommen; meine Erwartung, das atropinisirte Fischauge im Ruhezustande zu finden, hat sich vollauf bestätigt.

Ich brachte den Fischen das Gift durch subcutane oder intramusculäre Injection einer 1 % Lösung von Atrop. sulf. unter die Haut des Bauches oder in die Muskeln in der Gegend der Seitenlinie bei. Aufträufeln von Atropin auf das Auge ist hier unthunlich. Einige kleine Exemplare setzte ich in ein Gefäss mit Wasser, welchem einige Cm^3 der 1 % Lösung beigefügt wurden.

Die verschiedenen Species und auch verschiedene Individuen derselben Species sind verschieden empfindlich gegen das Gift, in allen Fällen aber bewirkte das Atropin — in genügender Dosis

— den vollständigen Ausfall der sonst bei elektrischer Reizung zu beobachtenden accommodativen Veränderungen. Weder veränderte sich bei elektrischer Reizung des Auges die Refraction an den mit Atropin vergifteten Thieren, noch konnte eine Spur der seitlichen Verschiebung der Linse oder ihrer Retraction wahrgenommen werden.

Als Paradigmen gebe ich die folgenden Protokolle:

Blennius ocellaris 12 cm lang. Linkes Auge enucleirt. Hierauf Injection von 5 ccm Atrop. sulf. (1 % Lösung) subcutan. Nach 10 Minuten decapitirt, rechtes Auge enucleirt; Reizung bewirkt keine Bewegung der Linse, sehr geringe Contraction der Iris; Retractor blossgelegt, contrahirt sich nicht bei elektrischer Reizung. Am linken (Control)-Auge Retraction der Linse und Contraction des Accommodationsmuskels noch nach 20 Minuten.

Crenilabrus pavo 20 cm lang, 5 ccm subcutan. Nach 15 Minuten decapitirt. Keine Linsenretraction, keine Bewegung des Retractor.

Lophius piscatorius 25 cm lang, 5 ccm subcutan. Nach 30 Minuten getödtet. Keine Linsenretraction, keine Pupillenverengerung.

Solea vulgaris 30 cm lang. Linkes Auge enucleirt. 5 ccm subcutan. Nach 30 Minuten rechtes Auge enucleirt, Reizung negativ, auch hinsichtlich der Pupille; das linke Auge zeigt Retraction der Linse.

Rhombus maximus 30 cm lang, 10 ccm subcutan. Nach 24 Stunden das linke Auge enucleirt. Reizung negativ. 8 Tage später das rechte Auge dem — vollständig wohl aussehenden — Thiere enucleirt. Spur der gewöhnlichen Linsenretraction bei elektrischer Reizung. Kräftige Linsenbewegung bei einem Controlthier.

Balistes capriscus 22 cm lang, 10 ccm subcutan. Nach 2 Tagen beide Augen enucleirt. Reizung bewirkt weder Linsenbewegung noch Contraction des blossgelegten Retractor wie bei einem Controlthier, noch Pupillenverengerung.

Hippocampus in eine Schale mit Wasser gesetzt, welchem 15 ccm einer 1 % Lösung von Atrop. sulf. hinzugefügt wurden. Das Thier ist $1^1/_2$ Stunden später noch munter; Decapitation. An den enucleirten Augen keine Spur der Linsenretraction bei elektrischer Reizung. An den Augen eines Controlthieres, welches zur selben Zeit in ein gleich grosses Wasserquantum ohne Atropinzusatz gebracht worden war, das gewöhnliche Phaenomen der Linsenbewegung mit Leichtigkeit zu constatiren.

Das Atropin vernichtet also die Erregbarkeit des Retractor lentis gegen elektrische Reize. Bei der gewöhnlichen Art der Reizung des enucleirten Auges gehen zahlreiche

Stromschleifen durch die im Proc. falciformis verlaufenden Nerven des Accommodationsmuskels; ich versuchte zu entscheiden, ob etwa bloss die Nervenendigungen oder der Muskel selbst durch das Atropin gelähmt werden; mit den Nadelelektroden berührte ich den freipräparirten Retractor: er zeigte keine Spur von Contraction, während an den Augen unvergifteter Thiere diese Art der Reizung ebenso wirksam ist wie die gewöhnliche. Das Atropin lähmt hier wahrscheinlich auch den glatten Muskel selbst[1]).

Auch ohne Einbringen des Giftes in den Kreislauf kann die lähmende Wirkung des Atropins auf den Retractor lentis erwiesen werden, nämlich durch direktes Auftropfen der Lösung auf den am eröffneten Auge blossgelegten Muskel. Einige Protokolle als Paradigmen:

Pagellus mormyrus 11 cm lang, decapitirt. Linkes Auge enucleirt, Hornhaut und Iris abgetragen, so dass der Retractor lentis blossliegt. Reizung bei R.-Abst. 20, starke Contraction und Linsenverschiebung. 3 Tropfen einer 1 % Lösung von Atrop. sulf. auf das Auge geträufelt. Schon nach 1 Minute ist die Contraction bei elektrischer Reizung sehr schwach, in der 3. Minute kaum merklich, nach 4 Minuten ist die Erregbarkeit des Retractor erloschen; auch stärkere Ströme unwirksam. An dem rechten (Control)-Auge ist der Retractor noch 20 Minuten nach der Enucleation reizbar.

Sargus Salviani 20 cm lang, decapitirt, linkes Auge enucleirt. Retractor blossgelegt, Reizung, starke Contraction. 3 Tropfen Atropin aufgeträufelt, nach 5 Minuten Reizung negativ. Controlauge nach 15 Minuten reizbar.

Scorpaena ustulata 25 cm lang, linkes Auge enucleirt, von hinten her eröffnet. Retractor blossgelegt, Reizung R.-Abst. 15, starke Contraction; 3 Tropfen einer 1 % Lösung von Atrop. sulf. aufgeträufelt. Nach 8 Minuten bewirkt die Reizung eine noch eben merkliche Spur von Contraction, nach 10 Minuten ist die Erregbarkeit des Retractor vollständig erloschen; an dem gleichzeitig enucleirten Auge einer anderen Scorpaena ustulata ist der Retractor noch 35 Minuten nach der Enucleation erregbar.

Die Möglichkeit, die Accommodation des Fischauges vollständig und sicher zu lähmen, machte mir das Atropin zu einem sehr werthvollen Hülfsmittel meiner Untersuchungen. Ich muss hier zu den früheren Bemerkungen über die Refraction in Wasser

---

1) Es wäre nicht uninteressant hierüber genauere Versuche nach Durchschneidung und Degeneration der Retractornerven (wahrscheinlich Oculomotoriusäste) anzustellen.

einiges nachtragen. Ich habe bereits oben erwähnt, dass sich bei manchen Fischen während der ophthalmoskopischen Untersuchung die Einstellung änderte. Es war mir bald klar, dass die Thiere — gerade so wie viele Menschen — während der Augenspiegeluntersuchung accommodirten. Dadurch erhielt ich anfangs die widersprechendsten Resultate hinsichtlich der Refraction. Gerade Scorpaena und Blennius, bei denen es mir — wegen der Möglichkeit, die wahre Refraction ohne Berechnung zu bestimmen — besonders wichtig war die Einstellung des Ruhezustandes zu kennen, wiesen bald leichte Myopie, bald Emmetropie, oft sogar Hypermetropie auf — am seltensten Myopie von mehr als 1—3 Dioptrien. Dabei wechselte oft an denselben Stellen des Fundus innerhalb kurzer Zeit die Refraction. Aehnlich verhielten sich die Labriden, viele Spariden und Capros. Erst als ich atropinisirte Thiere untersuchte, erhielt ich den regelmässigen Befund der Myopie[1]).

Von dem lähmenden Einfluss des Atropins auf die Accommodation kann man sich nun sehr hübsch durch folgenden Versuch überzeugen. Man setzt eine in der gewöhnlichen Weise gefesselte Scorpaena oder einen Blennius in das zur Refractionsbestimmung verwandte Gefäss und schaut mit dem Spiegel in das Auge. Man findet z. B. 0,5 DM.; untersucht man skiaskopisch, so wandert der Schatten in der Pupille gleichsinnig der Spiegeldrehung. Nun injicirt man dem Thiere etwas von der Atropinlösung unter die lockere Bauchhaut: In wenigen Minuten ändert sich die Refraction derart, dass man jetzt an derselben Stelle der Netzhaut Myopie von mehreren Dioptrien, mit dem Planspiegel ungleichsinnige Schattenwanderung in der Pupille findet. Diese Refraction bleibt dann durch längere Zeit — nach einer grösseren Dosis, wenn das Thier nicht stirbt, oft eine Woche lang — con-

1) Aehnlich findet man bei atropinisirten — nicht myopischen — Menschen fast regelmässig Hm. Falkenburg u. Straub fanden bei 41 Emmetropen nach Atropinisirung eine Abnahme der Refraction um 1—1,5 D.

Nachzutragen ist noch, dass die Myopie bei vielen Fischen in den centralen Theilen des Fundus am höchsten befunden wurde. Für die sehr peripheren Partien der Netzhaut kann sie geringer sein (1—2 D), ja bei Blennius fand ich einmal bei einer Myopie der centralen Stellen von 6 D in der äussersten Peripherie (nasalwärts) eine Hm von 2 D. Das Abnehmen der Refraction gegen die Peripherie ist auch skiaskopisch leicht wahrnehmbar.

stant[1]), ebenso wie die Unerregbarkeit des Linsenretractors gegen elektrische Reizung.

Accommodirt der Fisch, so muss die Linse sich der Netzhaut nähern, also einen gewissen Abstand von der Hornhaut haben, welche sie im Ruhezustande berührt. Man kann daher — was bei anderen Thieren, auch beim Menschen nicht so leicht möglich ist — dem Fisch, wenn man ihn z. B. von oben oder von vorne her betrachtet, ohne weiteres ansehen, ob er accommodirt. Die aus ihrem Behälter genommenen, in Handtuch und Blei gewickelten und in ein kleines Bassin gelegten, augenscheinlich geängsteten Thiere accommodiren sehr häufig, wie man an der Stellung der Linse erkennen kann. Die Injection einer geringen Dosis Atropin hebt die spontane Linsenbewegung der Fische so sicher auf wie die Decapitation oder die Enucleation des Auges. Hatte die Linse unmittelbar vor der Injection einen gewissen Abstand von der Hornhaut, oder war bei Betrachtung des Auges en face der temporale Linsenrand unter dem temporalen Pupillenrand verborgen oder ihm sehr nahe, so kehrt wenige Minuten nach der Injection die Linse in ihre Ruhe- oder Cadaverstellung, wie dies z. B. Fig. 35 illustrirt. Ich habe

Fig. 35.

Rechtes Auge von Capros aper (a) vor und (b) nach intramuskulärer Atropininjection.

Nach dem lebenden gefesselten Thier. Die Pupillenweite unverändert.

1) Es scheint mir zwar nicht wahrscheinlich, aber doch nicht absolut ausgeschlossen, dass das Atropin noch in anderer Weise als durch die Lähmung des Linsenretractors — etwa durch Beeinflussung der Chorioidealdrüse oder etwaiger glatter Chorioidealmuskeln etc. auf die Refraction wirkt und dass hier noch gewisse Factoren zur Regulirung der Einstellung gegeben sind. Einige Beobachtungen an den Augen atropinisirter Scorpaenen schienen mir in dieser Hinsicht bemerkenswerth. Ich konnte zur Klärung dieser Fragen begonnene Versuche während meines Aufenthaltes in Neapel nicht zu Ende führen. An der Bedeutung der Linsenretraction für die Einstellung des Fischauges würde, wie ich bereits oben bemerkt habe, durch die Auffindung noch anderer accommodativer Einrichtungen nichts geändert werden.

dergleichen bei Serranus, Labrax, Capros, Blennius, Labrus constatirt.

Vielleicht erklärt auch die spontane Accommodation der Fische, warum Hirschberg bei zwei Hechten nur ganz schwache Myopie fand. Auch bei den von mir untersuchten Fischen möchte ich, soweit sie nicht atropinisirt waren, die Myopie eher etwas höher schätzen, als oben angegeben wurde.

Unter einer grossen Zahl von Scorpaenen fand ich bei zweien hochgradige Hypermetropie von 8 und 10 Dioptrien. Besah man das Auge im Profil, so zeigte sich ein grosser Abstand zwischen Linse und Hornhaut, grösser als sonst bei maximaler Reizung. Die Refraction und die Stellung der Linse änderten sich nicht nach Atropininjection, die Augen schienen sonst vollständig normal. Es kommen also auch bei den Fischen Refractionsanomalien vor.

Durch subcutane Injection von Pilocarpin. muriatic. Accommodationskrampf zu erzeugen ist mir bei Scorpaenen — andere Fische habe ich in dieser Hinsicht nicht untersucht — nie gelungen.

XI. Die Accommodationsbreite.

Einige Angaben über die Accommodationsbreite habe ich bereits im IV. Abschnitt in den Protokollen der Versuche gegeben, in denen die Distanz des Fernpunktes in Luft im Ruhezustande und während elektrischer Reizung bestimmt wurde. In diesen Versuchen wurde Verminderung der Myopie um höchstens 10, 12, 15 D gefunden; eine nennenswerthe Correctur der excessiven Myopie, welche dem Fischauge in Luft zukommt, kann demnach — wie auch nicht anders zu erwarten war — durch die Linsenretraction nicht bewirkt werden.

Von grösserem Interesse ist die Bestimmung der Accommodationsbreite für das unter Wasser getauchte Auge; einige in dieser Hinsicht am enucleirten Auge ermittelte Daten finden sich ebenfalls im IV. Abschnitte (p. 44). Ich will sie noch durch die folgenden vermehren:

Labrus festivus 27 cm lang, linkes Auge enucleirt. Glaskästchen. Pigmentfleck am oberen Papillenrand: + 2 D; während der Reizung: + 7 D.

Pagellus erythrinus 25 cm lang, linkes Auge enucleirt. Glaskästchen. Papillenstrahlung: —0,5 D; während der Reizung + 5 D.

Crachurus trachurus 22 cm lang, rechtes Auge enucleirt. Glaskästchen. Pigment am Uebergang der Papille in den Proc. falc.: + 2,5 D während der Reizung + 6,5 D.

Lophius piscatorius 30 cm lang, linkes Auge enucleirt. Glaskästchen. Papillenstrahlung + 3 D, während der Reizung + 7,5 D.

Capros aper 12 cm lang, rechtes Auge enucleirt. Glaskästchen. Netzhaut — 4 D, während der Reizung E.

Bei den durchleuchtbaren Augen von Scorpaena und Blennius ist die Bestimmung der Refractionsbreite bequemer, wenn man das frisch enucleirte Auge in der oben geschilderten Weise auf den Objecttisch der Präparirlupe bringt, von unten beleuchtet und von oben mit dem Augenspiegel — der hier nur zum Vorsetzen verschiedener Linsen, nicht zur Beleuchtung dient — hineinsieht; legt man auf die Hornhaut ein Deckglasstückchen, so bekommt man anfangs zwar annähernd die dem Ruhezustande des Auges im Wasser entsprechende Refraction, aber bald wird — besonders wenn es klein ist und wenig resistente Wandungen hat — das Auge etwas abgeplattet, die ursprünglich gefundene Myopie nimmt mehr und mehr ab und macht schliesslich sogar der Hypermetropie Platz, indem die Netzhaut der Linse etwas genähert wird; dies verwirrt das Resultat der Reizung.

Ich suchte daher auch hier das Auflegen des Deckgläschens zu vermeiden, indem ich das frisch enucleirte Auge in einen der oben erwähnten Korkringe brachte, der höher sein musste als das Auge dick war. Der kleine Hohlcylinder wurde mit Wasser gefüllt und mit einem Deckgläschen abgeschlossen. So bekam ich die Refraction in Wasser, ohne dass auf das im Wasser nahezu schwebende Auge ein nennenswerther Druck ausgeübt wird. Durch den Kork werden an diametral gegenüber liegenden Stellen Elektrodennadeln in horizontaler Richtung durchgesteckt, so dass ihre Spitzen, in das Wasser tauchend, das Auge berühren.

So fand ich bei Scorpaena und Blennius Veränderungen der Einstellungen von —4——12 bis auf —1,0 ja sogar leichte Hm. Es ist zweckmässig, den Spiegel schon vor der Reizung auf die zu erwartende Refraction, z. B. 0 einzustellen; man sieht dann vor der Reizung den Fundus ganz unscharf, mit der Reizung tritt er scharf hervor, durch kleine Aenderungen in den corrigirenden Gläsern ist das Maximum der Deutlichkeit leicht zu finden.

Ich habe endlich an einigen lebenden Fischen die Accommodationsbreite zu bestimmen gesucht. Die elektrische Reizung des Accommodationsmuskels an dem unter Wasser befindlichen Thiere mit Hülfe von an die Conjunctiva eingestochenen Elektrodennadeln stösst auf grosse Schwierigkeiten, da auch sehr starke Ströme — ich verwandte mitunter 4 Tauchbatterien im primären Kreise — durch die vielen Stromschleifen im Wasser unwirksam werden. Eine Nadelelektrode in das Auge einstossen wollte ich nicht, um die natürlichen Refractionsverhältnisse nicht zu verändern. In Süsswasser gehen die Fische sehr rasch zu Grunde und es kam mir gerade darauf an, das Maximum der Leistung des Retractor lentis kennen zu lernen.

Immerhin verfüge ich über eine Reihe positiver Versuche und gebe die folgenden Protokolle als Paradigmen:

Labrus turdus 27,5 cm lang, durch einen stumpfen Schlag auf den Kopf betäubt, leicht curarisirt, geathmet.

Zwei Nadelelektroden am nasalen und temporalen Hornhautrand in die Conjunctiva gestochen.

L.A.: Skiaskopisch: Schattenwanderung aus 20 cm Entfernung beobachtet ungleichsinnig; während der Reizung gleichsinnig. Refr. an dem bräunlichen Pigment in der Tiefe des Sehnerven — 10 D, während der Reizung 0.

R.A.: Skiaskopisch dasselbe. Refr. an einem feinen Gefäss der Papille — 5 D, während der Reizung + 3,5 D.

Chrysophrys aurata 33 cm lang, stark curarisirt.

L.A.: Refr. an der Papillenstrahlung + 2,5 D; während der Reizung + 6,5 D.

Peristedion cataphractum 25 cm lang, curarisirt.

L.A.: Refr. an der Papillenstrahlung während der Reizung + 6 D; nach Atropinisirung + 2 D.

Scorpaena scrofa 22 cm lang, künstlich geathmet.

L.A: Refr. der Zapfenmosaik nach vorne von der Papille während der einmaligen Reizung + 1 D. Nach Atropinisirung — 6 D; ebenso einige Tage später.

Blennius ocellaris 15 cm lang, curarisirt, künstlich geathmet.

R.A.: Refr. der Zapfenmosaik in der Umgebung der Papille während der Reizung + 3 D, nach Atropinisirung — 6 D; skiaskopisch ungefähr dasselbe.

Es wurden also auch hier Accommodationsbreiten von 4—10 Dioptrien gefunden.

Es kam mir nicht darauf an, die Accommodationsbreite vieler

Fische zahlenmässig genau zu kennen, sondern ein Urtheil darüber zu gewinnen, ob die Fische ihren im allgemeinen wenig distanten Nahepunkt nur etwas hinausschieben oder ob sie ihr Auge auch für grössere Entfernungen einstellen können. Das letztere hielt ich schon nach der Grösse der Linsenretraction, welche ja einen Schluss auf die Accommodationsbreite gestatten muss, bei vielen Arten für das Wahrscheinlichere[1]). Meine Versuche gestatten nun mit Sicherheit anzunehmen, dass viele Fische, wenn sie auch wegen der Undurchsichtigkeit dicker Wasserschichten gewiss lange nicht so weit sehen können, als Landthiere — man denke an das Sehen der Vögel — doch im Stande sind, mit Hülfe ihrer Accommodation auch parallele Strahlen auf ihrer Netzhaut zu vereinigen; solches Vermögen ist aber nöthig, um auch von nur 6—12 Meter entfernten Objecten scharfe Bilder zu bekommen.

Scorpaena und Blennius — und vermuthlich noch viele andere Fische — besitzen sogar das Vermögen, ihre Accommodation bis zur Vereinigung convergenter Strahlen anzuspannen; ich habe oft an nicht atropinisirten Thieren leichte Hypermetropie gefunden. Aehnlich besitzen wir in der Jugend das Vermögen, auf nähere Distanzen zu accommodiren, als uns von Nöthen ist.

XII. Ueber das Verhalten der Pupille bei elektrischer Reizung des Auges.

Wenn ich von den wenigen Species, deren Pupille starker concentrischer Verengerung durch den Lichtreiz fähig ist, absehe, so lässt sich im allgemeinen sagen, dass bei den Fischen, abweichend von dem Verhalten anderer Thiere[2]) durch elektrische Rei-

---

1) Nach der Grösse der Linsenretraction möchte man vermuthen, dass viele hinsichtlich der Schnelligkeit der Accommodation, wie ich gezeigt habe, den Schnellschwimmern nachstehende Grundfische wie Lophius, Scorpaena, Uranoscopus, Solea, Rhombus u. s. w. jene an Accommodationsbreite übertreffen — vermuthlich derart, dass ihr Nahepunkt näher liegt und sie doch auf parallele Strahlen accommodiren können. In beiden Beziehungen ist der agile Blennius vorzüglich ausgestattet.

2) Bei einem Reptil, der Seeschildkröte (Thalassochelys) konnte

zung des Auges nur eine unerhebliche Verengerung der Pupille hervorgebracht werden kann; bei der relativ wenig entwickelten Muskulatur der Fischiris wird das nicht Wunder nehmen. Die Iris dient hier mehr als Wandung dem Lichtabschluss des Augeninneren, denn als Diaphragma.

Mehr Beachtung als die unbedeutende Verengerung verdient vielleicht die Wanderung der Pupille, die ich in einer Reihe von Fällen bei direkter elektrischer Reizung gefunden habe.

Bei den Versuchen, in welchen ich auf das Verhalten der Pupille genau achtete, um Täuschungen hinsichtlich der Bewegung des Linsenrandes auszuschliessen (s. o. p. 63), war mir einigemale aufgefallen, dass die Pupille sich nicht concentrisch zusammenzog, sondern derart ihre Gestalt veränderte, dass der temporale Pupillenrand anstatt nasalwärts, ebenso wie der nasale, temporalwärts rückte; die Breite des nasalen Irisringes nahm zu, die des temporalen ab. Es kam, wenn man so sagen will, nasalwärts eine Verengerung, temporalwärts eine Erweiterung der Pupille zu Stande. Bei dem physiologischen Zusammenhang, der zwischen Accommodation und Pupillenbewegung vielleicht auch für das Fischauge besteht, ist es wohl nicht ungerechtfertigt, wenn ich auf das sonderbare Phänomen excentrischer Pupillencontraction, das meines Wissens bisher nicht beschrieben wurde, etwas näher eingehe. Es ist in einer Reihe von Fällen nur scheinbar und so zu erklären, dass die durch den Retractor temporal-retinalwärts gezogene Linie den temporalen Pupillenrand, der sich bei der betreffenden Stromstärke noch nicht contrahirt, oder trotzdem er sich contrahirt — also a fortiori — temporalwärts vor sich her drängt. Es kann dabei der temporale Pupillenrand förmlich umgekrempt werden, wie ich dies z. B. bei Pagellus, Cantharus, Centriscus beobachtet habe. In solchen Fällen ist die excentrische Bewegung der Iris passiv; oft wandert aber wirklich die Pupille, während sie sich verengert, activ temporalwärts ganz unabhängig von der Linsenbewegung. Die Kriterien für die Unabhängigkeit beider Bewegungen von einander sind: 1. Der ungleichzeitige Verlauf, 2. das Fortbestehen excentrischer Pupillenbewegung nach Ausschluss der

---

ich durch elektrische Reizung des enucleirten Auges starke und rasche concentrische Verengerung der Pupille hervorbringen.

Linsenbewegung (Zerstörung des Retractor oder Entfernung der Linse etc.).

Zur Erläuterung gebe ich auszugsweise einige Protokolle:

Iulis pavo 11 cm. Rechtes Auge enucleirt.

Rollenabstand 38: Verschiebung der Linse, keine Contraction der Iris, der temporale Pupillenrand wird von der Linse temporalwärts gedrängt. Bei Verminderung des R.-Abst. contrahirt sich auch die Iris und zwar so, dass dabei die Pupille temporalwärts wandert. Auffallend ist der wogende Charakter der Irisbewegung; er beruht darauf, dass die Iris sich einerseits activ bewegt, andererseits passiv durch die Linse gedrängt resp. in ihren nasalen Theilen temporalwärts gezogen wird; die Entwirrung dieser Bewegung wird durch die negativen Bewegungsnachbilder noch erschwert. Besonders auffällig ist das Verhalten der Pupille nach dem Aussetzen der Reizung: da die Iris, wie sie sich langsamer contrahirt als der Linsenretractor, so auch langsamer erschlafft, so rückt sie, soweit sie durch die Linse passiv temporalwärts verdrängt war, rasch zurück, daran schliesst sich ihr eigenes langsameres Zurückkehren in die Ruhelage.

Auch an der ausgeschnittenen Iris wandert die Pupille unter geringer Contraction temporalwärts; die Lage der Elektroden erweist sich dabei indifferent.

Crenilabrus pavo 22 cm. Rechtes Auge enucleirt.

Rollenabstand 38: Die Linse wandert temporalwärts ohne den Pupillenrand zu erreichen; keine Bewegung der Iris.

R.-Abst. 36: Die Linse erreicht den temporalen Pupillenrand. Keine Bewegung der Iris.

R.-Abst. 20: Die Linse erreicht den temporalen Pupillenrand; an der Iris Contraction der nasalen Theile.

R.-Abst. 18: Die Linse erreicht wie früher das Maximum der Verschiebung, daran schliesst sich die Contraction der Pupille, welche viel später als die Linse das Maximum der Veränderung erreicht; der temporale Rand der Pupille wandert, ohne von der Linse gedrängt zu werden, temporalwärts.

R.-Abst. 15: Bei sehr kurzer Reizung bewegt sich der temporale Pupillenrand temporalwärts, nachdem die Linse bereits wieder zur Ruhe gekommen ist; der nasale Pupillenrand kommt wie bei der Contraction, so auch bei der Erschlaffung der Iris am spätesten zur Ruhe.

An der ausgeschnittenen Iris contrahirt sich bei schwächerer Reizung nur der nasale Theil der Iris, bei stärkerer retrahirt sich zugleich der temporale Theil; der Irisring wird nasalwärts breiter, temporalwärts schmäler; die Pupille verengt sich ganz wenig in verticaler Richtung, wandert unter geringer Verengerung in horizontaler Richtung temporalwärts. Umkehr der Stromesrichtung, Lagerung der Elektroden in verschiedenen Durchmessern ändern nichts am Charakter der Pupillenbewegung.

Halbirt man die Iris durch einen verticalen Schnitt, so zeigt auch die nasale Hälfte noch Verengerung, die temporale Erweiterung der Pupille im horizontalen Durchmesser.

Scorpaena ustulata 11 cm lang. Rechtes Auge enucleirt.

Rollenabstand 22: Verschiebung der Linse; sie erreicht den temporalen Rand der Pupille nicht; keine Bewegung der Iris.

R.-Abst. 19: Die Linse erreicht den temporalen Pupillenrand; keine Bewegung der Iris.

R.-Abst. 15: Der nasale Theil der Pupille verengert sich, der temporale Theil erweitert sich in horizontaler Richtung, so dass die Linse trotz stärkerer temporaler Verschiebung als bei R.-Abst. 19, den Pupillenrand jetzt nicht mehr erreicht. Die Bewegungen der Linse und der Pupille geschehen annähernd gleichzeitig, nur der nasale Theil der Iris erschlafft noch nachdem die Linse bereits in die Ruhelage zurückgekehrt ist.

An der ausgeschnittenen Iris wandert die Pupille ebenfalls unter geringer Verengerung im horizontalen Durchmesser temporalwärts; die Iris wird durch einen verticalen Schnitt halbirt; die nasale Hälfte der Pupille zeigt Verengerung, die temporale Erweiterung im horizontalen Durchmesser, die Lage der Elektroden ist irrelevant.

Blennius ocellaris 11 cm. Rechtes Auge enucleirt.

Bei derselben Stromstärke (R.-Abst. 15) treten Linsen- und Irisbewegung ein. Der untere temporale Rand der Pupille wird nach aussen gedrängt, der nasale Theil der Iris contrahirt sich. Die Pupillenverengerung verläuft wesentlich langsamer als die Linsenverschiebung; bei sehr kurzer Reizung bewegt sich nur die Linse und mit ihr der temporale Pupillenrand. Bei längerer Reizung folgt der Linsenverschiebung die Pupillenverengerung nach, nach der Reizung folgt die Iris der Linse rasch nach und erschlafft dann langsam weiter; „Wogen" der Pupille. Im ganzen wandert die Pupille temporalwärts und verengt sich zugleich von oben, unten und nasenwärts her. Der vordere Theil des Auges wird abgeschnitten, die Pupille von rückwärts her beobachtet. R.-Abst. 12. Excentrische Contraction der Pupille. Halbirung der Iris durch einen Verticalschnitt; an der nasalen Hälfte Contraction, an der temporalen Retraction. Stromesrichtung und Lage der Elektroden irrelevant.

Smaris vulgaris 14 cm. Linkes Auge enucleirt.

Rollenabstand 30: Der temporale Pupillenrand wird von der Linse nach aussen gedrängt, nach Aussetzen der Reizung kehrt er rasch mit der Linse zurück.

R.-Abst. 26: An die dem temporalen Pupillenrand mitgetheilte Bewegung schliesst sich eine Retraction derselben an, nachdem die Linse bereits in der Reizungsstellung zur Ruhe gekommen ist; zugleich contrahirt sich die übrige Iris.

Das Auge wird von rückwärts her eröffnet, Glaskörper und Linse werden entfernt; auch jetzt bewirkt die Reizung excentrische Contraction der Pupille.

Sargus annularis 10 cm lang Linkes Auge enucleirt.

Sowohl am intakten Auge, als an der ausgeschnittenen Iris bewirkt die Reizung allseitige Verengerung der Pupille, doch contrahirt sich der temporale Theil der Iris am wenigsten.

Serranus cabrilla 13 cm lang. Rechtes Auge enucleirt.

Excentrische Pupillenverengerung an der ausgeschnittenen Iris.

Aus den Versuchen, von denen ich einige Paradigmen mitgetheilt habe, ergab sich, dass bei einer nicht geringen Anzahl von Fischen elektrische Reizung des enucleirten Auges oder der ausgeschnittenen Iris eine Verschiebung der Pupille in temporaler Richtung bewirken kann. Ueber den Sinn dieser Verschiebung, zu deren Eintreten die Bedingungen gegeben sind, von der ich aber nicht weiss, ob sie auch am freien lebenden Thiere stattfindet, lässt sich kaum bestimmtes aussagen; vielleicht ist die Wanderung der Pupille mit der accommodativen Linsenretraction, bei welcher ja in vielen Fällen die Linse zugleich temporalwärts wandert, in Zusammenhang zu bringen. Man könnte vermuthen, dass bei dem accommodirenden Thiere die Pupille der Linse folgt und dass so das Auftreten eines grösseren aphakischen Raumes[1]) auf der nasalen Seite der

---

1) Dass bei vielen Fischen ein schmaler — bei Serranus sogar ein sehr breiter — aphakischer Raum nasalwärts von der Linse besteht, habe ich bereits erwähnt. Das Eindringen ungebrochenen diffusen Lichtes bewirkt in einem photographischen Apparate Schleiern der Platte, im menschlichen Auge Blendung. Dass dies auch in solchen Fischaugen geschieht, ist nicht sehr wahrscheinlich, schon deshalb, weil im Allgemeinen Veränderungen wahrgenommen werden, aber ein Vortheil der Einrichtung ist schwer einzusehen. Vielleicht regt dieser Hinweis zu einer teleologischen Erklärung an.

Auch bei Pomatomus ist der ringförmige aphakische Raum nasalwärts am breitesten.

In der so merkwürdig gefärbten Hornhaut der Labriden fehlt das gelbe Pigment entsprechend der aphakischen Sichel. Emery sagt: „. . . importa notare che il pigmento manca sempre in quella parte della cornea che corrisponde alla estremità anteriore, angolosa della pupilla cioè all' asse visuale dell' occhio. Ciò sembra escludere l'idea

Linse verhindert wird. Gegen diese Vermuthung liesse sich allerdings einwenden, dass nur bei den Fischen mit langsamer Accommodation (z. B. Scorpaena), Iris- und Linsenbewegung ungefähr gleich rasch verlaufen; bei der Mehrzahl der Fische ist der Accommodationsmuskel weit flinker als die Iris, der Retractor nähert sich hinsichtlich der Latenz, des Contractionsverlaufes u. s. w. bei vielen Arten schon eher dem Verhalten quergestreifter Fasern, während die Muskulatur der Fischiris als Typus träger glatter Muskulatur gelten kann.

Weitere Versuche über die Bewegungen, insbesondere auch über die Innervation der Iris werden erforderlich sein, um über das Pupillenspiel der Fische genaueren Aufschluss zu geben.

XIII. Ueber die Wirkung des Atropins auf die Pupille des Fischauges.

Es lag nahe bei den Versuchen, in denen ich die Wirkung des Atropins auf die Accommodation untersuchte, auch dem Verhalten der Pupille einige Aufmerksamkeit zu schenken.

Bei mehreren der mit Atropin vergifteten Fische wurden vor der Injection der horizontale und verticale Pupillendurchmesser notirt, nach der Injection dieselben in Intervallen von 15—30 Minuten mehrmals nachgemessen.

Bei Vertretern der folgenden Species: Balistes, Rhombus, Crenilabrus, Serranus, Sargus, Scorpaena, Capros, Gobius, Lichia, Blennius konnte ich keine Erweiterung der Pupille nach Atropininjection wahrnehmen, ganz unbedeutende Veränderungen der Pupillenweite wurden zwar einigemale notirt, aber solche fielen in den Bereich der Messungsfehler. Einigemale — z. B. bei Balistes und Scorpaena — wurde kurz nach der Injection eine sehr geringfügige Verengerung der Pupille notirt; sie war vielleicht auf Hyperaemie der Iris zu beziehen.

Die Species Solea, Uranoscopus, Lophius sind, wie bereits erwähnt wurde, mit dem Vermögen kräftiger Pupillencon-

---

che quel pigmento possa avere per scopo di diminare una parte dei raggi violetti che cadono sulla retina come fa il pigmento della macula lutea nell' huomo . . ."

traction und daher unzweifelhaft mit besser entwickelter Irismuskulatur ausgestattet, als viele andere Fische; ich versuchte noch bei diesen die Wirkung des Atropins. Einige Protokolle als Paradigmen:

Uranoscopus scaber. 10 h 8′. Horiz. Durchm. der Pupille des L.A. 2,5, Vert. Durchm. 2,1 mm, Injection von 4 ccm der 1 %-Lösung.

11 h H.D. unverändert; V.D. 1,6 mm.

Uranoscopus scaber 15 cm lang. 12 h 38′. Horiz. Durchm. der Pupille des L.A. 2,5, Vertic. Durchm. 1,6 mm. 5 ccm Atropinlös. subcutan.

1 h 7′ Horiz. Durchm. um $^3/_{10}$, Vert. Durchm. um $^4/_{10}$ mm. kleiner.

Solea vulgaris 30 cm lang. Pupillenmaasse beider Augen 4,3; 3,2 mm (16 h 10′ gemessen). 6 ccm Atropinlös. subcutan.

17 h 45′ Pupillenmaasse: 4,4; 2,7 mm.

Lophius piscatorius 35 cm lang 16 h 40′. 10 ccm Atronpinlös. subcutan.

18 h Erweiterung im horizont. Durchm. um 1,5, im vertic. um 1,4 mm.

Lophius piscatorius 30 cm lang 11 h. 10 ccm Atropinl. subcutan. Pupillenweite 2 Stunden nach der Injection unverändert.

Also auch bei diesen Fischen konnte ich nach Atropininjection nicht die ausgiebige Pupillenerweiterung, die wir am Säugerauge zu sehen gewohnt sind, sondern nur ganz unbedeutende Veränderungen constatiren; und auch diese mögen in einigen Fällen vielleicht mehr auf Rechnung der Helligkeitsabnahme des Raumes als auf die Atropinisirung zu setzen sein. Bei Lophius z. B. habe ich während der constanten Beleuchtung in den Mittagsstunden keine Erweiterung der Pupille an atropinisirten Thieren mit Sicherheit constatiren können.

Steinach hat gefunden, dass die am ausgeschnittenen Auge durch Atropin erweiterte Pupille des Frosch- und Aalauges sich noch auf den Lichtreiz verengt. Ich konnte Aehnliches mit Leichtigkeit an dem grossen Auge von Lophius constatiren. Ich enucleirte einem mit Atropin vergifteten Thiere beide Augen, setzte das eine dem diffusen Tageslicht aus und brachte das andere unter eine geschwärzte Glasglocke; nach einer halben Stunde war die Pupille des letzteren etwas erweitert, die des ersteren stark verengt; analog verhielten sich die enucleirten Augen atropinisirter Seezungen.

Interessant ist nun folgendes: das Atropin bewirkt bei vielen Fischen keine nennenswerthe Pupillenerweite-

rung, hebt die direkte Lichtreaction der Iris nicht auf, setzt aber, wie ich schon bei der Prüfung der Atropinwirkung auf die Accommodation gefunden habe, die Erregbarkeit der Iris gegen elektrische Reizung in mehr weniger hohem Grade, unter Umständen fast bis zur Vernichtung herab. Als Paradigmen gebe ich die folgenden Protokolle:

Serranus cabrilla 20 cm lang; 5 ccm Atropinlös. intramusculaer. Das nach $1/2$ Stunde sehr matte Thier wird getödtet, das enucleirte Auge in der gewöhnlichen Weise unter Wasser gereizt, zeigt auch bei R.-A. 0 keine Linsenretraction, nur sehr geringe Bewegung der temporalen Irispartien, keine nennenswerthe Veränderung der Pupille.

Labrus festivus 25 cm lang; 5 ccm Atropinlös. intramusculaer. Nach 1 Stunde das linke Auge enucleirt; in der gewöhnlichen Weise unter Wasser gereizt keine Linsenretraction, keine Veränderung der Pupille. Das vor der Atropininjection enucleirte rechte Auge zeigt noch bei R.-A. 10 Pupillencontraction.

Solea vulgaris 35 cm lang; 10 ccm Atropinlös. subcutan. Nach $1/2$ Stunde keine Spur der Linsenbewegung, keine Spur der Pupillencontraction bei elektrischer Reizung unter Wasser. In Luft bewirkt stärkste Reizung sehr geringe Pupillencontraction.

Lophius piscatorius. L.A. ganz analog. Das vor der Atropininjection enucleirte, im Dunkeln gehaltene R.A. zeigt noch immer starke Pupillencontraction bei elektrischer Reizung.

Uranoscopus scaber 20 cm lang. R.A. enucleirt. Reizung unter Wasser: bei R.-A. 16, kräftige Pupillencontraction, bei R.-A. 15 maximal (wie in Fig. 20b Taf. III) dargestellt, $1/2$ Stunde nach subcutaner Injection von 5 ccm der Atropinlösung L.A. enucleirt, Reizung unter Wasser vollständig negativ. Erst in Luft bei direktem Auflegen der einen Elektrode auf die Hornhaut und R.-A. 7 ganz geringe locale Contraction der Iris. Starke Contraction der Iris und des Operculum etc. auch mit den stärksten Strömen nicht hervorzubringen.

Steinach sagt: „Aus den Lichtreizversuchen an den durch Atropin erweiterten Pupillen ergibt sich nebenher, dass die glatte Muskulatur (Spincter) der niederen Wirbelthiere durch die Atropinlösung weder gelähmt noch irgendwie functionell geschädigt wird.“

Meine Versuche haben gezeigt, dass durch Atropin andere glatte Muskulatur, wie z. B. die des Retractor lentis, vollständig gelähmt wird und dass die Erregbarkeit der Iris gegen elektrische Reizung sehr herabgesetzt resp. aufgehoben

werden kann, wenn auch die Erregbarkeit für den Lichtreiz nicht alterirt ist.

Die Entscheidung darüber, welche Elemente in der Fischiris durch das Atropin afficirt werden (Nervenendigungen, directe Lähmung der Muskeln etc.), muss weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben.

Ueber die Wirkung des Atropins auf die Pupille der Selachier.

Ich habe endlich noch einige Versuche an Haifischen angestellt. Unter allen Fischen haben die Selachier das lebhafteste Pupillenspiel; ihr Sehloch ist der grössten Excursionen fähig, es wird im dunkeln sehr weit, so dass dann wie bei den Teleostiern der freie Linsenrand sichtbar wird, im Lichte maximal verengt. Ich versuchte die tagsüber bestehende Miosis durch Atropin zu lösen.

Neun — zwischen 15 und 50 cm langen — Exemplaren von Scyllium catulus und drei Exemplaren von Scyllium canicula wurde Atropin. sulf. in 1 % Lösung (5—15 ccm pro Thier) subcutan, intramuskulär oder subconjunctival injicirt. Die Thiere starben nach $1^1/_2$—48 Stunden, ohne dass ihre Pupille auch nur die Spur einer Erweiterung gezeigt hätte. Bei Nacht wiesen die Thiere, welche so lange lebten, die im dunkeln gewöhnliche Weite der Pupille auf, welche aber im Tageslicht wieder der gewöhnlichen Miosis Platz machte.

XIV. Ueber einige Versuche zur Accommodation des Auges bei Haien und Rochen.

Die Bestimmung der Refraction stösst hier auf grosse Schwierigkeiten, weil von den wenigen lebend an die Station gelangenden Species der Plagiostomer, nämlich Scyllium, Pristiurus, Mustelus, Squatina, Trygon, Raja und Torpedo die meisten bei Tage eine so hochgradige Miosis aufweisen, dass die Augenspiegeluntersuchung unmöglich wird. Blos Mustelus und Pristiurus haben die Pupille auch bei Belichtung des Auges zwar nicht weit aber doch genügend offen, so dass man den hellgraugrünen Fundus — die Haifische besitzen wie so viele Nacht-

thiere ein Tapetum — sehen kann. Gerade diese gelangen aber selten lebend und frisch, meist moribund ins Aquarium. Bei einigen Exemplaren von Pristiurus fand ich Hypermetropie von mehreren Dioptrien, doch kann ich vorläufig kein definitives Urtheil abgeben.

Bei 15 Vertretern der angeführten Species habe ich das Verhalten des frisch enucleirten Auges bei elektrischer Reizung in der im VI. Abschnitt angegebenen Weise untersucht. In keinem Falle war eine Bewegung der Linse nachweisbar.

Einigemale habe ich an curarisirten, künstlich geathmeten Thieren mit dem Ophthalmometer das Verhalten der vorderen Reflexbildchen an der durch Abtragung der Hornhaut und eines schmalen Irisringes blossgelegten Linse beobachtet. In keinem Falle war eine Veränderung der Linsenkrümmung bei elektrischer Reizung mit Sicherheit nachweisbar.

Trotz diesen negativen Resultaten möchte ich nicht behaupten, dass die von mir untersuchten Species der Knorpelfische des Accommodationsvermögens entbehren. Aber dass eine Accommodation, wenn sie vorhanden ist, hier nicht wie bei den Teleostiern durch Ortsveränderung der Krystalllinse zu Stande kommt, scheint mir ziemlich sicher. Das Fehlen jedes Accommodationsvermögens wäre übrigens bei den genannten — in Tiefen bis 500 Meter — lebenden Haifischen nicht sehr auffallend. Sie sind vorwiegend Riechthiere; die durch das Sehorgan vermittelten Wahrnehmungen treten hier offenbar an Bedeutung zurück.

Die grossen Menschenhaie scheinen nach mancherlei Berichten auch am Tage gut zu sehen.

Ein abschliessendes Urtheil über die Refraction und Accommodation des Auges bei den Chondropterygiern und den übrigen Unterklassen der Fische[1]) (Ganoidei, Dipnoi, Cyclostomata) zu fällen wird erst nach weiteren Untersuchungen möglich sein.

---

1) Von manchen Autoren wird das wenige, was man vom Teleostierauge weiss, auf das Fischauge überhaupt verallgemeinert; dies ist nicht gerechtfertigt. Leunis schätzt die Zahl der bekannten Fischarten auf 10000; davon entfallen etwa 1500 Arten (15 %) auf andere als Knochen-Fische.

XV. Die Resultate

der vorliegenden Arbeit lauten kurzgefasst:

I. Die normale Refraction vieler Fische ist die Myopie.

II. Die meisten Fische besitzen eine Accommodation für die Ferne. Im Gegensatz zu den de norma emmetropischen oder hypermetropischen Landwirbelthieren, welche ihr im Ruhezustande für parallele oder sogar convergente Strahlen eingerichtetes Auge activ für die Nähe einstellen, müssen die Fische, um auf grössere Entfernungen als ihren wenig distanten Nahepunkt deutlich zu sehen, activ accommodiren.

III. Die negative Accommodation der Fische beruht nicht auf Abplattung der Krystalllinse im anteroposterioren Durchmesser; es lässt sich weder bei der durch elektrische Reizung bewirkten Contraction des Accommodationsmuskels, noch bei elektrischer Reizung des Auges überhaupt eine Veränderung des Krümmungshalbmessers der Linse nachweisen.

IV. Während die positive Accommodation des Auges bei den Landwirbelthieren durch Aenderung der Linsenkrümmung zu Stande kommt, beruht die den Fischen eigene Accommodation für die Ferne auf einer Aenderung des Linsenortes; die Fische haben das Vermögen, die Linse der Netzhaut zu nähern.

V. Das bisher „Campanula Halleri“ genannte, von nun ab besser als „Musculus retractor lentis“ zu bezeichnende Gebilde ist ein Accommodationsmuskel des Fischauges; für seine Contractilität habe ich den physiologischen Nachweis durch elektrische Reizung erbracht.

VI. Der Mechanismus der Accommodation ist folgender: Die Linse ist mit ihrem oberen Pol an dem in verticaler Richtung äusserst wenig dehnbaren Ligamentum suspensorium aufgehängt; der an den unteren, öfter auch an den unteren nasalen Theilen des Linsenumfangs mit seiner Sehne inserirte Accommodationsmuskel (Retractor lentis) übt bei seiner Contraction einen nach unten, innen und rückwärts (mediancaudalwärts oder temporal-retinalwärts) gerichteten Zug an der Linse aus und strebt in einer Reihe von Fällen gleichzeitig sie um eine frontale Axe zu drehen. Der Zug nach unten wird stets, die

drehende Componente in vielen Fällen durch die Anordnung und durch die Elasticitätsverhältnisse des Aufhängebandes aufgehoben. Wirksam bleiben die übrigen zwei Componenten des Muskelzuges, ihnen entsprechend bewegt sich die Linse temporal-retinalwärts.

VII. Zerstörung des Musculus retractor lentis oder Durchschneidung seiner Sehne vernichtet das Accommodationsspiel der Linsenbewegung.

VIII. Wie im Auge der höheren Vertebraten — soweit wir deren Accommodation genauer kennen — hat auch bei den Fischen die Iris keine wesentliche Rolle beim Zustandekommen der Accommodation, nur bei wenigen mit der Fähigkeit kräftiger Pupillencontraction begabten Species (z. B. Solea, Uranoscopus, Lophius) könnte, wenn mit der Accommodation zugleich eine starke Verengerung der Pupille eintritt, durch die Contraction der Iris die Wirkung des Retractor unterstützt werden.

IX. Die Geschwindigkeit der Accommodation variirt bei den verschiedenen Species der Knochenfische innerhalb weiter Grenzen: am flinksten geschieht die Retraction der Linse bei den agilen und schnellschwimmenden Fischen, am trägsten bei den wenig beweglichen, ruhig auf Beute lauernden Grundfischen.

X. Die Accommodationsbreite variirt bei den verschiedenen Species um mehrere Dioptrien; sie wurde oft um so grösser befunden, je kurzsichtiger das Auge der betreffenden Art im Ruhezustande war. Es kann angenommen werden, dass die Accommodationsbreite in den meisten Fällen gross genug ist, um das Auge bis auf parallele Strahlen einzustellen.

XI. Entsprechend der durch den Retractor lentis bewirkten Ortsveränderung der Linse wandert im Fischauge auch das Bild der Aussenwelt auf der Netzhaut. Umgekehrt könnten — was im Auge der höheren Vertebraten nur durch Bewegungen des ganzen Auges möglich ist — die Bilder verschiedener Punkte eines Objektes allein durch die Linsenbewegung über dieselbe Netzhautstelle geführt werden. Die Fische besitzen vielleicht das Vermögen — innerhalb eines beschränkten Gebietes — umherzublicken, ohne das Auge zu bewegen.

XII. Nur bei einigen wenigen Species der Knochenfische ist durch elektrische Reizung des Auges eine kräftige con-

centrische Verengerung der Pupille zu erzielen, so bei einigen Pleuronectiden, bei Uranoscopus und Lophius; bei der überwiegenden Mehrzahl ist die Pupillencontraction sehr wenig ausgiebig, in vielen Fällen wandert bei elektrischer Reizung die querovale Pupille, während sie sich etwas verengt oder auch ohne ihre Weite zu verändern temporalwärts — im Sinne der Linsenverschiebung.

XIII. Die Bewegungen der Linse und die der Iris erfolgen nur bei einigen wenigen — nämlich den bloss relativ langsamer Accommodation fähigen — Fischen, wie Solea, Uranoscopus, Lophius mit annähernd gleicher Latenz und Geschwindigkeit; im allgemeinen arbeitet der Accommodationsmuskel weitaus flinker als die Muskulatur der Iris.

XIV. Atropin vernichtet das Accommodationsspiel des Fischauges; an atropinisirten Thieren ist durch elektrische Reizung des Auges keine Aenderung der Einstellung zu erzielen, keine Linsenretraction, keine Contraction des Retractor lentis.

XV. Bei der Mehrzahl der Fische bewirkt subcutane oder intramuskuläre Injection von schwefelsaurem Atropin keine nennenswerthe Veränderung der Pupillenweite; nur bei den wenigen Species der Teleostier, die wie Solea, Uranoscopus, Lophius mit lebhafterem Pupillenspiel ausgestattet sind, wurde in einigen Fällen nach Atropininjection eine sehr geringe Erweiterung der Pupille beobachtet. Die Tagesmiosis der Haifische wird durch Atropin nicht alterirt.

XVI. Die Atropinvergiftung setzt die Erregbarkeit der Iris gegen elektrische Reizung hochgradig — unter Umständen bis zur Vernichtung — herab, während die Eigenschaft der Fischpupille, sich auch am enucleirten Auge auf den Lichtreiz zu verengen, erhalten bleiben kann.

XVII. Bei sämmtlichen daraufhin untersuchten Species der Plagiostomer konnte durch elektrische Reizung des Auges keine Linsenbewegung erzielt werden. Wenn die Knorpelfische überhaupt eine Accommodation besitzen, so ist mit grosser Wahrscheinlichkeit anzunehmen, dass sie auf anderem Wege als bei den Teleostiern zu Stande kommt.

Zwischen der bisher allein bekannten positiven Accommodation der höheren Vertebraten und der von mir nachgewiesenen negativen Accommodation der Teleostier besteht ein durchgreifender Unterschied. Auch in anatomischer Hinsicht sind die Apparate der Accommodation für Nähe und Ferne vollständig verschieden gebaut. Geht man von der Ansicht aus: Natura non facit saltum, so dürfte man in der Wirbelthierreihe Formen erwarten, welche in anatomischer, vielleicht sogar in physiologischer Hinsicht Uebergänge zwischen den beiden verschiedenen uns jetzt bekannten Typen der Accommodation darstellten. Von besonderem Interesse wäre es in dieser Hinsicht, das Auge der Lungenfische, die Larven der Amphibien eventuell auch Embryonen höherer Wirbelthiere zu studiren. Der Nachweis von Uebergangsformen könnte eine neue gewichtige Stütze für die Darwin'sche Theorie abgeben.

Literatur.

Agassiz und Vogt, Anatomie des Salmones. Mémoires de la société des sciences naturelles. T. III.

Beauregard, Recherches sur les réseaux vasculaires de la chambre postérieure de l'oeil des vertébrés. Annales des sciences naturelles 6. S. T. IV.

Beer, Studien über die Accommodation des Vogelauges. Archiv für die gesammte Physiologie 53. B.

Berger, Beiträge zur Anatomie des Sehorganes der Fische. Morphologisches Jahrbuch 8. B.

Brass, Die Accommodation des Auges der Knochenfische. Zeitschrift für die gesammten Naturwissenschaften III F. Bd. V.

Brehm, Thierleben. 3. Abth. II. B. Gr. Ausg. 2. Aufl. 1879.

Carrière, Die Sehorgane der Thiere. 1885.

Carus, Prodromus Faunae Mediterraneae 1889—1893.

Claus, Grundzüge der Zoologie. 4. Aufl. II. B. Marburg 1884.

Cuvier u. Valenciennes, Histoire naturelle des poissons. Paris 1828.

Dalrymple, Some account of a peculiar structure in the eyes of fishes. The magazine of natural history. II. N.S.

Dugès, Traité de physiologie comparée de l'homme et des animaux. T. I.

Emery, La cornea dei pesci ossei. Palermo 1878.

— Le specie del genere Fierasfer nel Golfo di Napoli. Leipzig 1880.

Emery, Intorno alle macchi splendenti della pelle nei pesci del genere Scopelus. Mittheilungen aus der zoologischen Station zu Neapel 1884.

Exner, Die Physiologie der facettirten Augen von Krebsen und Insekten. Wien 1891.

Falkenburg & Straub, Archiv für Augenheilkunde. Bd. XXVI.

Fick, Die Bestimmung des Brechzustandes eines Auges durch Schattenprobe. Wiesbaden 1891.

Fol & Sarasin, Sur la profondeur à laquelle la lumière du jour pénètre dans les eaux de la mer. Comptes rendus 1885.

Gegenbaur, Grundriss der vergleichenden Anatomie. 2. Aufl. 1878.

Günther, Report on the Deep-sea fishes, collected by H. M. S. Challenger. Zoology Vol. XXII. London 1887.

Haller, Opera anatomici argumenti minora. Lausanne 1763.

— Mémoire sur les yeux de quelques poissons. Mémoires de l'Académie Royale des Sciences. Paris 1762.

Heese, Ueber den Einfluss des Sympathicus auf das Auge. Archiv für die gesammte Physiologie 52. B.

Helmholtz, Handbuch der physiologischen Optik. 2. Aufl.

Hermann, Notiz über die Anwendung des Formalins (Formaldehyds) als Härtungs- und Conservirungsmittel. Anatomischer Anzeiger. IX. B.

Hirschberg, Zur vergleichenden Ophthalmoskopie. Archiv für Physiologie. Jahrgang 1882.

— Zur Dioptrik und Ophthalmoskopie der Fisch- und Amphibienaugen. Ibid.

Home, Lecture on muscular motion in the eyes of birds. Philosophical transactions 1795.

Jones, General outline of the organisation of the animal kingdom. London 1855.

Kapp, Grundlinien einer Philosophie der Technik. Braunschweig 1877.

Krause, Die Retina. Internationale Monatsschrift für Anatomie und Histologie. B. III.

Klinckowström, Beiträge zur Kenntniss der Augen von Anableps tetrophthalmus. Skandinavisches Archiv für Physiologie V. B.

Leitfaden für das Aquarium der zoologischen Station zu Neapel. Leipzig 1890.

Leuckart, Organologie des Auges in Graefe-Saemisch, Handbuch der gesammten Augenheilkunde. II. Bd.

Leunis, Synopsis der Thierkunde. 3. Aufl. Hannover 1883.

Leydig, Beiträge zur mikroskopischen Anatomie und Entwicklungsgeschichte der Rochen und Haie. Leipzig 1852.

— Lehrbuch der Histologie des Menschen und der Thiere. Frankfurt 1857.

Manz, Ueber den wahrscheinlichen Accommodations-Apparat des Fischauges in Ecker, Untersuchungen zur Ichthyologie. Freiburg i. B. 1857.

— Anatomisch-Physiologische Untersuchungen über die Accommodation des Fischauges. Inaugural-Dissertation. Freiburg i. B. 1858.

Matthiessen, Untersuchungen über den Aplanatismus und die Periscopie der Krystalllinsen in den Augen der Fische. Archiv für die gesammte Physiologie. 21. B.

— Ueber den physikalisch-optischen Bau des Auges der Cetaceen und der Fische. Ibid. 38. B.

— Die neueren Fortschritte in unserer Kenntniss von dem optischen Bau des Auges der Wirbelthiere in Beiträge zur Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane. 1891.

Milne-Edwards, Leçons sur la physiologie et l'anatomie comparée. XII. 1876.

Morat u. Doyon, Le grand sympathique nerf accommodateur. Archives de Physiologie. 1891.

Moreau, Histoire naturelle des poissons de la France. Paris 1881. T. 1.

Plateau, Sur la vision des poissons et des amphibies. Académie royale de Belgique. Extr. du Tome XXXIII des Mém. couronnés.

— Zoologie élémentaire Mons. 1884.

Regnard, Recherches expérimentales sur les conditions physiques de la vie dans les eaux. Paris 1891.

Rosenthal, Zergliederung des Fischauges. Archiv für die Physiologie von Reil und Autenrieth. B. X.

Schmarda, Zoologie. II. Aufl. II. B. 1878.

Schmidt, Handbuch der vergleichenden Anatomie. 7. Aufl.

Soemmering, De oculorum hominis animaliumque sectione horizontali Commentatio. Goettingae 1818.

Stannius, Handbuch der Anatomie der Wirbelthiere. 2. Aufl. 1854.

Steinach, Untersuchungen zur vergleichenden Physiologie der Iris. 1. Mittheilung. Archiv für die gesammte Physiologie. 47 B.

Taschenberg, Die Insekten in Brehm's Thierleben. Gr. A. 2. Aufl. 4. Abth. 1880.

Tellkampf, Ueber den blinden Fisch der Mammuthöhle in Kentucky. Archiv für Anatomie und Physiologie. Jahrg. 1844.

v. Trautvetter, Ueber den Nerv der Accommodation. Archiv für Ophthalmologie. 12. B. Abth. 1.

Treviranus, Beiträge zur Anatomie und Physiologie der Sinneswerkzeuge des Menschen und der Thiere. 1. Heft. 1828.

Tscherning, Etude sur le mécanisme de l'accommodation. Archives de Physiologie. 1894.

Tscherning, Note sur un changement etc. Ibid. 1892.

Wallace, Discovery of a muscle in the eye of fishes. American Journal of Science and Arts XXVI.

Wiedersheim, Lehrbuch der vergleichenden Anatomie. 2. Aufl. 1886.

— Grundriss der vergleichenden Anatomie der Wirbelthiere. 2. Aufl. 1888.

Ziem, Ueber das Schwellgewebe des Auges. Archiv für pathologische Anatomie und Physiologie. B. 126.

Erklärung der Abbildungen auf Tafel III.

Fig. 1. Linkes Auge von Scorpaena scrofa, von vorne gesehen, nach dem lebenden freien Thiere.

Fig. 2. Rechtes Auge von Crenilabrus pavo, von oben — gegen hellen Grund — betrachtet, nach dem lebenden freien Thiere.

Fig. 3. Linkes Auge von Crenilabrus pavo, nach dem lebenden freien Thiere.

Fig. 4. Rechtes Auge von Pagellus erythrinus, nach dem lebenden Thiere; im Dunkelzimmer mit dem Augenspiegel betrachtet.

Fig. 5. Rechtes Auge von Labrus festivus unmittelbar nach der Enucleation unter Wasser gebracht, im Dunkelzimmer bei seitlicher Beleuchtung.

Fig. 6. Dasselbe mit dem Augenspiegel betrachtet.

Fig. 7. Pupille von Scyllium catulus nach dem lebenden freien Thiere im Januar um 10 h gezeichnet.

Fig. 8. Linkes Auge von Raja asterias nach dem lebenden freien Thiere; etwas vergrössert.

Fig. 9. Linkes Auge von Serranus cabrilla, unmittelbar nach der Enucleation. a im Ruhezustande, b während elektrischer Reizung, c während elektrischer Reizung mit dem Augenspiegel betrachtet.

Fig. 10. Linkes Auge von Trachinus draco, unmittelbar nach der Enucleation. a im Ruhezustande, b während elektrischer Reizung.

Fig. 11. Linsenretraction beim Seepferdchen. Linkes Auge enucleirt; a im Ruhezustande, b während elektrischer Reizung. $^2/_1$ d. n. G.

Fig. 12. Linsenretraction beim Ziegenfisch. Rechtes Auge nach dem lebenden gefesselten Thiere, von oben betrachtet. Vorderste Hornhautschicht abgetragen. a Ruhezustand, b während der Reizung. Etwas vergrössert.

Fig. 13. Linsenretraction bei Lophius piscatorius. Rechtes Auge, enucleirt, vorderste Hornhautschicht und Sklera abgetragen, a im Ruhezustande, b bei Reizung.

Fig. 14. a, b. Geringe Linsenverschiebung bei Cepola rubescens. Linkes Auge dem moribunden Thiere enucleirt, von oben betrachtet. Die Iris erblasst bei der Reizung. $^2/_1$ d. n. G.

Fig. 15. Linkes Auge von Pomatomus telescopium.

Fig. 16. Linkes Auge von Capros aper nach Abtragung der Hornhaut und eines Theiles der Iris. Unter den M. retractor lentis ist ein Stückchen weisses Papier geschoben, um ihn deutlicher hervortreten zu lassen. Die Sehne und das Ligamentum suspensorium sind nicht angedeutet.

Fig. 17. Linkes enucleirtes Auge von Blennius ocellaris von oben gesehen. a im Ruhezustande, b während elektrischer Reizung. Contraction des Retractor lentis und Zurückziehung der Linse. $^3/_1$ d. n. G.

Fig. 18. Linkes enucleirtes Auge von Solea vulgaris von rückwärts her betrachtet, a im Ruhezustande, b bei Reizung. Linsenretraction und Pupillenverengerung. $^2/_1$ d. n. G.

Fig. 19. Rechtes enucleirtes Auge vom Turbot (Rhombus maximus) von rückwärts her betrachtet. a im Ruhezustande, b bei Reizung. Linsenretraction ohne Iriscontraction. $^2/_1$ d. n. G.

Fig. 20. c. Rechtes Auge von Uranoscopus scaber en face, a und b im Profil, a im Ruhezustande, b während elektrischer Reizung. Linsenretraction und Pupillencontraction. $^2/_1$ d. n. G.

Berichtigung.

In der Arbeit von Hermann und Matthias: „Der Galvanotropismus der Larven etc.", Bd. 57, S. 399, Zeile 6 von unten muss es heissen: „überzeugend" statt „überwiegend".

Im Titel der Arbeit Bd. 58, S. 255, muss es heissen: „Untersuchungen" statt „Mittheilungen".