

Experimente zu den Irisfunktionen und zum Strahlengang im menschlichen Auge

von
Günther Witkowski

Im Rahmen der Sinnesphysiologie ist das menschliche Auge obligatorischer Gegenstand des Biologieunterrichts. Dabei bieten sich viele Blickpunkte und fächerübergreifende Themenkreise an, unter denen die Funktionen des Auges betrachtet werden können. Einige solcher Themen seien beispielhaft genannt:

- das Auge als Sinnesorgan bei Mensch und Tier (Sinnesphysiologie, die Evolution des Lichtsinns)
- das Auge und seine Entwicklungsgeschichte
- das Auge als "Spiegel der Seele": Pupillenerweiterung bei Interesse, angenehmer Stimmungs- und Erlebnislage; Wechselspiel des Sympathicus und Parasympathicus
- die Pupillenreaktionen als Beispiele für Reflexe (Fremdreflexe)
- die Pupillenreaktionen als Beispiele für Regelkreise
- Informationsverarbeitung beim Sehvorgang in kybernetischer Betrachtungsweise (vgl. z.B. HASSENSTEIN 1970, OPPELT u.a. 1970)
- Wahrnehmungspsychologie: Gesetze des Sehens, optische Täuschungen (GENTIL 1962, GREGORY 1966, SCHOBER u.a. 1972)
- Gesundheitserziehung (richtiges Sehverhalten, Sehvermögen unter Alkoholeinfluß, Augenkrankheiten, Linsenfehler, Alterssichtigkeit)
- Genetik (angeborene Augenkrankheiten, Schwächen und Mängel im Farbsehen)
- der Augenhintergrund als Indikator für innere Erkrankungen (Bluthochdruck, Arterienverkalkung)
- physikalische Optik (Sammelnlinsen und Blenden)

Der Bau des Auges kann anhand von Dias, Modellen und der Präparation eines Rinderauges erarbeitet werden. Die Funktionen der verschiedenen Teile des Auges wie Hornhaut, Regenbogenhaut, Linse, Netzhaut, Aderhaut, Lederhaut lassen sich durch eine Reihe von Experimenten am eigenen Körper untersuchen. Dabei ist die technische Durchführung der Versuche relativ einfach, was ihre Brauchbarkeit für den Biologieunterricht erhöht. Zudem gestatten einige der Versuche eine Reihe von Abwandlungen, die dem Schüler Anreize zur Planung eigener Versuchsanordnungen bieten und so seine schöpferisch forschende Phantasie anregen können.

Für das Verständnis der Funktionen der einzelnen Teile des Auges ist ein Vergleich mit den Teilen eines Fotoapparates hilfreich und wird häufig auch in den Schulbüchern sowie in Praktikums- und Lehrbüchern der Sinnesphysiologie erwähnt (z.B. NACHTIGALL 1972, S. 183). Solch ein Vergleich ist natürlich nur mit gewissen Einschränkungen möglich (siehe z.B. KEIDEL 1971, S. 104, NACHTIGALL 1972, S. 183), und zwar entspricht dabei die Iris der Blende, der lichtbrechende Apparat (Hornhaut, Kammerwasser, Linse, Glaskörper) kann ohne große Fehler vereinfacht als Sammellinse betrachtet werden und entspricht dem Objektiv, die Netzhaut mit ihren Lichtsinneszellen ist der photographischen Platte vergleichbar.

Im folgenden seien einige Versuche zur Funktion der Iris und zur Demonstration des Strahlengangs im menschlichen Auge näher erläutert.⁺⁾

Die Funktionen der Iris sind:

1. Regulierung der Helligkeit (Adaptation) auf der Netzhaut (Retina) durch die direkte Lichtreaktion und die konsensuelle
-

⁺⁾ Die meisten Versuche wurden im Rahmen von Physiologischen Übungen mit Studenten durchgeführt und auch mit Schülern von Hauptschulen und Gymnasien erprobt.

Reaktion.

2. Erhöhung der Schärfentiefe einer Abbildung bei verengter Pupille durch Ablendung der Randstrahlen.

Diese beiden Funktionen erreicht die Iris durch folgende Reaktionen:

1. die direkte Lichtreaktion
2. die konsensuelle Reaktion
3. die Naheinstellungsreaktion (Miosis, Nahakkomodation, Konvergenz).

Dazu einige Experimente am menschlichen Auge:

Zu 1: Beobachtung der direkten Lichtreaktion der Iris
(Versuch 1):

Verengung der Pupille (Miosis) bei Erhöhung der Helligkeit der Umgebung, Erweiterung der Pupille (Mydriasis) bei Herabsetzung der Helligkeit. Die Beobachtungen erfolgen an einer Versuchsperson.

Ausführung:

- a) Schließt die Versuchsperson beide Augen für wenige Sekunden und öffnet sie danach, wobei sie möglichst ins helle Licht blickt, so verkleinern sich die anfangs weiten Pupillen beider Augen innerhalb einer Sekunde (man beachte die leichten Schwankungen der Pupillengröße).
- b) Derselbe Versuch kann einäugig durchgeführt werden. Nach TRENDELENBURG (1961, S. 22) hat die Pupille eine mittlere Weite von 4 mm, die jedoch mit zunehmendem Alter abnimmt, und die Größenänderung des Pupillendurchmessers "zwischen Dunkelheit und starker Helligkeit" reicht von 8 mm bis 2 mm. Da die von der Pupille durchgelassene Lichtmenge von der Fläche der Pupille abhängt, kann also die Pupille die Netzhaut-

helligkeit im Verhältnis $4^2\pi : 1^2\pi = 16 : 1$ verändern (der Flächeninhalt einer Kreisfläche ist bekanntlich $r^2\pi$, der Radius der Pupille schwankt zwischen 4 mm und 1 mm).

Zu 2: Die konsensuelle Reaktion (Versuch 2):

Ändert sich die Pupillenweite eines Auges (z.B. aufgrund von Helligkeitsänderungen), so erfolgt ebenfalls im anderen Auge, das gleichbleibender Helligkeit ausgesetzt wird, eine gleichsinnige, etwas abgeschwächte Veränderung der Pupillenweite.

Ausführung:

- a) Die Versuchsperson setzt das zu beobachtende Auge konstanter Beleuchtung aus, während sie das andere Auge schließt (Pupille des offenen Auges erweitert sich) und nach einigen Sekunden öffnet (Pupille des konstant offenen Auges verengt sich).

Eine leichte Abwandlung dieses Versuchs gestattet, die direkte Lichtreaktion und die konsensuelle Reaktion gleichzeitig zu beobachten:

- b) Der Beobachter leuchtet der Versuchsperson (beide Augen offen, Raum nicht zu hell) mit einer Taschenlampe in ein Auge und beobachtet beide Pupillen. Beobachtung: Die bestrahlte Pupille zieht sich zusammen (direkte Lichtreaktion), gleichzeitig verengt sich auch die nicht angestrahlte Pupille, jedoch nicht ganz so stark (konsensuelle Reaktion).

Zu 3: Pupillenverengung bei Nahakkomodation (Versuch 3):

Bei Nahakkomodation verengt sich die Pupille in geringem Maße, beim Blick in die Ferne erweitert sie sich etwas.

Ausführung:

Die Versuchsperson blickt zunächst in die Ferne und fixiert dann einen Gegenstand in ca. 30 cm Entfernung. Dabei beobachtet man eine Verengung der Pupille.

Zu den nervalen Grundlagen der Pupillenreaktionen nur kurz dies (für Einzelheiten vergl. Lehrbücher der Physiologie):

Bei der direkten Lichtreaktion ist der auslösende Reiz für die Miosis die Belichtung der Netzhaut, besonders der Fovea centralis (zugleich auch Stelle schärfsten Sehens). Die Erregungsleitung erfolgt über die Sehbahn zu den Sphinkterkernen beider Hirnhälften im Mittelhirn. Die Erregungsleitung zum Musculus sphincter pupillae, der die Pupillenverengung (Miosis) bewirkt, erfolgt über parasymphatische Bahnen des Nervus oculomotorius.

Die konsensuelle Reaktion wird durch die Erregungsleitung zu beiden Hirnhälften ermöglicht.

Die Naheinstellungsreaktion (Miosis, Konvergenz und Nahakkommodation) erfolgt über eine Gruppeninnervation, wobei man Miosis und Konvergenz in besonders engen Zusammenhang bringt (s. VELHAGEN 1969, S. 206 f).

Die Erweiterung der Pupille kann passiv erfolgen (bei Dunkel-erweiterung durch Herabsetzung des Sphinktertonus) oder aktiv durch sympathische Innervierung des Musculus dilatator pupillae bei starken Reizen (Schmerz, laute Geräusche, Schreck), vergl. HOLLWICH 1974, S. 254.

Die direkte Lichtreaktion und die konsensuelle Reaktion kann man mit einem Spiegel auch an sich selbst beobachten. Das ist beim dritten Versuch (Pupillenverkleinerung bei Nahakkommodation) wegen des geringeren Grades der Pupillen-Verengung und der zusätzlich notwendigen eigenen Nahakkommodation des beobachtenden Auges bei einer Eigenbeobachtung im Spiegel schlecht möglich. Diese gelingt mittels der sogenannten entoptischen Phänomene, die außerdem die Eigenbeobachtung der direkten Lichtreaktion und der konsensuellen Reaktion gestatten. Mit entoptischem Phänomen bezeichnet man die Beobachtung, daß man Teile, die im eigenen Auge sind, selbst wahrnehmen kann, indem man sie als Schatten nach außen lokalisiert (z. B. den Pupillenrand bei den folgenden Versuchen; die mouches volantes bei Trübungen im Glaskörper).

Entoptische Versuche

Versuch 4:

Hält man ein Stück Pappe mit einem ca. $1/2$ mm großen Loch dicht vor das linke Auge, so sieht man einen hellen Kreis. Der Kreis wird enger bzw. weiter, wenn man das andere Auge öffnet bzw. schließt.

Deutung dieser Beobachtungen:

Aus den Versuchen zur direkten Lichtreaktion wissen wir, daß bei Helligkeit die beleuchtete Pupille eng ist, was wegen der konsensuellen Reaktion dann auch für die Pupille des anderen Auges gilt, mit dem wir den hellen Kreis wahrnehmen. Daher ergibt sich, daß die Pupille des linken Auges sich in gleicher Weise verkleinern muß wie der helle Kreis. Also liegt die Vermutung nahe, daß die helle Kreisscheibe ein Abbild der Pupille ist.

Versuch 5:

Mit einer kleinen Abwandlung des Versuches 4 können wir zeigen, daß der Rand des hellen Kreises ein Abbild des Pupillrandes ist. Dazu markieren wir in Versuch 5 eine Stelle der Pupille, indem wir zum Beispiel mit einer Postkartenecke von unten her dicht am Auge ein Stückchen der Pupille abdecken: Die Postkartenecke wird also zwischen die gelochte Pappe und das Auge gehalten. Die zunächst überraschende Wahrnehmung: Eine schwarze Ecke ragt von oben her in den hellen Kreis. Bewegen wir die Pappecke vorsichtig nach links bzw. nach rechts oder nach oben bzw. unten, so wandert die schwarze Ecke im hellen Kreis nach rechts bzw. nach links oder nach unten bzw. nach oben, also stets in die umgekehrte Richtung wie die Pappecke bewegt wird.

Zur Deutung dieser Versuche ist die Kenntnis einiger einfacher Gesetze der geometrischen Optik von Nutzen:

- a) Bei Sammellinsen werden Brennstrahlen (d.h. durch den Brennpunkt verlaufende Strahlen) so gebrochen, daß sie hauptachsenparallel verlaufen.
- b) Hauptachsenparallel verlaufende Lichtstrahlen gehen durch den Brennpunkt.

Mit Hilfe dieser Gesetze und mit der Kenntnis der Tatsache, daß das lichtbrechende System des Auges als Sammellinse aufgefaßt werden kann, deren Brennpunkt ca. 15 mm vor der Hornhaut liegt (der hintere Brennpunkt liegt 24 mm hinter der Hornhaut in der Höhe der Netzhaut), lassen sich die Beobachtungen der Versuche deuten:

Bei den obigen Versuchen 4 und 5 wird die Lochblende in die Nähe des Brennpunktes gehalten. Die von ihr ausgehenden Lichtstrahlen werden etwa achsenparallel vom dioptrischen Apparat des Auges gebrochen und bilden den Pupillenrand auf die Netzhaut ab, ohne einander also vorher zu überkreuzen (s. Abb. 1).

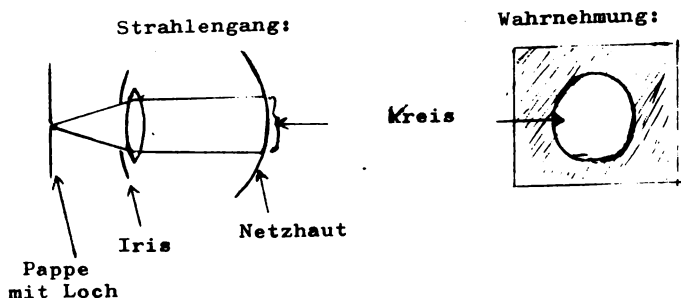


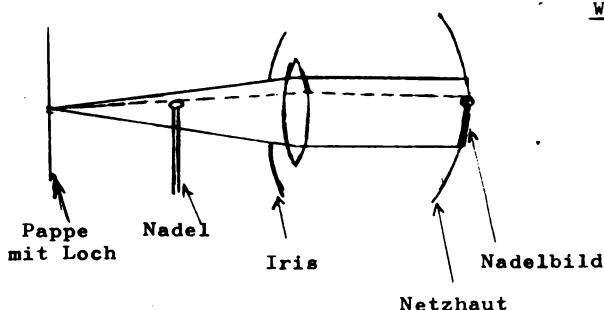
Abb. 1: Strahlengang zu Versuch 4

Sollte der geneigte Leser den Versuch 4 entsprechend der "Versuchsanleitung" eben durchgeführt haben und keinen hellen Kreis wahrgenommen haben, sondern einen unten abgeschnittenen Kreisabschnitt, dann hing sein Oberlid wie beim "gelangweilten",

"müden", "schläfrigen" Blick ein Stück über die Pupille und würde eine kleine Ruhepause nahelegen (falls das hängende Oberlid nicht auf Konstitution, Gewohnheit oder gar pathologischen Ursachen beruht). Der Strahlengang entspricht dem bei Versuch 5 (s. Abb. 2, jedoch ist der untere Teil des hellen Kreises waagrecht abgeschnitten, da das Oberlid von oben einen Pupillenabschnitt bedeckt).

Beim Versuch 5 wird dicht vor das Auge eine Pappecke gehalten, die in derselben Weise wie der Pupillenrand auf die Netzhaut abgebildet wird und also ein aufrechtes Schattenbild auf der Netzhaut ergibt, das umgekehrt wahrgenommen wird. Damit ist dieser Versuch 5 gleichzeitig ein Beweis dafür, daß das umgekehrte Netzhautbild in der Wahrnehmung aufrecht erscheint. Anstelle einer Pappecke kann man auch eine Stecknadel (an der Spitze gefaßt) dicht vor das Auge halten (Strahlengang und Wahrnehmung s. Abb. 2). In der Literatur fand ich den Versuch 4 (ohne Strahlengangkonstruktion) stets mit einer Stecknadel angegeben (GENTIL 1962, S. 14, FRIEDRICH 1963, S. 99), doch ist bei Schülerversuchen anstelle der Stecknadel eine Papp-ecke zu empfehlen.

Strahlengang:



Wahrnehmung:

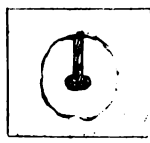


Abb. 2: Strahlengang zu Versuch 5, Sagittalschnitt, schematisch

Da wir die Gegenstände unserer Alltagsumgebung aufrecht wahrnehmen, müssen sie auf der Netzhaut umgekehrt abgebildet werden (auf dem Kopf stehen). Genau das ergibt sich aus den Gesetzen der geometrischen Optik: Gegenstände, die außerhalb der doppelten Brennweite liegen, werden reell, verkleinert und umgekehrt auf die Netzhaut abgebildet. Das kann man auch an der optischen Bank demonstrieren, noch instruktiver ist die Abbildung von Gegenständen auf die Netzhaut eines Rinderauges, in dessen Lederhaut und Aderhaut zu diesem Zweck ein Fensterchen geschnitten wurde (s. NACHTIGALL 1972, S.184, GENTIL 1962, S. 14).

Die Reizaufnahme in der Netzhaut sowie die Reizleitung zum Gehirn und die Entstehung der entsprechenden Wahrnehmung kann hier nicht diskutiert werden. Jedenfalls stehen die optischen Wahrnehmungen in Zusammenhang mit den Raumvorstellungen, die durch andere Sinne, insbesondere den Tastsinn, gewonnen werden, und die Integration der optischen und taktilen Informationen zeigt eine erstaunliche Plastizität. So konnten Versuchspersonen, die mehrere Tage bis Wochen ständig eine Umkehrbrille trugen, die ihre Sehwelt auf den Kopf gestellt und seitenverkehrt abbildete, nach einer Anpassungszeit Teile ihrer Umwelt zeitweilig aufrecht wahrnehmen. Einzelheiten solcher und ähnlicher Versuche (z.B. mit verzerrenden Brillen) finden sich u.a. bei TRENDELENBURG 1961, S. 368 f, GREGORY 1966, S. 189 ff, SCHOBER 1972, S. 9, und den dort zitierten Originalarbeiten.

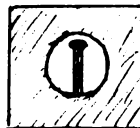
Versuch 6:

Die Pupillenverengung bei Nahakkommodation zeigt sich, wenn man eine Stecknadel ca. 20 cm so vor das Auge hält, daß sie im hellen Kreis sichtbar wird, und dann abwechselnd in die Ferne schaut oder die Stecknadel fixiert (Abb. 3).

Blick in die Ferne
Wahrnehmung:



Fixierung der Stecknadel
Wahrnehmung:



Man beobachtet ferner dabei, daß Nähe und Ferne nahezu gleich scharf erscheinen, unabhängig von der Fixierung (Abb. 3). Als Kontrollversuch schaue man ohne vorgehaltene Pappe in die Ferne und beachte dabei nahe Gegenstände (z.B. Daumen), die dann unscharf sind. Umgekehrt ist die Ferne bei Nahfixation unscharf. Dieser Versuch 6 zeigt also gleichzeitig die Bedeutung der Pupille für die Schärfentiefe.

Die Strahlen, die von der Stecknadel bei Versuch 6 ausgehen, verlaufen wie in der Camera obscura (s. Abb. 4): Je kleiner die Blende, desto schärfer ist die Abbildung, allerdings auch desto dunkler. Die Brechkraft der Linse spielt bei so enger Blende kaum noch eine Rolle. Daher kann man auch bei Linsenfehlern (z.B. bei Kurz- oder Weitsichtigkeit) oder bei Alterssichtigkeit auch ohne eine Brille bei hinreichender Umgebungshelligkeit recht scharf sehen, wenn man durch eine Lochblende wie in Versuch 6 blickt oder durch eine kleine Öffnung zwischen entsprechend zusammengehaltenem Daumen, Zeige- und Mittelfinger, wie es KRUMM (1964, S. 21) empfiehlt. Dieser Versuch 6 zeigt im übrigen ebenfalls, daß die Netzhautbilder umgekehrt und seitenverkehrt wahrgenommen werden.

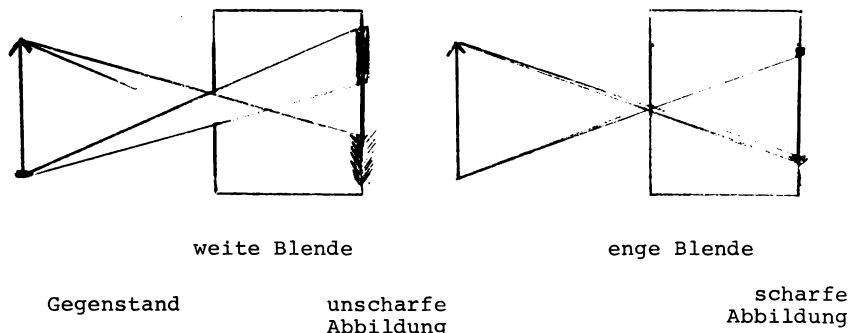


Abb. 4: Strahlengang durch eine Lochblende

Eine Variante des vorgegangenen Versuchs 6 kann die Abhängigkeit der Schärfentiefe von der Pupillengröße noch mehr verdeutlichen:

Versuch 7:

Anstelle mit einer Lochblende decken wir die untere Hälfte der Pupille mit einer Postkartenecke (ähnlich wie in Versuch 5) von einer Seite (etwa der Nasenseite) her kommend weitgehend ab und betrachten dabei wieder eine ca. 20 cm entfernte Nadel. Blickt man in die Ferne, so sieht man die Nadel oberhalb der Pappe erwartungsgemäß unscharf (Abb. 5 b und c). Dicht neben der Pappe jedoch erscheint das Nadelbild umso schärfer, je weiter man die Pupille mit der Pappe abdeckt (natürlich ohne die Pupille ganz zu verdecken), s. Abb. 5 c.

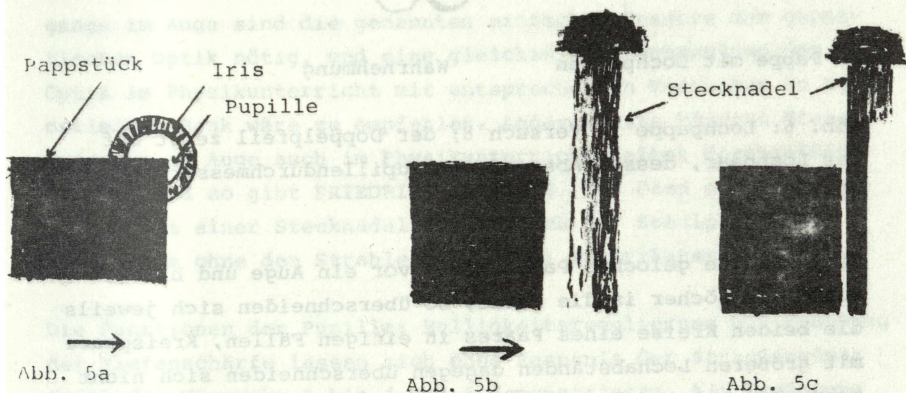


Abb. 5 a - c : Versuchsanordnung (5a) und Wahrnehmung (5b und 5c) zu Versuch 7. Der Pfeil gibt die Bewegungsrichtung des vor die rechte Pupille gehaltenen Pappstückes an. Bei (5c) wird die Nadel dicht neben der Pappe scharf abgebildet.

Mit einem weiteren entoptischen Versuch läßt sich die Pupillenweite nach BOUMA (1965) messen:

Versuch 8:

Man sticht in ein Pappstück mit einer Stecknadel Paare von Löchern, wobei die Paare etwa 4 mm untereinander liegen und die Abstände innerhalb der Paare jeweils um 1 mm zunehmen (s. Abb. 6).

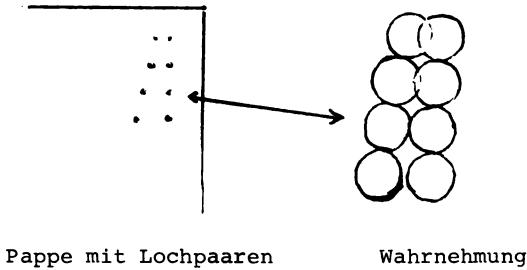


Abb. 6: Lochpappe in Versuch 8; der Doppelpfeil zeigt auf das Lochpaar, dessen Abstand dem Pupillendurchmesser annähernd gleich ist.

Hält man die gelochte Pappe dicht vor ein Auge und blickt durch die Löcher in die Ferne, so überschneiden sich jeweils die beiden Kreise eines Paares in einigen Fällen, Kreispaares mit größeren Lochabständen dagegen überschneiden sich nicht mehr. Der Abstand der Löcher, bei denen sich die hellen Kreise gerade berühren, gibt den Durchmesser der Pupille an (Abb. 6), falls das Auge normalsichtig ist. Den Strahlengang bei diesem Versuch zeigt die Abb. 7.

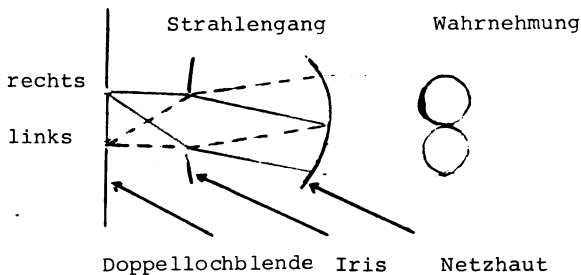


Abb. 7: Strahlengang bei Versuch 8, Horizontalschnitt, schematisch; die zwei hellen Kreise, die einander berühren, sind Abbilder des Irisrandes.

Es sei noch auf die Verständnisschwierigkeit der Beobachtung hingewiesen, daß eine Nadel, dicht vor das Auge gehalten, aufrecht gesehen wird (wenn auch unscharf), aber umgekehrt, wenn ihr Schattenwurf bei Versuch 5 von einer Lochblende aus ins Auge fällt. Die Erklärung ergibt sich jeweils aus dem Strahlengang, bei dem sich im ersten Fall die Strahlen im Auge überkreuzen, im zweiten Fall nicht (s. Abb. 2).

Zur Durchführung dieser Versuche im Unterricht sei noch kurz bemerkt:

Zum vertieften Verständnis und zur Demonstration des Strahlengangs im Auge sind die genannten einfachen Gesetze der geometrischen Optik nötig, und eine gleichzeitige Behandlung der Optik im Physikunterricht mit entsprechenden Versuchen an der optischen Bank wäre zu empfehlen. Andererseits könnten diese Versuche am Auge auch im Physikunterricht selbst durchgeführt werden, und so gibt FRIEDRICH (1963, S. 99) denn auch den Versuch 5 mit einer Stecknadel im Handbuch der Schulphysik an, allerdings ohne den Strahlengang dabei zu erläutern.

Die Funktionen der Pupille: Helligkeitsregulierung und Erhöhung der Tiefenschärfe lassen sich ohne Kenntnis der Strahlengänge durch die Versuche 1 bis 4 und 6 demonstrieren. Als Ergänzung kann man die Lochblende etwas vergrößern (Durchmesser des Lochs zum Beispiel 1,5 mm) und beobachtet dann die Zunahme der Helligkeit, und zwar besonders, wenn man zwei verschieden große Löcher in ca. 3 mm Abstand in die Pappe sticht. Hält man eine so entstandene Doppellochblende dicht vor das Auge, so beachte man gleichzeitig, daß die beiden verschieden hellen Kreise nahezu gleiche Größe haben, die also nicht von der Größe der Lochblende abhängt.

Die bei den geschilderten Versuchen benutzten Pappkärtchen und Stecknadeln lassen sich bei einer Reihe weiterer Experimente am Auge verwenden, zum Beispiel zur Untersuchung der Akkommo-

dation der Linse sowie zur Demonstration von Linsenfehlern, wobei der Verlauf der Lichtstrahlen im Auge ebenfalls erschlossen werden kann.

Zusammenfassung:

Die Funktionen der Iris und der Verlauf der Lichtstrahlen im Auge wurden anhand einiger Experimente mit einfachen Hilfsmitteln (Pappscheibe und Stecknadeln) untersucht. Die Strahlengänge wurden an Konstruktionen aus der geometrischen Optik erläutert.

Für die Anwendung der Versuche im Unterricht wurden einige didaktische Hinweise gegeben.

L i t e r a t u r

- BOUMA, H. 1965: Receptive Systems mediating certain Light Reactions of the Pupil of the Human Eye. 167 S.
Thesis, Technical University Eindhoven, January 1965. Promotor: Prof.Dr. J.F. Schouten.
- FRIEDRICH, A. 1963: Handbuch der experimentellen Schul-
(Hrsg.) physik - Optik.
Aulis Verlag Deubner & Co. KG. Köln.
- GENTIL, K. 1962: Optische Täuschungen.
Aulis Verlag Deubner & Co. KG. Köln,
58 S.
- GREGORY, R.L. 1966: Auge und Gehirn.
Zur Psychophysiologie des Sehens.
Kindler Verlag GmbH. München.
- HASSENSTEIN, B. 1970: Biologische Kybernetik.
Quelle & Meyer Heidelberg, 144 S.
- HOLLWICH, F. 1974: Augenheilkunde, 407 S.
Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
- KEIDEL, W.D. 1971: Sinnesphysiologie.
Teil I Allgemeine Sinnesphysiologie,
Visuelles System.
Springer Verlag Berlin, Heidelberg,
New York.
- KRUMM, E. 1964: Vom Sehen und Hören des Menschen.
Aulis Verlag Deubner & Co. KG. Köln,
113 S.
- NACHTIGALL, W. 1972: Zoophysiologischer Grundkurs.
Verlag Chemie - Physik, Weinheim/Bergstr.
- OPPELT, W. und 1970: Der Mensch als Regler.
G. VOSSIUS VEB Verlag Technik Berlin, 267 S.
Hier: H. Drischel, Der Pupillenapparat
des Menschen - ein biologischer Licht-
intensitätsregler, S. 113-137.
G. Vossius, Die Kybernetik der Augen-
folgebewegung, S. 139-157.
- SCHOBER, H. und 1972: Das Bild als Schein der Wirklichkeit.
J. Rentschler Moos Verlag München.
- TRENDELENBURG, W. 1961: Der Gesichtssinn.
Grundzüge der physiologischen Optik.
Springer-Verlag Berlin, Göttingen,
Heidelberg.
- VELHAGEN, K. 1969: Der Augenarzt, Bd. I
(Hrsg.) VEB Thieme, Leipzig

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen des Botanischen Vereins Berlin Brandenburg](#)

Jahr/Year: 1976

Band/Volume: [112](#)

Autor(en)/Author(s): Witkowski Günther

Artikel/Article: [Experimente zu den Irisfunktionen und zum Strahlengang im menschlichen Auge 227-241](#)