(Aus der physiologischen Abteilung der zoologischen Station zu Neapel.)

Über das Farbenunterscheidungsvermögen der Fische.

Von

Victor Bauer.

Von den verschiedenen Leistungen der Lichtsinnesorgane der Tiere ist das Vermögen der Farbenunterscheidung verhältnismässig eingehend untersucht worden. Auch für die Fische liegt eine Reihe von Arbeiten vor. Da sie sich jedoch in sehr verschiedenen Zeitschriften zerstreut finden, kennt im allgemeinen keiner der Autoren die Untersuchungen seiner Vorgänger. So scheint es mir nicht ungerechtfertigt, der Mitteilung meiner eigenen Resultate eine Übersicht des bisher Geleisteten voranzuschicken.

Die ersten Angaben verdanken wir, soviel ich sehe, Vitus Gräber, welcher bei seinen Untersuchungen „zur Erforschung des Helligkeits- und Farbensinnes der Tiere“ auch die Fische in Betracht gezogen hat. Er benutzte die Fähigkeit zahlreicher Tiere durch aktive Bewegungen das Optimum der Helligkeit und Färbung in dem ihnen zur Verfügung stehenden Räume aufzusuchen. In einem Gefäss, dessen beide Hälften verschieden hell oder verschieden farbig beleuchtet wurden, zeigte sich diese Reaktion in einer Ansammlung der Tiere in der einen Hälfte.

Mit dieser Methode konstatierte er in einer ersten Untersuchung¹⁾ (S. 126—132) bei den Süsswasserfischen *Cobitis barbatula* und *Alburnus spectabilis* eine Vorliebe für Dunkel gegenüber Hell, für Blau ohne Ultraviolett gegenüber Blau mit Ultraviolett, Rot gegenüber Grün und Grün gegenüber Blau (mit Ultraviolett). Zur Erzeugung der farbigen Lichter wurden bunte Glasscheiben benutzt, welche keine reinen Spektralfarben lieferten. Die relative Helligkeit der Farben wurde mit dem (helladaptierten?) Auge beurteilt.

1) V. Gräber, Grundlinien zur Erforschung des Helligkeits- und Farbensinnes der Tiere. Prag und Leipzig 1884.

In einer zweiten Arbeit¹⁾ zog Graber auch zwei Meerfische, *Gasterosteus spinachia* L. und *Syngnathus acus* L. heran. Die Versuchsanordnung war dieselbe; nur wurde unterdessen die relative Helligkeit der farbigen Gläser etwas genauer bestimmt. (Vergleichung der Helligkeit der punktförmigen Spiegelbilder, welche von dem zu untersuchenden und einem in der Grösse abstufbaren Vergleichslicht auf einem kleinen Kugelspiegel entstehen, mit dem [dunkeladaptierten?] Auge. Die Methode ist von Aubert und Wheatstone angegeben worden. Genauerer siehe Graber 1885 l. c. S. 130). Bei dem Seestichling fand Graber ein sehr feines Unterscheidungsvermögen für Helligkeitswerte, und zwar erfolgte die Reaktion in gleichem Sinne wie bei den Süßwasserfischen. Ausserdem wurde Rot dem Blau vorgezogen, selbst wenn sein Helligkeitswert als 12mal grösser bestimmt war. Erst wenn dieses Rot mit einem 20mal dunkleren Blau kombiniert wurde, trat ein Umschlag der Reaktion ein. Analoge (nicht im einzelnen mitgeteilte) Resultate erhielt er bei der Seenadel.

In dieser einfachen Form sind die Graber'schen Versuche mancherlei Einwänden ausgesetzt. Die farbigen Gläser lieferten Mischlichter, und wenn auch bestimmt wurde, welche Strahlenarten sie für unser Auge vorwiegend durchliessen, so ist damit nicht gesagt, dass sie den Fischen von gleicher oder ähnlicher Zusammensetzung erschienen; denn wir sind weder über die Grenzen des sichtbaren Spektrums noch über den relativen Helligkeitswert der einzelnen Spektralgebiete bei diesen Formen unterrichtet. Die Helligkeit der verwendeten Glaslichter wurde mit nicht sehr vollkommenen Methoden bestimmt; besonders fehlt die Angabe, ob bei der Eichung der gleiche Adaptationszustand des Beobachters innegehalten wurde. Namentlich aber wird jede Bemerkung darüber vermisst, ob die Versuchstiere selbst vor dem Versuch im Dunkeln oder Hellen gehalten worden waren. Auch ist Graber's Auffassung, dass aus seinen Versuchen auf Unterscheidung der Farbwerte geschlossen werden müsse, nicht zwingend. Denn auch unter der Voraussetzung, dass die Fische die ihnen gebotenen farbigen Lichter nur nach ihrer Helligkeit und nicht nach ihrem Farbwert beurteilten,

1) V. Graber, Über die Helligkeits- und Farbenempfindlichkeit einiger Meertiere. Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch. in Wien, math. Klasse Bd. 91 Abt. 1 S. 129—150. 1885.

wäre ihr Verhalten erklärbar. Es würde dann zeigen, dass ein unserem Auge relativ hell erscheinendes Rot für die Fische einen sehr viel geringeren Helligkeitswert gegenüber einem Vergleichsblau besitzt.

Graber's Hauptverdienst besteht in dem Einfall, die aktiven Bewegungen, mit denen die Tiere in einem ungleichförmigen Lichtmilieu das Optimum aufsuchen, für die Beurteilung der Leistungen ihrer Lichtsinnesorgane zu benutzen. Seiner Methode ist die von Bert und Lubbock verwendete dadurch überlegen, dass diese statt der farbigen Gläser ein Spektrum benutzten und die Menge der in den verschiedenen Spektralbereichen sich ansammelnden Individuen zählten. Doch haben beide Forscher nicht mit Fischen experimentiert. Dass sich aber auch mit Hilfe der Graber'schen „Zweikammer“-Methode exaktere Resultate gewinnen liessen, wurde von Nagel in seinem Vortrag über den „Farbensinn der Tiere“¹⁾ entwickelt: „Interessant und wertvoll könnte eine Versuchsreihe werden, bei der im grossen und ganzen nach dem Graber'schen Zweikammerverfahren vorgegangen würde, aber unter Verwendung möglichst reiner homogener Lichter, deren eines auf konstanter Intensität erhalten bliebe, während die Helligkeit des anderen so lange zu variieren wäre, bis die Reizwirkung der des anderen Lichtes, des konstanten Vergleichslichtes, gliche, mit anderen Worten bis die Tiere keine der beiden Kammern mehr vor der anderen merklich bevorzugten. Unter Beibehaltung des Vergleichslichtes könnte man dann die Wellenlänge des zweiten Lichtes ändern und so für die verschiedenen Regionen des Spektrums die relativen Reizwerte wenigstens näherungsweise bestimmen“ (S. 23). Soviel ich weiss, hat Nagel selbst derartige Experimente nicht angestellt. Wir kommen daher zu den neuesten Versuchen von Hess²⁾, welche einen bedeutenden Fortschritt auf dem von Graber beschrittenen Wege bedeuten.

Hess brachte einen roten und blauen Glaskeil (von der Firma Zeiss in Jena) so in das Lichtbündel einer Bogenlampe, dass sie in einer vertikalen Grenzlinie zusammenstiessen. Ein dahinter angebrachtes Bassin wurde auf diese Weise zur Hälfte von rotem, zur

1) W. Nagel, Der Farbensinn der Tiere. Bergmann, Wiesbaden 1901.

2) C. Hess, Untersuchungen über den Lichtsinn bei Fischen. Arch. f. Augenheilk. Bd. 64, Ergänzungsheft S. 1—38. 1909.

Hälfte von blauem Licht bestrahlt. Durch Verschieben der Glaskeile konnten die Lichtstärken beider Farben variiert werden. Die untersuchten Jungfische (*Atherina hepsetus* L.) zogen auch dann noch das Blau dem Rot vor, wenn es dem helladaptierten menschlichen Auge erheblich dunkler, dem dunkeladaptierten gleich hell oder noch ein wenig heller erschien. Dasselbe Verhalten konstatierte er mit einer etwas veränderten Methode bei jungen „Weissfischen“ (wahrscheinlich *Squalius cephalus*). Erst wenn das Blau dem dunkeladaptierten menschlichen Auge dunkler erschien als das Rot, schwammen die Fischchen in dieses. Die Tiere scheinen vorher im Dunkeln gehalten worden zu sein (wenn es auch gerade bei diesen Versuchen nicht ausdrücklich angegeben wird). Im wesentlichen ergab sich also eine Bestätigung der Graber'schen Befunde. Homogene Lichter lieferten wohl auch die hier verwandten Glaskeile und farbigen Scheiben nicht. Wichtiger erscheinen daher Versuche mit einem Spektrum in der Art der von Bert und Lubbock angestellten.

In dem Spektrum einer Bogenlampe (vgl. die Anmerkung auf S. 19) sammelten sich die Fischchen vorwiegend im Gelbgrün (etwa *E* bis *b*), besonders deutlich, wenn sie vorher $\frac{1}{2}$ Stunde im Dunkeln gehalten worden waren. Gegen das rote Ende hin nahm ihre Zahl rascher, gegen das blaue Ende hin langsamer ab. Indem den Tieren die Wahl zwischen einem abstufbaren gemischten Vergleichslicht (Nernstlampe) und den verschiedenen Spektralbereichen des Bogenlichtspektrums gelassen wurde, gelang es, die relative Helligkeit für die letzteren mit einiger Genauigkeit festzustellen. Am hellsten erschien den Fischen das Gelbgrün, dunkler das Gelb, Blau, Orange und Violett und am lichtschwächsten ein dem langwelligen Ende genähertes Rot. Den geringen Helligkeitswert des Rot konnte Hess auch bei erwachsenen Fischen dadurch nachweisen, dass sie mit spektralem Rot bestrahlte Nahrungsbissen nicht annahmen, jedoch sofort zuschnappten, wenn das Spektrum etwas gegen das Gelb verschoben oder die Intensität erheblich verstärkt wurde. Hess fasst seine Versuche selbst in folgender Weise zusammen: „Für die in Rede stehenden Seefische und Süßwasserfische liegt die hellste Stelle des Spektrums in der Gegend des Gelbgrün bis Grün. Die Helligkeit nimmt für sie von hier gegen das langwellige Ende verhältnismässig rasch ab und ist schon in der Gegend des Gelb auffallend viel kleiner als in der

Gegend des Gelbgrün bis Grün; die gelbroten und roten Strahlen des Spektrums haben für diese Fische nur einen sehr kleinen Helligkeitswert. Nach dem kurzwelligen Ende von der Gegend des Gelbgrün bis Grün nimmt gleichfalls die Helligkeit des Spektrums für die Fische ab, doch weniger rasch als nach dem langwelligen Ende zu“ (S. 33). Als wichtiges vergleichend-physiologisches Resultat hebt er hervor, „dass die relativen Helligkeiten, in welchen jene Fischeaugen die verschiedenen Teile des Spektrums sehen, nahezu oder ganz übereinstimmen mit jenen, in welchen sie der total farbenblinde Mensch bei jeder Lichtstärke und der normale dunkeladaptierte bei entsprechend geringer Lichtstärke sieht“ (S. 35). Dadurch wäre also totale Farbenblindheit für die von ihm untersuchten Arten wahrscheinlich gemacht. Inwiefern mir diese Anschauung eine Einschränkung erfahren zu müssen scheint, wird sich aus der Mitteilung meiner eigenen Versuche ergeben.

Zunächst ist noch eine Reihe von Arbeiten zu erwähnen, welche, mit einer anderen Methodik arbeitend, ganz abweichende Resultate gezeitigt haben. Unter Benutzung des bei den Fischen auch durch andere Versuche nachgewiesenen assoziativen Gedächtnisses haben mehrere Forscher, in ähnlicher Weise wie dies bei Affen und Hunden gelungen ist, gedächtnismässige Assoziationen zwischen einer bestimmten Farbe und dem Wohlgeschmack oder der Widrigkeit eines Futterbissens herzustellen versucht. Zolotnitsky¹⁾ beobachtete, dass junge „Makropoden“ einen mit ihnen in demselben Bassin gehaltenen „Teleskop“fisch verfolgten und nach dessen roten Brustflossen bissen. Die Makropoden waren regelmässig mit roten Chironomuslarven gefüttert worden. Das brachte ihn auf den Gedanken, Versuche mit farbigen Wollfäden anzustellen. Er schnitt Stücke von der Grösse einer Chironomuslarve ab und klebte der Reihe nach die verschieden gefärbten Fäden von aussen an die Glaswand des Aquariums. An den grünen schwammen die Fische achtlos vorüber, ebenso an den weissen. An den gelben hielten sie an, und einige versuchten sie zu fressen. „Mais lorsque j'eus mis les morceaux rouges, surtout ceux dont la couleur ressemblait les plus aux larves, tous les poissons se précipitèrent, dans une grande agitation et se jetèrent, avec avidité contre la paroi de verre, ouvrants de grandes gueules et s'effor-

1) N. Zolotnitsky, Les poissons distinguent-ils les couleurs? Arch. de Zool. exp. (3) t. 9. Not. Rev. p. I-V und Physiol. russe t. 2 p. 277—280. 1901.

cant d'attraper les morceaux de laine.“ Ganz besonders die „Tanches“ zeigten sich unermüdlich in diesen Versuchen.

Wurden gleichzeitig mehrere Fäden geboten, so lockten nur die roten die Fische an, die übrigen blieben unbeachtet. Dasselbe galt für farbige Papierstückchen.

Nachdem die Fische darauf längere Zeit mit weissen Brotkrumen gefüttert worden waren, die sie anfangs ungern, später bereitwilliger nahmen, suchten sie auch weisse Wollfäden und Papierstückchen zu verschlingen, aber nicht so gern wie rote.

Wenn nun auch in den Versuchen mit Wollfäden und gefärbten Papierstückchen die Helligkeit der verschiedenen Farben nicht geprüft wurde, so ist es doch unwahrscheinlich, dass die Fische das Rot nur an seinem Helligkeitswert erkannt haben, und dass nicht unter den anderen Farben sich auch solche von gleicher Helligkeit befunden haben sollten, welche zu Verwechslungsgleichungen geführt hätten.

Als weitere Beobachtungen, welche dafür sprechen, dass die Fische ihre Beute mit Hilfe des Farbensinnes erkennen, führt der Verfasser an, dass man „Vaudoises“ in Russland angelt, indem man als Köder Heuschrecken, grüne Algenstückchen (*Spirogyra*), grüne Laubblätter oder Stückchen anderer grüner Objekte benutzt. Für andere Fische seien mit Mennige rot gefärbte Brotkrumen oder künstliche Larven aus rot gefärbter Gelatine als besonders wirksame Köder bekannt.

Zu ganz ähnlichen Resultaten sind unabhängig von der Beobachtung Zolotnitsky's, Washburn und Bentley¹⁾ gelangt. Sie lehrten einen Fisch (*Semotilus atromaculatus*), die Erinnerung an das ihm gereichte Futter mit der an eine bestimmte Farbe zu verbinden. Das Tier befand sich in einem Aquarium, welches durch eine undurchsichtige Scheidewand in zwei Teile geteilt war. Bei jedem Versuch wurden in der einen Hälfte zwei Pinzetten von gleicher Form angebracht, an deren Branchen gefärbte Holzplättchen, an der einen rote, an der anderen grüne, befestigt waren, und eine dieser Pinzetten wurde mit einem Wurm versehen. Der Fisch konnte zu ihnen durch zwei Löcher in der Scheidewand gelangen, und es wurde darauf

1) M. F. Washburn and J. M. Bentley, The establishment of an association involving color-discrimination in the creek chub, *Semotilus atromaculatus*. Journ. comp. neur. psych. vol. 16 p. 113—125. 1906.

geachtet, dass er ebensooft, und zwar in regelloser Aufeinanderfolge, zuerst die rote wie die grüne Pinzette erblickte. Zunächst wurde der Wurm immer an der roten Pinzette befestigt und beobachtet, an welcher Pinzette der Fisch zuerst schnappte. Sehr bald lernte er, sofort die rote Pinzette mit dem Futter suzfusuchen. Alle möglichen Fehlerquellen wurden dabei ausgeschlossen: das Erblicken des Wurmes selbst, das Erkennen am Geruch usw. Dass die rote Farbe nicht etwa an ihrem Helligkeitswert erkannt wurde, zeigte sich beim Auswechseln des Rot gegen ein (für unser Auge) sehr viel helleres und des dunkleren Grün gegen ein sehr viel helleres Blau.

Nachdem die Assoziation Rot-Futter fest geworden war, wurde nunmehr der Wurm immer an der grünen Pinzette befestigt. Nach einer interessanten Periode des Umlernens mit anfänglich häufigen Irrtümern und dann allmählich abnehmender Unsicherheit trat die neue Verbindung Grün-Futter an die Stelle der zuerst erlernten.

Die verwendeten Farben waren nicht spektral rein, und ihr Helligkeits- und Farbwert wurde nur mit dem Auge beurteilt. Ihren Wert gewinnt daher die Untersuchung erst im Zusammenhang mit den Beobachtungen Zolotnitsky's und den besonders exakt angestellten Versuchen Reighard's¹⁾.

Reighard beabsichtigte die Hypothese zu prüfen, die lebhafte Färbung der Korallenfische sei eine Warnfärbung, welche, in Verbindung mit widrigen Eigenschaften auftretend, die Tiere ihren Feinden, den Raubfischen, von weitem kenntlich mache und ihnen auf diese Weise zum Schutz gereiche. Zu diesem Behufe experimentierte er mit einem die Rifff Korallen von Tortugas (Florida) bewohnenden räuberischen Fisch, *Lutianus griseus* — „the gray snapper“. Im einzelnen suchte er festzustellen: 1. ob und welche Farben die Schnappfische unterschieden, 2. ob sie eine Assoziation zwischen einer bestimmten Farbe und unangenehmen Eigenschaften der Beutetiere zu bilden vermöchten, und 3. ob sie imstande wären, diese Assoziation gedächtnismässig festzuhalten. Die aus der Fülle der Versuche uns

1) J. Reighard, An experimental study of color-discrimination, association, and memory in the Gray Snapper *Lutianus griseus* (Linnaeus) and of warning coloration in coral-reef fishes. 6th Yearbook Carnegie Inst. p. 117—118. (Vorläufige Mitteilung). 1907. — J. Reighard, An experimental field-study of warning coloration in coral-reef fishes. Pap. Tortugas Lab. Carnegie Inst. vol. 2 p. 257—325. Washington 1908.

hier besonders interessierenden sind kurz zusammengefasst folgende: Einem Schwarm von 100—150 Schnappfischen wurden in seinem normalen Milieu 21 verschiedene Arten von lebhaft gefärbten Korallenfischen vorgeworfen; keiner von ihnen wurde verschmäht, sondern alle ohne Zögern gefressen. Ebenso wurden künstlich in sieben verschiedenen Farben gefärbte *Atherina laticeps* (ein farblos-silberglänzender Fisch, welcher eine bevorzugte Nahrung des *Lutianus* bildet) ohne Unterschied angenommen.

Trotzdem besitzt der Schnappfisch ein deutliches Unterscheidungsvermögen für Farben. Denn wurden gleichzeitig weisse und blaue Atherinen verfüttert, so fielen stets die weissen zuerst zum Opfer. So waren z. B. von 80 verfütterten Fischen unter den 40 zuerst aufgeschnappten 34 weisse und nur 6 blaue, und nachdem alle weissen gefressen waren, blieben noch 32 blaue übrig. Wurde die Wahl zwischen Blau und Hellrot gelassen, so befanden sich unter den fünf bei jedem Versuch zuerst gefressenen Fischen im ganzen 84 % blaue; bei der Kombination Blau-Dunkelrot sogar 90 % blaue. Ähnlich fiel die Kombination Blau-Gelb aus, während bei Blau-Grün keine Bevorzugung der einen Farbe erkennbar war.

Besonders interessant war auch das Benehmen der *Lutianus* den verschieden gefärbten Futterfischen gegenüber. Während sie die blauen und grünen ohne Besinnung aufschnappten, zögerten sie bei den gelben und roten, zuckten häufig zurück, nachdem sie zunächst auf sie zugeschwommen waren; und wenn zufällig zwei Fische von verschiedener Farbe, z. B. ein blauer und ein roter dicht nebeneinander fielen, nahmen sie in allen Fällen den blauen zuerst.

Mit grosser Sorgfalt wurde darauf geachtet, dass die gleichzeitig verfütterten, verschieden gefärbten Fische keinen Unterschied in der Grösse und im Geschmack zeigten (letzteres durch gleichmässige Behandlung mit Formol und Essigsäure).

Dem Einwand, dass es sich bei diesen Versuchen um Unterscheidung der Helligkeits-, nicht der Farbwerte handeln könne, sucht Reighard durch eine möglichst genaue Bestimmung der Weissvalenzen der verwendeten Farben zu begegnen. Mit dem Farbenkreisel wurde bei der einen Versuchsreihe die Helligkeit des verwendeten Blau als in der Mitte zwischen der des Hell- und Dunkelrot liegend bestimmt. Grün und Blau, welche keine verschiedene Reaktion auslösten, waren in der Helligkeit sehr verschieden. Bei

einer anderen Versuchsreihe waren die relativen Helligkeiten andere, die spezifische Wirkung der Farben blieb jedoch immer dieselbe.

Des weiteren konnte gezeigt werden, dass die *Lutianus* eine Assoziation zwischen einer bestimmten Farbe und unangenehmem Geschmack zu bilden vermochten. Roten *Atherina* wurden nesselkapseltragende Tentakel einer Qualle in den Mund gesteckt. Die *Lutianus* spieen diese Fische, nachdem sie sie zuerst aufgeschnappt hatten, wieder aus und nahmen bald keine roten Futterfische mehr an, auch wenn sie keine brennenden Tentakel trugen. Dagegen wurden zwischenein gereichte weisse Atherinen mit Tentakeln gefressen, ein Zeichen, dass nicht die durch die Tentakel veränderte Form, sondern die Farbe unterschieden wurde. Diesen Widerwillen gegen rote Atherinen hatte der zum Versuch verwendete Schwarm von Schnappfischen nach 20 Tagen noch nicht verloren.

Übereinstimmend haben also die verschiedenen Autoren, und zwar unabhängig voneinander, das Vorhandensein des Farbenunterscheidungsvermögens durch den Nachweis eines Farbengedächtnisses bei den Fischen festgestellt. Die Arbeiten sind Hess allem Anschein nach nicht bekannt geworden, und er hat daher keine Veranlassung gefunden, sie seinen eigenen Resultaten gegenüber zu diskutieren, welche für die totale Farbenblindheit der Fische zu sprechen scheinen. Um so mehr schien mir eine erneute Prüfung des hier behandelten Problems unter Berücksichtigung der widersprechenden Resultate gerechtfertigt.

Da Hess nach seinen eigenen Angaben vorwiegend an dunkeladaptierten (resp. längere Zeit im Dunkeln befindlichen) Tieren gearbeitet hat, während die Fütterungsversuche der letztbesprochenen Autoren anscheinend bei hellem Tageslicht angestellt wurden, lag es nahe, daran zu denken, dass die Unterschiede durch verschiedene Adaptationszustände der Versuchstiere bedingt sein mochten. Der Gang meiner Versuche war daher der, dass ich zunächst die Reaktion der Tiere gegenüber Hell und Dunkel nach längerem Aufenthalt in hellem Licht und nach längerer Verdunkelung festzustellen suchte, um damit ihr Benehmen bei farbiger Bestrahlung unter denselben Verhältnissen zu vergleichen. Sie erstrecken sich auf die Arten *Charax puntazzo* Gm., *Atherina hepsetus* L., *Box salpa* L. und *Mugil sp.*¹⁾, welche charakte-

1) Die Bestimmung der Arten verdanke ich der Liebenswürdigkeit Dr. S. Lo Bianco's.

ristische, wahrscheinlich mit dem natürlichen Aufenthaltsort und den Lebensgewohnheiten der Tiere zusammenhängende Verschiedenheiten in ihrem Verhalten zeigen.

Zur Prüfung ihrer Reaktionsweise wurden die Tiere zunächst in einen „Phototaxistrog“, ein langes schmales, innen geschwärztes Gefäss, gebracht, welcher nur von einer Schmalseite her Licht empfang. Durch Vorsetzen verschiedenfarbiger Filter vor die offene Schmalseite des Trogs konnte dieser auch mit farbigem Licht bestrahlt werden.

Von farbigen Filtern standen mir zur Verfügung:

1. Rubinrot. Glasscheibe von Schott und Genossen, Jena mit der Fabriknummer F4512. Durchgelassen wurden Strahlen von $620\ \mu\mu$ bis Ultrarot und ganz schwach $608-620\ \mu\mu$;

2. Dunkelgelb. Methylorange-Gelatinefilter nach Pringsheim (Ber. deutsch. bot. Gesellsch. Bd. 26 a S. 556—565). Durchgelassen wurden Strahlen von $535\ \mu\mu$ bis zum roten Ende;

3. Hellgelb. Doppelte Lage des gelben „Papier virida“, welches von der Firma A. Lumière in Lyon zum Arbeiten mit „Autochrom“-Platten geliefert wird. Durchgelassen wurden $515\ \mu\mu$ bis zum roten Ende mit sehr guter Begrenzung gegen das Blaugrün;

4. Grün. Ein grünes und ein gelbes Blatt des „Papier virida“ der genannten Firma aufeinander gelegt, $505-570\ \mu\mu$. Grösste Helligkeit $525-530$, also etwa bei E. Schwaches Band im äussersten Rot;

5. Blau. Glasscheibe mit der Nummer F3873 von Schott und Genossen in Jena. Durchgelassen Ultraviolett bis etwa $545\ \mu\mu$, ein schwaches Band zwischen D und E und ein ganz schwaches bei B.

Durch Aufeinanderlegen der Rotscheibe und eines Blattes „Papier virida“-Grün entstand ein Dunkelrot vom äussersten Ende des uns sichtbaren Spektrums, bei etwa $680-710\ \mu\mu$, welches sich zur Beurteilung der Grenze des den Fischen sichtbaren Spektrums benutzen liess.

Bei weiteren Versuchen wurde den Tieren die Wahl zwischen zwei verschiedenen Farben oder zwei verschiedenen Helligkeiten gelassen. Dazu diente mir ein innen geschwärzter rechteckiger Kasten (zur Ausschliessung von Nebenlicht), in dessen einer Schmalwand sich ein quadratischer Ausschnitt befand, hinter dem (innerhalb des Kastens) die Küvette mit den Fischen angebracht wurde. Vor diesem Ausschnitt liessen sich farbige Filterscheiben befestigen, von denen je zwei verschieden farbige oder verschieden helle so zusammengefügt wurden, dass sie in einer vertikalen Grenzlinie zusammenstiessen und demgemäss die Küvette in eine linke und rechte Hälfte teilten. In der dem quadratischen Ausschnitt des Kastens gegenüberliegenden Wand befand sich ein verschliessbares Loch zur Beobachtung. Die Regulierung der Lichtintensität geschah durch Nähern oder Entfernen der Lichtquelle oder durch Episkotister. Bei starker Annäherung der Lichtquelle wurde ein Wasserkasten eingeschaltet, um Erwärmung zu verhüten. Denselben schwarzen Kasten benutzte ich auch, um das Verhalten der Tiere im Spektrum zu prüfen. Dieses wurde entweder so entworfen, dass seine Ausdehnung der Breite der Kuvette entsprach, oder es wurden

bestimmte Bereiche eines Spektrums von grösserer Dispersion (Schwefelkohlenstoffprisma) herausgeschnitten. Wenn es galt, ganz schmal begrenzte Spektralgebiete zu verwenden, benutzte ich den Phototaxistrog, in dessen einer Schmalseite ein senkrechter Spalt angebracht wurde. Die Qualität der jeweils zur Verwendung kommenden Strahlenart wurde durch ein dem Spalt gegenüber in dem schwarzen Belag des Trogs angebrachtes Loch mit Hilfe eines gradsichtigen Spektroskops mit Wellenlängenskala bestimmt.

1. *Charax puntazzo* C. V.

Das Wohngebiet dieser Art ist das litorale Flachwasser, wo sich die Jungfische vereinzelt, d. h. ohne Schwärme zu bilden, vorwiegend zwischen den Algenbüscheln aufhalten und diese nach kleinen Beutetieren absuchen. Im Aquarium kann man beobachten, dass sie auf jeden fremden Körper, z. B. die hingehaltene Hand, gewissermassen neugierig zuschwimmen. Bewegt sich jedoch ein Körper auf sie zu, so fliehen sie, besonders wenn dieser einige Grösse hat, und verbergen sich zwischen den Algen oder in dunkeln Winkeln des Gefässes. Es standen mir etwa 15—20 mm lange Fischchen zur Verfügung, welche sich, wie auch die anderen von mir untersuchten Arten (ausser *Atherina*), in der Gefangenschaft, mit Mysiden gefüttert, mehrere Monate lang am Leben erhielten.

In den Phototaxistrog gebracht, zeigen diese Tiere keine Tendenz, sich an einem Ende desselben anzusammeln; sie sind weder positiv noch negativ phototaktisch, sondern schwimmen ungestört aus dem hellen Ende ins dunkle und umgekehrt. Werden sie durch Erschütterung erschreckt, so suchen sie sich zuweilen zu verbergen, indem sie sich den Kanten und Ecken des Gefässes anschmiegen und so einige Zeit verharren. Bringt man jedoch, nachdem die Tiere sich längere Zeit im Trog befunden und an ihn gewöhnt haben, vor dessen nicht geschwärzte Schmalseite ein Blatt weisses Papier, so schwimmen sie sofort darauf zu und stossen eine Zeitlang gegen die Glaswand, gewöhnen sich dann allmählich an den veränderten Zustand und schwimmen bald wieder ruhig hin und her. Dieselbe Ansammlung am hellen Ende tritt ein, wenn man das Blatt Papier fortnimmt oder durch ein durchscheinenderes oder weniger durchscheinendes ersetzt. Es handelt sich hier offenbar um dieselbe Reaktion, die erfolgt, wenn man irgendeinen Körper, z. B. die Hand, in das Bassin mit den Tieren taucht: Auf jede Neuerscheinung im gewohnten Milieu schwimmen die Fische zunächst zu. Eine Ausnahme wird nur bemerkbar, wenn man plötzlich direktes Sonnen-

licht oder sehr intensives Licht einer künstlichen Lichtquelle in den Trog fallen lässt. Dann kehren sich die Tiere wie erschreckt von der Lichtquelle ab und schwimmen in raschen Stössen nach dem dunkeln Ende hin.

Hält man die Tiere vor Beginn dieser Versuche längere Zeit (etwa 30 Minuten oder länger) im Dunkeln, so wird ihre Reaktion nur insofern etwas verändert, als jetzt Licht von geringerer Intensität schon als starker Reiz wirkt und zu einer Ansammlung am dunkeln Ende führt. Im übrigen zeigen sie auch die Tendenz, sich jede Veränderung der Intensität der Lichtquelle aus nächster Nähe anzusehen.

Das geschilderte Verhalten der Tiere habe ich in folgender Weise zur Prüfung ihres Farbenunterscheidungsvermögens benutzt: Statt verschieden heller weisser Blätter wurden die genannten verschiedenfarbigen Scheiben vor das offene Ende des Phototaxistrogs gebracht und jedesmal die Reaktion der Fische beobachtet. Zwischen je zwei farbigen Gläsern wurde ein schwarzes Kartonblatt eingeschoben, um die Tiere wieder zur Ruhe kommen zu lassen. (Der Trog wurde nicht bedeckt, so dass die Fische stets von oben mit gemischtem Licht diffus beleuchtet waren. Sie kamen also nie in vollkommenes Dunkel oder in einfarbiges Licht allein, da sie unter diesen Bedingungen zu unruhig geworden wären.) Als Lichtquelle wurde Tageslicht oder eine künstliche Lichtquelle (Auerlicht) benutzt und deren Intensität so gewählt, dass bei plötzlicher Beleuchtung keine Flucht ins Dunkle, sondern vielmehr Ansammlung am hellen Ende eintrat.

Dabei ergab sich folgendes interessante Verhalten: Wurde hell-adaptierten und seit längerer Zeit im Trog befindlichen *Charax* die blaue Scheibe geboten, so reagierten sie wie auf gemischtes Licht durch äusserste Annäherung an dieselbe. Ebenso bei Grün und Hellgelb. Dunkelgelb rief in keinem Falle eine deutliche Ansammlung hervor; zuweilen kehrten sich sogar die Tiere, zumal wenn kurz vorher Blau vorgeschaltet wurde und sie noch am hellen Ende angesammelt waren, von der Lichtquelle ab. Wurde jedoch die rote Scheibe vorgesetzt, so schwammen sie sogleich in raschen Stössen von der Lichtquelle fort und hielten sich selbst bei länger dauernder Rotbestrahlung lange Zeit so weit wie möglich vom Licht entfernt am dunkelsten Ende des Gefässes auf. Das Verhalten der Tiere dem Rot gegenüber ähnelt also dem bei plötzlicher Bestrahlung mit

sehr intensivem gemischten Licht. Da jedoch die Gesamtintensität des durch die verschiedenen Filter abgeschwächten Lichtes von Anfang an so schwach gewählt wurde, dass der Fluchtreflex nicht eintrat, so ist ersichtlich, dass die geschilderte Verschiedenheit im Verhalten gegenüber den verschieden gefärbten Filtern nicht auf Helligkeitsdifferenzen der letzteren zurückgeführt werden kann, sondern allein auf ihren Farbwert.

Die starke, zu einer qualitativ verschiedenen Reaktion der Tiere führende Reizwirkung des Rot lässt sich auch zeigen, wenn man statt der farbigen Scheiben ein Spektrum verwendet. In dem etwa 1 m langen Spektrum einer Bogenlampe¹⁾ konnte der in die Richtung der Strahlen gebrachte Phototaxistrog parallel zur Querachse verschoben werden. In seiner der Lichtquelle zugekehrten Schmalwand befand sich ein etwa 5 mm breiter Spalt, durch welchen nach dem Fortziehen eines schwarzen Kartonblattes monochromatisches Licht

1) Da mir der Einwand zu bestehen schien, das Spektrum einer Bogenlampe liesse sich ohne vorherige Feststellung seiner Helligkeitskurve dem Sonnenspektrum nicht gleich setzen, habe ich sowohl das Spektrum einer gewöhnlichen Gleichstrom-Bogenlampe wie das der von Hess benutzten Liliputbogenlampe (von Zeiss, Jena) mit dem Engelmann'schen Mikrospektralphotometer untersucht. Dabei ergaben sich recht erhebliche Unterschiede. Das Spektrum der grossen Bogenlampe zeigte, verglichen mit dem Sonnenspektrum, eine deutliche Verkürzung im Rot und auffallend grosse Intensität im Gelbgrün. Mit diesem Spektrum angestellte Versuche würden also die Hess'schen Resultate (geringer Helligkeitswert des Rot und grösste Helligkeit im Gelbgrün für die von ihm untersuchten Fische) zweideutig machen. Nun wurden jedoch seine Befunde (wenigstens die bei den Seefischen mit Sicherheit) mit dem Spektrum der Zeiss'schen kleinen Mikroskopierbogenlampe erhoben, und dieses zeigt gegenüber dem Sonnenspektrum gerade umgekehrt einen grossen Reichtum im Rot und relativ geringe Helligkeit im Gelbgrün. Mit dem Sonnenspektrum würden sich also die erwähnten Hess'schen Resultate noch schlagender dargestellt haben. Herr Dr. Henker teilte mir auf meine Anfrage bei der Firma Zeiss freundlichst mit, dass die Kohlen der Mikroskopierbogenlampe seines Wissens gewöhnliche Dochtkohlen und nicht besonders präpariert seien. Die abweichende Energieverteilung im Spektrum dieser Lampe sei vielleicht darauf zurückzuführen, dass sie bei stark verminderter Luftzufuhr und dementsprechend mit höherer Temperatur brenne. Da auch mir in dieser Jahreszeit kein einigermaßen konstantes Sonnenspektrum zur Verfügung stand, habe ich meine Versuche mit den Spektren der beiden erwähnten verschiedenen Bogenlampen angestellt; und da sich keine merkbaren Unterschiede ergaben, dürften die Resultate aller Wahrscheinlichkeit nach auch für das mit seiner Helligkeitsverteilung etwa in der Mitte liegende Sonnenspektrum gelten.

von einer bestimmten Wellenlänge einfallen konnte. Mit einem hinter dem Trog angebrachten Spektroskop mit Wellenlängenskala konnte die den Fischen jeweils dargebotene Strahlenart bestimmt werden. Von oben wurde der Trog zur Beobachtung mit schwachem gemischtem Licht bestrahlt.

Während nun bei dieser Anordnung die helladaptierten Tiere vom Violett durch Blau und Grün bis zum Gelb stets dem farbigen Licht zustrebten, trat bei Übergang zum Orange eine plötzliche Umkehr der Reaktion ein, die im Rot sehr deutlich wurde. Die Fische sammelten sich am dunkeln Ende des Trogs und suchten unter zappelnden Bewegungen dem unangenehmen roten Licht zu entrinnen. Aus mehreren Bestimmungen ergab sich die Stelle, bei welcher vom Violett gegen das Rot vorrückend eine Umkehr der Reaktion eben bemerkbar wurde, zwischen 620 und 630 $\mu\mu$, einmal deutlich bei 610.

Endlich tritt die „Rotscheu“ der *Charax* auch in Wahlversuchen mit zwei verschieden gefärbten Lichtfiltern hervor. Beleuchtet man z. B. in dem oben beschriebenen Kasten die Küvette mit den (helladaptierten) Fischen zur Hälfte mit rotem und zur Hälfte mit blauem Licht durch Vorsetzen der entsprechend gefärbten Glasscheiben, so zeigt sich zunächst im Moment der Beleuchtung ein deutlicher Unterschied im Verhalten der in den beiden verschiedenfarbigen Hälften befindlichen Tiere. Die in der blauen Hälfte wenden sofort den Kopf der Lichtquelle zu und steigen mit zappelnden Bewegungen an der vorderen Glaswand in die Höhe; die auf der roten Seite dagegen kehren den Kopf vom Licht ab und suchen mit hin und her huschenden Bewegungen vorwiegend an der unteren Kante der Hinterwand zu entrinnen. Allmählich geraten sie jedoch dabei sämtlich in die blaue Hälfte und gesellen sich dann sofort zu den der Lichtquelle Zustrebenden. Nach und nach werden die Bewegungen der Tiere ruhiger; sie beginnen hin und her zu schwimmen und zappeln nicht mehr so erregt an der vorderen Glaswand. Dann kann man häufig beobachten, wie sie dort, wo die blaue Hälfte in die rote übergeht, wie vor einer Wand zurückprallen.

Spricht schon dieses Benehmen der Tiere dafür, dass der verschiedene Reizwert von Blau und Rot durch den Unterschied der Farbe und nicht der Helligkeit bestimmt wird, so bestätigt sich diese Deutung durch Versuche mit Kombination von verschiedenen hellen weissen Scheiben. Diese ergeben nämlich, dass entsprechend der bei *Charax* nicht nachweisbaren Phototaxis (s. oben S. 17) keine

Ansammlung in der einen Hälfte stattfindet, wenn beide Gefäßhälften mit gemischtem Licht von verschiedener Helligkeit bestrahlt werden. Die Fische schwimmen vielmehr ruhig hin und her. Von der auffälligen Erregung, wie sie bei farbiger Bestrahlung eintritt, ist nichts zu bemerken.

Da es für den Vergleich mit dem menschlichen Auge nicht uninteressant schien, zu untersuchen, ob die von Hering¹⁾ beim total Farbenblinden festgestellte Verkürzung im Rot — der total Farbenblinde F. K. sah die Grenze des Spektrums am roten Ende bei etwa 665 $\mu\mu$ — für die hier untersuchten Fische bestünde, habe ich das in der oben (S. 16) angegebenen Weise hergestellte Filter, welches etwa 680—710 $\mu\mu$ durchliess, vor die eine Hälfte der Küvette gebracht und die andere Hälfte verdunkelt. Die auf der beleuchteten Seite befindlichen Tiere kehrten deutlich den Kopf von der Lichtquelle ab, und bald waren alle in der dunkeln Hälfte gesammelt. Eine wesentliche Verkürzung im Rot scheint also nicht zu bestehen.

Alle diese Erscheinungen beziehen sich, wie hier noch einmal ausdrücklich betont sei, auf helladaptierte Tiere. Ganz anders gestalten sich die Resultate, wenn man die Fische vor Beginn der Versuche $\frac{1}{2}$ Stunde oder länger im Dunkeln hält.

Auf ihr Verhalten gegen gemischtes Licht im Phototaxistrog unter diesen Bedingungen wurde oben schon hingewiesen. Diese Reaktion bleibt nun gänzlich unverändert, wenn man, statt die Lichtintensität durch helle und dunkle weisse Filter zu verändern, die farbigen Scheiben vorschaltet. Die Fische schwimmen dann (bei entsprechend herabgesetzter Gesamtintensität) nicht nur auf Blau, Grün und Hellgelb zu, sondern auch auf Dunkelgelb und Rot. Es macht den Eindruck, als ob durch die Dunkeladaptation das Rot für die Tiere seinen abschreckenden Farbwert verloren habe und nur mehr einen Helligkeitswert besitze.

Derselbe Unterschied im Verhalten bei verschiedenen Adaptationszuständen macht sich auch bei Verwendung des Spektrums geltend. An der Stelle desselben, wo die helladaptierten Tiere eine deutliche Umkehr ihrer Reaktion zeigten (im Orange), schwimmen die dunkeladaptierten unverändert auf die Lichtquelle zu; sie tun dies auch noch beim Übergang zu homogenem Rot.

1) E. Hering, Untersuchung eines total Farbenblinden. Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 49 S. 563—608. 1891.

Wiederum entsprechend ist ihr Verhalten im Wahlversuch. Kombiniert man z. B. Blau und Rot, so gleicht ihr Verhalten durchaus dem helladaptierter Tiere bei Kombination verschieden heller weisser Scheiben, d. h. sie schwimmen ruhig aus der einen Hälfte in die andere. Von einer Verschiedenheit im Verhalten der in den beiden Gefässhälften befindlichen Individuen ist nichts zu erkennen.

Bringt man nun die Tiere für einige Zeit in helles Licht, so zeigen sie darauf wieder das zuerst geschilderte Verhalten, welches ich kurz als „Rotscheu“ bezeichnet habe. Um eine ungefähre Vorstellung von dem zeitlichen Ablauf der Helladaptation zu geben, sei aus dem Protokoll mitgeteilt, dass nach 10 Minuten langer Belichtung mit einem Auerbrenner aus etwa 25 cm Entfernung (mit zwischen-geschaltetem Wasserkasten) die Tiere sich als deutlich helladaptiert erwiesen. Nach 5 Minuten war die Reaktion noch undeutlich, nach 15 Minuten nicht deutlicher als nach 10 Minuten.

Erwähnt sei noch, dass die Grenze des sichtbaren Spektrums am roten Ende durch die Dunkeladaptation nicht oder nicht wesentlich verschoben zu werden scheint. Bestrahlt man die eine Hälfte der Küvette mit dem dunkelroten Filter (680—710 $\mu\mu$), während die andere verdunkelt ist, so sammeln sich die dunkeladaptierten Fische in der beleuchteten Hälfte. Eine Verkürzung des Spektrums ist nicht erkennbar.

Atherina hepsetus L.

Die Jungfische dieser Art, welche zur Zeit meiner Experimente (im Februar) die Länge von etwa 15 mm erreicht hatten, leben in Schwärmen pelagisch, und zwar finden sie sich bei ruhigem Wetter an der äussersten Meeresoberfläche. Wie die meisten oder alle Plankton- und Nektonformen der Oberfläche, ist diese Art positiv phototaktisch. Hess hat, wie bereits erwähnt, diese Reaktion benutzt, um die relative Helligkeit, in der den dunkeladaptierten Tieren die einzelnen Spektralbereiche erscheinen, zu bestimmen, indem er Helligkeitsgleichungen zwischen den spektralen Lichtern und einem Mischlicht von abstufbarer Intensität bildete. Ebenso liessen sich zwei nebeneinander gesetzte verschiedenfarbige Gläser, z. B. ein blaues und ein rotes, so in ihrer Helligkeit abstufen, dass keines vor dem anderen bevorzugt wurde, sondern dass die Fische ruhig von der einen Seite zur anderen schwammen.

Gestützt auf diese Resultate, konnte ich auch bei *Atherina* den qualitativ verschiedenen Reizwert der verschiedenen Farben nachweisen. Kombiniert man nämlich die Jenaer Blau- und Rotscheibe, ihre Intensitäten so abstufend, dass die dunkeladaptierten Tiere sich deutlich in der roten Hälfte sammeln, und bringt sie darauf für etwa 10 Minuten in helles Licht, so tritt eine Umkehr der Reaktion ein: sie sammeln sich jetzt im Blau statt im Rot. Die Umkehr beruht wiederum auf einer „Rotscheu“ der helladaptierten Tiere; denn man kann das Blau so stark verdunkeln, wie man will, ja, man kann es sogar durch einen schwarzen Karton vollkommen abblenden, immer meiden die Fische die rote Hälfte. Entgegen ihrer positiven Phototaxis suchen sie also unter diesen Bedingungen die dunklere Hälfte auf, und es ist somit sichergestellt, dass das Rot für die helladaptierten Tiere ausser seinem Helligkeitswert noch einen Farbwert besitzt, der sie zu einer qualitativ verschiedenen Reaktion, nämlich einer Fluchtbewegung, führt. Das Rot ist die einzige Farbe, welche diese auffällige Reizwirkung ausübt; zwischen allen anderen Farben lässt sich auch bei helladaptierten Tieren eine Gleichung bilden.

Auch bei Verwendung eines Spektrums lässt sich diese „Rotscheu“ nachweisen. Führt man z. B. die Küvette mit den helladaptierten Tieren in einem etwa 1 m langen Spektrum langsam vom violetten gegen das rote Ende zu, so zeigen sie bis zum Gelb keinerlei Aufregung, sondern schwimmen ruhig hin und her und lassen sich durch teilweise Verdunkelung des Gefässes jederzeit in dem beleuchteten Teile sammeln. In dem Moment jedoch, wo die roten Strahlen von der einen Seite her mit in das Gefäss fallen, kehren sich die Tiere von dieser Seite ab und lassen das rot bestrahlte Gebiet frei. Auch durch Verdunkelung des übrigen Gefäss-teiles lassen sie sich nicht ins Rot treiben. Die abschreckende Wirkung des Rot ist also den beiden bisher geschilderten Arten gemeinsam. Man wird an das Verhalten vom Truthahn und Stier erinnert, deren heftige Reaktion auf dieselbe Farbe bekannt ist.

Box salpa C. V.

Die Jungfische dieser Art, von denen mir eine Anzahl etwa 20—25 mm langer Tiere zur Verfügung stand, halten sich zwischen den Felsen und Pflanzen der Uferzone auf. Doch bilden sie im Gegensatz zu *Charax puntazzo* Schwärme und zeigen auch insofern

ein abweichendes Verhalten, als sie sich auf Störungen nicht zwischen den Algen verbergen, sondern im Gegenteil dem freien Wasser zustreben, wo sie ungehindert von ihren Flossen Gebrauch machen können. Diese verhelfen ihnen bei ihrem schlanken Körperbau zu einer sehr ausgiebigen Fluchtbewegung.

Damit hängt es wohl zusammen, wie ich auch an anderer Stelle¹⁾ für die Art *Smaris alcedo* C. V., welche ein ähnliches Verhalten zeigt, erläutert habe, dass diese Fische im Phototaxistrog deutlich positive Phototaxis zeigen. Die Tendenz, in der Erregung, welche durch das ungewohnte Milieu entsteht, den Weg ins Freie zu suchen, bringt die Tiere dazu, sich an der ungeschwärzten Seite des Troges abzuzappeln. Wenn sie dann nach einiger Zeit der Aufregung zur Ruhe gekommen sind, kann man diese Ansammlung an der hellsten Stelle durch Erschütterung des Gefässes immer wieder erzeugen. Diese Reaktion zeigen hell- und dunkeladaptierte Tiere in gleicher Weise.

Im Verhalten gegen verschiedene Farben tritt jedoch wiederum ein deutlicher Unterschied bei verschiedenen Adaptationszuständen hervor. Entwirft man z. B. auf der Küvette mit den helladaptierten Fischen ein Spektrum von der Breite dieser Küvette, so dass ihnen die Wahl zwischen allen Spektralfarben gegeben ist, so streben sie sofort sämtlich dem Blau zu und zwar einer ziemlich eng begrenzten Stelle. Nach genügend langer Dunkeladaptation jedoch sammeln sie sich im Gelbgrün an der Stelle, welche auch unserem dunkeladaptierten Auge als die hellste im Spektrum erscheint. Dass in dieser Änderung der Reaktion sich nicht eine Verschiebung der relativ grösseren Helligkeit gegen das blaue Ende des Spektrums, sondern das Hervortreten des Farbwertes des Blau ausspricht, wird in den Wahlversuchen deutlich. Bringt man z. B. vor beide Hälften der Küvette eine weisse Milchglasscheibe und dann ausserdem noch vor die eine Hälfte die Blauscheibe, so sammeln sich die helladaptierten Tiere im Blau, obgleich dieses nur einen Teil des Gesamtlichtes ausmacht, also sicher dunkler ist als die andere Gefässhälfte. Die Reaktion der Tiere ist dann eine ihrer nachweislich positiven Phototaxis entgegengerichtete, ein deutliches Zeichen, dass nicht die Helligkeit, sondern der Farbwert des Blau in diesem Fall bestimmend wirkt. Lässt man dagegen die Fische einige Zeit dunkel adaptieren, so

1) V. Bauer, Über sukzessiven Helligkeitskontrast bei Fischen. Zentralbl. Physiol. Bd. 23 S. 593—599. 1909.

sammeln sie sich bei derselben Anordnung in der helleren, mit gemischtem Licht bestrahlten Gefäßshälfte an, d. h. die blaue Seite erscheint ihnen jetzt offenbar nur dunkler als die weisse und ohne ihren Farbwert. Wiederum tritt also die Unterscheidung der Farbwerte nur bei Helladaptation hervor.

Von einer „Rotscheu“ ist bei dieser Art nichts zu bemerken.

Mugil sp.

Die 3—4 mm langen Jungfische, deren Artzugehörigkeit nicht sicher erkennbar war, fanden sich, ähnlich wie die Atherinen, in Schwärmen sowohl in der Nähe der Küste wie auf hohem Meer. Im Phototaxistrog zeigten sie sich hell- wie dunkeladaptiert positiv phototaktisch.

Bei dieser Art konnte ich weder „Rotscheu“ noch „Vorliebe für Blau“ feststellen. Immerhin war auch hier bei verschiedenen Adaptationszuständen ein Unterschied, nämlich eine Veränderung in der Bewertung der Helligkeit der verschiedenen Farben, durch die Tiere nachweisbar. Kombinierte man z. B. Grün und Blau im Wahlversuch und stellte die Intensitäten so ein, dass den helladaptierten Fischen die grüne Hälfte eben merklich heller erschien, d. h. eine Ansammlung hervorrief, und liess sie nun eine Zeitlang dunkel adaptieren, so zeigte sich darauf eine Umkehr der Reaktion, indem nunmehr das Blau ihnen heller erschien und eine grössere Anziehungskraft ausübte. Mit anderen Worten: es gelingt auf diese Weise der Nachweis des Purkinje'schen Phänomens¹⁾.

1) Die grösste Helligkeit meines Grünfilters liegt zwischen 525 und 535 $\mu\mu$, während das Blaufilter vom violetten Ende bis etwa 580 $\mu\mu$ so gut wie ungeschwächt durchlässt. Für die Wellenlängen 535 (resp. 537) und 490 $\mu\mu$ sind die Helligkeiten für das hell- und dunkeladaptierte menschliche Auge von König und Schatarnikoff ausgemessen worden. Es ergab sich:

	Helligkeit für das helladaptierte menschliche Auge	Helligkeit für das dunkeladaptierte menschliche Auge
Grün von 535 $\mu\mu$	264	1000
Blau von 490 $\mu\mu$	27	339

Würde (entsprechend meinem oben mitgeteilten Wahlversuch) das Grün bis auf $\frac{1}{3}$ seiner Helligkeit verdunkelt, so dass es mit 29,3 dem helladaptierten menschlichen Auge eben noch merklich heller als das Blau (mit 27) erschiene, so würde dem dunkeladaptierten menschlichen Auge das Grün mit 111,1 nur etwa $\frac{1}{3}$ so hell als das Blau (mit 339) erscheinen. Es würde also bei einem solchen Versuch für unser Auge ebenso wie für die Fische durch die wechselnde Adaptation eine Umkehr der relativen Helligkeiten von Blau und Grün erfolgen.

Übrigens scheint diese Veränderung der relativen Helligkeit der Farben durch wechselnden Adaptationszustand eine allgemeinere Erscheinung zu sein, denn ausser bei *Mugil* konnte ich den Versuch in ganz analoger Weise bei *Atherina hepsetus* L. und bei *Sargus Rondeletii* C. V. anstellen.

So zeigen also alle untersuchten Arten trotz der mannigfachen Abweichungen im einzelnen eine völlige Übereinstimmung darin, dass bei ihnen durch verschiedene Adaptationszustände Unterschiede in der Reaktion auf verschiedene Spektralfarben und farbige Glaslichter hervorgerufen werden, welche dafür sprechen, dass die Farben für die Fische ausser ihrem Helligkeitswert noch einen (nur bei Helladaptation hervortretenden) Farbwert besitzen. Insofern haben die hier mitgeteilten Versuche eine Bestätigung und Erweiterung der von verschiedenen Autoren, besonders von Reighard, durch Fütterungsversuche angebahnten Kenntnis vom Farbenunterscheidungsvermögen der Fische geliefert. Die von Hess gefundene Übereinstimmung der Helligkeitsverteilung im Spektrum bei den Fischen einerseits und beim dunkeladaptierten Menschen (bei minimaler Lichtintensität) und dem total Farbenblinden (bei jeder Lichtintensität) andererseits gilt, wie ich zeigen konnte, nur für die dunkeladaptierten Fische. Wie beim normalen farbentüchtigen Menschen wird diese Helligkeitsverteilung durch Helladaptation verändert (Purkinje's Phänomen, nachgewiesen bei *Mugil*, *Atherina* und *Sargus*), und wie beim normalen Menschen tritt bei Helladaptation zur Unterscheidung der Helligkeiten die Unterscheidung der Farben („Rotscheu“ bei *Charax* und *Atherina*, „Vorliebe für Blau“ bei *Box*). Eine wesentliche Differenz zwischen Mensch und Fisch zeigt sich jedoch darin, dass für das menschliche dunkeladaptierte Auge die farbige Empfindung erst bei äusserst geringer Helligkeit des Spektrums aufhört, während für die dunkeladaptierten Fische der Farbwert der untersuchten Lichter auch bei relativ grosser Helligkeit derselben zurücktritt.