

Wissenschaftliche Hausarbeit für das Lehramt an
Haupt- und Realschulen
eingereicht dem Amt für Lehrerbildung
Stuttgarter Straße 18 – 24
60329 Frankfurt

Auge und Sehen im Schülerlabor

Institut: Didaktik der Physik
Betreuer: Prof. Dr. Thomas Wilhelm

Verfasser: Ihssan Ghanem

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Sachanalyse	3
2.1 Physikalische Grundlagen	3
2.1.1 Was ist Licht?	3
2.1.2 Geometrische Optik - Ausbreitung des Lichts	4
2.1.3 Die Bedeutung des Lichts für das Sehen von Gegenständen	5
2.1.4 Linsen	6
2.2 Das menschliche Auge	11
2.2.1 Der Aufbau und die Funktion des menschlichen Auges	11
2.2.2 Die Netzhaut (Retina)	13
2.2.3 Lichtbrechung und Bildentstehung	15
2.2.4 Akkommodation und Brechwert	20
2.2.5 Adaption	21
2.2.6 Fehlsichtigkeit	22
2.2.7 Augenbewegungen	24
2.3 Schülervorstellungen	25
3. Didaktische Überlegungen	28
3.1 Die Bildungsstandards	28
3.2 Das Konzept außerschulischer Lernorte	31
3.3 Das Konzept Schülerlabor	38
3.4 Der Experimentalunterricht	41
3.5 Handlungsorientierung	43
3.6 Die Erstellung eines Konzepts für das Schülerlabor	44
3.6.1 Lehrplanbezug und Bildungsbedeutung	44
3.6.2 Darstellung der Kompetenzen	47
4. Aufbau und Durchführung des Schülerlabors	50
4.1 Allgemeines zum Ablauf des Schülerlabors	53
4.2 Didaktischer Kommentar zum Schülerarbeitsheft	55
4.3 Die Stationen	55
4.3.1 Station 1: Wie schnell kannst du lesen?	55
4.3.2 Station 2: Die Bestandteile des Auges	60
4.3.3 Station 3: Wie verändert sich die Pupillengröße bei Belichtung und im Dunkeln?	62

4.3.4	Station 4: Wie sehen wir verschieden weit entfernte Dinge scharf?	65
4.3.5	Station 5: Blenden engen das Licht ein	67
4.3.6	Station 6: Wie entsteht das Bild auf der Netzhaut?	69
4.3.7	Station 7: Der blinde Fleck und der Nahpunkt	71
4.3.8	Station 8: Strahlengänge und Fehlsichtigkeit	75
4.3.9	Wahlpflichtstation 1: Optische Täuschung	78
4.3.10	Wahlpflichtstation 2: Linsen befinden sich nicht nur in unseren Augen	79
4.4	Evaluation	81
4.4.1	Fragebogen	81
4.4.2	Auswertung	81
5.	Fazit	86
	Literaturverzeichnis	88
	Abbildungsverzeichnis	93
	Tabellenverzeichnis	95
	Anhang	96
	Danksagung	152
	Selbstständigkeitsversicherung	153

1 Einleitung

Die Augen sind mehr als andere Sinnesorgane, Fenster des Organismus zur Außenwelt.

Dies wird an folgendem Beispiel besonders deutlich. Versucht man, mit geschlossenen Augen ein Stofftier durch Abtasten zu bestimmen, dauert es relativ lange, bis man die Tierart erkennt. Beim Hinschauen genügt ein Blick, um es in Sekundenbruchteilen zu bestimmen. Mit dem Auge erfolgt die Informationsaufnahme aus der Umwelt also schneller und umfassender als mit anderen Sinnesorganen. Der Sehvorgang übt daher eine besondere Faszination auf Menschen aller Altersstufen aus. Die Faszination am Auge und dem Sehvorgang soll hier für den naturwissenschaftlichen Unterricht genutzt werden.

Im Rahmen der Didaktik der Physikwissenschaften an der Johann Wolfgang-Goethe-Universität in Frankfurt am Main, wird ein Konzept für den außerschulischen Lernort Schülerlabor entworfen. Wichtig ist dabei der Gedanke, dass das Schülerlabor keinen ‚Ausflugscharakter‘ haben soll. Das Ziel ist vielmehr, den Spaß am Experimentieren und das Interesse an Naturwissenschaften zu wecken und zu fördern. Dabei wird fundiertes Wissen durch spannende Versuche und intensive Betreuung vermittelt.

Der Schwerpunkt der Arbeit soll auf der Konzeption einer Stationsarbeit mit verschiedenen Versuchen zum Thema Auge und Sehen liegen.

Die Gestaltung dieses Konzepts für das **Schülerlabor** zum Thema „**Auge und Sehen**“ setzt zunächst eine Beschäftigung mit dem Aufbau und den Funktionen des Auges voraus. Dies ist in Kapitel zwei dargestellt. An dieser Stelle erfolgt ebenfalls eine Auseinandersetzung mit den wesentlichen physikalischen Grundlagen, um das optische Instrument Auge besser zu verstehen.

Hieran schließt sich Kapitel drei mit allgemeinen didaktischen Überlegungen an. Es werden zunächst die Bildungsstandards erläutert. Anschließend werden das Konzept außerschulischer Lernorte, das Konzept des Schülerlabors und der Experimentalunterricht genauer dargestellt.

Daran schließt sich die Einordnung des Konzeptes in den Lehrplan an. In der Arbeit werde ich mich, wo Notwendigkeit besteht, auf den Rahmenlehrplan Hessen für Haupt- und Realschulen Stand 2008 beziehen. Es wird aufgezeigt, dass sich die Versuche zum Thema „Auge und Sehen“ sinnvoll im Rahmen des „handlungsorientierten Lernens“ im Physikunterricht der 7. Klasse einsetzen lassen. Das genannte Konzept hat nach BERCK das Hauptziel, *„den Schülerinnen und Schülern einen handelnden Umgang mit den Lerngegenständen und -inhalten des Unterrichts zu ermöglichen, wobei die Nutzung von*

Modellen neben der Durchführung von Experimenten ein wichtiges oder zentrales Medium des Handelns sind“ (Berck 2001, S. 75).

Im Schulunterricht nimmt das Thema „Auge und Sehen“ einen hohen Stellenwert ein. Der Lehrplan sieht als Unterrichtseinheit der Jahrgangsstufe 7 in allen drei Schulformen das Thema „Auge“ im Rahmen des Themengebietes Optik vor (Hessisches Kultusministerium 2008). Auch in zahlreichen Schulbüchern findet das Thema Erwähnung. Im Vordergrund steht hier, dass die Schülerinnen und Schüler den Aufbau und die Funktionen des menschlichen Auges mithilfe ausgewählter Versuche verstehen.

Das neue Konzept, sowie die dem Schülerlabor zugrundeliegenden methodischen Überlegungen, im Besonderen die Planung des Schülerlabortages, die Gestaltung des Schülerlabortheftes und die Auswahl der Versuche, werden in Kapitel vier vorgestellt. Die Zusammenstellung der Versuche wurde dabei so gewählt, dass die Schülerinnen und Schüler selbstständig Phänomene entdecken und daraus Gesetzmäßigkeiten ableiten können. Um einen Einblick in den menschlichen Sehvorgang zu erhalten werden dabei unter anderem Anschauungs- und Funktionsmodelle genutzt. Durch verschiedene Arbeitsmaterialien erhalten die Lernenden Kenntnisse über die Morphologie des Auges und dessen Funktion.

Im Anhang finden sich die erarbeiteten Materialien zum Schülerlabor.

2 Sachanalyse

2.1 Physikalische Grundlagen

In Folgenden werden die physikalischen Grundlagen dargestellt, die für die Konzeption des Schülerlabors zum Thema Auge und Sehen berücksichtigt werden.

2.1.1 Was ist Licht?

Licht, eine Form von Energie, ist der mithilfe unserer Augen wahrnehmbare Teil des Spektrums elektromagnetischer Strahlung mit Wellenlängen zwischen 380 und 780 nm. (vgl. Abbildung 1).

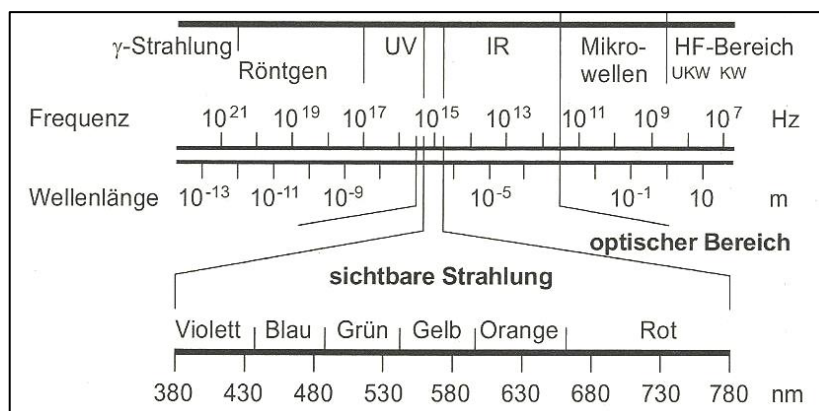


Abbildung 1 Frequenz und Wellenlängenbereiche der elektromagnetischen Strahlung. (aus: Kühlke 2011, S. 2)

Zum breiten Spektrum elektromagnetischer Strahlung zwischen 10^{-3} und 10^{13} nm gehören außerdem Gamma (γ)-, Röntgen-, Ultraviolett(UV)-, Infrarot(IR)-, Mikrowellen- und Radiowellenstrahlen (Kühlke 2011, S. 2). Sie alle breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit aus ($c = 2,998 \cdot 10^8$ m/s) und setzen sich aus nicht weiter aufteilbaren kleinsten Energiebeträgen zusammen, die als Quanten bezeichnet werden. Licht und andere elektromagnetische Strahlen lassen sich auch als Wellen auffassen, deren Energie von der Wellenlänge λ beziehungsweise der Frequenz ν bestimmt wird:

$$E \sim \frac{1}{\lambda}, E \sim \nu \text{ oder } E \sim c/\lambda$$

Bei gleicher Intensität ist daher kurzwelliger Strahlung energiereicher als langwellige.

In dieser Arbeit wird auf die nähere Beschreibung der Physik der elektromagnetischen Wellen verzichtet, da diese für die Experimente, die im Schülerlabor durchgeführt werden, nur eine untergeordnete Rolle spielt. Die Experimente können mithilfe der Vorstellung über die geradlinige Ausbreitung des Lichtes aus der geometrischen Optik erklärt werden.

2.1.2 Geometrische Optik - Ausbreitung des Lichts

Um den Weg des Lichtes zu beschreiben, verwendet man in der geometrischen Optik häufig die Begriffe Lichtbündel und Lichtstrahl. Die Lichtausbreitung in Form von Strahlen ist dann mit ausreichender Näherung zu beschreiben, wenn die Wellenlänge λ als genügend klein angenommen werden darf (Bergmann et al 2004, S. 37). In der geometrischen Optik gibt es keine Beugung. Die Wellenlänge sei sehr klein, verglichen mit den Abmessungen der Begrenzungen (Bergmann et al 2004, S. 30). Unter dieser Voraussetzung kann das Strahlungsfeld durch Strahlen dargestellt werden, die sich geradlinig im Raum fortbewegen. Die folgende Abbildung zeigt vereinfacht, was man unter einem Lichtbündel bzw. Lichtstrahl versteht.



Abbildung 2 Vom Lichtbündel zum Lichtstrahl.
(aus: Heepmann et al 1987, S. 7)

Hinter den Blenden tritt das Licht der Experimentierleuchte kegelförmig aus. Dieser Lichtkegel wird als Lichtbündel bezeichnet. Grenzt man ein Lichtbündel durch mehrere Lochblenden immer stärker ein, so bleibt schließlich immer noch ein ganz schmales Lichtbündel übrig. In Gedanken kann man dieses Lichtbündel weiter einengen; so kommt es dem, was man in der Geometrie als „Strahl“ bezeichnet, schließlich sehr nahe. Der Lichtstrahl ist also nichts anderes als eine Modellvorstellung. In Wirklichkeit sehen wir immer nur Lichtbündel, auch wenn sie noch so schmal sind. Ein sehr schmales Lichtbündel lässt sich als fein gezeichneter Strahl darstellen. Ein breiteres Lichtbündel wird in der Zeichnung durch Randstrahlen begrenzt. Seine Richtung wird durch den Richtungsstrahl angegeben, der in der Mitte des Bündels verläuft. Nach dem Verlauf der Randstrahlen lässt sich ein Lichtbündel in drei Gruppen einteilen. Dies ist in der folgenden Abbildung dargestellt.



Abbildung 3 Drei Ausbreitungsarten von Licht
(aus: Heepmann et al 1987, S. 7)

Laufen die Randstrahlen auseinander, handelt es sich um ein divergierendes Lichtbündel. Verlaufen die Randstrahlen zueinander parallel, handelt es sich um ein paralleles Lichtbündel. Laufen die Randstrahlen auf einen Punkt zu, so handelt es sich um ein konvergierendes Lichtbündel.

In unserer menschlichen Erfahrung steht die geradlinige Ausbreitung von Lichtstrahlen - in einem homogenen Medium - im Vordergrund (Meschede 2008, S. 1).

Wenn unser Auge Licht wahrnimmt, geht unser Gehirn immer davon aus, dass es sich geradlinig und nach allen Seiten hin ausbreitet, vorausgesetzt es wird nicht durch andere Körper oder die von diesen Körpern ausgehenden Einflüsse daran gehindert.

2.1.3 Die Bedeutung des Lichts für das Sehen von Gegenständen

Unser Auge ist ein Sinnesorgan, das Signale aus der Umgebung empfängt. Physikalisch betrachtet, ist es also ein Lichtempfänger. Wir können Licht jedoch nur wahrnehmen, wenn es in unser Auge fällt. Wir sehen Lichtquellen, die ihr Licht selbst erzeugen, so genannte selbstleuchtende Körper, wenn ein Teil des von ihnen ausgesandten Lichtes in unser Auge fällt (vgl. Heepmann et al 1987, S. 11). Wir sind jedoch auch in der Lage Gegenstände zu sehen, die selbst kein Licht erzeugen. Damit wir diese Gegenstände sehen, muss Licht auf sie fallen; das heißt, sie müssen beleuchtet werden. Der beleuchtete Gegenstand wirft dann das Licht in viele Richtungen zurück; so wird dieser ebenfalls zu einer Lichtquelle. Da das Licht, dabei im Raum „zerstreut“ wird, spricht man von dem Vorgang der Streuung des Lichtes. Wenn ein Teil des gestreuten Lichts in unser Auge trifft, sehen wir den Gegenstand. Nicht alle Körper streuen das Licht, das auf ihre Oberfläche trifft in gleiche Weise. Die meisten Körper in unserer Umgebung sind „undurchsichtig“. Auftreffendes Licht wird von ihnen reflektiert und dabei gestreut. Einige Körper, z.B. Milchglas bezeichnet man als durchscheinend oder transparent. Das Licht kann sie zum Teil durchdringen, es wird aber auch gestreut.

Glasscheiben und andere „durchsichtige“ Körper lassen das Licht fast ungehindert hindurch. Man nennt sie lichtdurchlässig. Schwarze, matte Körper absorbieren auftreffendes Licht fast vollständig. Wir sehen sie nur im Kontrast zu hellerer Umgebung (vgl. ebd., S. 11).

2.1.4 Linsen

Linsen sind unverzichtbare Bauteile optischer Instrumente (vgl. Kapitel 2.2), mit deren Hilfe Bilder von Gegenständen erzeugt werden können. Linsen sind sphärische, also kugelförmig geschliffene Körper, meist aus Kunststoff oder Glas, die sehr unterschiedliche Formen haben können (vgl. Abbildung 4).

Eines der wichtigsten optische Geräte ist die dünne Linse. Dünne Linsen haben gewöhnlich einen kreisrunden Querschnitt, ihre beiden Seiten sind Ausschnitte aus einer Kugel. Die beiden Seiten können konkav, konvex oder eben sein (vgl. Giancoli 2008, S. 1121).

Man unterscheidet zwei verschiedene Arten von Linsen, die Sammellinsen und Zerstreuungslinsen (vgl. Abbildung 4). Die Eigenschaft sphärischer Linsen, sammelnd oder zerstreuend zu wirken, hängt von der Größe und dem Vorzeichen der Krümmungsradien r_1 und r_2 ihrer sphärischen Flächen ab (Kühlke 2011, S. 119).

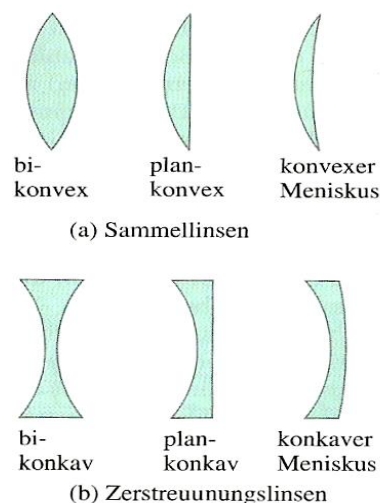


Abbildung 4 Sammellinsen und Zerstreuungslinsen.
(aus: Giancoli 2008, S. 1121)

Im Folgenden wird eine dünne Linse betrachtet, deren Material die Brechzahl n hat und beiderseits von Luft (mit der Brechzahl 1) umgeben ist. Die Linse besteht aus zwei sphärischen Flächen mit den Krümmungsradien r_1 und r_2 . Als „dünn“ bezeichnet man eine Linse, wenn der Scheitelabstand t zwischen den Kugelflächen („Dicke“ der Linse) gegenüber den Krümmungsradien r_1 und r_2 vernachlässigt werden kann. Die Brechung an den beiden Kugelflächen kann dann näherungsweise so behandelt werden, als ob sie in der Mitte der Linse stattfinden würde.

Fällt Licht auf eine Linse, die von Luft umgeben ist, wird es an der Eintritts- und Austrittsfläche gebrochen. Man kann die Brechung des Lichtes an jeder Oberfläche der Linse zunächst jeweils für sich betrachten und damit eine Gleichung herleiten, die die

Bildweite b in Abhängigkeit von der Gegenstandsweite g sowie von den Krümmungsradien r_1 und r_2 der Linsenflächen und von der Brechzahl n des Linsenmaterials angibt (Tipler 2006, S. 1050). Der Gegenstand hat von der ersten Oberfläche den Abstand g . An der ersten Oberfläche führt die Brechung zu einem virtuellen Bild bei P' . Die Bildweite b_1 des durch Brechung an der ersten Oberfläche entstehenden Bildes kann mithilfe der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$(1) \quad \frac{1}{g} + \frac{n}{b_1} = \frac{n-1}{r_1}$$

Das an der ersten Oberfläche gebrochene Licht wird an der zweiten Oberfläche erneut gebrochen. Da vorausgesetzt wird, dass die Linse sehr dünn ist, hat die Gegenstandsweite g_2 für die Brechung an der zweiten Oberfläche den gleichen Betrag wie die Bildweite b_1 . Gegenstandsweiten für Gegenstände auf der Einfallsseite einer Oberfläche sind positiv, während Bildweiten für Bilder auf derselben Seite negativ sind. Daher gilt für die Gegenstandsweite für die zweite Oberfläche $g_2 = -b_1$.

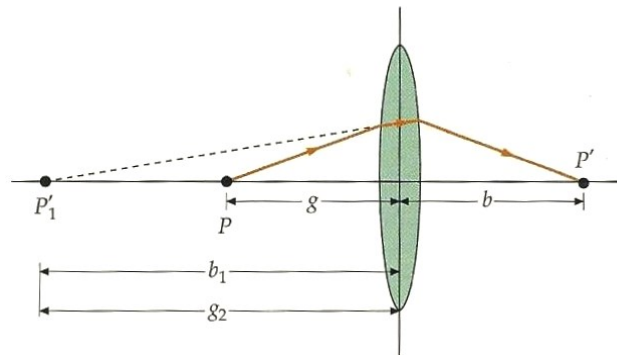


Abbildung 5 Brechung des Lichtes an einer dünnen Linse
(aus: Tipler 2006, S. 1050)

Für die Brechung an der zweiten Linsenoberfläche gilt:

$$(2) \quad \frac{n}{-b_1} + \frac{1}{b} = \frac{1-n}{r_2}$$

Die Bildweite b_1 kann aus der Gleichung eliminiert werden, indem man die Gleichungen (1) und (2) addiert. Man erhält dann folgende Gleichung:

$$(3) \quad \frac{1}{g} + \frac{1}{b} = (n-1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

Da es sich um eine dünne Linse handelt, ist die Brennweite f als die Bildweite bei einem unendlich weit entfernten Gegenstand definiert. Demnach wird also $g = \infty$ gesetzt. Zudem kann die Bildweite b durch die Brennweite f ersetzt werden. Daraus resultiert eine Gleichung, welche angibt, wie die Brennweite einer dünnen Linse von ihren Eigenschaften abhängt.

$$(4) \quad \frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

Es ist erkennbar, dass die rechten Seiten der Gleichung (3) und (4) identisch sind, sodass sich daraus folgende Gleichung ergibt:

$$(5) \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$$

Bei Gleichung (5) handelt es sich um die Abbildungsgleichung für dünne Linsen. Diese wird auch als Linsengleichung bezeichnet (Tipler 2006, S. 1051).

Wie bereits erwähnt unterscheidet man Sammel- und Zerstreuungslinsen. Die Sammellinsen sind am Rand dünner als in der Mitte, man nennt sie deshalb konvex (vom lateinischen *convexus*, „gewölbt“). Jede Linse¹, die in der Mitte dicker ist als am Rand, bewirkt dass parallele Strahlen in einem Punkt zusammenlaufen.

Im Gegensatz dazu ist eine konkave (vom lateinischen *concavus*, „hohl“) Linse in der Mitte dünner als am Rand. Sie lässt ein paralleles Strahlenbündel beim Austritt divergieren, streut die Strahlen also von der Achse weg und heißt deshalb auch Zerstreuungslinse.

Wenn parallel zur Achse verlaufende Strahlen, von links kommend, auf eine Sammellinse treffen, werden sie in einem Punkt fokussiert, dem Brennpunkt F .

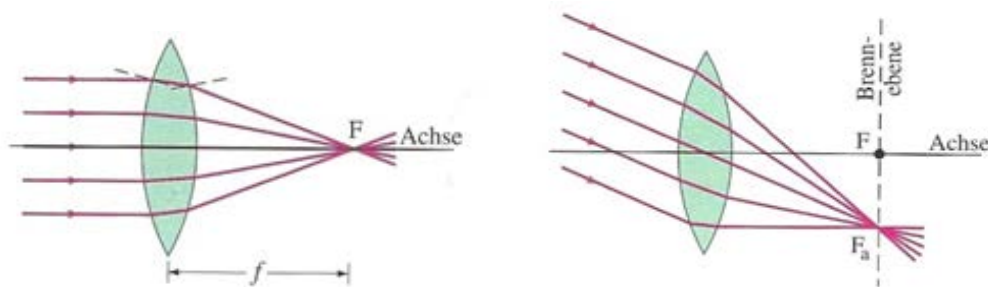


Abbildung 6 Strahlenverlauf durch eine Sammellinse.
(aus: Giancoli 2008, S. 1122)

Der Brennpunkt F einer Linse lässt sich ermitteln, indem man den Punkt sucht, an dem die Sonnenstrahlen (oder von einem anderen weit entfernten Objekt ausgehenden Strahlen) zu einem scharfen Bild zusammenlaufen (Giancoli 2008, S. 1122).

Die Entfernung des Brennpunkts vom Mittelpunkt der Linse ist die Brennweite f . Die Brennweite ist auf beiden Seiten der Linse gleich, auch wenn sie auf beiden Außenseiten unterschiedliche Krümmungen zeigt. Wenn parallele Strahlen unter einem Winkel auf eine Linse treffen, dann fokussieren sie im Punkt F_a . Man bezeichnet die Ebene, in der alle Punkte wie F und F_a liegen, als Brennebene der Linse (vgl. ebd. S. 1122).

¹ Es wird vorausgesetzt, dass die Linse einen größeren Brechungsindex als das umgebende Medium hat.

Folgende Abbildung zeigt, wie parallel zur Achse verlaufende Strahlen durch eine Zerstreuungslinse gebrochen werden.

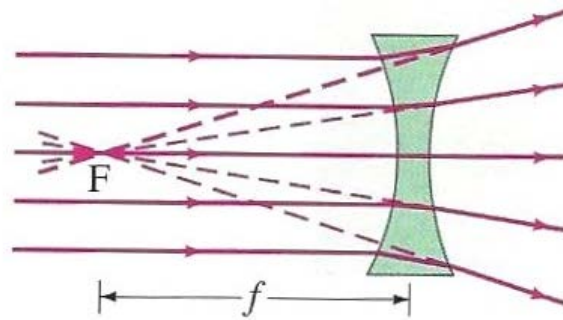


Abbildung 7 Strahlenverlauf durch eine Zerstreuungslinse.
(aus: Giancoli 2008, S. 1122)

Den Brennpunkt F einer Zerstreuungslinse erhält man, indem man die Randstrahlen des divergierenden Lichtbündels nach hinten verlängert. Da es diese Strahlen nicht wirklich gibt, hat die Zerstreuungslinse nur einen virtuellen Brennpunkt. Die Entfernung zwischen F und der Linse ist die Brennweite f .

Die Brennweite ist der wichtigste Parameter einer Linse. Für eine Sammellinse lässt sich f leicht messen, indem man den Bildpunkt der Sonne oder eines anderen weit entfernten Gegenstandes sucht. Wenn f bekannt ist, kann die Bildposition für jedes beliebige Objekt bestimmt werden. Um den Bildpunkt zu bestimmen, müssen mindestens zwei der drei so genannten Hauptstrahlen betrachtet werden (vgl. Abbildung 8).

Die drei Strahlen gehen von einem einzelnen Punkt des Objektes aus und sind so gezeichnet, als wäre die Linse unendlich dünn. (Giancoli 2008, S. 1123) Das entstehende Bild ist reell und umgekehrt.

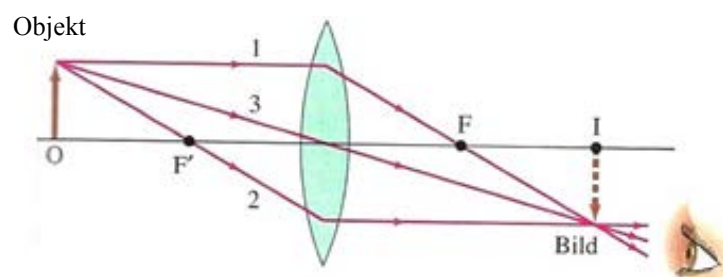


Abbildung 8 Bestimmung des von einer Sammellinse erzeugten Bildes durch Strahlverfolgung.
(aus: Giancoli 2008, S. 1123)

Der Strahl 1 wird auch als Brennpunktstrahl bezeichnet. Dieser verläuft von der Spitze des Objekts durch den ersten Brennpunkt und tritt achsenparallel aus. Der achsenparallele Strahl (Strahl 2) wird so gebrochen, dass er durch den zweiten Brennpunkt F' der Linse verläuft. Der Strahl 3 wird auch als Mittelpunktstrahl bezeichnet. Dieser Strahl verläuft

geradlinig durch das Zentrum der Linse, wo die Grenzflächen annähernd parallel zueinander stehen. Ein- und Austrittswinkel sind daher gleich. Die Bildpunkte, die eine Sammellinse erzeugt, sind tatsächlich vorhanden, wenn $g > f$ gilt. Bilder von Sammellinsen sind deshalb reelle Bilder. Das Bild kann auf einen Film aufgenommen oder auf einer am Ort des Bildes befindlichen weißen Fläche beobachtet werden. Wenn sich das Auge, wie in Abbildung 8 direkt hinter dem Bild befindet, ist es auch möglich, dass Bild direkt zu sehen. In diesem Fall treten einige der Strahlen, die von jedem Bildpunkt aus auseinander laufen, in das Auge ein.

Auch bei der Zerstreuungslinse kann mithilfe der drei Strahlen die Bildposition des von einer Zerstreuungslinse erzeugten Bildes bestimmt werden. Hierbei geht der Strahl 1 jedoch nicht durch den Brennpunkt F' hinter der Linse. Stattdessen scheint er vom Brennpunkt F vor der Linse auszugehen (gestrichelte Linie). Der Strahl 2 zeigt in Richtung F' . Der Strahl 3 verläuft durch den Mittelpunkt der Linse. Alle Strahlen scheinen von einem gemeinsamen Punkt auf der linken Seite der Linse auszugehen. Dies ist das Bild I (vgl. Abbildung 9). Es handelt sich demnach um ein virtuelles Bild, da die Strahlen nicht durch das Bild gehen (vgl. Giancoli 2008, S. 1125).

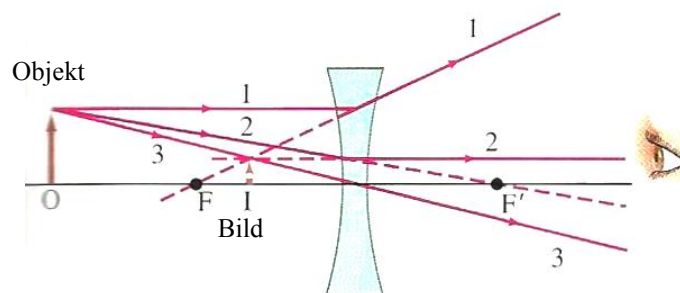


Abbildung 9 Bestimmung des von einer Zerstreuungslinse erzeugten Bildes durch Strahlverfolgung.
(aus: Giancoli 2008, S. 1125)

Das menschliche Auge ist nicht in der Lage zwischen reellen und virtuellen Bildern zu unterscheiden. Beide sind für uns sichtbar.

2.2 Das menschliche Auge – ein optisches Instrument

Unter optischen Instrumenten versteht man Hilfsmittel oder Körper, wie das Auge, die das Sehen ermöglichen oder es vereinfachen und verbessern sollen. Neben dem Auge zählen auch Mikroskope oder Lupen zu optischen Instrumenten. Im Folgenden wird nur auf das optische Instrument Auge eingegangen.

„Das Auge war das Organ, womit ich die Welt faßte“, formulierte bereits JOHANN WOLFGANG VON GOETHE. Seit Menschengedenken haben unsere Augen eine besondere Bedeutung für uns. Sie sind das Fenster zur Welt und Spiegel unserer Seele.

Die Augen gehören zu unseren wichtigsten und empfindlichsten Sinnesorganen.

Sie liefern uns rund 80% der Informationen über unsere

Umwelt. Für viele ist es selbstverständlich die Augen

zu öffnen und sich ein Bild von der Umgebung machen. Welche Schwerstarbeit unsere Augen dabei leisten und wie komplex sie aufgebaut sind, soll im Folgenden näher erläutert werden. Dabei wird schnell erkennbar, dass einige Eigenschaften des Sehvorgangs nicht durch physikalische Gesetzmäßigkeiten alleine erklärbar sind, sondern dass auch die Physiologie den menschlichen Auges zu berücksichtigen ist.



Abbildung 10 Das Sinnesorgan Auge
(aus: http://www.dr-juergen-schmidt.de/index.php/Unser_wichtigstes_Sinnesorgan.html) (20.06.14)

2.2.1 Der Aufbau des menschlichen Auges

Der Aufbau des Auges zeigt, wie perfekt die Bestandteile aufeinander abgestimmt sind. Jeder Bestandteil hat eine bestimmte Funktion. So wird aus dem Licht, dass von der Umwelt reflektiert wird, im Gehirn ein visuelles Bild dieser Umwelt erzeugt.

Grob vereinfacht wirkt das Auge wie ein optischer Apparat. Das Auge ist eine fast kugelförmige (24 mm tiefe und etwa 22 mm breite) gallertartige Masse, die in eine widerstandsfähige Hülle, die Lederhaut (Sclera), eingebettet ist.

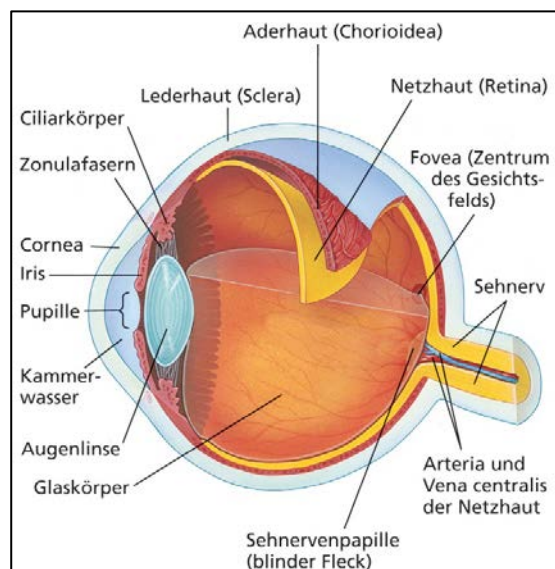


Abbildung 11 Der Aufbau des Auges
(aus: Campbell et al 2003, S. 1272)

Bis auf den vorderen Teil, die transparente Hornhaut (Cornea), ist die Lederhaut weiß und lichtundurchlässig (Hecht 2005, S. 331). Die Lederhaut umgibt und schützt den Augapfel. An der Lederhaut setzen die Augenmuskeln an, die das Auge in der Augenhöhle bewegen (siehe auch Augenbewegung). Eine schleimige Zellschicht (Conjunktiva) hält die Lederhaut feucht. Auf die Lederhaut folgt die Aderhaut (Chorioidea). Sie enthält viele Blutgefäße und versorgt das Auge mit Nährstoffen und Sauerstoff (Krüger et al 2007, S. 22). Im vorderen Bereich bildet die Aderhaut die ringförmige und pigmentierte Regenbogenhaut, auch Iris genannt. Die Iris gehört mit der Lederhaut und der Pupille zu den Teilen des Auges, die von außen sichtbar sind. Wenn man von blauen, grünen oder braunen Augen spricht, so ist damit die Farbe dieser Regenbogenhaut, gemeint. Die zentrale Öffnung der Iris ist die Pupille. Hier dringen Lichtstrahlen ins Auge ein. Die Iris regelt als Eintrittspupille die Lichtmenge, die ins Auge fällt (siehe auch Adaption in Kapitel 2.2.5). Ihre Öffnungsweite wird neuronal reguliert. Der Durchmesser der Eintrittspupille ist in einem Bereich von etwa 2 mm bis 8 mm veränderlich. Hinter der Iris liegt eine Linse aus durchsichtigen kristallinen Proteinen (Crystallin), umgeben vom Linsenepithel und der bindegewebigen Linsenkapsel (Purves et al 2006, S. 1089). Die Linse ist dank ihrer Eigenelastizität bestrebt, sich abzurunden; sie ist jedoch über die Linsenkapsel an Bändern (Zonulafasern) aufgehängt, durch deren Zug sie abgeflacht wird. Ringmuskeln, die so genannten Ziliarmuskeln, wirken dem Zug der Zonulafasern entgegen und erlauben der Linse, sich abzurunden. Über den Ziliarmuskel, der die Linse umgibt, kann so die Brennweite der elastischen Linse angepasst werden (siehe auch Akkommodation).

Die Linse und der Ciliarmuskel teilen das Auge in drei Räume: vordere Augenkammer (vor der Iris), hintere Augenkammer (hinter der Iris) und Glaskörper (hinter der Linse). Die beiden Augenkammern sind mit klarem Kammerwasser gefüllt. Kammerwasser und Glaskörper geben dem Augapfel seine Form und tragen zur Lichtbrechung bei (Krüger et al 2007, S. 22). Die Hornhaut und die Flüssigkeiten im Auge (das zwischen Hornhaut und Linse befindliche Kammerwasser und der Glaskörper) sind außerdem hauptverantwortlich für die Fokussierung von Licht auf der Netzhaut (Retina), welche die innerste Schicht des Auges bildet. Die Netzhaut ist eine Ausstülpung des Gehirns. Sie enthält Sehzellen sowie ein dichtes Netz aus Nervenzellen und deren Fasern (Hedewig 1987, S. 9) Der Aufbau der Netzhaut wird im folgenden Kapitel genauer beschrieben.

2.2.2 Die Netzhaut (Retina)

Die Netzhaut (Retina) ist nur ca. 0,1 mm dick und bildet die photoempfindliche Schicht der Augenhinterwand (Berge 2000, S. 4). Sie enthält auf der Rückseite licht-empfindliche Zellen, die so genannten Sehzellen (Photorezeptoren) und auf der Vorder-seite mehrere Arten von Nervenzellen, die der Fortleitung und Verknüpfung der Rezeptor-Signale dienen. Es gibt zwei Arten von Photorezeptoren: die ca. 100 Millionen Stäbchen und die ca. 5 Millionen Zapfen.

Stäbchen sind höchst lichtempfindlich, daher sind sie für das Sehen bei schwachem Licht geeignet (skotopisches Sehen); unter Tageslichtbedingungen sind sie gesättigt und tragen nichts zum Farbsehen bei. Zapfen sind weniger lichtempfindlich, und sie sind auf das Farbsehen (fotopisches Sehen) spezialisiert (vgl. Hecht 2005, S. 140). Die Zapfen sind auch für unsere größte Sehschärfe verantwortlich. Weil Zapfen eine geringe Lichtempfindlichkeit besitzen, sind sie bei schwachem Licht nutzlos. Abends und nachts sehen wir nicht sehr gut, und das, was wir sehen, sehen wir vorwiegend in Grauschattierungen. Daher kommt auch das Sprichwort „Bei Nacht sind alle Katzen grau.“

Stäbchen und Zapfen sind nicht gleichmäßig über die Netzhaut verteilt. Beim Mensch fällt Licht, das aus dem Zentrum des Sehfelds stammt, auf das Gebiet des schärfsten Sehens. Dies ist ein Netzhautbereich von ca. 1,5 mm Durchmesser, der auch als Seh-grube oder auch als Fovea centralis („gelber Fleck“) bezeichnet wird. In der Sehgrube befinden sich nur Zapfen, und zwar ca. 160.000 pro mm^2 (Berge 2000, S. 4). Die Konzentration der Zapfen nimmt zum Rand der Netzhaut stetig ab; an der Peripherie befinden sich nur noch Stäbchen. Die folgende Abbildung zeigt schematisch die seitliche Verteilung von Stäbchen und Zapfen sowie ihre Auswirkung auf die Sehschärfe und auf das Farbsehen in Zonen des Gesichtsfeldes.

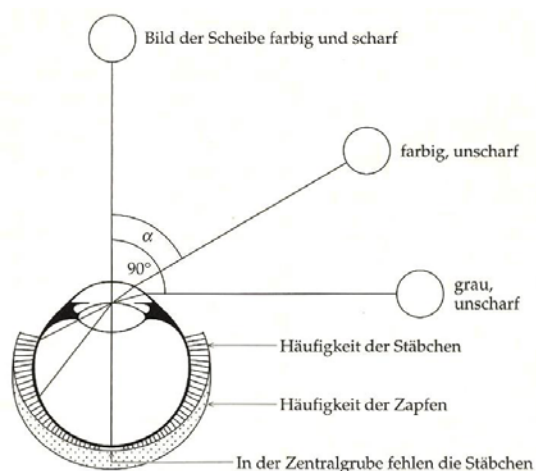


Abbildung 12 Verteilung der Zapfen und Stäbchen in der Netzhaut des menschlichen Auges und die daraus folgende Qualität auf das Farbsehen in Zonen des Gesichtsfeldes. (aus: Berge 2000, S. 7)

Das Auflösungsvermögen des Auges ist mit dem Abstand der Sehzellen verknüpft. Zwei Objektpunkte können nicht getrennt wahrgenommen werden, wenn ihre Bildpunkte so eng liegen, dass nur eine einzige Sehzelle angeregt wird. Für Bilder in der Sehgrube liegt der Grenzwinkel, unter dem zwei Objektpunkte noch aufgelöst werden können, bei etwa einer Winkelminute. Das bedeutet, dass man in einem Abstand von 10 m noch zwei kleine, ca. 3 mm voneinander entfernte Objekte unterscheiden kann. Dieser Wert wird einerseits durch den Zapfenabstand in der Sehgrube (Größenordnung 2 μm) und die Bildweite des Auges bestimmt, andererseits ergibt die Beugung am Rand eine wellenoptische Grenze, in die das Verhältnis von Lichtwellenlänge und Pupillendurchmesser eingeht.

Das beugungsbegrenzte Auflösungsvermögen des Auges ist entsprechend der folgenden Gleichung durch den Durchmesser d_{EP} der Eintrittspupille bestimmt. Für einen Pupillendurchmesser $d_{EP} = 3 \text{ mm}$ (bei größeren Durchmessern überwiegen die Abbildungsfehler des Auges) und einer Wellenlänge von 550 nm findet man den kleinsten auflösbaren Winkelabstand.

$$\Delta\alpha = 1,22 \frac{\lambda}{nd_{EP}} \approx 0,17 \text{ mrad}$$

(λ/n ist die Lichtwellenlänge im Glaskörper des Auges mit der Brechzahl n). Der dazugehörige Abstand der Bildpunkte von 4 μm auf der Netzhaut entspricht ziemlich genau dem Abstand der Sehzellen in der Sehgrube.

In der menschlichen Netzhaut befinden sich drei verschiedene Zapfentypen, die jeweils leicht unterschiedliche Opsinisomere aufweisen. Diese Opsinmoleküle unterscheiden sich in der Lichtwellenlänge, die sie am besten absorbieren (Purves et al 2006, S. 1092). Aus diesem Grund gibt es B-Zapfen für Blau (Absorptionsmaximum bei 420 nm), G-Zapfen für Gelb (Absorptionsmaximum bei 531 nm) und R-Zapfen für Rot (Absorptionsmaximum bei 558 nm). Dieses trichromatische Farbsehen erleichtert die Objekterkennung.

Durch die Bereiche außerhalb der Sehgrube, wo die Sehzellendichte wesentlich geringer ist, kann zusätzlich noch großes Umfeld unscharf wahrgenommen werden. In ungefähr 4,5 mm Abstand von der Sehgrube tritt das Ende des Sehnervs mit einem Durchmesser von ca.

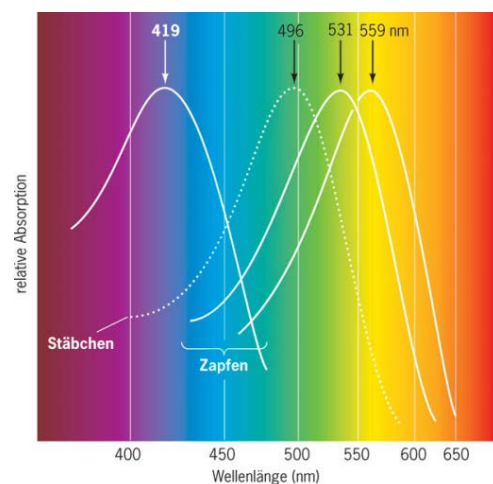


Abbildung 13 Absorptionsspektren von Zapfen.
(aus: Purves et al 2006, S. 1091)

1,6 mm durch die den Augapfel umhüllende Haut (Bindehaut). Da hier die Dichte der Sehzellen sehr gering ist, ist die Netzhaut an dieser Stelle unempfindlich (blinder Fleck).

2.2.3 Lichtbrechung und Bildentstehung

Das Wahrnehmen und Erkennen von Objekten geschieht durch Abbildung des Objektes auf der Netzhaut (vgl. Kapitel 2.2.2). An dieser Stelle wird zunächst der Begriff Abbildung im Sinne der geometrischen Optik erläutert. Es wird folgende Vorstellung angewendet. Von dem Objekt gehen in beliebige Richtungen Strahlen aus; die Strahlen die das Auge treffen und die Pupille passieren können, werden durch die optischen Elemente des Auges auf der Netzhaut konzentriert. Man spricht dann vom Zustandekommen einer Abbildung, wenn die von einem Objektpunkt ausgehenden Strahlen sich im Bild, d.h. auf der Netzhaut wiederrum treffen. Dementsprechend lässt sich formulieren: Abbildung ist gleich Strahlenvereinigung (Bergmann et al 2004, S. 39)

Der Sehvorgang lässt sich in zwei funktionelle Schritte unterteilen. Im ersten Schritt erzeugt der dioptrische Apparat, bestehend aus Hornhaut, Linse und Glaskörper, ein reelles, verkleinertes, umgekehrtes Bild des betrachteten Gegenstandes (vgl. Abbildung 14).

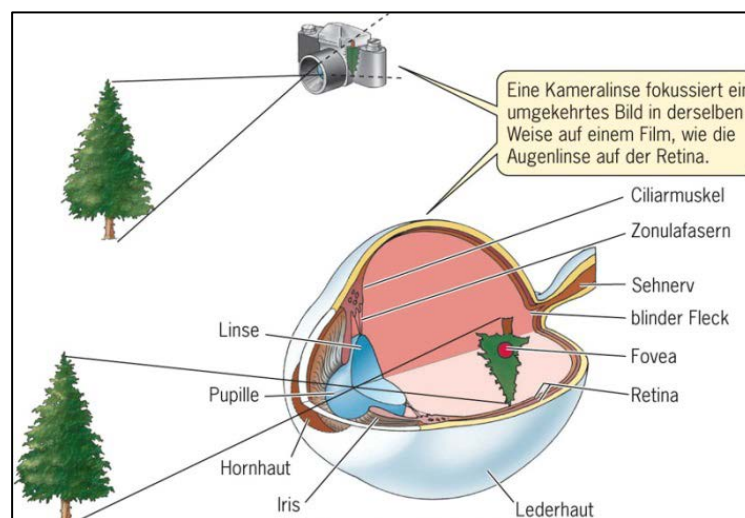


Abbildung 14 Die Entstehung des Bildes auf der Netzhaut.
(aus: Purves et al 2006, S. 1091)

Der zweite Schritt des Sehvorganges erfolgt an der Netzhaut. Der Bildverarbeitungsprozess in der Netzhaut ist sehr komplex und wird an dieser Stelle nur vereinfacht dargestellt. Werden die in der Netzhaut vorhandenen Photorezeptoren mit Licht gereizt, aktiviert dies so genannte Ganglienzellen (vgl. Abbildung 15).

Auf diese Weise wird Information von zahlreichen Photorezeptoren integriert, um eine einzige Botschaft zu generieren, welche über den Sehnerv ins Gehirn gelangt.

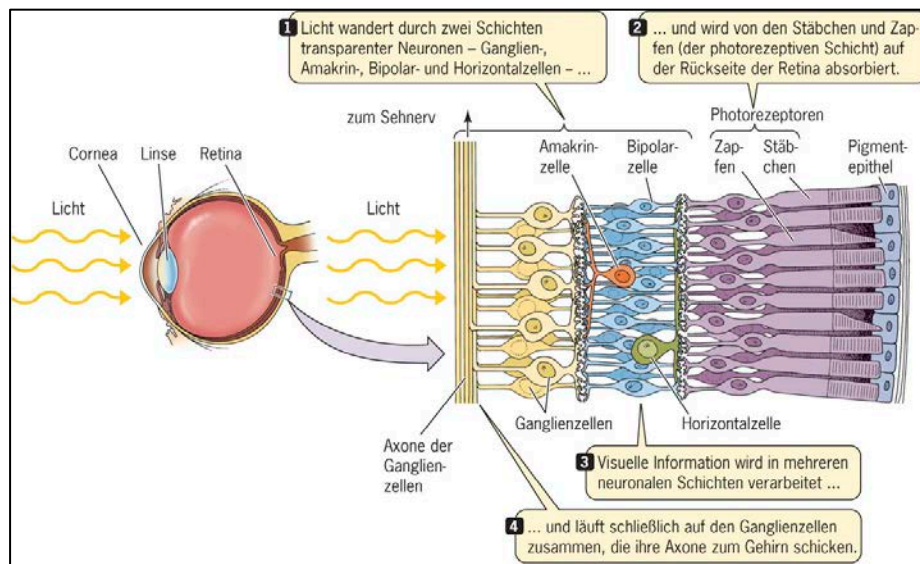


Abbildung 15 Die Netzhaut.
(aus: Purves et al 2006, S. 1092)

Das Zusammensetzen der vom Sehnerv gelieferten Signale zu einem „Bild“ ist eine Leistung des Gehirns.

Im Folgenden wird die Bildentstehung durch die Augenlinse genauer erläutert. Der adäquate Reiz für das menschliche Auge ist elektromagnetische Strahlung mit einer Wellenlänge von 380 nm bis 780 nm (vgl. Kapitel 2.1.1). Indem wir einen Gegenstand direkt ansehen, bewegt sich das Auge zunächst so, dass der Gegenstand ins Zentrum unseres Sichtfelds rückt. Das Licht, das auf den Gegenstand fällt, wird teilweise reflektiert, teilweise aber auch von seiner Oberfläche aufgenommen. Lichtstrahlen, die von dem Gegenstand ausgehen bzw. von ihm reflektiert werden und durch die Augenlinse auf die Netzhaut gelangen, erzeugen dort ein Abbild des Gegenstandes. Bis das Licht zur Netzhaut gelangt, durchdringt es zunächst die Hornhaut (Cornea), danach das Kammerwasser, die Linse und schließlich den Glaskörper (vgl. Spiekermann et al 2007, S. 14f.).

Auf dem Weg zur Netzhaut werden die einfallenden Lichtstrahlen mehrfach an den verschiedenen Medien und Grenzflächen gebrochen. Die Stärke der Lichtbrechung hängt von der Dichte der Medien ab. Beim menschlichen Auge bilden Hornhaut, Linse und Glaskörper den dioptrischen Apparat. Das Maß für den Brechwert des Auges ist die Dioptrie.

$$(1) \quad \text{Brechwert } D = \frac{1}{f} \quad [m^{-1} = \text{dpt}]$$

($f = \text{Brennweite}$)

Den Abstand zwischen der Linse und dem Brennpunkt F nennt man Brennweite f . Der Brechwert D entspricht dem Kehrwert der Brennweite einer Linse. Wenn f in Metern angegeben ist, dann ist die Einheit der Brechkraft der Kehrwert des Meters bzw. die

Dioptrie (Abkürzung dpt, 1 Dioptrie = 1m^{-1}). Das gesunde menschliche Auge eines Jugendlichen hat einen Gesamtbrechwert von 58,6 Dioptrien. Der nachlassende Brechwert der Linse führt zur so genannten Altersweitsichtigkeit.

Die Linse bzw. das Objektiv eines Fotoapparates befindet sich beiderseits in Luft, die Brennweite ist also auf beiden Seiten gleich und es gilt die Abbildungsgleichung

$$(2) \quad \frac{1}{g} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

(g = Gegenstandsweite; b = Bildweite; f = Brennweite)

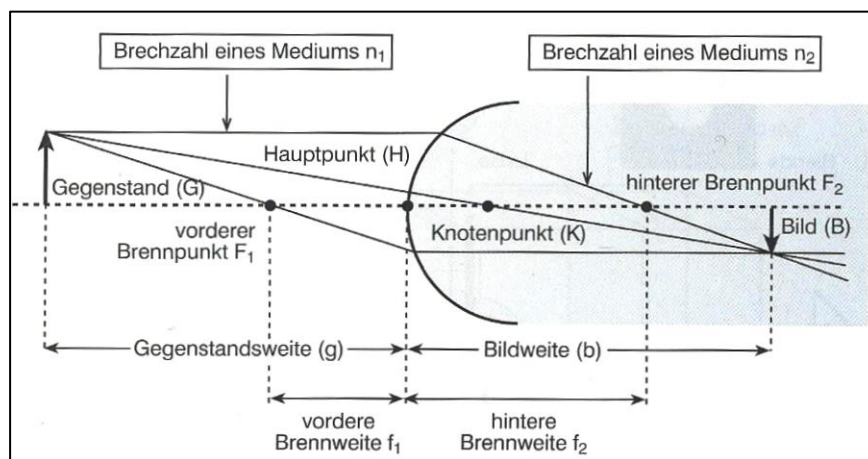


Abbildung 16 Bildentstehung bei einem System mit sphärischer Trennungsfläche.
(aus: Spiekermann et al 2007, S. 15)

Den Abstand zwischen dem Gegenstand G und Linse nennt man Gegenstandsweite g und den Abstand zwischen Linse und Bild B bezeichnet man als Bildweite b .

Bei der Abbildung mit einem Fotoapparat ist die Gegenstandsweite g normalerweise viel größer als die Bildweite b ; diese wiederum ist nur wenig größer als die Brennweite f . Beim menschlichen Auge dagegen ergibt sich im Vergleich zum Fotoapparat die Besonderheit einer konstanten Bildweite b von etwa 24 mm. Die Bildweite entspricht also in etwa dem Durchmesser des Auges.

Zudem hat das optische System des Auges im Vergleich zum Fotoapparat eine „vordere Brennweite“ f_1 in Luft und eine „hintere Brennweite“ f_2 im Glaskörper. Anstelle der oben genannten Gleichung gilt hier also

$$(3) \quad \frac{f_1}{g} + \frac{f_2}{b} = 1$$

Allgemein verhalten sich die Brennweiten eines abbildenden Systems wie die Brechzahlen n_1 und n_2 der Medien vor und hinter dem System:

$$(4) \quad \frac{f_2}{f} = \frac{n_2}{n_1}$$

Die Brechzahl n ist eine Materialkonstante. Sie ergibt sich aus der Ablenkung des Lichts bei dem Übergang von einem Medium in ein anderes, weil sich die Lichtgeschwindigkeit in einem optisch dichteren oder dünneren Medium verändert. Lichtstrahlen, die sich vom optisch dünneren Medium, wie z.B. (Kammer-)Wasser, bewegen, werden daher zum Lot hin gebrochen. Beim Übergang von einem optisch dichteren Medium, z. B. Glas, zu einem optisch dünneren Medium, z. B. Luft erfolgt die Brechung der Lichtstrahlen vom Lot weg (Abb. 11). Es gilt die Beziehung $n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$. Beim Übertritt von der Luft in das Auge wird der Lichtstrahl aufgrund der höheren Dichte und Brechzahlen von Hornhaut, Kammerwasser, Linse und Glaskörper zum Lot hin gebrochen.

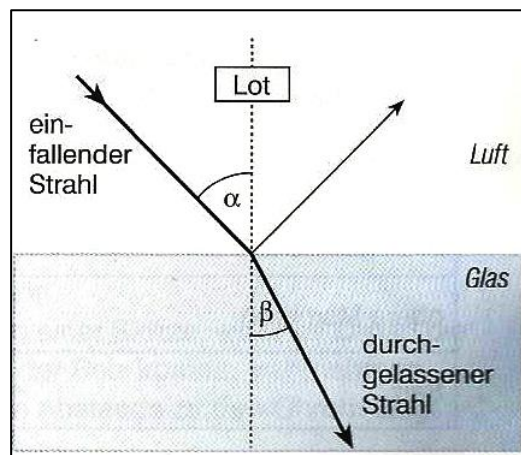


Abbildung 17 Brechung und Reflexion eines Lichtstrahls an der Grenzfläche zwischen einem optisch dünneren Medium und einem optisch dichteren Medium. (aus: Spiekermann et 2007, S. 14)

Für die Luft gilt $n = 1$, d.h., die hintere Brennweite f_2 des Auges ist um den Faktor n_2 , also die Brechzahl des Glaskörpers (1,336) größer als die vordere Brennweite f_1 . Die Gleichung (3) lässt sich dann in folgende Form bringen:

$$(5) \quad \frac{1}{g} + \frac{n_2}{b} = \frac{1}{f}$$

Beim Auge sind zwar die vordere f_1 und hintere Brennweite f_2 verschieden, die zugehörigen Brechwerte nach Gleichung (1) sind aber gleich.

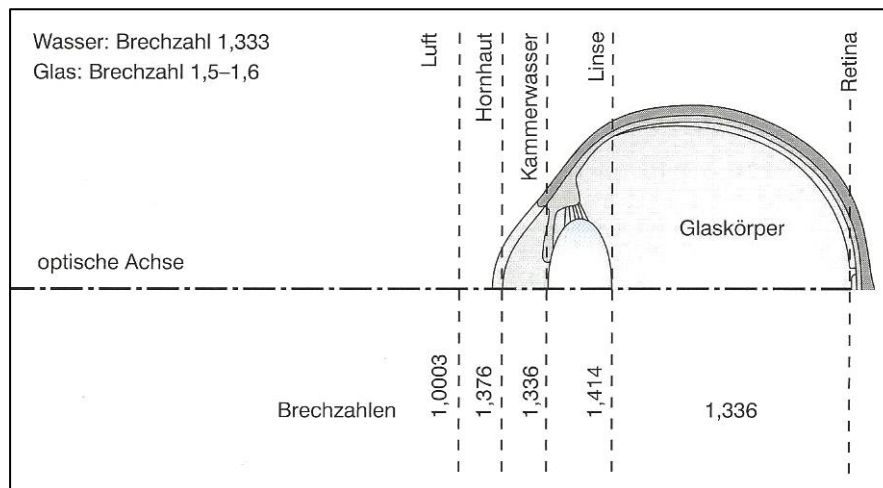


Abbildung 18 Brechung der einfallenden Lichtstrahlen im Auge.
(aus: Spiekermann et al 2007, S. 14)

Beeinflusst wird die Lichtbrechung im Auge von der sphärischen Krümmung der Trennungsfläche zwischen Luft und Hornhaut. Zusammen mit dem Kammerwasser bildet die Hornhaut eine Konvexlinse (Sammellinse), deren Brechwert vergleichbar ist mit der dahinter liegenden konvexen Augenlinse.

Die vergleichsweise geringe Bedeutung der Linse für die Lichtbrechung zeigt folgende Modellrechnung für das linsenlose Auge: Die Brechzahl für das Medium Luft n_1 beträgt 1 und für das Medium (Kammerwasser/Glaskörper) $n_2 = 1,336$. Wegen der geringen Dicke der Hornhaut kann deren Brechzahl vernachlässigt werden. Wichtiger ist der Krümmungsradius r der Hornhaut; er beträgt 7,7 mm. Mit diesen Werten lässt sich die hintere Brennweite des linsenlosen Auge wir folgt berechnen:

Hintere Brennweite:

$$f_2 = \frac{n_2 \cdot r}{n_2 - n_1} = \frac{1,336 \cdot 7,7 \text{ mm}}{0,336} = 30,62 \text{ mm}$$

Brechwert:

$$D = \frac{n_2}{f_2} = \frac{1,336}{0,03062 \text{ m}} = 43,63 \text{ dpt}$$

Da der Gesamtbrechwert des Auges 58,62 dpt beträgt, liegt der Anteil der Linse an der gesamten Lichtbrechung im Auge also bei 26 %. Hauptaufgabe der Linse ist die Akkommodation, welche im Folgenden Kapitel genauer beschrieben wird.

2.2.4 Akkommodation und Brechwert

Wie bereits erwähnt bleibt die Bildweite b , der Abstand zwischen der Augenlinse und der Netzhaut, beim menschlichen Auge konstant. Damit das menschliche Auge Objekte in der Nähe und in der Ferne scharf stellen kann, wird die Brennweite f , also die Krümmung der Augenlinse verändert. Die Nah- und Ferneinstellung oder Akkommodation des menschlichen Auges wird also von der Linse ausgeführt. Diese wird durch Ligamente, die mit den Ziliarmuskeln verbunden sind, hinter der Iris in der richtigen Position gehalten.

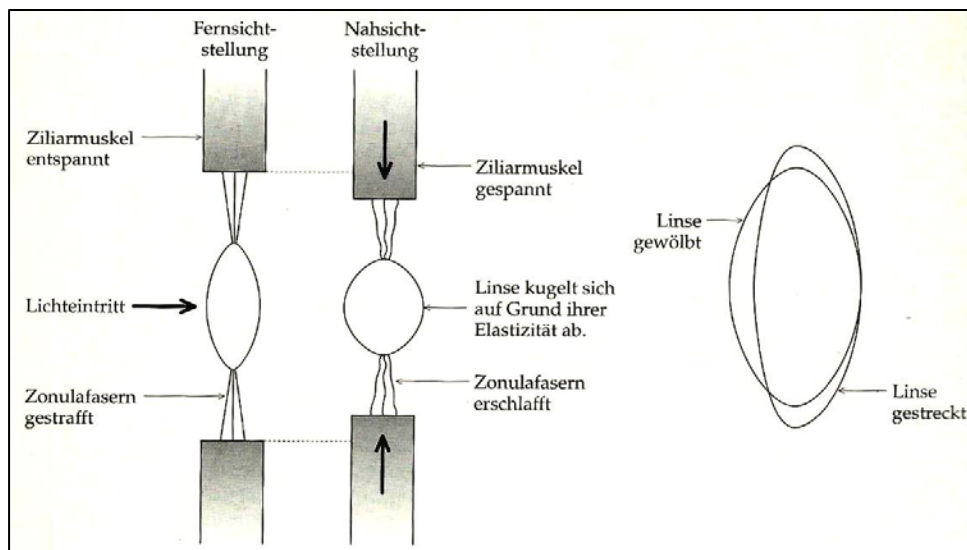


Abbildung 19 Nah- und Ferneinstellung des Auges.
(aus: Volkmer 2000, S. 18)

Die Augenlinsen sind Konvexlinsen, die nur in einer bestimmten Entfernung hinter der Linse ein scharfes Bild erzeugen. Dabei stehen Bild- und Gegenstandsweite wie bereits erwähnt im umgekehrten Verhältnis:

$$\frac{1}{g} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

Bei völliger Entspannung der Ziliarmuskeln ist die Linse flach gezogen und das Auge auf die Ferne scharf gestellt (vgl. Abb. 18 Darstellung links). Es stellt sich nun die Frage, wie groß die durch die Akkommodation bedingten Veränderungen des Brechwerts im menschlichen Auge sind. Wenn wir sehr weit entfernte Objekte mit entspanntem Auge betrachten (Brennweite f_0), gilt $g \approx \infty$ und nach Gleichung:

$$\frac{1}{g} + \frac{n_2}{b} = \frac{1}{f}$$

wird

$$\frac{n_2}{b} = \frac{1}{f_0}.$$

Bei Betrachtung von Objekten in der Nähe, kontrahieren der Ringmuskel um die Linse, der über sogenannte Ziliarfäden die Linse flachzieht (vgl. Abbildung 19). Dadurch wird der

Zug der Ziliarfäden auf die Linse schwächer, sodass die Linse aufgrund ihrer Eigenelastizität in der Mitte dicker wird, wodurch sich der Brechwert vergrößert. (Colicchia et al 2004: 15)

Der Nahpunkt liegt in der kürzesten Entfernung g_n , in der wir noch scharf sehen können. Wenn wir die zugehörige Brennweite f_n nennen, liefert die Gleichung

$$\frac{1}{g} + \frac{n_2}{b} = \frac{1}{f}$$

die Beziehung

$$\frac{1}{g_n} + \frac{1}{f_0} = \frac{1}{f_n}$$

oder

$$\frac{1}{f_n} - \frac{1}{f_0} = D_n - D_0 = \Delta D = \frac{1}{g_n}$$

Zusammenfassend lautet das wesentliche Ergebnis: Die Entfernung des Nahpunktes ist gleich dem Kehrwert der Brechwertänderung ΔD , zu der die Augenlinse fähig ist. Ein Jugendlicher mit einem Nahpunkt von 10 cm = 0,1 m hat somit einen „Akkommodationserfolg“ $\Delta D = \frac{1}{0,1 \text{ m}} = 10 \text{ dpt}$. Kinder können in einem Bereich zwischen 7 cm = 0,07 m und ∞ scharf sehen. Das entspricht einer Akkommodationsbreite von $\frac{1}{0,07} \text{ m} - \frac{1}{\infty} \approx 14 \text{ dpt}$. Mit zunehmendem Alter nimmt die Elastizität der Augenlinse ab, die Akkommodationsfähigkeit wird geringer, sie reduziert sich auf etwa 0,5 dpt, und der Nahpunkt rückt immer weiter weg.

2.2.5 Adaption

Betritt man aus einem hell erleuchteten Raum einen Raum in Dunkelheit, so kann man zunächst kaum etwas erkennen; die Empfindlichkeit der Augen passt sich jedoch allmählich der geringen Beleuchtungsstärke der Umgebung an. Die so genannte Dunkeladaption der Zapfen ist nach ca. 7 Minuten abgeschlossen, die der Stäbchen dauert bis zu 30 Minuten. Schaltet man dagegen in der Nacht in einem dunklen Raum das Licht an, so kann man den umgekehrten Effekt beobachten. Es kommt kurzzeitig zu einer Blendung. Die dann eintretende Helladaption dauert 15-60 Sekunden. Die Sehzellen sind dazu fähig, sich auf Beleuchtungsstärkeunterschiede von über acht Zehnerpotenzen einzustellen (vgl. Berge 2000, S. 5). Die Adaption des Auges an Helligkeitsunterschiede entsteht durch die Änderung der Pupillenweite. Je weniger Licht auf das Auge trifft, desto stärker weiten sich die Pupillen. Je heller es in einem Raum ist, desto kleiner ist die

Pupille. Die Regulierung der Pupillenweite erfolgt durch die scherengitterartig angeordneten Bindegewebsfasern der Regenbogenhaut.

Die Pupillenreaktion beschränkt sich nicht auf die direkte Reaktion eines vom Licht getroffenen Auges. Vielmehr gibt es auch eine Kopplung zwischen beiden Augen. Wenn nur ein Auge beleuchtet wird, verengt sich die Pupille des anderen Auges ebenfalls.

2.2.6 Fehlsichtigkeit

An dieser Stelle wird zunächst der Begriff des normalsichtigen Auges eingeführt, wobei an dieser Stelle zu erwähnen ist, dass das normalsichtige Auge eher ein Ideal als der Normalfall ist. Das normalsichtige Auge ist definiert als ein Auge, dessen Nahpunkt bei 25 cm und dessen Fernpunkt bei unendlich liegt (Giancoli 2008, S. 1138). Die Ebene, in der das betrachtete Objekt scharf abgebildet ist, befindet sich demnach auf der Netzhaut. Ein großer Teil der Bevölkerung hat Augen, die nicht innerhalb des gesamten Normalbereichs von 25 cm bis unendlich akkomodieren können oder die eine Art Akkommodationsstörung haben. Zwei besonders häufige Störungen sind die Kurzsichtigkeit und die Weitsichtigkeit. Kurz- und Weitsichtigkeit sind auf eine vor bzw. hinter der Netzhaut gelagerte Bildebene zurückzuführen (vgl. Hecht 2005, S. 140). Beide Störungen können mithilfe von Linsen korrigiert werden. Entweder durch Brillengläser oder durch Kontaktlinsen. Im Folgenden werden die Kurz- und Weitsichtigkeit genauer erläutert.

Die Kurzsichtigkeit bezeichnet man auch als Myopie. Es handelt sich um eine Akkommodationsstörung, bei der das Auge nur nahe Objekte fokussieren kann. Bei der Kurzsichtigkeit ist der Augapfel im Verhältnis zur Brechkraft des Auges zu lang, oder die Brechkraft des optischen Systems ist zu stark (Brechungsmyopie), z.B. also Folge von Diabetes (vgl. Aderhold 1987, S. 23). Daher vereinigen sich die Strahlen, die von einem entfernten Gegenstand kommen, schon vor der Netzhaut (vgl. Abbildung 20).

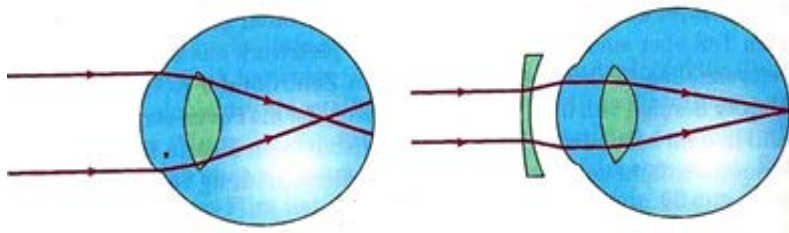


Abbildung 20 Ein kurzsichtiges Auge und dessen Korrektur.
(aus: Giancoli 2008, S. 1138)

Der Fernpunkt liegt hier nicht bei unendlich, sondern näher. Auch der Nahpunkt liegt näher am Auge als bei Normalsichtigkeit. Die veränderte Lage des Nahpunktes ist ein Vorteil, der zu nahe liegende Fernpunkt ist jedoch ein Nachteil, der bei Bedarf korrigiert werden muss. Wenn zum Beispiel der Nahpunkt bei 15 cm und der Fernpunkt bei 1 m

liegt, ist das scharfe Sehen schon ab 15 cm Abstand ein Vorteil, aber das unscharfe Sehen ab 1 m muss unbedingt korrigiert werden. Die Brillenkorrektur zur Verminderung der Brechkraft erfolgt durch Zerstreuungslinsen, die den Fernpunkt (bzw. den Nahpunkt) weiter vom Auge entfernen. Die Brennweite der benötigten Korrekturlinse zur Verschiebung des Fernpunktes vom 1 m bis ins Unendliche ergibt sich aus der Additivität der Brechkräfte für dünne Linsen (vgl. Kapitel 2.1.4), deren Abstand deutlich kleiner als ihre Brennweiten ist:

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{1}{\infty}\right) - \left(\frac{1}{1\text{ m}}\right) = -1\text{ m}^{-1} = -1\text{ dpt},$$

d.h. eine Linse mit der Brechkraft von -1 dpt verschiebt den Fernpunkt nach unendlich. Die Fehlsichtigkeit kann bis weit über 10 Dioptrien gehen. Mit zunehmendem Alter vermindert sie sich meist.

Die Weitsichtigkeit bezeichnet man auch als Hyperopie. Hierbei ist die Längsachse des Augapfels im Verhältnis zur Brechkraft zu kurz, eine scharfe Abbildung erfolgt erst hinter der Netzhaut. Das Auge ist daher nicht in der Lage nahe Objekte zu fokussieren, während weit entfernte meist scharf gesehen werden können. Der Nahpunkt ist weiter als 25 cm entfernt. Zum Ausgleich dieser Fehlsichtigkeit wird eine Sammellinse vor das Auge in den Strahlengang gesetzt. Die Fehlsichtigkeit liegt im Allgemeinen zwischen 2 bis 5 Dioptrien (Aderhold 1987, S. 24).

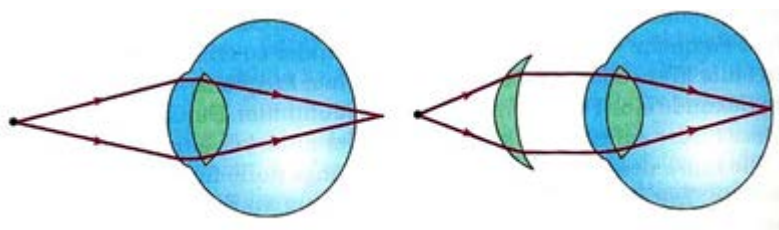


Abbildung 21 Ein weitsichtiges Auge und dessen Korrektur.
(aus: Giancoli 2008, S. 1138)

Mit dem Alter nimmt die Linsenelastizität ab und daher auch die Akkommodationsfähigkeit, so dass nahe Gegenstände nicht mehr scharf auf der Netzhaut abgebildet werden können. Diese Form der Fehlsichtigkeit bezeichnet man als Altersweitsichtigkeit Presbyopie. Auch diese Störung kann durch Sammellinsen behoben werden.

2.2.7 Augenbewegungen

Das Auge wird ständig durch sechs Augenmuskeln in schnellen Ruckbewegungen mit einer Dauer von 10 bis 80 Millisekunden bewegt, wobei die Augennachse zwischen einigen Winkelminuten (vgl. Kapitel 2.2.2) und vielen Graden hin- und herschwankt (Berge 2000, S. 5). Das Bild der Umgebung wandert daher in unregelmäßigen Zickzack-Bewegungen über den Fixationspunkt in der Netzhautgrube.

Obwohl unsere Netzhaut wegen der geringen Dichte an Photorezeptoren in den Randbereichen nur ein ziemlich unscharfes Bild von seitlich gelegenen Objekten liefert (vgl. Abbildung 12 in Kapitel 2.2.2), erscheint uns das Gesamtbild normalerweise scharf. Willkürbewegungen der Augen verlaufen nicht gleichmäßig, sondern in kleinen Sprüngen, so genannten Sakkaden, von einem Fixationspunkt zum anderen (Hedewig 1987, S. 11). Die Dauer der Sakkaden wechselt zwischen 10 und etwa 100 Millisekunden. Die Winkelgeschwindigkeit der Augenbewegung beträgt dabei 200° bis 600° pro Sekunde. Die Fixationsperiode zwischen zwei Sakkaden dauert 0,2 bis 2 Sekunden (vgl. ebd., S. 11). Die ruckartigen Bewegungen sind nicht nur für die Kontrastbildung wesentlich, sondern auch für die Erhaltung einer guten Qualität der Abbildung über längere Zeit. Wird ein bewegtes Objekt mit den Augen verfolgt, so folgen die Augen dem Objekt so, dass dessen Winkelgeschwindigkeit der des Auges entspricht. Auf diese Weise bleibt das Bild auf der Netzhautmitte beider Augen. Die Augenbewegungen sind häufig mit den Kopfbewegungen gekoppelt. In den blickmotorischen Zentren des Hirnstamms werden Augen- und Kopfbewegungen miteinander verschaltet (vgl. ebd., S. 11). Für die Wahrnehmung der Bewegung eines Gegenstandes gibt es eine obere und untere Schwelle der Geschwindigkeit. Bewegungen, die langsamer als 1 Winkelminute pro Zeitsekunde sind, werden nicht wahrgenommen. Bei schnellen Bewegungen mit Geschwindigkeiten bis 300° bis 400° pro Sekunde wird außer der Bewegung auch die Richtung der Bewegung wahrgenommen. Bis zu 600° pro Sekunde ist zwar noch eine Bewegung, aber nicht mehr deren Richtung wahrnehmbar. Bei noch schnelleren Bewegungen tritt nur eine Hell-Dunkel-Erscheinung als Bewegungseindruck auf. Augenbewegungen, mit denen ein Objekt abgetastet wird, spielen auch für den Größeneindruck von Objekten eine wesentliche Rolle. Die Größe wird gleichsam über die Weite der Abtastbewegungen registriert. Es ist erstaunlich, dass wir kein schwankendes Bild wahrnehmen, wenn wir den Kopf hin und her bzw. auf und ab bewegen. Grund dafür ist, dass die Sehachsen raumfest bleiben. Das bedeutet, dass die Augen jeweils entgegengesetzt zur Drehung des Kopfes geschwenkt werden. Wir verfügen demnach über einen „automatischen Bildstabilisator“ (vgl. ebd. S. 11).

2.3 Schülervorstellungen zum Licht und zum Sehen

Die Vorstellung, dass man einen Körper sehen kann, wenn von ihm Licht ausgeht und dieses Licht in unsere Augen gelangt läuft dem Alltagsverständnis vieler Schülerinnen und Schüler zuwider und wird deshalb nicht gelernt (Berge 2000, S. 11). Dies stellte GUESNE (vgl. Guesne 1984, S. 79) in einer Erhebung fest. Er befragte über 30 Schülerinnen und Schüler im Alter von 13-14 Jahren in ausführlichen Interviews nach deren Vorstellungen über Licht und Sehen. Dabei ging es um die Sichtwahrnehmung eines glimmenden Räucherstäbchens und eines bunten Pappkartons.

GUESNE identifizierte zwei ungefähr gleich häufige dominante Vorstellungen, nämlich

1. „Licht macht hell, das heißt die Schülerinnen und Schüler stellen keine Beziehung zwischen der Lichtquelle dem Gegenstand und dem Auge her (vgl. Abbildung 22 a) und 2. „Licht ermöglicht es zu sehen“, weil es den Gegenstand beleuchtet (vgl. Abbildung 22 b).

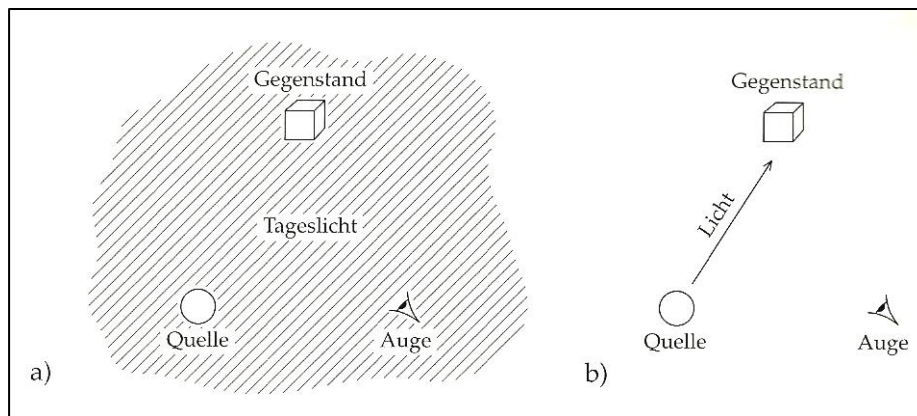


Abbildung 22 Die beiden häufigsten Vorstellungen bei 13-14 Jährigen Kindern nach Guesne.
(aus. Guesne 1984, S. 11)

Hier wird besonders deutlich, dass für viele Schülerinnen und Schüler die Sichtbarkeit von Gegenständen so zu Stande kommt, dass Licht auf sie fällt, auf ihnen liegen bleibt und sie somit erhellt. Dabei senden ihrer Meinung nach nur primäre Lichtquellen und Gegenstände, die das Licht wie ein Spiegel reflektieren, Licht aus. Die meisten Schülerinnen und Schüler gehen also bei dem glimmenden Räucherstäbchen nicht davon aus, dass das Licht bis ins Auge gelangt - wenn überhaupt dann sendet es nur in seine nächste Umgebung Licht aus. Selbst bei den Schülerinnen und Schülerinnen und Schülern, die bereits Optikunterricht hatten, stellte GUESNE fest, dass mehr als 2/3 der Kinder die Vorstellung haben, beleuchtete Gegenstände können gesehen werden, ohne dass dazu Licht von dem wahrgenommenen Gegenstand ins Auge gelangen muss. Alleine die Helligkeit auf dem Gegenstand ermöglicht das Sehen desselben.

Bei dem Großteil der befragten Schülerinnen und Schüler ist die Vorstellung der geradlinigen Lichtausbreitung vorhanden, in dem Sinne, dass Lichtstrahlen nicht gebogen sind. In diesem Zusammenhang ist ebenfalls die Vorstellung der endlichen Lichtausbreitung weit verbreitet, wobei die Mehrheit der Schülerinnen und Schüler davon ausgeht, dass Licht keine Zeit braucht, um sich auszubreiten.

Das Licht, so zeigen viele Untersuchungen wird häufig von den Jugendlichen nicht als etwas Dynamisches angesehen, dass von einer Lichtquelle durch den Raum strömt und von Gegenständen gestreut oder reflektiert wird, sondern eher statisch interpretiert. Dem entsprechen auch einige unsere Sprachmuster: „Im Zimmer ist Licht“ oder „Es ist hell.“ (Berge 2000, S. 11). Das Licht wird als Substanz betrachtet. Dabei ist Licht im Raum zwischen einer Quelle und den Wirkungen, die es erzeugt lokalisiert.

Als Konsequenz für den Optikunterricht ergibt sich eine bewusste (und ggf. altersgemäß formulierte) Einführung des Lichtstrahls als Modell (vgl. Kapitel 2.1.2), um optische Vorgänge zu beschreiben und erklären zu können. Besonders wichtig ist an dieser Stelle konsequent zwischen der Erfahrung und dem entsprechenden Modell zu unterscheiden und so ein Lernen über Modelle zu unterstützen.

Im IPN Curriculum Physik wird die in der Abbildung 23 dargestellte Testaufgabe gestellt. Diese Aufgabe wurde im März 1999 von 99 Haupt- und 78 Gesamtschülern in Kiel bearbeitet.

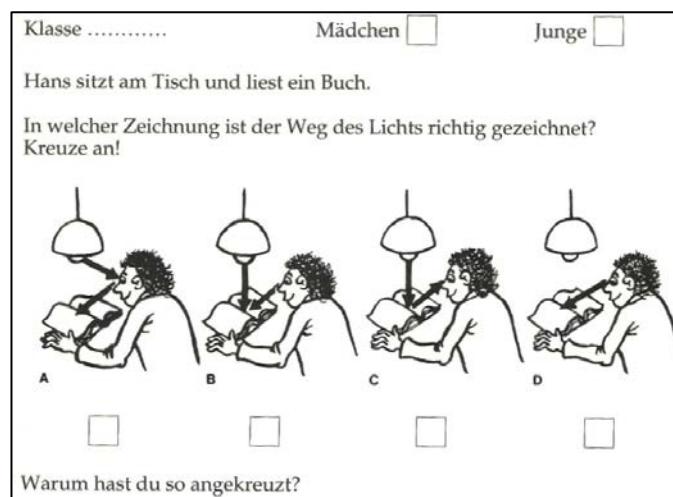


Abbildung 23 Testfrage aus dem IPN Curriculum Physik.
(aus. Berge 2000, S. 12)

Die Ergebnisse zeigen, dass die Alltagsvorstellungen der Hauptschülerinnen und Hauptschüler, die bisher keinen Optikunterricht hatten, offenbar durch die Antwort B am besten wiedergegeben wird. Als Begründung wurde z.B. genannt, „weil das Licht auf das Buch scheint und man dadurch besser sehen kann“ (Berge 2000, S. 12). Den Schülerinnen und Schülern ist nicht bewusst, dass wir Gegenstände erst sehen, wenn sie von einer Lichtquelle beleuchtet werden und das reflektierte Licht auf unser Auge trifft. Zudem unterscheiden Schülerinnen und Schüler nicht zwischen „Sehen“ und „Erkennen“ (Gehirnprozess). Es fehlt die Vorstellung, dass das Auge als Abbildungssystem funktioniert.

Um zu vermeiden, dass Fehlvorstellungen nach dem Optikunterricht bestehen bleiben, ist es von entscheidendem Vorteil die lebensweltlichen Erfahrungen der Schülerinnen und Schüler während des Unterrichts mit einzubeziehen. In diesem Zusammenhang ist es wichtig, den Schülerinnen und Schülern bewusst zu machen, dass die physikalische Deutung des Sehvorgangs sich grundlegend von der psychologischen unterscheidet, dass aber beide Erklärungsweisen der Wirklichkeit angemessen sind. Für den Unterricht ist es deshalb wichtig, dass die Schülerinnen und Schüler selbst Phänomene hinterfragen und Gesetzmäßigkeiten entdecken können.

3 Didaktische Überlegungen

Nachdem die physikalischen Grundlagen in der Sachanalyse ausführlich behandelt worden sind, wird im Folgenden das Konzept für den Unterricht am außerschulischen Lernort Schülerlabor zum Thema „Auge und Sehen“ vorgestellt und didaktisch begründet. Dazu ist es wichtig, sich mit der didaktischen Besonderheit außerschulischer Lernorte, insbesondere dem Schülerlabor und der Bedeutung des Experiments im Physikunterricht, auseinanderzusetzen. Des Weiteren wird das Thema in den Lehrplan eingeordnet und dessen Bildungsbedeutung erläutert. Anschließend erfolgen didaktische Überlegungen zum Tag im Schülerlabor und eine didaktische Erläuterung der ausgewählten Experimente.

3.1 Die Bildungsstandards

„Der Anteil jener Schüler des 8. Jahrgangs, deren mathematische und naturwissenschaftliche Fähigkeiten im Wesentlichen auf einem erweiterten Grundschulniveau liegen, ist mit etwa 20 Prozent auch im internationalen Vergleich hoch.“ (Baumert; Lehmann 1997, S. 56)

Dieses Zitat, entnommen aus einem Bericht über die Ergebnisse der TIMSS-Studie (TIMSS: Third International Mathematics and Science Study), bescheinigt den deutschen Schülerinnen und Schülern einen unbefriedigten Wissensstand in den mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächern. Gleiches gilt für die Ergebnisse der PISA-Studie (PISA: Programme for International Student Assessment). Die benannten Defizite liegen besonders im konzeptuellen Verständnis der naturwissenschaftlichen Arbeitsweise (vgl. Baumert; Lehmann 1997, S. 22). Dabei sind deutliche Unterschiede sowohl zwischen den Schulformen, aber auch eine sehr große Leistungsstreuung innerhalb einer Schulform festgestellt worden. Besonders alarmierend ist dabei das Ergebnis, dass das *„durchschnittliche Leistungsniveau der Hauptschüler [...] einem Repertoire von erfahrungsnahem Alltagswissen [entspricht], das oftmals das Grundschulniveau nicht überschreitet“* (ebd. S. 138). Eine Ursache sehen BAUMERT UND LEHMANN in der geringen fächerinternen Kohärenz des Stoffes im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht; mit jedem neuen Themengebiet wird im Prinzip von vorne begonnen, getreu dem Motto *„neues Spiel – neues Glück“* (ebd. S. 145). So kann es bei den Schülerinnen und Schülern zu keinem stetigen Wissensaufbau und keiner vernünftigen Vernetzung der gelernten Inhalte kommen (vgl. ebd.). Eine Reaktion auf diese Ergebnisse war die Einrichtung eines Programms zur Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts, heute als SINUS-Transfer bekannt, dessen Ziel die Forderung der

naturwissenschaftlichen Kompetenzen ist. (Nähere Informationen dazu unter URL: <http://www.sinus-hessen.de/>, aufgerufen am 30.10.2014). Ein im Rahmen dieses Programms erstelltes Gutachten benennt das systematische Aufbauen von Wissen, sowie die fehlende Vernetzung unter den Fächern als defizitäre Bereiche im naturwissenschaftlichen Unterricht (vgl. Demuth et al 2005, S. 55). Im Gutachten heißt es dazu: *„Ein besonderes Problem des Unterrichts in den naturwissenschaftlichen Fächern stellt die mangelnde inhaltliche Verzahnung der größeren thematischen Einheiten dar. Der Unterricht in diesen Fächern hat sich im Sinne der vertikalen Vernetzung an der Systematik des jeweiligen Bildungsgangs zu orientieren und außerdem zum Zwecke der horizontalen Vernetzung Funktionen im Hinblick auf Nachbarfächer zu erfüllen. Diese Problematik ist bisher – von einzelnen Teilbereichen abgesehen – fachdidaktisch kaum bearbeitet. Da die vertikale Vernetzung innerhalb der einzelnen Fächer bisher nicht ausreichend gelungen ist, leidet die Anschlussfähigkeit des erworbenen Wissens. Verschärft wird dieses Problem dadurch, dass der Unterricht in ganzen Jahrgängen ausfällt. Dazu kommt die ungelöste Aufgabe der Koordination der Fächer Biologie, Chemie, Physik und Mathematik.“* (Arbeitsgruppe der Bund-Länder-Kommission (BLK) für Bildungsplanung und Forschungsförderung 1997, S. 42). Es zeigt sich insgesamt, dass im naturwissenschaftlichen Unterricht ein strukturierter und systematischer Wissensaufbau, sowie eine Vernetzung der gelernten Inhalte nur schwer gelingt (vgl. Demuth et al 2005, S. 57). Außerdem entpuppt sich das Gelernte, da es meist in bestimmten unterrichtlichen, vielfach sehr abstrakten Kontexten erworben wurde, häufig als träge, das heißt, dass es nur schwer oder gar nicht aus dem ursprünglichen Kontext gelöst werden kann. So wird das Anwenden des Gelernten in anderen Zusammenhängen schwierig bis gar unmöglich. Eine Übertragung des ‚schulischen‘ Wissens auf die Herausforderungen in der Alltagswelt ist somit oft nicht möglich, da sich Schul- und Alltagskontext meist deutlich voneinander unterscheiden (vgl. ebd. S. 59). Möglichkeiten, dem Entstehen von trägem Wissen entgegenzuwirken, stellen die Strukturierung des Unterrichts nach den Bildungsstandards, sowie das Lernen an außerschulischen Lernorten dar (Näheres zu außerschulischen Lernorten in Kapitel 3.2). Unter Bildungsstandards versteht man *„Anforderungen an das Lehren und Lernen in der Schule. Sie benennen Ziele für die pädagogische Arbeit, ausgedrückt als erwünschte Lernergebnisse der Schülerinnen und Schüler. Damit konkretisieren Standards den Bildungsauftrag, den allgemein bildende Schulen zu erfüllen haben.“* (Bundesministerium für Bildung und Forschung 2007, S. 19).

Bildungsstandards nennen die Bildungsziele und Kompetenzen, welche Schuler nach einem bestimmten Schulabschluss erworben haben sollen. Sie stellen also zum einen

Erwartungen an die Entwicklung der Schülerinnen und Schüler, zum anderen eine Aufforderung an die Gesellschaft und die entsprechenden Institutionen dar, die entsprechenden Bildungsmöglichkeiten zur Verfügung zu stellen (vgl. Bundesministerium für Bildung und Forschung 2007, S. 20). Dabei sind die Formulierungen über die Bildungsziele und darüber, welche *„Wissensinhalte, Fähigkeiten und Fertigkeiten, aber auch Einstellungen, Werthaltungen, Interessen und Motive die Schule vermitteln soll“*, (ebd. S. 20) bewusst allgemein gehalten; sie machen keine konkrete Aussage über die genauen Inhalte, anhand derer diese Standards und Kompetenzen verwirklicht werden sollen (vgl. Parchmann 2006, S. 124). Dabei versteht man unter Kompetenzen *„die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, um bestimmte Probleme zu lösen, sowie die damit verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, um die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können.“* (Zit. nach Bundesministerium für Bildung und Forschung 2007, S. 21). Die Kompetenzen, die im Schülerlabor zum Thema „Auge und Sehen“ gefördert werden sollen sind in Kapitel 3.6.2 aufgeführt.

3.2 Das Konzept außerschulischer Lernorte

„Die Menschen müssen soviel wie möglich ihre Weisheit nicht aus Büchern schöpfen [...], sie müssen die Dinge selbst kennen und erforschen und nicht nur fremde Beobachtungen und Zeugnisse darüber. Und das heißt wieder in die Fußstapfen der alten Wiesen treten, wenn man die Kenntnis der Dinge nirgends anders her als aus dem Original (archetypus) selbst schöpft.“
(Comenius 1993, S. 112f.)

Schon Johann Amos Comenius hat das Lernen am Original als einen wichtigen Aspekt der schulischen Erziehung erkannt. Damit hat er im Prinzip einen der ersten Ansätze zum Lernen an einem außerschulischen Lernort entworfen. Seinem Werk, der Didactica Magna, ist an vielen Stellen zu entnehmen, dass er dem Lernen durch Betrachten des Originals, durch Naturbeobachtungen den Vorzug gibt (vgl. Comenius 1993, S. 86ff.).

Physikunterricht kann an unterschiedlichen Lernorten stattfinden, die verschiedene Lernchancen eröffnen. In der Regel findet der Physikunterricht jedoch im Schulgebäude - im Physikfachraum bzw. im Klassenraum statt. Um erfahrungsoffenes Schulleben zu fördern, ist die Lernortpädagogik bestrebt, als Alternative zum Lernort „Schule“ auch Lernorte außerhalb des Schulgebäudes in Lern- und Bildungschancen mit einzubeziehen. Ein solcher Unterricht eröffnet den Schülerinnen und Schülern besondere Lernchancen und hilft den formalisierten Umgang der Schule mit den Lernenden aufzubrechen zugunsten von mehr Lebensnähe und konkreter Praxis (vgl. Mikelskis 2006, S. 225). Außerschulische Lernorte geben den Anlass zum Lernen in anderen Lern-, Sozial- und Interaktionsformen als im Klassenzimmer und bieten die Gelegenheit für praktisches Arbeiten und eigenständiges, schülerorientiertes Lernen. Das spielerische Erlebnis, das Staunen und der Spaß am Entdecken stehen im Vordergrund (vgl. Mikelskis 2006, S. 225). Grundsätzlich gewinnen Lernprozesse an Bedeutung, wenn sie erlebnisorientiert, handlungsorientiert und mit Primärerfahrung verbunden sind. Außerschulische Lernorte sollen den Schülerinnen und Schülern zu bedeutungsvollen Erfahrungen verhelfen, die im Klassenraum nicht möglich sind. Favorisiert werden dabei selbst gesteuerte Lernprozesse in einer offenen, authentischen Lernumgebung, die das Interesse für naturwissenschaftliche Phänomene und Prozesse wecken, um so einen Einstieg in neue Unterrichtsstoffe zu bekommen (vgl. Mikelskis 2006, S. 225).

Unter außerschulischen Lernorten versteht man ganz allgemein das Lernen an einem Ort außerhalb des Schulgebäudes. Zu den Zielen des Lernens an außerschulischen Lernorten gehört es, den Schüler bzw. die Schülerin betroffen zu machen und seine Neugier zu wecken sowie die Selbsttätigkeit und Selbstständigkeit der Schülerinnen und Schüler zu

fördern. (vgl. Berck; Starosta 1990, S. 164 f.). Häufig wird der Begriff auch synonym mit beispielsweise Exkursion oder Unterricht im Freien verwendet. (vgl. Dziewas 2007, S. 16). Hierbei findet das Lernen an einem Ort statt, der eine direkte Begegnung und ein aktives Auseinander-setzen mit dem Lerngegenstand ermöglicht. Da die Schülerinnen und Schüler dabei das Objekt direkt, zumeist ohne strenge inhaltliche Vorgaben durch den Lehrer, ergründen und Inhalte erarbeiten können, stellt das entdeckende Lernen ein grundlegendes Charakteristikum außerschulischer Orte dar. Damit ist das zweite Charakteristikum, das selbstgesteuerte oder selbsttätige Lernen, sehr eng verknüpft. Die Lehrkraft zieht sich dabei zurück und nimmt die Rolle des Beraters bzw. der Beraterin ein. Die Schülerinnen und Schüler erhalten die Möglichkeit, selbstständig zu arbeiten, ihren Lernprozess selbst zu regulieren und zu reflektieren. Dabei ist es jedoch unerlässlich, dass mit den Schülerinnen und Schülern im Vorfeld ein gewisses Grundlagenwissen erarbeitet wurde, welches es ihnen ermöglicht, aktiv am außerschulischen Lernort tätig zu werden (vgl. ebd. S. 22f.).

Diese Möglichkeiten stellen eine wertvolle Ergänzung des regulären Schulunterrichts dar, denn eine *„wirksame Möglichkeit, das schulische Leben mit dem „Leben“, d.h. mit der Wirklichkeit zu konfrontieren, liegt darin, dass die Schule ihre eigenen, im Grunde genommen immer engen Räume öffnet und Schüler und Lehrer als Lernende in die Wirklichkeit schickt.“* (Dziewas 2007, S. 20). Man könnte also das Lernen an außerschulischen Orten auch als ein Lernen in, an, über und mit der Wirklichkeit nennen. Dabei lernen Schülerinnen und Schüler zumeist über mehrere Kanäle, da sie den Gegenstand sehen, etwas darüber hören und auch selbst aktiv mit ihm in Kontakt kommen. Folgendes Zitat verdeutlicht die Wichtigkeit des Ansprechens der unterschiedlichen Sinne: *„Daher die goldene Regel für alle Lehrenden: Alles soll wo immer möglich den Sinnen vorgeführt werden [...]. Und wenn etwas durch verschiedene Sinne aufgenommen werden kann, soll es den verschiedenen zugleich vorgesetzt werden [...]. Hierfür gibt es drei triftige Gründe: I. Der Anfang der Kenntnis (cognitio) muß [sic!] von den Sinnen ausgehen [...]. II. Die Wahrheit und Sicherheit der Wissenschaft ist von nichts so abhängig wie vom Zeugnis der Sinne. Denn die Dinge prägen sich zuerst und unmittelbar den Sinnen ein, dann erst [...] dem Verstande. [...] III. Und weil die Sinne die treuesten Sachverwalter des Gedächtnisses sind, so wird die Veranschaulichung der Dinge bewirken, daß [sic!] jeder das, was er weiß, auch behält.“* (Comenius 1993, S. 136f.). Zudem eröffnet die Vielfältigkeit der Begegnungsmöglichkeiten mit dem Original einen Zuwachs an Informationen und Wissen, der in der Schule allein nicht erreicht werden konnte (vgl. Dziewas 2007, S. 20). Neben dem Museum und dem Science Center stellt auch ein

Schülerlabor einen außerschulischen Lernort, an dem man Erkenntnisse durch das Original erfährt, dar.

Im Fall des Schülerlabors in den Räumen der Universität, werden besonders durch das universitäre Umfeld bei den Schülerinnen und Schülern die Neugier und ein gewisses Interesse geweckt. Das miteinander Arbeiten und Lernen an einem anderen Ort kann neben den fachlichen auch die sozialen Fähigkeiten der Schülerinnen und Schüler verbessern; an einem außerschulischen Lernort werden *„für Erkenntnis und Einübung sozialen Verhaltens Chancen frei, die in Schulzimmer oder Schulhaus mehr oder minder latent bleiben, manchmal sogar eher Störungen auslösen statt eine Erziehung zu Solidarität und Mitverantwortung, zu Initiative und Hilfsbereitschaft, zu Toleranz und Verständnisbereitschaft zu fundieren.“* (Dziawas 2007, S. 21). Auch die Tatsache, dass es an einem außerschulischen Lernort nicht die begrenzenden Bedingungen des Klassenzimmers und der Schule an sich, das heißt keine festgelegte, geregelte Sitzordnung, keinen 45-Minuten-Takt, keine Pausenglocke, gibt, ermöglicht eine völlig neue Interaktion der Schülerinnen und Schüler untereinander, aber auch mit der Lehrperson (vgl. ebd., S. 23). Außerdem kann die veränderte Lernsituation für schwächere Schülerinnen und Schüler ein motivierender Anreiz sein, sich einer Herausforderung zu stellen. Bei ausgegrenzten Schülerinnen und Schülern kann sie zu einer besseren Integration in die Lerngruppe beitragen, beispielsweise bedingt durch ihre praktischen Fähigkeiten (vgl. ebd. S. 21). Auch für leistungstärkere Schülerinnen und Schüler kann dieser ‚andere und zugleich fremde Ort‘ eine intrinsische Motivation schaffen. Zudem besteht an anderen Lernorten auch die Möglichkeit, stereotype Verhaltensweisen bestimmter Schülerinnen und Schüler durch die veränderte Umgebung und deren Anforderungen, beispielsweise die Notwendigkeit in einem Museum leise zu sein oder in einem Labor exakt und vorsichtig zu arbeiten, zu durchbrechen. Weiterhin bietet ein außerschulischer Lernort den Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit, die Lernprozesse ein Stück weit den eigenen Interessen entsprechend selbst zu regulieren und zu steuern. An einem außerschulischen Lernort können daneben die kommunikativen Fähigkeiten der Schülerinnen und Schüler geschult und gefördert werden, beispielsweise wenn sie sich über ihr Vorgehen oder ihre erzielten Ergebnisse austauschen müssen. Ein außerschulischer Lernort fordert folglich die Schülerinnen und Schüler *„zur Zusammenarbeit, zum gegenseitigen Helfen, zum gemeinsamen Angehen von Lösungen von Problemen, zum Abwägen unterschiedlicher Interessen, zum Vergleichen von Ergebnissen“* (vgl. Berck, Starosta 1990, S. 165) auf. Die Öffnung der Schule für andere Lernorte wird als notwendig erachtet, da viele Kinder und Jugendliche heute einem zunehmenden Einfluss der Medien ausgesetzt sind, was immer

öfter eine „*Gesprächsunfähigkeit*“ (Stock 1988, S. 50), sowohl der Kinder als auch der Erwachsenen, zur Folge hat (vgl. ebd. S. 50). Ferner leiden häufig die sozialen Kontakte darunter, aber auch der Forschungs- und Experimentierdrang sowie die direkte unvermittelte Begegnung mit der eigenen Umwelt werden dadurch zurückgedrängt und zum Teil durch ein stumpfes Konsumieren vermittelter Erfahrungen durch den Computer oder den Fernseher, durch eine „*Wirklichkeit aus zweiter Hand*“ (Bönsch 2000, S. 12), ersetzt. Konnte die Schule früher auf diese direkten Erfahrungen der Schülerinnen und Schüler mit ihrer Umwelt aufbauen, muss sie diese heute mehr und mehr ersetzen, beziehungsweise selbst ermöglichen. Die Schule muss also dieser veränderten Situation, in der sie und ihre Schülerinnen und Schüler sich befinden, Rechnung tragen, indem sie sich in zweifacher Hinsicht sowohl nach innen als auch nach außen öffnet. Eine Öffnung nach innen bedeutet unter anderem, dass selbstbestimmtes und selbstentdeckendes Lernen gefördert wird, dass man sich von der strengen Fachbezogenheit und dem straffen Zeitplan löst und mehr offene Arbeitsformen zulässt. Eine Öffnung nach außen soll unter anderem durch das Lernen außerhalb der Schule eine direkte Begegnung mit dem Lerngegenstand ermöglichen (vgl. Bönsch 2000, S. 12ff). Außerschulische Lernorte können nach verschiedenen Kriterien charakterisiert werden, und zwar nach der Aufenthaltsdauer, der Art des Kontakts oder der räumlichen Distanz zur Schule. Bei der Unterscheidung nach der Aufenthaltsdauer wird unterschieden in einen „*Unterrichts- oder Informationsgang*“ (Dziawas 2007, S. 24), der maximal einen halben Schultag dauert, in Wanderungen und Exkursionen, die zwischen einem halben bis einem ganzen Tag dauern und der Studienfahrt, die sich über mehrere Tage erstreckt (vgl. ebd. S. 24). Trennt man außerschulische Lernorte nach der Art des Kontakts, dann erhält man folgende Unterteilung: Zunächst gibt es den losen Kontakt in Form des Herumstreifens an einem bestimmten Ort, der einen ersten Eindruck vermittelt, wobei alles Auffällige registriert und gesammelt wird. Im Rahmen einer Exkursion, einer intensiveren Form des Kontakts, bekommen die Lernenden dagegen einen konkreten Arbeitsauftrag, den sie durch gezielte Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand bearbeiten müssen. Eine weitere Kontaktform ist das Praktikum oder Projekt, bei dem man den außerschulischen Lernort mehrfach aufsucht (vgl. Bönsch 2000, S. 15). Die Unterscheidung bezüglich der Distanz liegt auf der Hand, es gibt Orte die sich in der Nähe der Schule befinden, und solche, die sich in einer bestimmten Entfernung befinden, was wiederum mit einer gewissen Anfahrtstrecke verbunden ist (vgl. ebd.).

Weiterhin gilt es noch einige Worte über die Kriterien der Auswahl des außerschulischen Lernorts, sowie über die Durchführung des Besuchs dort zu verlieren. Zunächst ist

festzuhalten, dass nicht jeder Lernort für jede Lerngruppe geeignet ist. Bei der Entscheidung müssen sowohl sachliche, aber auch schülerorientierte Kriterien berücksichtigt werden. Dabei sollte sich der Lehrer unter anderem über folgende Aspekte Gedanken machen:

- Gibt es einen sinnvollen und nachvollziehbaren Lehrplanbezug?
 - Stehen Aufwand und Ergebnis in einem günstigen Verhältnis?
 - Haben die Lernenden das notwendige Vorwissen?
 - Welche Möglichkeiten bietet der Lernort?
 - Bietet der Ort den Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit, handlungsorientiert, fachbezogen oder fächerübergreifend zu arbeiten?
 - Ist der Lernort für die Lerngruppe geeignet?
 - Spricht der Lernort die Schülerinnen und Schüler an, kann er ihr Interesse wecken?
- (vgl. Stock 1988, S. 51).

Das Lernen an einem außerschulischen Lernort stellt auch an Lehrer und Schülerinnen und Schüler gewisse Anforderungen. Die Lehrkraft muss zunächst einmal von dem Vorhaben überzeugt sein und ein echtes Interesse daran haben. Zudem muss die Lehrkraft Teamfähigkeit besitzen.

Um den Aufenthalt am außerschulischen Lernort entsprechend vorbereiten zu können, sollte sich die Lehrkraft mit dem außerschulischen Lernort näher befassen und dessen Zielsetzung in seine Vorbereitungen mit einfließen lassen. Die Schülerinnen und Schüler sollten zumindest im Ansatz dazu gewillt sein, sich den Anforderungen des Lernorts entsprechend zu verhalten, dazu gehört auch die Bereitschaft, zusammen zu arbeiten und sich in die Gemeinschaft einzuordnen. Aber auch das Übernehmen von Verantwortung für das eigene Tun, sowie das Interesse am eigenständigen Arbeiten ist von großem Vorteil (vgl. ebd.). Nachdem die Wahl nun auf einen Lernort gefallen ist, muss der Besuch im ersten Schritt vorbereitet werden. Dabei wird von einer „gemeinsam entwickelten Problemstellung oder situationsbezogenen Aufgabenstellung ausgegangen“ (Dziewas 2007, S. 26). Zur Vorbereitung gehört es, rechtliche und organisatorische Fragen zu klären, Erwartungen, Vorstellungen, Lerninhalte sowie (Lern)Ziele zu formulieren, einen Aufgaben- und Arbeitsplan aufzustellen, Informationen über den Lernort und das Thema zu sammeln und die Rahmenbedingungen und örtliche Gegebenheiten zu beachten. Dazu gehört z.B. die Frage nach spezieller Kleidung (Laborkittel, Sicherheitskleidung) oder der Wetterabhängigkeit des Lernorts.

Auch das Vorwissen, sowie die Interessen und Erfahrungen der Schülerinnen und Schüler sollten bei der Vorbereitung nicht ganz außer Acht gelassen werden. Zudem ist es notwendig, die Eltern der Schüler über das geplante Vorhaben zu informieren. Zudem ist eine genaue Absprache über das angepasste Verhalten vor Ort zwingend notwendig (vgl. Stock 1988, S. 54).

Bei der anschließenden Durchführung werden die geplanten Schritte ausgeführt. Es ist dabei darauf zu achten, dass die Schülerinnen und Schüler

- mit dem Zeitplan vertraut gemacht werden,
- nicht mit zu vielen (Fach)Informationen auf einmal konfrontiert werden,
- selbstständig arbeiten können,
- eigenverantwortlich entscheiden dürfen, ob und wann ihre Arbeits-, beziehungsweise Lernprozesse beendet sind (vgl. Dziewas 2007, S. 27).

Den Abschluss sollte hierbei immer eine Vorstellung der erarbeiteten Ergebnisse noch vor Ort bilden. Dazu gehört neben dem Abgleichen, Besprechen und Erläutern der Resultate auch das Klären offener Fragen (vgl. Dziewas 2007, S. 27).

Der dritte Schritt, die Auswertung, findet dann wieder in der Schule statt. Diese Phase dient neben der Ergebnissicherung auch der Reflexion des Besuchs und der Präsentation der Ergebnisse. Dazu dienen die unterschiedlichsten Formen wie beispielsweise das Verfassen von Berichten, das Präsentieren von Fotos oder mitgebrachten Materialien, das Erstellen von Modellen, Wandzeitungen, Collagen oder Ähnlichem. Dabei sollen neben den kognitiven auch die affektiven Aspekte des Besuchs veranschaulicht werden. Am Ende dieser Phase sollten die Schülerinnen und Schüler die neuen Erkenntnisse in einen größeren Gesamtzusammenhang einordnen können und die Bedeutung und den Nutzen des außerschulischen Lernorts und den dort erworbenen Kenntnissen herausstellen können. (vgl. Stock 1988, S. 54). Der Lehrer sollte sich zudem im Anschluss folgende Fragen stellen:

- Was war gut, was war schlecht?
- War die Zeitplanung in Ordnung?
- Wurden die angestrebten Ziele erreicht?
- Warum wurden eventuell manche Ziele nicht erreicht?
- Was muss verändert werden?
- Waren die Lernenden über- oder unterfordert?
- Waren die Schülerinnen und Schüler interessiert?
- War das Vorwissen der Schülerinnen und Schüler ausreichend?

- Haben die Lernenden die notwendigen Arbeitstechniken beherrscht?

All diese Aspekte gilt es bei der Planung eines Besuchs eines außerschulischen Lernorts zu berücksichtigen. Trotz all der genannten positiven Aspekte gibt es doch auch zum Teil leichter, zum Teil schwerer zu behebende Nachteile bei dem Lehren und Lernen an außerschulischen Orten. Zunächst einmal ist ein Besuch eines solchen Orts immer mit einem gewissen Zeitaufwand, sowohl für den Hin- und Rückweg, als auch für die Zeit vor Ort, verbunden. Zum einen muss für ein solches Vorhaben entweder Unterricht ausfallen, sofern die Veranstaltung nicht am Wandertag oder während der Projektwoche stattfindet, oder aber der Nachmittag – und damit Freizeit – der Schülerinnen und Schüler muss dafür verwendet werden. Zum anderen ist die Distanz zu diesem Ort zu überwinden. Bei älteren Schülerinnen und Schülern mag dies ein eher kleineres Problem darstellen, bei jüngeren Kindern hingegen ist es meist mit einem gewissen organisatorischen Aufwand verbunden. Auch die Kosten für eine solche Veranstaltung spielen eine Rolle. In den häufigsten Fällen ist es nicht mit dem Unkostenbeitrag für die Veranstaltung getan, dazu kommen noch die Kosten für den Öffentlichen Personennahverkehr, sowie die Versorgung vor Ort. Dies kann durchaus für manche Eltern ein Problem darstellen. Einige der Lehrer bzw. Lehrerinnen mögen zudem eine Schwierigkeit in der Überprüfung und Bewertung der individuellen Leistungen sehen, da sie bei einer solchen Veranstaltung nicht immer alle Schülerinnen und Schüler im Blick haben können. Ein weiterer Knackpunkt ist die Tatsache, dass ein außerschulischer Lernort in vielen Augen eher einen Ausflug darstellt, bei dem es mehr um Spaß, als um lernen geht, besonders wenn notwendige Vor-, beziehungsweise Nachbereitung der Lernenden in der Schule durch die Lehrkraft fehlt.

3.3 Das Konzept Schülerlabor

„Die Schüler von heute sind es, die in Zukunft neue Technologien entwickeln werden und Rahmenbedingungen schaffen, um Wohlstand zu erhalten oder zu festigen.“

(Zit. nach Hillebrandt, Dähnhardt 2005, S. 20)

Schülerlabore stellen außerschulische Lernorte dar, an denen Kinder und Jugendliche meist selbstständig Experimente zu naturwissenschaftlichen Themen durchführen.

Insbesondere in den letzten Jahren haben sich Schülerlabore an einer Reihe von Standorten in Deutschland etabliert und rasant entwickelt. Sie werden sowohl von Schülerinnen und Schülern als auch von Lehrkräften meist gerne besucht.

Der Gründungsboom von Schülerlaboren begann vor etwas mehr als zehn Jahren. Sie entstanden aus der Motivation heraus etwas gegen das sinkende Interesse von Kindern und Jugendlichen an den Naturwissenschaften zu tun. Zunehmend finden sich Konzeptionen, die schulisches und außerschulisches Lernen verbinden und damit mittel- bis langfristig eine erhöhte Motivation sowie verbesserte fachwissenschaftliche Kompetenzen erreichen wollen.

Zunächst soll der Frage nachgegangen werden, warum ein Schülerlabor im Allgemeinen als sinnvolle Einrichtung gesehen werden kann, und welche Ziele ein solches Labor verfolgt; einen kleinen Hinweis auf die Notwendigkeit, Schülerinnen und Schüler gut auszubilden, gibt das oben stehende Zitat.

Übergeordnetes Ziel ist es, die Schülerinnen und Schüler durch geeignete Experimente zu motivieren, sich mit Fragen der Naturwissenschaften und der Technik auseinanderzusetzen (Fassbender et al. 2007, S. 19f.). Die Konzeption vieler Schülerlabore basiert auf der zentralen Annahme, dass das Durchführen von Experimenten automatisch das Interesse der Lernenden an den Naturwissenschaften fördere und das entsprechende Verständnis verbessere.

Schulstudien wie TIMSS und PISA zeigen, wie wichtig es ist, die Bildung der Schülerinnen und Schüler im mathematisch-naturwissenschaftlichen Bereich in Deutschland zu verbessern, damit sie in Zukunft im internationalen Vergleich wieder besser abschneiden und somit auch bessere Berufschancen haben (vgl. Kapitel 3.1). Dazu ist es wichtig, das Interesse an diesen Fächern zu steigern und aufzuzeigen, dass die Forschungs- und Entwicklungsarbeit in naturwissenschaftlichen und technischen Berufen viel Neugier, Originalität und Kreativität fordert. Doch die entsprechenden Schulfächer vermitteln zuweilen leider, dass es in den Naturwissenschaften hauptsächlich um

Auswendiglernen und trockene, unverständliche Theorie geht. Das Ziel muss also eine Kooperation zwischen Schule und Wissenschaft sein, um den Stand der Naturwissenschaften zu verbessern und qualifizierten Nachwuchs anzulernen. (vgl. Hillebrandt; Dähnhardt 2005, S. 20). Eine gute Möglichkeit dafür stellen Schülerlabore dar. Die Labore sind an Hochschulen und Forschungseinrichtungen, aber auch an Science Centern und Museen angegliedert und werden von den entsprechenden Einrichtungen personell und finanziell getragen (Aufschnaiter et al 2007, S. 132f.).

Seit Ende der 90er Jahre des 20. Jahrhunderts entstehen immer mehr Schülerlabore als Lernorte, die es den Schülerinnen und Schülern ermöglichen, außerhalb der Schule mit Naturwissenschaften in Kontakt zu kommen und einen direkten Zugang zu naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung zu erlangen. Sie zeigen dem naturwissenschaftlichen Unterricht somit neue Wege auf, um den nach TIMSS und PISA laut gewordenen Kritiken entgegenzuwirken (vgl. Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik 2009). Bis heute sind bei LeLa (Lernort Labor – Zentrum für Beratung und Qualitätsentwicklung) 260 außerschulische Lernorte, davon 158 Schülerlabore, registriert (vgl. ebd.).

Ein Schülerlabor erfüllt besonders für Hochschulen und Forschungseinrichtungen unter anderem den Zweck der Rekrutierung von wissenschaftlichem Nachwuchs. Aus Sicht von Schülerinnen und Schülern stellen Schülerlabore zunächst eine meist willkommene Abwechslung vom Schulalltag dar, verbunden mit der Möglichkeit, in eine für die Schülerinnen und Schüler eher unbekannte „Welt“ hinein zu schnuppern. Auch Lehrkräfte begrüßen Schülerlabore häufig, da sie Ansätze der schülergerechten Inszenierung solcher Sachverhalte bieten, die für die Schule inhaltlich oder vom experimentellen Aufwand her zu komplex sind (Aufschnaiter et al 2007, S. 132f.). Als Gründe gegen den Besuch eines Schülerlabors werden dennoch häufig Zeitnot, lange Anmarschwege und disziplinäre Schwierigkeiten genannt. Die Lehrkräfte sind demnach darauf angewiesen, dass die Schülerinnen und Schüler den Besuch der Labore nicht nur positiv erleben, sondern auch neue Kompetenzen und neues Wissen entwickeln. Insbesondere mit Blick auf die eher knappen Stundentafeln für die naturwissenschaftlichen Fächer müssen außerschulische Lernorte einen Lernzuwachs erreichen, um ausgefallene Unterrichtszeit angemessen kompensieren und damit auch rechtfertigen zu können. Gerade für Experimente reicht die Unterrichtszeit häufig nicht aus, obwohl durch praktisches Arbeiten das Verständnis komplexer Zusammenhänge vertieft wird. Aus diesem Grunde sind Schülerlabore derzeit überwiegend auf eine Breitenförderung angelegt: Eine ganze Schulklasse besucht mit

ihrem Lehrer oder ihrer Lehrerin mindestens für einen halben Tag die Einrichtung und arbeitet an einem Projekt. Für größere Projekte sind die Besuche meist mehrtägig.

Mitmachen, Erleben, Staunen und die Faszination der wissenschaftlichen Atmosphäre stehen dabei im Mittelpunkt der pädagogischen Konzepte. Pädagogische Grundlage der Konzeption sind die Förderung von Neugier und intrinsischer Motivation, spielerische Erkundung und selbst bestimmtes Lernen (Rennie, Mc Clafferty 1996, S. 135).

Im Folgenden wird der Fokus auf dem Schülerlabor am Institut für Didaktik der Physik liegen, dessen Ziel es ist, Interesse an den Naturwissenschaften, dem Experimentieren und dem wissenschaftlichen Arbeiten bei Kindern und Jugendlichen ihren jeweiligen Bedürfnissen entsprechend zu wecken und zu fördern. Dabei soll es ein gutes Gleichgewicht an Breiten- und Spitzenförderung geben. Das bedeutet, dass sowohl eine Unterstützung des Forschungs- und Experimentierinteresses von Schulklassen und Oberstufenkursen als auch einzelner besonders begabter und leistungsbereiter Schülerinnen und Schüler stattfinden soll.

Im Schülerlabor soll nicht reine und trockene Theorie vermittelt werden, sondern eher Praxis angereichert mit Theorie. Der Fokus soll auf dem Umsetzen der Theorie in die Praxis liegen. Die Vorteile des praktischen Arbeitens in Bezug auf das Behalten von Informationen liegen auf der Hand, wie folgende Auflistung zeigt. Man behält sich

- 10% von dem, was man liest,
- 20% von dem, was man hört,
- 30% von dem, was man sieht,
- 50% von dem, was man sieht und hört,
- 70% von dem, was man selbst sagt,
- 90% von dem, was man selbst tut (vgl. Mattes 2011, S. 14).

Schon Konfuzius war sich dessen bewusst, er formulierte das Ganze so: *„Erzähle mir und ich vergesse. Zeige mir und ich erinnere. Lass es mich tun und ich verstehe.“* (Grundschulwerkstatt 2009). Diese beiden Belege verdeutlichen, wie wichtig das praktische Tun ist. Die Schülerinnen und Schüler sollen im Labor das selbstständige Arbeiten und Experimentieren üben, sowie Zusammenhänge erkennen und verstehen lernen. So sollen sie zu einer möglichst eigenständigen Erkenntnisgewinnung gelangen. Wichtig ist jedoch der Aspekt, dass das Schülerlabor keinen qualifizierten und experimentellen Schulunterricht ersetzen will und kann, aber auch keinen ‚Ausflugscharakter‘ haben möchte. Das Labor will nicht als Beschäftigungstherapie kurz vor den Ferien oder an einem Wandertag dienen. Vielmehr soll hier fundiertes, elementarisertes und didaktisch aufbereitetes Wissen vermittelt werden, wobei eine intensive Betreuung

durch studentische Hilfskräfte und Mitarbeiter der Universität gesichert ist. Durch das universitäre Umfeld wird das wissenschaftliche Arbeiten und die Auseinandersetzung mit einem bestimmten Themenfeld auf einer anderen, wissenschaftlicheren Ebene als in der Schule ermöglicht. Das Besondere am Schülerlabor am Institut für Didaktik der Physik in Frankfurt am Main ist dabei, dass hier die Fachbereiche Chemie und Physik (unter Umständen auch die Biologie und die Geowissenschaften) häufig zusammen arbeiten und des Öfteren gemeinsame Angebote machen.

3.4 Der Experimentalunterricht

In den Naturwissenschaften spielt das Experimentieren eine ganz besondere Rolle. Das Experiment steht für empirische Untersuchungen und ist damit quasi das Kennzeichen naturwissenschaftlicher Forschung. Unter Experimentieren versteht man „*das systematische Variieren und Manipulieren von Faktoren, die Einfluss auf eine Versuchsanordnung haben*“ (Duit et al 2008, S. 52). Der amerikanische Didaktiker Hodson gibt drei Ziele des Experimentierens im Unterricht an:

1. Lernen der Naturwissenschaften,
2. Lernen über die Naturwissenschaften,
3. Lernen, wie man naturwissenschaftlich arbeitet.

Was die Rolle von Experimenten beim Begreifen und Erlernen naturwissenschaftlichen Wissens angeht, so erlauben sie einerseits, naturwissenschaftliche Phänomene zu veranschaulichen, das heißt den Schülerinnen und Schülern Erkenntnisse zu vermitteln, die zum Verstehen naturwissenschaftlicher Begriffe und Prinzipien führen. Darüber hinaus können Experimente Anwendungen naturwissenschaftlicher Erkenntnisse unter anderem in Alltag und Technik deutlich machen (Duit et al 2008, S. 53).

In der Wissenschaft werden Experimente bei der induktiven Erkenntnissuche eingesetzt.

Unter Induktion versteht man den Schluss vom Einzelfall auf das allgemein gültige. Umgekehrt kann aber auch von einer allgemeinen Erkenntnis oder Gesetzmäßigkeit eine Schlussfolgerung auf einen Einzelfall, auf das Besondere gezogen, und sogar eine Voraussage über den Einzelfall gemacht werden. Den Schluss vom Allgemeinen auf das Besondere bezeichnet man als Deduktion (vgl. Mikelskis 2006, S. 30).

Ihre Aufgabe ist es, Hypothesen zu bestätigen oder zu widerlegen. Die Vorgehensweise sieht dabei folgendermaßen aus: Aus Hypothesen werden Einzelfälle abgeleitet und durch Experimente überprüft. Des Weiteren erfolgt ein Vergleich mit anderen, durch die Hypothese erfassten und experimentell untersuchten Fällen. Wenn die Ergebnisse aller Experimente die Hypothese stützen bzw. wenn kein Experiment die Hypothese zu Fall

bringen kann, gilt sie als bestätigt und erhält ggf. den Rang einer Theorie. In der vorliegenden Arbeit, wie auch in der Schulpraxis, wird synonym zu „Experiment“ der Begriff „Versuch“ gebraucht.

Das Experimentieren ist eine sehr anspruchsvolle fachgemäße Arbeitsweise. Zudem bedeutet das Lernen über die Naturwissenschaften, die Schülerinnen und Schüler mit der Rolle naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen (den Prozessen) vertraut zu machen. Es ist daher nicht überraschend, dass das Experiment im Physikunterricht in vielerlei Hinsicht von großer Bedeutung ist. Dennoch ist zu beachten, dass das Experimentieren im Unterricht nur dann für den Unterricht effektiv ist, wenn es sinnvoll in das didaktische Konzept von Unterrichtseinheiten und Unterrichtsstunden eingebaut ist. Ein Experiment kann mit unterschiedlicher didaktischer Intention eingesetzt werden und findet dann an jeweils anderer Stelle (didaktischer Ort) im Verlauf des Unterrichts statt (vgl. Mikelskis 2006, S. 30ff.). Man unterscheidet das einführende Experiment, das klärende Experiment und das bestätigende Experiment, auf die im Einzelnen nicht näher eingegangen wird. Allen Experimenten ist gemeinsam, dass es eine enge Wechselwirkung von Experiment und Theorie gibt. Ein physikalisches Schulexperiment sollte dabei folgende Phasen umfassen (Mikelskis 2006, S. 30ff.):

- Klare Frage- oder Problemstellung (mit motivierender Hinführung),
- Planung und gut überschaubarer Aufbau der Versuchsordnung,
- Versuchsdurchführung,
- Registrieren des beobachtbaren Ergebnisses,
- Auswertung bzw. Interpretation des Ergebnisses und Möglichkeit des Transfers.

Experimentieren lernen bedeutet infolgedessen einerseits Routinen zu erwerben, wie ein Experiment geplant, wie Beobachtungen und Ergebnisse dokumentiert und wie sie interpretiert werden. Darüber hinaus sollten die Schülerinnen und Schüler jedoch auch die Einsicht entwickeln, dass stets eine gewisse Skepsis gegenüber den eigenen Befunden und Interpretationen zu bewahren ist.

3.5 Handlungsorientierung

Das Handeln umfasst Merkmale, die vor allem die Verbindung von gedanklicher Auseinandersetzung und selbstverantwortlicher, zielgerichteter Schüleraktivität kennzeichnen. Handlungsorientierter Unterricht wird in einer Definition von JANK UND MEYER (2002) gekennzeichnet als *„ein ganz einheitlicher und schüleraktiver Unterricht, in dem die zwischen dem Lehrer und den Schülern vereinbarten Handlungsprodukte die Gestaltung des Unterrichtsprozesses leiten, sodass Kopf- und Handarbeit der Schüler in ein ausgewogenes Verhältnis zueinander gebracht werden können.“* (Jank; Meyer 2002, S. 315).

Durch den handlungsorientierten Unterricht wird die gesamte Persönlichkeit der Lernenden angesprochen. Ihr Denken und Handeln werden miteinander verknüpft. Der Unterricht knüpft an Erfahrungen und Interessen der Lernenden an, bezieht sie bei Planung, Erarbeitung und Auswertung des Unterrichts ein und befähigt sie, sich eigenständig Wissen anzueignen, Probleme zu lösen, Entscheidungen zu treffen und in Handlungen zu erproben (Ruppert 2004, S. 5). Im Schülerlabor führen die Schülerinnen und Schüler mehrere Versuche zum Thema „Auge und Sehen“ durch und lernen wichtige fachspezifische Arbeitsweisen kennen. Daneben wird im Schülerlabor das Prinzip der Ganzheitlichkeit eingehalten, indem die Schülerinnen und Schüler einen abgeschlossenen Arbeitsvorgang erleben, bei dem sie am Ende zu einem Ergebnis kommen.

Das Schülerlabor-Programm ist damit vorrangig auf Selbsttätigkeit ausgerichtet, die überwiegend praktische Aktivitäten der Lernenden mit einschließt, zum Beispiel Beobachten, Beurteilen, Durchführen, Vergleichen und Auswerten.

Aufgrund mangelnder Erfahrungen der Lernenden und des Zeitdrucks werden die Versuchsplanung und der Versuchsaufbau während des Schülerlabors durch die Arbeitsblätter im Schülerarbeitsheft (siehe auch Kapitel 4.2) vorgegeben. Aufgabe der Lernenden ist es, die Versuche innerhalb der Zeitvorgabe korrekt in ihrer Gruppe durchzuführen und sich ganz auf das Beobachten und Auswerten der Versuche zu konzentrieren. Jede Gruppe ist dabei für den Erfolg ihrer Versuche verantwortlich.

3.6 Die Erstellung eines Konzepts für das Schülerlabor

Die Idee, ein Konzept für den außerschulischen Lernort Schülerlabor zur Thematik „Auge und Sehen“ zu erstellen, entstand im Fachbereich Didaktik der Physik der Johann Wolfgang-Goethe Universität in Frankfurt am Main. Bei der Konzeption soll sowohl die Dimension des Erlebens von Schülerinnen und Schülern, als auch deren Entwicklung physikbezogener Kompetenzen (siehe Kapitel 3.6.2) berücksichtigt werden.

Ziele und Struktur des Themas „Auge und Sehen“ als ein Thema des Schülerlabors werden in dieser Hausarbeit konkretisiert. Im Schülerlabor sollen handlungsorientierte und experimentelle Denk- und Arbeitsweisen den Schwerpunkt des Labors ausmachen. Intention des Konzepts für das Schülerlabor ist es, Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I Möglichkeiten der eigenständigen Auseinandersetzung mit dem Thema Auge und Sehen zu bieten.

Dabei ist es wichtig, dass das Konzept einen Bezug zu den, durch die Lehrpläne vorgegebenen, Unterrichtsthemen in der Schule darstellt, sodass die Schülerinnen und Schüler die Möglichkeit erhalten ihr in der Schule angeeignetes Wissen zu erweitern und zu vertiefen.

3.6.1 Lehrplanbezug und Bildungsbedeutung

Das Thema „Auge und Sehen“ lässt sich in allen drei Schulformen in der 7. Klasse in eine Lehrplaneinheit einbetten. In der Haupt- und Realschule kann das Thema im Rahmen der Unterrichtseinheit „Optik“ bearbeitet werden (Lehrplan Physik 2007, Bildungsgang Realschule. S. 7). Für die Lehrplaneinheit sind in der Realschule insgesamt 26 Stunden vorgesehen. In der 7. Klasse zählen zu den verbindlichen Unterrichtsinhalten und Aufgaben die Bildentstehung auf der Netzhaut, der Aufbau des Auges sowie Augenfehler und deren Korrekturmöglichkeiten (Lehrplan Physik 2008, Bildungsgang Hauptschule. S. 7). Für den Schülerlabortag ist es vor allem wichtig, dass die Schülerinnen und Schüler die Grundlagen der Strahlenoptik (Lichtausbreitung, Brechung, Sammellinsen) bereits kennen und auch eine Vorstellung über die Sichtbarkeit von Körpern besitzen. Der Aufbau des Auges sollte noch nicht behandelt worden sein. Als Arbeitsmethoden zu der Unterrichtseinheit Optik sind in den Lehrplänen der Haupt- und Realschule das Beobachten, Vergleichen, Auswerten und Protokollieren von selbstständig durchgeführten Versuchen, der Umgang mit Modellen, sowie die geometrische Konstruktion mit Geodreieck und Lineal aufgeführt. Auch der Umgang mit Lernsoftware zum Thema Optik findet im Lehrplan Erwähnung (Lehrplan Physik 2008, siehe Arbeitsmethoden für Schülerinnen und Schüler/Hinweise und Erläuterungen).

Im Schülerlabor lernen die Schülerinnen und Schüler in mehreren Stationen vieles über das Auge (Aufbau, Adaption, Akkommodation, Strahlengänge, Fehlsichtigkeit, blinder Fleck etc.). Der Schwerpunkt soll dabei nicht nur auf der Durchführung verschiedener Versuche zur Funktion des Sehens, sondern auch auf der Erarbeitung der Physiologie des Auges liegen. Dazu sollen die Schülerinnen und Schüler zum Beispiel am Modell eines Auges die verschiedenen Bestandteile finden und deren Funktionen mithilfe von Kärtchen richtig zuordnen (vgl. Kapitel 4.3.2). Die Motivation steigt bei den Lernenden gerade am eigenständigen, praktischen Arbeiten anhand von Versuchen mit Modellen. Durch die Arbeit mit Modellen soll der Blick auf Einzelheiten geschärft werden.

Vor allem unbekannte oder mit dem bloßen Auge nicht sichtbare Erscheinungen machen die Schülerinnen und Schüler neugierig und sie erhalten durch die Durchführung verschiedener Modellversuche, Einblicke in die Welt des Kleinen, welche sie sich kaum vorstellen können (vgl. Berge 2000, S. 10f.)

Durch die praktische Arbeit im Schülerlabor wird der Forschergeist geweckt und die sozialen Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler durch den gegenseitigen Austausch innerhalb der Gruppe gefördert. Damit werden die Anforderungen des Lehrplans, bezüglich der Arbeitsmethoden, erfüllt.

Ausgehend vom Bildungsplan für die Schulen in Hessen, der im Erziehungs- und Bildungsauftrag der Fächer Biologie, Chemie und Physik festschreibt, dass konkrete Aufgabenstellungen und handlungsorientierte Unterrichtsformen bestimmend sein sollen und der Schwerpunkt des Unterrichts aus der Erfahrungswelt der Schülerinnen und Schüler stammen soll, ist der Schülerlabortag konzipiert. Dabei schafft das exemplarische Arbeiten Raum für ganzheitliche Betrachtungsweisen, die neben Fakten auch Zusammenhänge und Verknüpfungen aufzeigt und den emotionalen Bereich anspricht.

Durch den Tag im Schülerlabor erhalten die Schülerinnen und Schüler einen Einblick in die wesentlichen Experimente, die im Rahmen der Unterrichtseinheit „Optik“ durch den Lehrplan vorgeschrieben sind.

Um Schülerinnen und Schüler heutzutage für das Fach Physik zu begeistern, muss der Physikunterricht möglichst praxisbezogene, anwendungsorientierte und der Altersstufe angemessene „spannende“ Themen behandeln. Stark motivierend ist in diesem Sinne sicher der Kontext zwischen Physik und Biologie. Die fachlichen Inhalte der Optik sind folglich eingebettet in den Kontext „Auge und Sehen“. Dieser soll die Schülerinnen und Schüler dazu motivieren verschiedene Fragestellungen, Aufgaben und Probleme aufzunehmen, zu diskutieren und zu bearbeiten (vgl. Berge et al 2009, S. 4),

Im Folgenden soll unter Beachtung der Schüler- und Fachrelevanz kurz erläutert werden, was dafür spricht, im Physikunterricht den Kontext „Auge und Sehen“ zu nutzen, um physikalische Grundlagen der Optik zu erarbeiten.

Das Sinnesorgan Auge ist für viele Jugendliche auf den ersten Blick etwas Selbstverständliches und wenig Fragwürdiges. Da die meisten unter ihnen wahrscheinlich keine Augenprobleme haben und auch keine Sehhilfe tragen, werden sie sich bisher kaum Fragen über die Funktionsweise ihres Auges gestellt haben. Lediglich die Schülerinnen und Schüler, die auf eine Sehhilfe angewiesen sind, nehmen das Auge stärker zur Kenntnis - wenn auch nur in einzelnen Aspekten. Die unterrichtspraktischen Erfahrungen zeigen, dass sich die Schülerinnen und Schüler für das Sinnesorgan Auge besonders interessieren, bzw. sich für diese Thematik, die eine hohe subjektive Relevanz besitzt, leicht motivieren lassen (Bühler; Graf 2009, S. 5). Das Thema „Auge und Sehen“ ist dabei nicht nur aus der Perspektive der Biologie, sondern auch aus der Perspektive der Physik immer wieder eine faszinierende Thematik mit hoher Gegenwarts- und Zukunftsrelevanz.

Die Lernenden erhalten im Schülerlabor die Möglichkeit, ein fundiertes Wissen über das Organ Auge und dessen Funktion zu erlangen. Zudem führen sie Versuche am eigenen Körper durch und erleben so die Phänomene ‚hautnah‘. Zudem wurden die Versuche so konzipiert, dass Erstaunliches und Selbstverständliches zum Problem für die Lernenden wird, welches sie im Anschluss hinterfragen und deuten.

So werden einige Schülerinnen und Schüler sicherlich erstaunt sein, weshalb sich die Größe der Pupille mit dem Lichteinfall verändert oder weshalb beim Betrachten einer Abbildung, mit einem Stern und einem Kreis, der Stern plötzlich „verschwindet“, wenn man diese langsam auf das Auge zubewegt (vgl. Kapitel 4.3.7).

Die eigene Erfahrung motiviert die Schülerinnen und Schüler dazu, die erlebten Phänomene zu hinterfragen, Beobachtungen zu den einzelnen Versuchen systematisch zu protokollieren und auszuwerten. Ein weiteres Lernziel sollte an dieser Stelle die Schulung des Verständnisses über die Wichtigkeit des Auges sein. Auch die Möglichkeit zur Behebung von Fehlsichtigkeit soll sensibilisiert werden. Die Schülerinnen und Schüler sollen zu mündigen und sozialen Menschen herangezogen werden.

Heutzutage wird unsere Gesellschaft stark durch einen stets zunehmenden Wissenszuwachs in Naturwissenschaft und Technik geprägt. In diesem Sinne wird eine naturwissenschaftliche Grundbildung („Scientific Literacy“) gefordert, die den Lernenden ermöglicht, aktiv und lebenslang an unserer von Naturwissenschaft und Technik geprägten Kultur teilzuhaben und diese mitzugestalten (Spörhase-Eichmann 2006, S. 58).

Durch die Verknüpfung mit anderen Fächern werden die begrenzten Möglichkeiten des Fachunterrichts, die Lebenswirklichkeit zu erschließen, erheblich erweitert (Harms 2008, S. 2f.). Im fächerübergreifenden Unterricht werden fachliche Kenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten zur Lösung komplexer alltagsrelevanter Fragestellungen angewendet. Die fachspezifischen Perspektiven eröffnen neue Zugänge und erlauben einen differenzierenden Blick auf sachliche Zusammenhänge - ohne Schülerinnen und Schüler dabei zu überfordern (Harms 2008, S. 4). Das Überschreiten der Grenzen eines einzelnen Fachs bedeutet immer zugleich eine Relativierung und eine Bewusstmachung seiner Spezifika. Nur durch eine fächerübergreifende Perspektive werden die Grenzen jedes Fachs, aber auch seine Möglichkeiten sichtbar und bewusst (Harms 2008, S. 4).

Durch die fächerübergreifenden Möglichkeiten, die das Konzept „Auge und Sehen“ bietet, erfüllt es die Anforderungen eines zukunftsorientierten Schulunterrichts im Sinne des Faches Naturwissenschaften (kurz: „NaWi“) in den Eingangsklassen der Sekundarstufe, welches die drei naturwissenschaftlichen Fächer Biologie, Chemie und Physik vereint und in den kommenden Jahren an allen hessischen Schulen eingeführt werden soll. (Spörhase-Eichmann 2006, S. 57). Der Unterricht des Faches „NaWi“ besteht in der Regel aus einzelnen biologisch, chemisch oder physikalisch orientierten Unterrichtseinheiten, die durch ihren Beitrag zur naturwissenschaftlichen Grundbildung miteinander verknüpft werden (Eschenhagen et al 2006, S. 61).

3.6.2 Darstellung der Kompetenzen

Spätestens seit der allmählichen Hinwendung des deutschen Bildungswesens zu „Output“-Orientierung und Bildungsstandards sind fachwissenschaftliche Kompetenzen nur noch ein Ziel des Unterrichts. Daneben treten viele andere Dimensionen auf. Schülerinnen und Schüler sollen argumentieren, kommunizieren, präsentieren, untersuchen, bewerten und noch vieles mehr. Das erstellte Konzept zum Thema Auge und Sehen soll neben den verbindlichen Arbeitsmethoden des Lehrplans auch den zukünftigen Anforderungen der Bildungsstandards (Beschlüsse der Kultusministerkonferenz) gerecht werden.

Es zielt darauf ab,

- den Schülerinnen und Schülern ein entdeckendes und handlungsorientiertes Lernen zu ermöglichen,
- gezielt naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen zu erproben und zu reflektieren,
- bei den Schülerinnen und Schülern ein Nachdenken über den eigenen Lernprozess (Selbstevaluation) zu erzielen.

Die Schülerinnen und Schüler erweitern und vertiefen während des Schülerlabortages insbesondere ihre Kompetenzen im Bereich des Fachwissens, der Kommunikation und der Erkenntnisgewinnung. Zudem erweitern die Lernenden ihre überfachlichen Kompetenzen.

ÜBERFACHLICHE KOMPETENZEN (SOZIALKOMPETENZ – DIMENSION: KOOPERATIONS- UND TEAMFÄHIGKEIT)

Die Schülerinnen und Schüler

- bauen tragfähige Beziehungen zu anderen auf und respektieren die bestehenden sozialen Regeln und arbeiten produktiv zusammen. Sie tauschen wertschätzend Ideen und Gedanken miteinander aus und entwickeln so eine allgemeine Teamfähigkeit.

KOMPETENZBEREICH FACHWISSEN

Die Schülerinnen und Schüler erweitern und vertiefen ihre **Kompetenz im Bereich Nutzen fachlicher Konzepte**, indem sie ...

- Informationen sach- und fachbezogen erschließen und austauschen.
- die Bestandteile des Auges und deren Funktion benennen.
- die Entstehung des Bildes auf der Netzhaut erklären.
- die Adaption und Akkommodation erklären.
- die Ursachen für die Kurz- und Weitsichtigkeit nennen.

KOMPETENZBEREICH KOMMUNIKATION

Die Schülerinnen und Schüler erweitern und vertiefen ihre **Kompetenz im Bereich Kommunikation**, indem sie ...

- in Kleingruppen Argumente austauschen.
- sich über physikalische Erkenntnisse und deren Anwendungen unter angemessener Verwendung der Fachsprache und fachtypischer Darstellungen austauschen.

KOMPETENZBEREICH ERKENNTNISGEWINNUNG

Die Schülerinnen und Schüler erweitern und vertiefen ihre **Kompetenz im Bereich Kommunikation**, indem sie ...

- Phänomene, wie z.B. den Pupillenreflex, beschreiben und diese auf physikalische Zusammenhänge zurückführen.
- Experimente nach Anleitung selbstständig durchführen und auswerten.
- Analogien und Modellvorstellungen zur Wissensgenerierung verwenden.

Zusammenfassend gilt:

Die Gelegenheit zum Kontakt mit der naturwissenschaftlichen Forschung ist den Schülerinnen und Schülern durch das Schülerlabor gegeben. Die Schülerinnen und Schüler sollen erkennen, welchen Nutzen naturwissenschaftliche Erkenntnisse und Arbeitsweisen haben können. Sie können dabei eigenständig in Kleingruppen zusammenarbeiten und über naturwissenschaftliche Inhalte kommunizieren. Somit entdecken sie Spaß an den naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen. Das hier beschriebene Konzept wird demnach den Zielen der Einrichtung Schülerlabor, Einblicke in die Forschung zu vermitteln, Interesse zu wecken und für Nachwuchs zu sorgen, gerecht. Im folgenden Kapitel wird nun das neue Konzept, das die hier erläuterten Grundlagen miteinander vernetzen soll, vorgestellt.

4 Aufbau und Durchführung des Schülerlabors

4.1 Allgemeines zum Ablauf des Schülerlabortages

Das Schülerlabor befindet sich im Erdgeschoss des Instituts für Didaktik der Physik und bietet Platz für ca. 25 Schülerinnen und Schüler. Das Schülerlabor ist sehr modern gestaltet und verfügt über eine gute Ausstattung. Es steht ein Beamer zur Verfügung und es sind ausreichend Stromanschlüsse vorhanden. Des Weiteren befindet sich in diesem Raum eine Magnettafel, die für eine Station benötigt wird (vgl. Kapitel 4.3). Da das Vorwissen der Lernenden nicht bekannt ist, ist eine klare Struktur und Visualisierung der Vorgehensweise notwendig. Aus diesem Grund beginnt das Schülerlaborprogramm mit einem kurzen Einführungsvortrag. Die Schülerinnen und Schüler erfahren was sie im Laufe des Vormittages erwartet und es werden die Sicherheitsrichtlinien mitgeteilt. Die Lernenden dürfen bei Benutzung der Laser-Ray-Box niemals direkt in das Laserlicht schauen. Während des Einführungsvortrages wird den Lernenden der Ablaufplan gezeigt (siehe Tabelle 2). Zudem werden die Gruppen eingeteilt, sowie ein kurzer Überblick über den Aufbau des Auges gegeben. Die Schülerinnen und Schüler werden in insgesamt sechs Gruppen eingeteilt.

Im Sinne des handlungsorientierten Unterrichts (siehe Kapitel 3.5) wurde für das erstellte Konzept die Methode „Lernen an Stationen“ ausgewählt. Des Weiteren wäre auch die Methode des Gruppenpuzzles möglich. Dabei handelt es sich um eine Variante der Gruppenarbeit, bei der ein vom Lehrenden ausgewählter und vorbereiteter Wissensinhalt in mehreren Etappen in jeweils neu zusammengesetzten Kleingruppen erarbeitet wird. Dabei wird zwischen den Stammgruppen oder Teams einerseits und den Expertengruppen andererseits unterschieden (vgl. Gruppenpuzzle 2008). Ich bin der Meinung, dass es hier bei der Einteilung in Stamm- und Expertengruppen zu Unstimmigkeiten kommen könnte, da einige Schülerinnen und Schüler dann Experimente aus bestimmten Expertengruppen nicht selbstständig durchführen können, obwohl sie dies gerne tun würden. Zudem ist die Stationsarbeit den Schülerinnen und Schülern meistens bereits aus dem Unterricht bekannt, sodass mit Sicherheit nicht so viele organisatorische Details besprochen werden müssen, wie es bei der Durchführung eines Gruppenpuzzles der Fall wäre.

Aus diesem Grund wird hier die Stationsarbeit dem Gruppenpuzzle vorgezogen. Die Stationsarbeit bietet vielfältige positive Anreize für Schülerinnen und Schüler. Sie fördert und fordert die Verantwortung für das eigene Lernen. Verantwortung für den eigenen Lernprozess heißt, selbstständig und mit einer gewissen Frustrationstoleranz, mit Freude am Neuen und Schwierigen auch Lernprobleme bei einigen Versuchen, möglichst eigenständig überwinden zu lernen (vgl. Graf 1999, S. 7).

Im Sinne einer Schlüsselqualifikation hat diese Verantwortung auch eine große Bedeutung für das Leben und die Arbeit. Stationslernen unterstützt zudem zielorientierten Wissenserwerb.

Zielorientierung nimmt eine wichtige Stellung ein, ohne dass der Konstruktionsprozess beim Lernen von physikalischen Sachverhalten vernachlässigt wird. Dabei wird vor allem das prozedurale, implizite Sach- und Lebenswissen gefördert ohne dass das explizite, deklarative Wissen zu kurz kommt: Es gilt dabei „*nicht allein der Weg ist das Ziel!*“ (Graf 1999, S. 6f). Zudem ergänzen sich „Bindung“ (an Aufgaben) und „Freiheit“ (der Wahl) beim Stationslernen in fast idealer Weise, sodass die Kinder und Jugendlichen ihre Individualität entfalten, naturwissenschaftliches Wissen erwerben und sich darin üben können (vgl. Kapitel 3.6.1).

Das Schülerlabor ist in acht Pflicht- und zwei Wahlstationen gegliedert. Die Stationen wurden für eine bessere Übersicht chronologisch von 1 bis 8 durchnummeriert.

Jede Gruppe wird einer Station zugeordnet. Die Lernenden erhalten einen individuell auf ihre Gruppe abgestimmten Ablaufplan, sodass jede Gruppe erkennt in welcher Reihenfolge die Stationen bearbeitet werden müssen.

Ablaufplan der Stationen	
Gruppe 1	Station 1 → Station 2 → Station 3 → Station 4 → Station 5 → Station 6 → Station 7 → Station 8
Gruppe 2	Station 2 → Station 3 → Station 4 → Station 5 → Station 6 → Station 7 → Station 8 → Station 1
Gruppe 3	Station 3 → Station 4 → Station 5 → Station 6 → Station 7 → Station 8 → Station 1 → Station 2
Gruppe 4	Station 4 → Station 5 → Station 6 → Station 7 → Station 8 → Station 1 → Station 2 → Station 3
Gruppe 5	Station 5 → Station 6 → Station 7 → Station 8 → Station 1 → Station 2 → Station 3 → Station 4
Gruppe 6	Station 6 → Station 7 → Station 8 → Station 1 → Station 2 → Station 3 → Station 4 → Station 5

Tabelle 1 Ablaufplan der Stationen

Im Folgenden ist der Ablaufplan exemplarisch für die Gruppe 1 dargestellt.

Zeitplan	
Uhrzeit	Station
9:00 – 9:30	Einführungsvortrag und Einteilung der Gruppen
9:30 – 9:55	Station 1: Wie schnell kannst lesen?
9:55 – 10:20	Station 2: Der Aufbau des menschlichen Auges
10:20 – 10:45	Station 3: Wie verändert sich der Pupillengröße bei Belichtung und im Dunkeln?
10:45 – 11:10	Station 4: Wie sehen wir verschieden weit entfernte Dinge scharf?
11:10 – 11:35	Pause
11:35 – 12:00	Station 5: Blenden engen das Licht ein
12:00 – 12:25	Station 6: Wie entsteht das Bild auf der Netzhaut?
12:25 – 12:50	Station 7: Der blinde Fleck und der Nahpunkt
12:50 – 13:15	Station 8: Strahlengänge und Fehlsichtigkeit
13:15 – 13:35	Abschlussvortrag und Fragebogen ausfüllen

Tabelle 2 Ablaufplan

Für den reibungslosen Ablauf ist wichtig, dass das Versuchsmaterial und die entsprechenden Informationskarten in ausreichender Anzahl auf jedem Stationstisch zur Verfügung stehen. Für eine bessere Übersicht befinden sich an jeder Station ausgelegte Stationskarten, sodass die Schülerinnen und Schüler genau wissen, wo sich jede Station im Raum befindet. Die Stationskarten befinden sich auf der beigefügten CD-Rom.



Abbildung 24 Aufbau der Stationen im Schülerlabor

4.2 Didaktischer Kommentar zum Aufbau des Schülerarbeitsheftes

Jeder Schüler und jede Schülerin erhält zu Beginn des Schülerlaborprogramms ein Schülerarbeitsheft. In diesem befinden sich die Arbeitsblätter zu den einzelnen Stationen. Auf der zweiten Seite des Schülerarbeitsheftes befindet sich zusätzlich noch eine Laufkarte. Hier können die Lernenden nach jeder Station eintragen, dass sie die Station bearbeitet haben. Diese Laufkarte und das Schülerarbeitsheft dienen dazu, dass die Lernenden den Überblick behalten und jederzeit die Möglichkeit haben Informationen nachzulesen. Da es bereits in einer gebundenen Form vorliegt, wird verhindert, dass die Schülerinnen und Schüler Arbeitsblätter verlieren oder diese am Ende des Schülerlabortages vergessen.

Bei aller Unterschiedlichkeit und Diversität der Aufgaben, die die Lernenden zu bewältigen haben, weisen diese gemeinsame Aspekte auf. Ihre Schwerpunkte lassen sich mit Hilfe der grafischen Verortung auf einen Blick erkennen. Die Merkmale einer Aufgabe werden einem Raster mit drei Kategorien zugeordnet. Die im Folgenden vorgestellten und didaktisch erläuterten Kategorien (siehe Tabelle 3) sind mit grafischen Symbolen versehen, die eine schnelle Orientierung erlauben. Die Aufgaben auf den Arbeitsblättern enthalten alle einen Informations- und Aufforderungsteil. Der Informationsteil ist dabei knapp, klar und verständlich formuliert. Es wird auf einen lebensweltlichen Kontext verwiesen oder ein Phänomen aus dem Alltag beschrieben. Im Aufforderungsteil befindet sich mindestens eine präzise Anweisung, was zu tun ist oder was erwartet wird, oder es wird eine Frage gestellt, die auf das Ergebnis zielt. Durch die Aufgaben sollen die Lernenden zu eigenständiger Lernarbeit, die in der Gruppe stattfindet, angeregt werden.

	Aufforderungsteil (Durchführung): ■ Erkunde ■ Entdecke
	Arbeitsauftrag: ■ Mit Bearbeitungstätigkeit oder Vorgehensweise ■ z.B. Beschreibung der Durchführung
	Informationsteil (Geräte): ■ wenn dieses Symbol neben einem roten Kasten steht, dann: Achtung, passt hier besonders auf! ■ Überblick über die Geräte

Tabelle 3 Grafische Symbole der Arbeitsblätter

In der angegebenen Weise werden alle Aufgaben im Schülerarbeitsheft grafisch verortet. Die grafische Verortung erweist sich bei der Analyse von Aufgaben von Nutzen als auch bei deren Konstruktion. Der Einsatz von Symbolen auf Arbeitsblättern dient als

Visualisierungstechnik, um Arbeitsabläufe transparent darzustellen. Die Methode zielt darauf ab, dass die Schülerinnen und Schüler auf den ersten Blick erkennen, welche Aufgaben an der Station auf sie warten, ohne dass sie dazu viel lesen müssen. Weitere visuelle Ergänzungen, wie die Skizzen zur Durchführung, sollen den Schülerinnen und Schülern das selbstständige Experimentieren mithilfe einer Anleitung erleichtern. Die Abbildungen wurden dabei entsprechend beschriftet, sodass unbekannte Fachbegriffe kein Hindernis darstellen.

Die Versuchsanleitungen sind so konzipiert, dass die Lernenden weitestgehend selbstständig alle Aufgaben bearbeiten können. Es stehen jedoch jederzeit Betreuer bereit, die bei Bedarf Hilfestellungen geben können.

4.3 Stationen

Im folgenden Kapitel werden die Stationen des Schülerlabors näher erläutert. Es werden die dafür erstellten Aufgaben erklärt und Informationen zu den Versuchsaufbauten sowie den Versuchsdurchführungen gegeben.

4.3.1 Station 1: Wie schnell kannst du lesen?

Inhalt

An der Station „Wie schnell kannst du lesen?“ bestimmen die Schülerinnen und Schüler ihre Lesegeschwindigkeit. Ziel der Station ist, dass die Lernenden eine erstellte Grafik auswerten, um Informationen über ihre individuelle Lesegeschwindigkeit zu erhalten. Die Schülerinnen und Schüler bestimmen Sakkaden, Fixationspunkte, Fixationsperioden und leiten daraus ab, wie viele Zeilen sie pro Minute gelesen haben.

Aufbau und Durchführung

Für den Versuch steht den Schülerinnen und Schülern ein Laptop mit dem Programm Measure zur Verfügung.

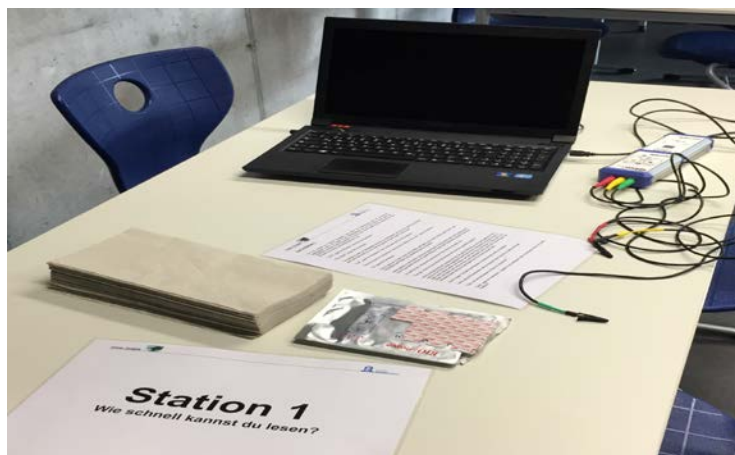


Abbildung 26 Aufbau von Station 1

Die Lernenden finden an der Station eine Informationskarte, welche die Durchführungsschritte enthält. Zunächst müssen die Lernenden das Programm Measure (siehe rote

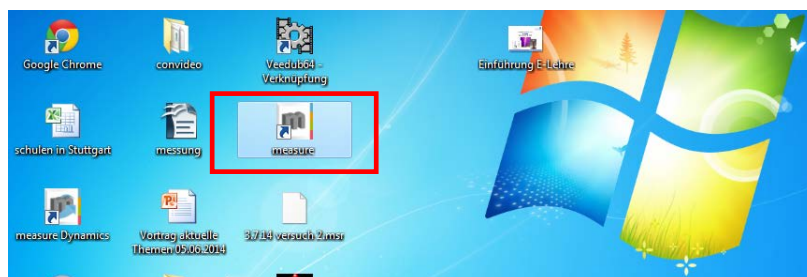


Abbildung 25 Öffnen des Programms Measure

Markierung in Abbildung 26) mit einem Doppelklick auf dem Laptop öffnen.

Anschließend muss das Experiment geöffnet werden.

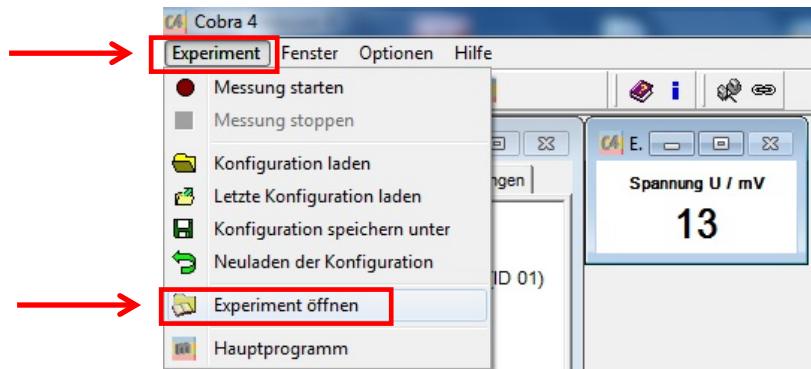


Abbildung 27 Öffnung des Experiments

Im nächsten Schritt müssen die Schülerinnen und Schüler nacheinander verschiedene Ordner öffnen (siehe rote Markierung in der Abbildung 28): 3. Schülerversuche TESS Biologie → 3.2 Physiologie → 3.2.1.6 Wir messen unsere Lesegeschwindigkeit

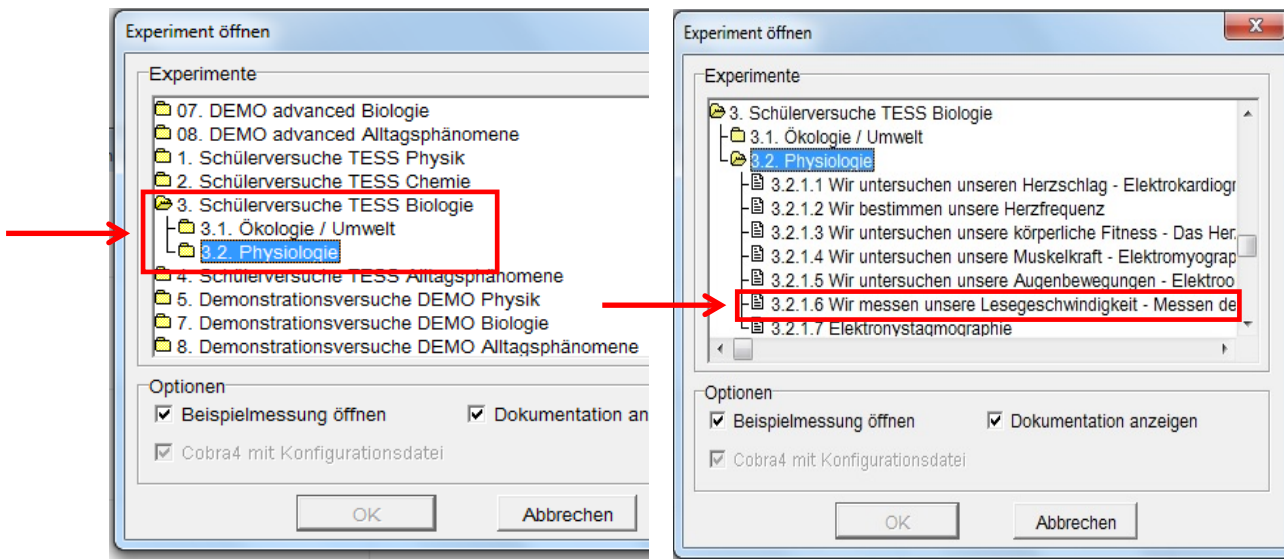


Abbildung 28 Öffnen des Experiments „Wir messen unsere Lesegeschwindigkeit“

Die Versuchsperson entfettet in der Zwischenzeit die Stirn und die Stellen rechts und links neben dem Auge. Die farbigen Einzelmessleitungen mit den farbigen Krokodilklemmen werden an die Elektroden angeschlossen. Die gelbe Krokodilklemme wird an der Elektrode oberhalb der Nase auf der Stirn befestigt.

Die rote Krokodilklemme wird an die Elektrode neben dem rechten Auge angeschlossen und die grüne Klemme an die Elektrode neben dem linken Auge der Versuchsperson (siehe Abbildung 29).

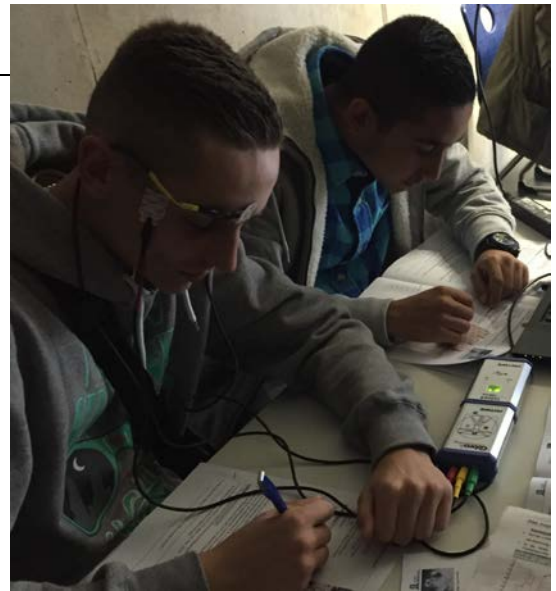
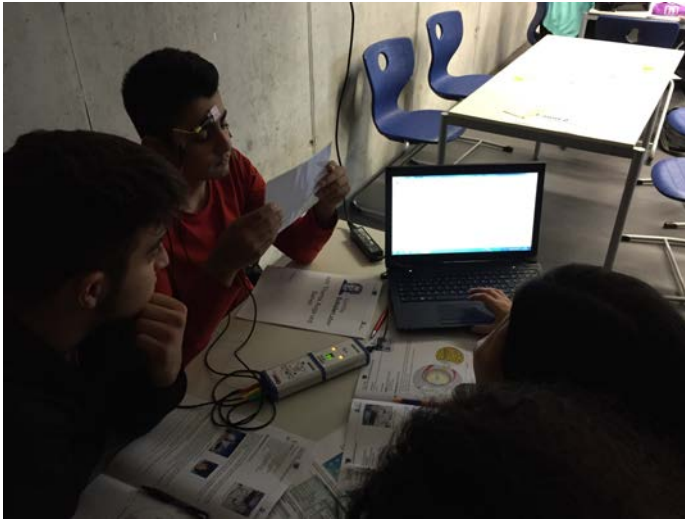


Abbildung 29 Versuchspersonen mit aufgeklebten Elektroden

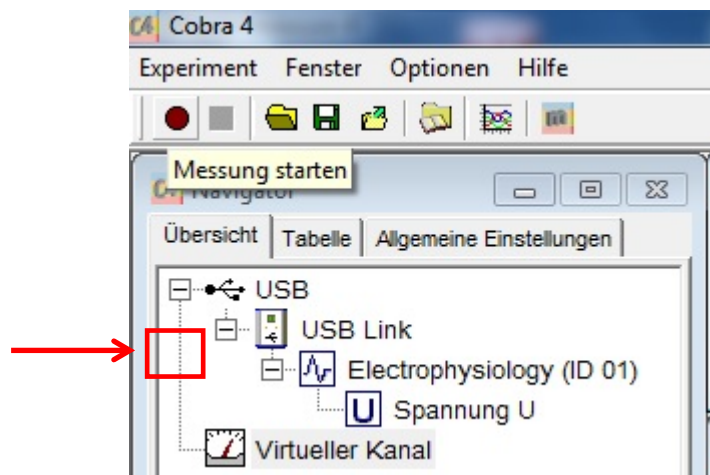


Abbildung 30 Messung starten

Die Versuchsperson setzt sich jetzt in entspannter Lesehaltung auf einen Stuhl. Ist sie bereit, kann die Messung gestartet werden. Dazu muss auf den roten Punkt geklickt werden (siehe Abbildung 30).

Die Versuchsperson liest nun stumm und möglichst ohne Lippenbewegungen mehrere Zeilen des ausliegenden Textes. Bei der Auswahl des Textes ist darauf zu achten, dass dieser nicht zu leicht und nicht zu schwer für die Lernenden ist. Für den Schülerlabortag wurde die Geschichte „Der Abenteurer“ (siehe Anhang: Text zu Station 1) ausgewählt. Die Messung wird beendet, indem oben links das Quadrat ausgewählt wird (siehe Abbildung 31).

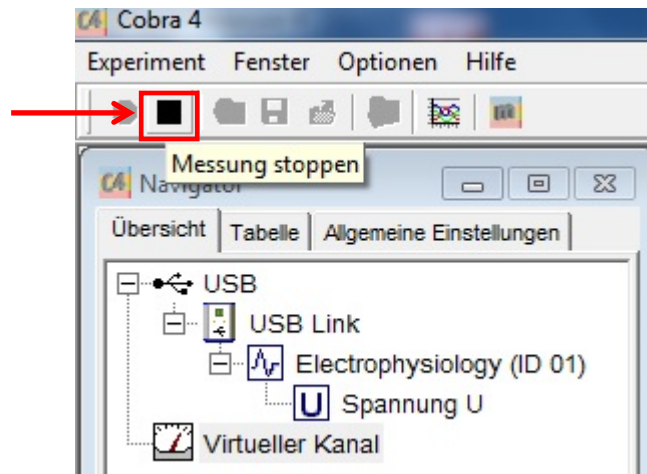


Abbildung 31 Messung stoppen

Anschließend erscheint im Fenster eine Grafik, welche weiter bearbeitet werden kann. Auf der x-Achse der Grafik ist die Zeit in Sekunden aufgetragen. Auf der y-Achse ist die Spannung in Millivolt aufgetragen. In der Grafik ist folgendes zu erkennen: Rückstellbewegungen, Sakkaden und Fixationspunkte. Bewegt sich das Auge von einer Zeile zur nächsten, macht das Auge eine so genannte Rückstellbewegung. Die Rückstellbewegungen der Augen (Zeilensprung) sind durch hohe Spannungsdifferenzen erkennbar (siehe Abbildung 32).

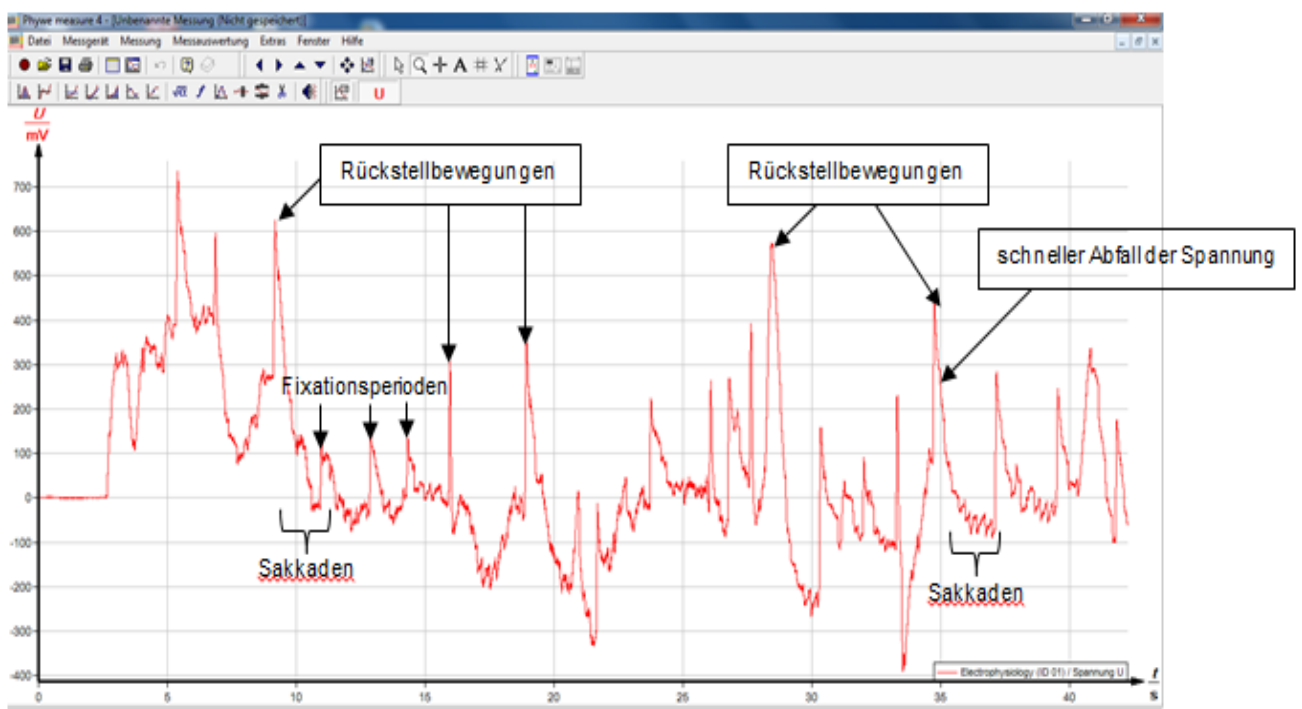


Abbildung 32 Auswertung der Messergebnisse

Beim Lesen einer Zeile wechseln schnelle horizontale Augenbewegungen, so genannte Sakkaden mit kurzen Fixationsperioden ab (vgl. Kapitel 2.2.7).

Eine Sakkade wird durch einen schnellen Abfall der Spannung deutlich. Die Fixationsperioden sind durch einen leichten Anstieg der Spannung im Verlauf zwischen zwei Rückstellbewegungen zu erkennen. In den Fixationsperioden hält die Augenbewegung kurz an, wobei mehrere Wörter (meist 1 bis 3) auf einmal wahrgenommen werden. Der Abstand zwischen den Sakkaden sagt aus, wie lange sich die Versuchsperson mit einem schwierigen Wort aufgehalten hat. Um herauszufinden, wie viele Zeilen in einer Minute gelesen werden können, müssen die Rückstellbewegungen in 60 Sekunden addiert werden.

Materialliste

Für diese Station werden pro Gruppe folgende Materialien benötigt:

Material für die Station „Wie schnell kannst du lesen?“
Cobra4 Wireless Manager
Cobra4 Sensor-Unit Electrophysiology
Drei farbige Einzelmessleitungen
Einwegelektroden
Krokodilklemmen für Einwegelektroden
Laptop mit Software Measure für Cobra4
Küchenrolle
Text
Informationskarten

Tabelle 4 Material für Station 1 „Wie schnell kannst du lesen?“

4.3.2 Station 2: Der Aufbau des menschlichen Auges

Inhalt

An der Station „Aufbau des menschlichen Auges“ erarbeiten sich die Schülerinnen und Schüler den Aufbau des menschlichen Auges.

Ziel der Station ist es, die verschiedenen Bestandteile des Auges und deren Funktionen kennenzulernen. Die Ergebnisse tragen die Lernenden in eine vorgegebene Tabelle ein.

Aufbau und Durchführung

An dieser Station steht den Schülerinnen und Schülern ein Augenmodell und ein Umschlag mit Kärtchen zu den Bestandteilen des Auges und deren Funktion zur Verfügung. Zudem finden die Lernenden eine Informationskarte, welche als Hilfestellung dient. Die Informationskarte enthält eine farbige Abbildung (siehe Abbildung 33) des Auges.

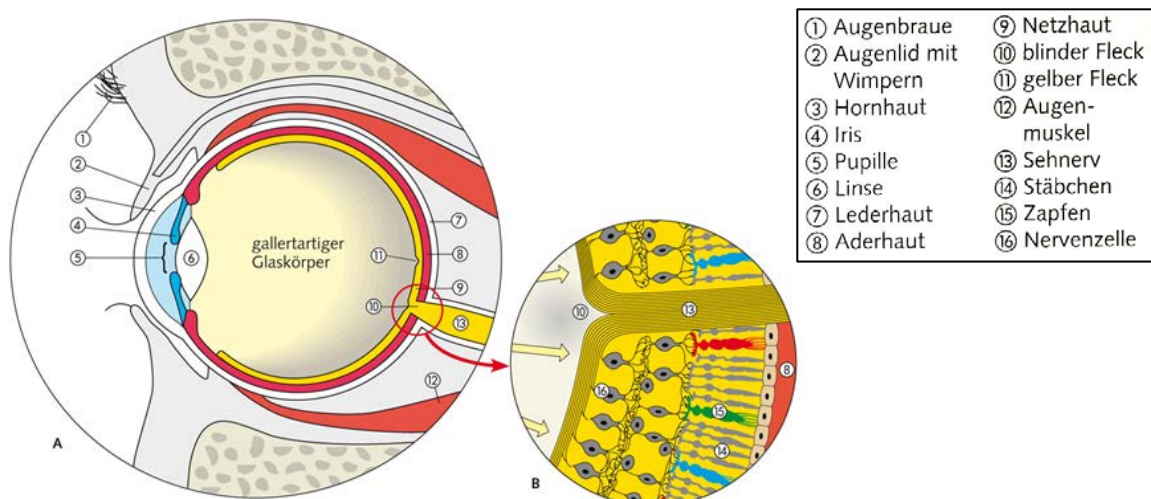


Abbildung 33 Abbildung auf der Informationskarte (entnommen aus: Cieplik et al (2011), S. 77)

Die Lernenden haben die Aufgabe die Kärtchen, dem jeweiligen Bestandteil am Augenmodell, richtig zuzuordnen.

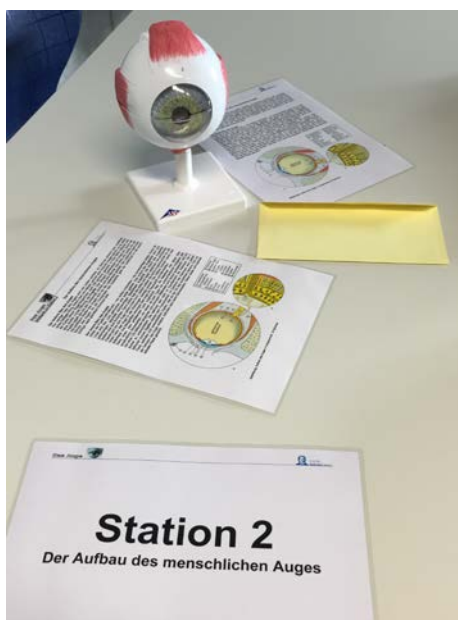


Abbildung 34 Aufbau der Station 2.



Abbildung 35 Schülerinnen und Schüler betrachten das Augenmodell.

Materialliste

Für diese Station werden pro Gruppe folgende Materialien benötigt:

Material für die Station „Der Aufbau des menschlichen Auges“
Augenmodell
Umschlag mit Kärtchen
Informationskarte

Tabelle 5 Material für die Station „Der Aufbau des menschlichen Auges“

4.3.3 Station 3: Wie verändert sich die Pupillengröße bei Belichtung und im Dunkeln?

Inhalt

Sicher haben die Schülerinnen und Schüler sich schon einmal gefragt, weshalb die Pupillengröße variieren kann.

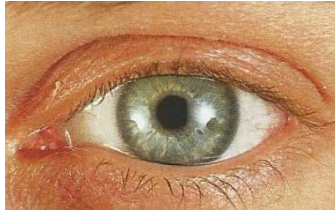


Abbildung 36 Hellreaktion
(entnommen aus Cieplik et al 2011, S. 78)



Abbildung 37 Dunkelreaktion
(entnommen aus Cieplik et al 2011, S. 78)

Das Ziel dieser Station besteht darin, dass die Lernenden erkennen, wie sich die Pupillengröße bei Belichtung und im Dunkeln verändert (Adaption). Zudem erarbeiten sie sich mithilfe eines Modells die Ursachen für den Pupillenreflex.

Aufbau und Durchführung

Die Station ist in zwei Aufgaben unterteilt. In der ersten Aufgabe führen die Schülerinnen und Schüler in Partnerarbeit folgenden Versuch durch:

Die Versuchsperson blickt mit beiden geöffneten Augen in Richtung Fenster. Der Partner oder die Partnerin misst vorsichtig mit einem Lineal den Durchmesser der Pupille (in mm) und trägt das Ergebnis in eine Tabelle ein. Die gleiche Messung wird durchgeführt, nachdem der Partner oder die Partnerin eine Minute lang die Augen geschlossen gehalten hat. Dieser so genannte Vorversuch soll den Schülerinnen und Schülern den Pupillenreflex verdeutlichen. Sie stellen fest, dass die Pupille bei Belichtung kleiner und bei Verdunkelung größer ist.

Durch diese Erkenntnis sollen die Schülerinnen und Schüler dazu motiviert werden herauszufinden, weshalb sich die Pupille bei Belichtung und im Dunkeln jeweils anders verhält. Für die Erklärung benötigen die Lernenden das Pupillenmodell.



Abbildung 38 Pupillenmodell



Abbildung 39 Schülerinnen und Schüler während der Durchführung.

Dieses Modell vom menschlichen Auge soll den Lernenden den Vorgang der Pupillenerweiterung bzw. der Pupillenverengung verständlich machen.

Im ersten Schritt sollen die Schülerinnen und Schüler zunächst das Modell mit dem menschlichen Auge vergleichen und Analogien zwischen Modell und Wirklichkeit herstellen. Die Regenbogenhaut wird im Modell durch ein braunes Stoffgewebe dargestellt, in deren Mitte die verengte schwarze Pupille zu sehen ist. Am inneren Irisring liegt ein dünner Ringmuskel. Er wurde auf dem Irisgewebe des Modells rot markiert und im Inneren des Irisgewebes durch einen Gummiring ersetzt. Auf der Iris erkennt man außerdem radiär angeordnete Muskelfasern. Dieser Muskel ist ein durch den Sympathikus innervierter Muskel. Bei schwächer werdendem Lichteinfall benötigen die Sehnerven mehr Licht, und zwecks Pupillenerweiterung kontrahieren dann diese radiär angeordneten Muskelfasern. Sie ziehen dementsprechend die Pupillenöffnung auseinander. Auch im Falle einer Schrecksituation wird der Sympathikus sofort aktiv und bewirkt die Pupillenerweiterung.

Im Modell wird an den roten Strängen auf der Rückseite gleichmäßig gezogen. Dabei muss der schräge Zug vermieden werden, weil dies ein ungleiches Öffnen der Pupille bewirkt. Ziehen die Schülerinnen und Schüler an den Strängen auf der Rückseite, stellen sie fest, dass die im Modell dargestellte Pupille größer wird.

Verstärkt sich nun der Lichteinfall im Auge wieder oder normalisiert sich die Situation nach dem Schreck, dann tritt der Ringmuskel in Aktion und die Pupille wird wieder kleiner.

Beide Pupillenmuskeln gehören zum Typ der glatten Muskulatur. Sie sind, wie alle vom vegetativen Nervensystem innervierten Muskeln dem unmittelbaren Willen des Menschen nicht zugänglich (vgl. Cieplik et al 2011, S. 78). Die Lernenden festigen ihr Wissen an dieser Station, indem sie einen Lückentext dazu ergänzen. Dadurch üben sie den Umgang mit den gelernten Fachbegriffen.

Aufgaben:
1) Beantworte die oben stehende Frage, indem du den Lückentext ergänzt. Nimm dazu die nebenstehende Abbildung und das Pupillenmodell zur Hilfe.

Regenbogenhaut, Radialmuskel, Ringmuskel, Pupillenreaktion

An der Regulation der Pupillenweite sind zwei Muskeln beteiligt:
der **Ringmuskel** und der **Radialmuskel**. Diese Muskeln befinden sich in der **Regenbogenhaut**. Die **Pupillenreaktion** können wir nicht beeinflussen.

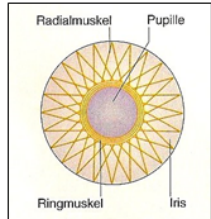


Abbildung: Die Pupillenreaktion

Abbildung 40 Lückentext, der zu ergänzen ist.

Materialliste

Für diese Station werden pro Gruppe folgende Materialien benötigt:

Material für die Station „Wie verändert sich die Pupillengröße bei Belichtung und im Dunkeln?“	
Pupillenmodell	
Geodreieck oder ein Lineal	

Tabelle 6 Material für die Station „Wie verändert sich die Pupillengröße bei Belichtung und im Dunkeln?“

4.3.4 Station 4: Wie sehen wir verschieden weit entfernte Dinge scharf?

Inhalt

An der Station „Wie sehen wir verschieden weit entfernte Dinge scharf?“ lernen die Schülerinnen und Schüler wie sich die Linse bei Nah- und Weitsicht verändert.

Mit Hilfe eines Akkommodationsmodells verdeutlichen sich die Lernenden, was im Auge passiert, wenn Dinge in der Nähe bzw. Dinge in der Ferne betrachtet werden. Anschließend vertiefen sie ihr Wissen, indem sie die passenden Begriffe in einen Lückentext einsetzen.

Aufbau und Durchführung

Diese Station ist in zwei Aufgaben unterteilt. Im ersten Teil führen die Schülerinnen und Schüler einen Versuch durch, um sich mit dem eigentlichen Phänomen der Akkommodation vertraut zu machen. Dazu setzt sich die Versuchsperson etwa 2 m vor ein Fenster auf einen Stuhl, und blickt in dessen Richtung. Dabei sollen die Schülerinnen und Schüler einen Bleistift, mit der Bleistiftspitze nach oben gerichtet, etwa 30 cm vor das Gesicht halten. Anschließend sollen die Lernenden gleichzeitig den Fensterrahmen und die Bleistiftspitze fixieren. Die entsprechende Beobachtung wird notiert. Die Lernenden stellen bei diesem Versuch fest, dass es nicht möglich ist, nahe und ferne Gegenstände gleichzeitig scharf zu sehen. Im nächsten Schritt sollen sie dieses Phänomen mithilfe eines Modells erklären.

Für die Erklärung des Phänomens benötigen die Schülerinnen und Schüler das Akkommodationsmodell, um sich zu verdeutlichen, was im Auge passiert, wenn Objekte in der Nähe oder in der Ferne betrachtet werden. Zur Darstellung kommen ein waagrecht geführter Schnitt durch die Linse und ihr Aufhängeband, sowie ein Frontalschnitt durch den Ringmuskel. Damit die Lernenden den Vorgang des Modells leichter erfassen können, wurde die Schnittebene um 90° gedreht (siehe Abbildung 41).

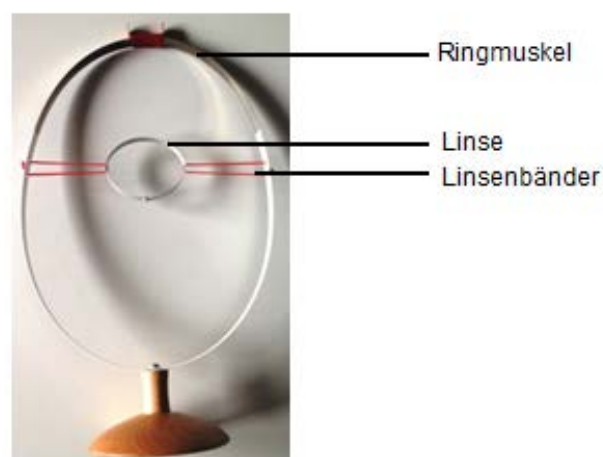


Abbildung 41 Akkommodationsmodell

Zuerst sollen die Schülerinnen und Schüler herausfinden, wie sich die Linse bei Nahsicht verhält, indem sie die zwei roten Ringe des Modells, welche dem Ringmuskel entsprechen, bis zu den weißen Grenzflächen auseinanderziehen und die entsprechende Beobachtung notieren. Die Schülerinnen und Schüler stellen fest, dass der Ringmuskel bei Nahsicht angespannt ist. Dadurch sind die Linsenbänder entspannt. Die Linse wölbt sich. Der nahe Gegenstand wird scharf auf der Netzhaut abgebildet. Entfernte Gegenstände werden unscharf gesehen.

Anschließend sollen die Schülerinnen und Schüler herausfinden wie sich die Linse bei Fernsicht verhält, in dem sie nun die zwei roten Ringe zusammenschieben. Erneut wird die Beobachtung notiert. Die Lernenden stellen fest, dass der Ringmuskel bei Fernsicht entspannt ist. Dadurch werden die Linsenbänder gespannt (siehe Abbildung 41). Die Linse flacht ab. Entfernte Gegenstände werden scharf, nahe Gegenstände werden unscharf auf der Netzhaut abgebildet. Diese Anpassungsleistung des Auges nennt man Akkommodation.

Materialliste

Für die Station werden pro Gruppe folgende Materialien benötigt:

Material für die Station „Wie sehen wir verschieden weit entfernte Dinge scharf?“
Akkommodationsmodell
Bleistift

Tabelle 7 Material für die Station „Wie sehen wir verschieden weit entfernte Dinge scharf?“

4.3.5 Station 5: Blenden engen das Licht ein

Inhalt

An der Station „Blenden engen das Licht ein“ lernen die Schülerinnen und Schüler, welchen Einfluss Blenden auf den Verlauf eines Lichtstrahls haben. Ziel der Station ist, dass die Lernenden erkennen, dass sich Licht geradlinig ausbreitet. Anschließend übertragen Schülerinnen und Schüler den Versuchsaufbau auf das menschliche Auge, um zu erkennen was der Schirm und die Lochblenden darstellen. Die Lernenden lernen den Bestandteil des menschlichen Auges kennen, der die Blendenfunktion übernimmt. Zudem erfahren sie, weshalb es wichtig ist, dass das Auge eine Blendenfunktion besitzt.

Aufbau und Durchführung

An der Station stellen die Schülerinnen und Schüler drei Blenden nacheinander zwischen eine Strahlungsquelle und einen Schirm.

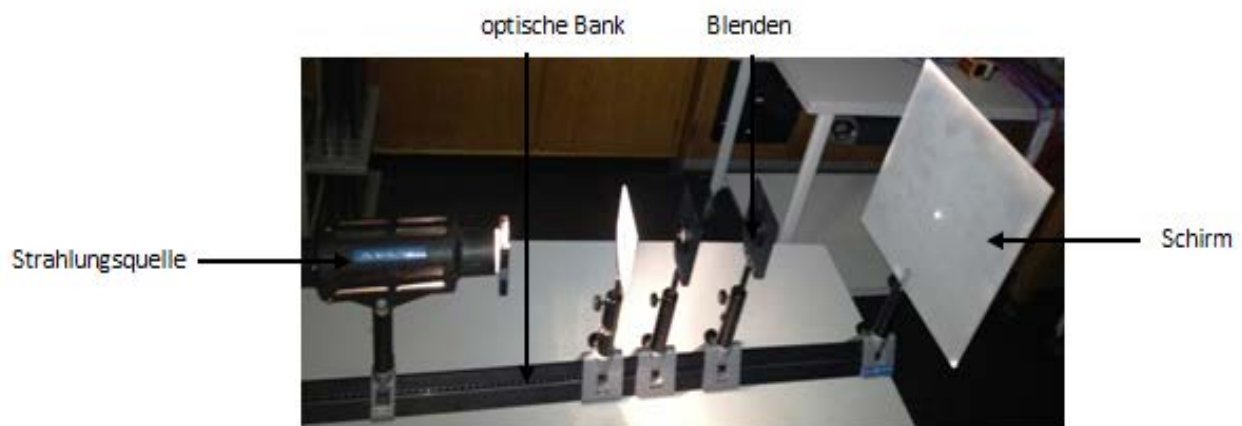


Abbildung 42 Versuchsaufbau „Blenden engen das Licht ein“

Die Schülerinnen und Schüler sollen beobachten, wie sich der Lichtfleck auf dem Schirm jeweils verändert, wenn nacheinander die Lochgrößen der Blenden verändert werden. Dabei stellen sie fest, dass der Lichtfleck so groß, wie die Blendenöffnung ist. Verkleinert man nach und nach die Lochgrößen der Blenden, so wird der Lichtfleck auf dem Schirm entsprechend kleiner.

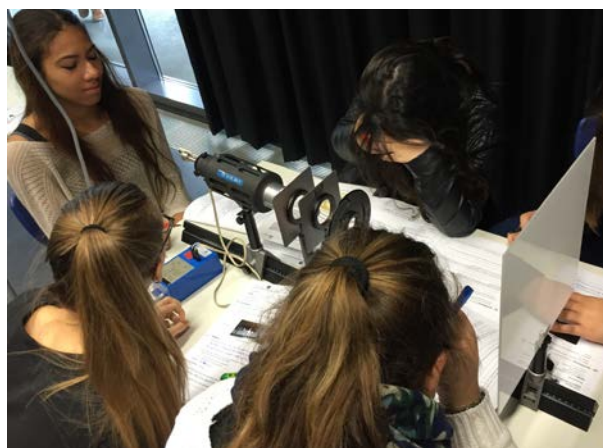


Abbildung 43 Schülerinnen während der Durchführung der Station 5

Nun soll dieser Modellversuch auf das menschliche Auge übertragen werden. Dazu sollen die Schülerinnen und Schüler den Versuchsaufbau mit dem Augenmodell aus Station 2 vergleichen:

- Womit kann man den Schirm vergleichen?
- Was symbolisiert die Lochblende?

Die Schülerinnen und Schüler stellen fest, dass der Schirm der Netzhaut des Auges entspricht und die Lochblende der Regenbogenhaut. Anschließend sollen die Lernenden erkennen, dass die Regenbogenhaut den Lichteinfall reguliert. Die Blendenfunktion dient als Schutz vor zu viel Lichteinfall in das menschliche Auge.

Materialliste

Für die Station werden pro Gruppe folgende Materialien benötigt:

Material für die Station „Blenden engen das Licht ein“
Optische Bank
Drei Lochblenden
Strahlungsquelle
Schirm

Tabelle 8 Material für die Station „Blenden engen das Licht ein“

4.3.6 Station 6: Wie entsteht das Bild auf der Netzhaut?

Inhalt

Für uns Menschen ist das Auge ein Sinnesorgan von besonderer Bedeutung. Wir können mit unseren Augen unsere Umwelt wahrnehmen und uns orientieren. Wie mit einer Kamera nehmen unsere Augen Bilder auf. An dieser Station lernen die Schülerinnen und Schüler, wie Bilder in unserem Auge entstehen und wie sie weiterverarbeitet werden.

Aufbau und Durchführung

Die Lernenden sollen im ersten Versuchsteil zunächst die in der Abbildung 44 dargestellte Versuchsanordnung aufbauen und zwar beginnend mit einer Gegenstandsweite von 30 cm.

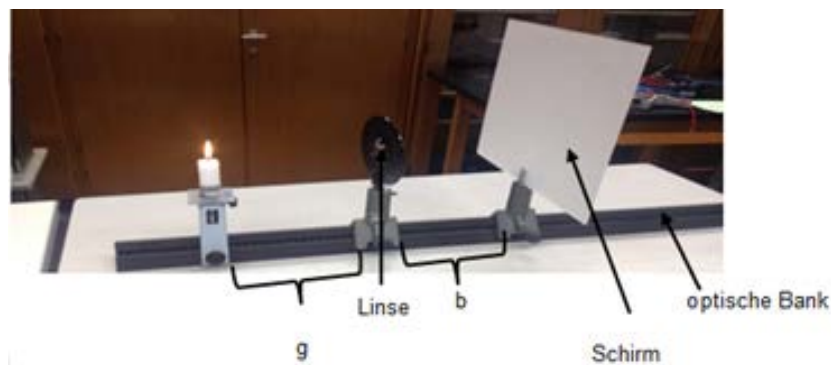


Abbildung 44 Versuchsaufbau Station 6

Die Gegenstandsweite ist der Abstand zwischen der Kerze und der Linse.

Nun suchen die Schülerinnen und Schüler mit dem Schirm die Stellung hinter der Linse, in der auf dem Schirm ein scharfes Bild der Kerzenflamme abgebildet wird. Anschließend sollen die Lernenden leicht gegen die Flamme pusten und das entstehende Bild auf dem Schirm genau beschreiben. Sie stellen fest, dass ein umgekehrtes, verkleinertes Bild der Kerze auf dem Schirm abgebildet wird.

Im nächsten Schritt schieben die Schülerinnen und Schüler die Kerze näher an die Linse heran und wiederholen das Experiment. Dabei ist wichtig, dass das Bild durch das Verschieben des Schirmes erneut scharf eingestellt wird. Die Beobachtung soll erneut beschrieben werden.

Die Schülerinnen und Schüler sollen die Position der Kerze herausfinden, in der das scharfe Bild der Kerzenflamme auf dem Schirm, genauso groß ist wie die Flamme. Die Lernenden schieben dazu die Kerze näher zur Linse und suchen erneut ein scharfes Bild. Die Veränderung soll genau beschrieben werden. Anschließend sollen die Schülerinnen und Schüler herausfinden, ob es eine Grenze für die Gegenstandsweite gibt, unterhalb der keine scharfe Abbildung auf dem Schirm mehr möglich ist. Den entsprechenden Wert sollen sie mit dem Lineal bestimmen und notieren.



Abbildung 45 Schüler während der Durchführung der Station 6

Im zweiten Versuchsteil sollen die Lernenden den Versuchsaufbau (siehe Abbildung 44) mit dem Aufbau des menschlichen Auges vergleichen und eine Analogie zwischen dem Modellversuch und der Wirklichkeit herstellen. Dabei soll beschrieben werden, welche Bestandteile des Auges den Materialien (Schirm, Linse und Bildweite) aus Versuch 2 entsprechen.

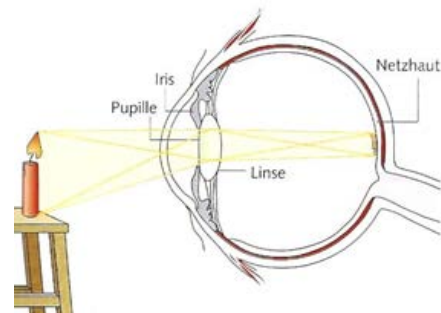


Abbildung 46 Analogie zwischen Modell und Wirklichkeit (rechte Abbildung entnommen aus: Cieplik et al (2011), S. 89).

Anschließend sollen die Schülerinnen und Schüler festhalten, ob beim Auge die Gegenstands- oder die Bildweite festgelegt ist.

Materialliste

Für die Station werden pro Gruppe folgende Materialien benötigt:

Material für die Station „Wie entsteht das Bild auf der Netzhaut?“	
Linse	
Kerze	
Schirm	
Optische Bank	

Tabelle 9 Material für die Station „Wie entsteht das Bild auf der Netzhaut?“

4.3.7 Station 7: Der blinde Fleck und der Nahpunkt

Inhalt

In der Umgangssprache wird gelegentlich davon gesprochen, dass jemand einen „blinden Fleck“ hat, wenn er bestimmte Dinge nicht bemerkt oder bemerken will. Aber jeder Mensch hat tatsächlich einen blinden Fleck – und zwar in jedem Auge. Es gibt einen Punkt in unserem Blickfeld, den wir nicht wahrnehmen können. Die Schülerinnen und Schüler führen an dieser Station einen Versuch durch, um die Existenz des blinden Flecks nachzuweisen. Der blinde Fleck ist die Stelle, an welcher der Sehnerv aus der Netzhaut austritt. Normalerweise nehmen wir diese Lücke im Gesichtsfeld nicht wahr, weil sie durch das Bild des anderen Auges in unserem Gehirn ergänzt wird – die Lücke im Bild des einen Auges deckt sich nicht mit der Lücke im Bild des anderen Auges.

Zudem bestimmen die Schülerinnen und Schüler an dieser Station ihrem Nahpunkt.

Aufbau und Durchführung

Die Station „Der blinde Fleck und der Nahpunkt“ ist in vier Aufgaben unterteilt:

Versuchsteil 1:

Zunächst sollen die Schülerinnen und Schüler eine Abbildung (siehe Abbildung 48) mit einem Stern und einem Kreis mit ausgestrecktem Arm vor das Gesicht halten und mit dem linken Auge den Kreis fixieren. Das rechte Auge bleibt dabei geschlossen.



Abbildung 47 Abbildung für den Vorversuch (aus: Bühler; Graf 2009, S. 39)

Nun sollen die Lernenden die Abbildung langsam dem Gesicht nähern und mit dem linken Auge weiterhin den Kreis fixieren.



Abbildung 48 Schüler während der Durchführung.

Die Schülerinnen und Schüler sollen beobachten, was mit dem Stern passiert, wenn sie weiterhin den Kreis mit dem linken Auge fixieren. Die Schülerinnen und Schüler stellen fest, dass der Stern an einer bestimmten Stelle nicht mehr wahrgenommen werden kann.

Versuchsteil 2:

Die Schülerinnen und Schüler sollen die Karte mit dem gelben und dem schwarzen Kreis am Funktionsmodell, wie in der folgenden Abbildung (siehe Abbildung 50 rechts) dargestellt, positionieren und zwei gleiche Glühlampen horizontal nebeneinander anordnen. Der Abstand zwischen den beiden Glühlampen beträgt 20 cm. Der Abstand zwischen dem Augenfunktionsmodell und der Lichtquelle beträgt ca. 1 m.

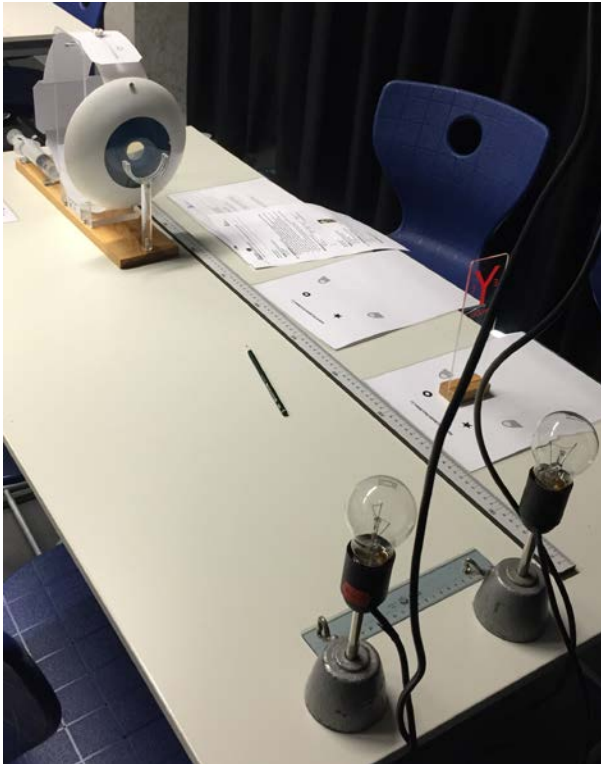


Abbildung 49 Aufbau der Station 7



Abbildung 50 Augenfunktionsmodell
(aus: Conatex-Didactic Lehrmittel GmbH 2014).

Nun sollen die Lernenden das Augenfunktionsmodell in Richtung Lampen bewegen. Die Schülerinnen und Schüler sollen beobachten, dass in einer bestimmten Entfernung die Abbildung der rechten Lampe auf die schwarze Kreisfläche fällt. Die entsprechende Entfernung soll notiert werden. Anschließend soll mithilfe des Versuchsteils 2 die Beobachtung aus dem Versuchsteil 1 erklärt werden.

Versuchsteil 3:

Diesen Versuch sollen die Schülerinnen und Schüler in Partnerarbeit durchführen. Die Rollen sollen während des Versuches gewechselt werden, um für beide Schüler- bzw. Schülerinnen die Messwerte zu ermitteln. Die Versuchsperson hält einen Bleistift (Spitze nach oben) mit ausgestrecktem Arm vor sich. Anschließend fixiert sie zunächst mit beiden Augen die Bleistiftspitze und schließt dann ein Auge. Nun führt die Versuchsperson den Bleistift langsam so nah an das Auge heran, bis sie ihn grade noch scharf sieht. In dieser Position misst der Partner oder Partnerin möglichst genau den Abstand von der Hornhaut

bis zum Bleistift. Dieser Wert (Nahpunktentfernung für scharfes Sehen) soll notiert werden. Der Versuch soll zwei weitere Male wiederholt und anschließend der Mittelwert berechnet werden.

Versuchsteil 4:

Beim letzten Versuchsteil sollen die Schülerinnen und Schüler das Augenfunktionsmodell ca. 1 Meter vor der Lichtquelle aufstellen. Die mit einem Y versehene Plexiglasscheibe wird unmittelbar vor der Lichtquelle platziert. Nun bewegen die Lernenden die Plexiglasscheibe zum Augenfunktionsmodell hin, bis eine scharfe Abbildung auf der „Netzhaut“ des Augenfunktionsmodells entsteht. Die kürzeste Entfernung, auf die das Auge akkomodieren kann, der so genannte Nahpunkt, soll notiert werden.

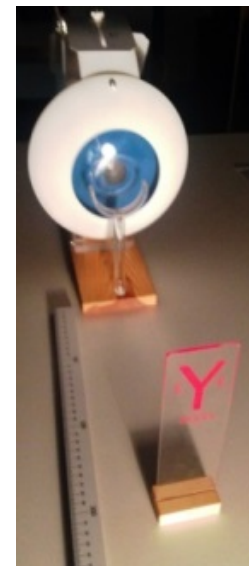
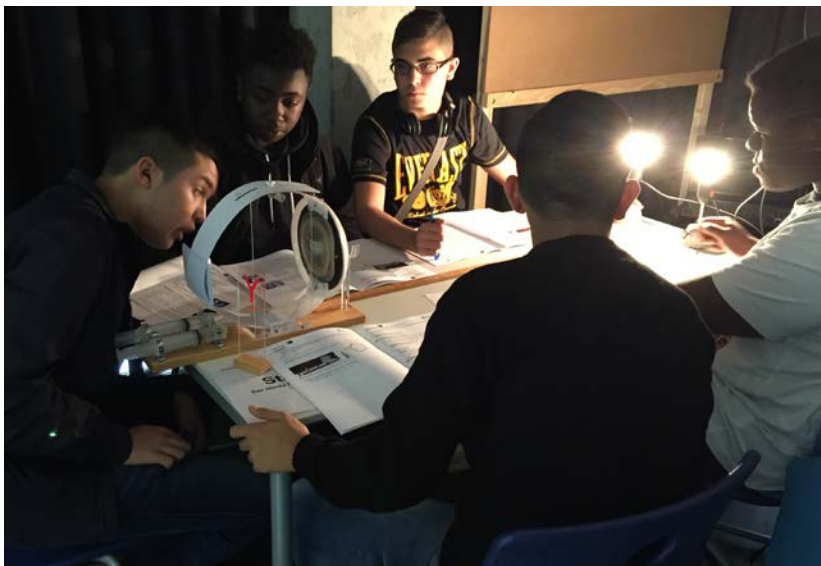


Abbildung 51 Schüler während der Durchführung des Versuches zum blinden Fleck

Materialliste

Für die Station werden pro Gruppe folgende Materialien benötigt:

Material für die Station „Der blinde Fleck und der Nahpunkt“
Abbildung mit Stern und Kreis
Augenfunktionsmodell
Zwei Glühbirnen
Karte mit gelbem und schwarzem Kreis
Lineal
Bleistift
Lichtquelle
Plexiglasscheibe mit Buchstaben

Tabelle 10 Material für die Station „Der blinde Fleck und der Nahpunkt“

4.3.8 Strahlengänge und Fehlsichtigkeit

Inhalt

Viele Menschen sehen etwas unscharf. Oft wird ein solcher Sehfehler in der Schulzeit bemerkt, wenn jemand nicht gut von der Tafel lesen kann oder beim Lesen und Schreiben Sehprobleme hat. An der Station lernen die Schülerrinnen und Schüler die Bedeutung von der Fehlsichtigkeit (Kurz- und Weitsichtigkeit) und ihre Korrektur kennen.

Aufbau und Durchführung

Die Station „Strahlengänge und Fehlsichtigkeit“ ist in fünf Aufgaben unterteilt.

Versuchsteil 1:

Der Strahlengang eines normalsichtigen Auges:

Die Schülerinnen und Schüler sollen zunächst die Abbildung des Auges auf der Magnettafel befestigen und die Linse Nr. 1 direkt hinter der Linie O_2 platzieren. Nun wird zusätzlich die Laser-Ray-Box vor der Abbildung platziert und eingeschaltet. Der Strahlengang soll in die Abbildung eingezeichnet werden.

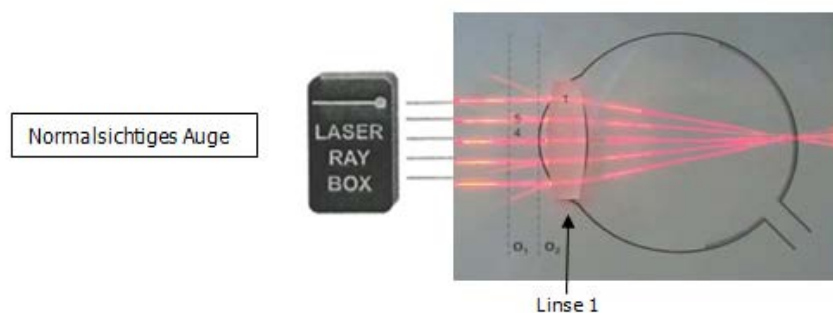


Abbildung 52 Versuchsaufbau zu Versuchsteil 1

Versuchsteil 2:

Der Strahlengang eines kurzsichtigen Auges:

Zunächst platzieren die Schülerinnen und Schüler die Linse Nr. 2 direkt hinter der Linie O_2 und schalten die Laser-Ray-Box ein. Nun vergleichen die Lernenden den Strahlengang eines kurzsichtigen Auges mit dem eines normalsichtigen Auges aus Versuchsteil 1. Den Verlauf des Strahlengangs sollen sie auf das Arbeitsblatt einzeichnen.

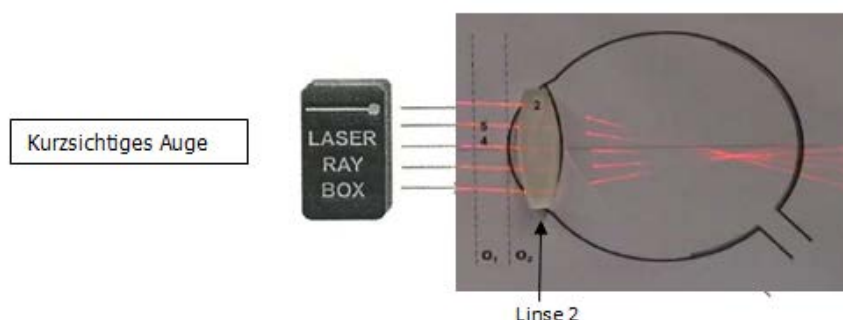


Abbildung 53 Versuchsaufbau zu Versuchsteil 2

Versuchsteil 3:**Die Korrektur eines kurzsichtigen Auges :**

Zur Korrektur eines kurzsichtigen Auges, platzieren die Schülerinnen und Schüler zusätzlich zu Linse Nr. 2 die Korrektur-Linse Nr. 5 zwischen die Linie O_1 und O_2 .

Nun schalten die Lernenden die Laser-Ray-Box ein und beobachten den Strahlengang. Die Korrektur-Linse Nr. 5 und den Strahlengang sollen in die Abbildung eingezeichnet werden.

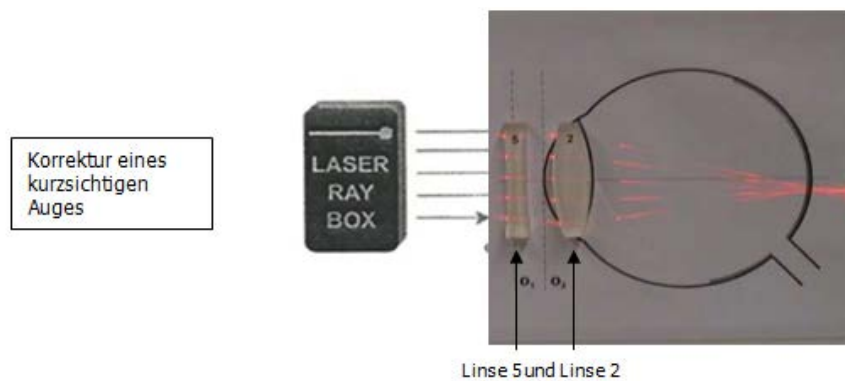


Abbildung 54 Versuchsaufbau zu Versuchsteil 3

Versuchsteil 4:**Der Strahlengang eines weitsichtigen Auges :**

Zunächst platzieren die Schülerinnen und Schüler die Linse Nr. 2 direkt hinter der Linie O_2 und schalten die Laser-Ray-Box ein. Nun vergleichen die Lernenden den Strahlengang eines weitsichtigen Auges mit dem eines normalsichtigen Auges aus Versuchsteil 1. Die Beobachtung soll im Schülerarbeitsheft in die entsprechende Vorlage eingezeichnet werden.

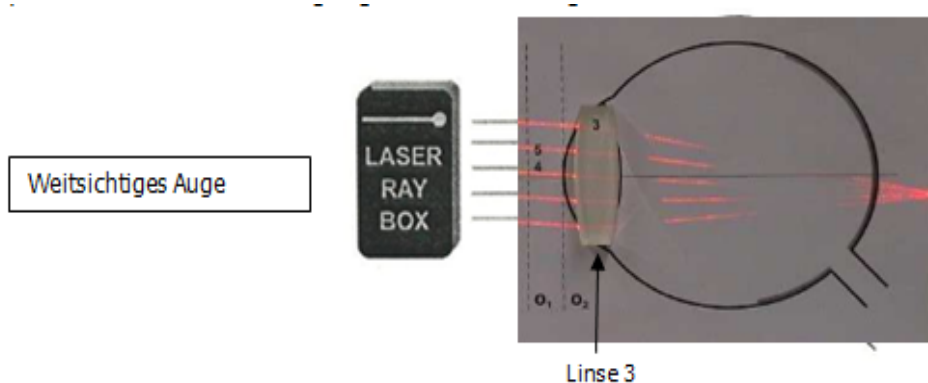


Abbildung 55 Versuchsaufbau zu Versuchsteil 4

Versuchsteil 5:**Die Korrektur eines weitsichtigen Auges :**

Zur Korrektur eines weitsichtigen Auges, platzieren die Schülerinnen und Schüler zusätzlich zu Linse Nr. 3 die Korrektur-Linse Nr. 4 zwischen die Linie O_1 und O_2 .

Nun schalten die Lernenden die Laser-Ray-Box ein und beobachten den Strahlengang.

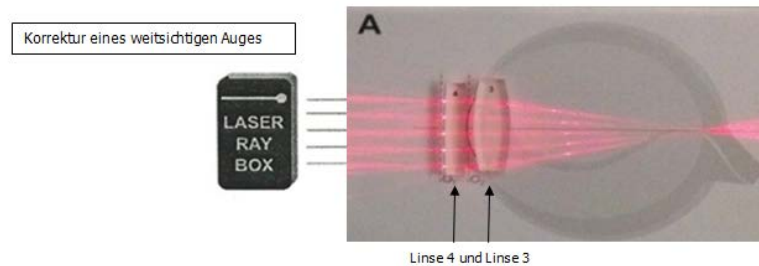


Abbildung 56 Versuchsaufbau zu Versuchsteil 5

Die Korrektur-Linse Nr. 4 und den Strahlengang sollen die Schülerinnen und Schüler in die Abbildung einzeichnen. Anschließend sollen die Schülerinnen und Schüler die Veränderung der Strahlengänge beschreiben.

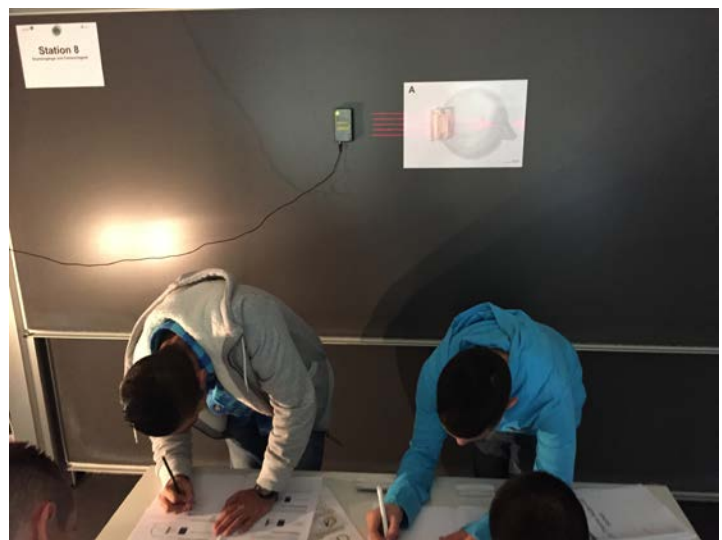


Abbildung 57 Schülerinnen und Schüler während der Durchführung der Station 8

Materialliste

Für die Station werden pro Gruppe folgende Materialien benötigt:

Material für die Station „Wie entsteht das Bild auf der Netzhaut?“
Laser Ray Box
Verschiedene Linsensysteme
Modell-Abbildung eines Auges
Magnettafel

Tabelle 11 Material für die Station „Wie entsteht das Bild auf der Netzhaut?“

4.3.9 Wahlpflichtstation 1: Optische Täuschung

Inhalt

Optische Täuschungen können unser Gehirn komplett verwirren kann. An der Station lernen die Schülerinnen und Schüler, dass bei optischen Täuschungen gleiche Farben heller oder dunkler, gleiche Gegenstände unterschiedlich groß oder gerade Linien schief wirken. Anhand verschiedener Karten, die an der Station ausliegen lernen die Schülerinnen und Schüler verschiedene optische Täuschungen kennen. Auf der an der Station ausliegenden Informationskarte ist beschrieben, wie die optischen Täuschungen zustande kommen. Die Abbildungen der optischen Täuschungen sind auf der beigelegten CD-Rom zu finden.

Aufbau und Durchführung

An der Station „Optische Täuschungen“ sollen die Schülerinnen und Schüler zunächst die Karten, die an der Station ausliegen betrachten. Anschließend sollen sie den angegebenen Text (Information) durchlesen, um herauszufinden, wie optische Täuschungen entstehen.



Abbildung 58 Karten der Station W1

Materialliste

Für die Station werden pro Gruppe folgende Materialien benötigt

Material für die Station „Optische Täuschungen“	
Karten	

Tabelle 12 Material für die Station „Optische Täuschungen“

4.3.10 Wahlpflichtstation 2: Linsen befinden sich nicht nur in unseren Augen

Inhalt

An der Station lernen die Schülerinnen und Schüler, dass Linsen nicht nur in unseren Augen zu finden sind, sondern auch in Alltagsgegenständen.

Aufbau und Durchführung

Diese Station ist in zwei Versuche unterteilt. Im ersten Teil führen die Schülerinnen und Schüler folgenden Versuch durch: Wie in der Abbildung 59 zu sehen ist, halten die Lernenden die Abbildung mit dem Pfeil hinter ein Glas, welches mit Wasser gefüllt ist.

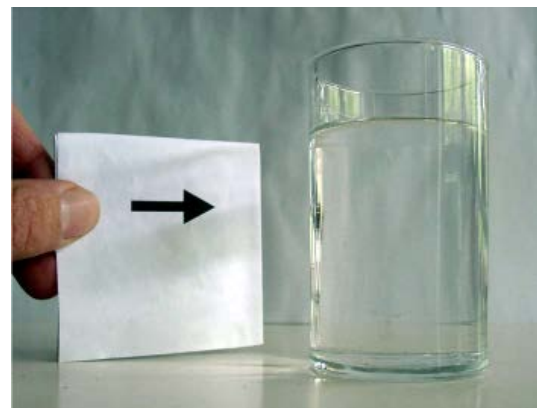
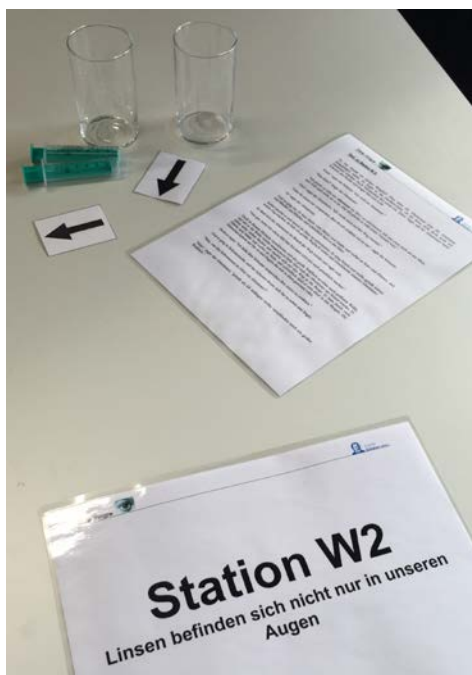


Abbildung 59 Aufbau und Durchführung der Station W2

Der gleiche Versuch wird anschließend mit einer Linse durchgeführt und die entsprechende Beobachtung notiert. Anschließend sollen die Schülerinnen und Schüler den Abstand zwischen dem Glas bzw. der Linse verändern und die Beobachtung erneut genau beschreiben.

Im zweiten Versuchsteil wird zunächst eine Spritze mit Wasser gefüllt



Abbildung 60 Durchführung der Station W2

Die Schülerinnen und Schüler sollen den Tropfen an der Spritze halten und den Text durch den Tropfen betrachten.

Im nächsten Schritt legen die Schülerinnen und Schüler den Tropfen auf den Text. Die Beobachtung ist genau zu beschreiben. Anschließend wird der gleiche Versuch mit der Linse durchgeführt.

Materialliste

Für die Station werden pro Gruppe folgende Materialien benötigt:

Material für die Station „Linsen befinden sich nicht nur in unseren Augen“
Zylinderförmiges Glas
Spritzflasche mit Wasser
Eine Linse Brennweite $f = 5\text{ cm}$

Tabelle 13 Material für die Station „Linsen befinden sich nicht nur in unseren Augen“

4.4 Evaluation

4.4.1 Fragebogen

Um mehr Informationen über das Schülerlabor „Auge und Sehen im Schülerlabor“ zu erhalten, werden am Ende des Schülerlabors Fragebögen von den Schülerinnen und Schüler ausgefüllt.

Die Fragebögen dienen dazu, dass Schülerlabor zu evaluieren und immer weiter zu optimieren.

Der Fragebogen besteht aus 19 Fragen zum Ankreuzen und wird mit „Trifft überhaupt nicht zu“ bis „Trifft genau zu“ skaliert. Dazu werden noch drei offene Fragen zum Labor gestellt. Den Schülerinnen und Schülern steht ein Antwortfeld zur Verfügung, in welches sie ihre Antwort eintragen können. Der Fragebogen wird von den Lernenden anonym ausgefüllt. Damit wird sichergestellt, dass jeder Schüler bzw. jede Schülerin die Gelegenheit bekommt, ehrlich zu antworten.

4.4.2 Auswertung

Das Schülerlabor zum Thema „Auge und Sehen“ wurde am 5. November 2014 von 21 Schülerinnen und Schülern aus einer neunten Klasse einer integrierten Gesamtschule besucht. Die Klasse wurde in vier 4er-Gruppen und eine 5er-Gruppe aufgeteilt (siehe Kapitel 4.1).

Der Tag im Schülerlabor begann um 9:30 Uhr und endete ca. vier Stunden später um 13:30 Uhr. Der Anteil der Mädchen und Jungen war relativ ausgeglichen. Für die Auswertung standen 21 Bögen zur Verfügung. Alle Pflichtstationen wurden von allen Schülerinnen und Schülern mit großem Interesse durchgeführt. Die Bearbeitung der Stationen bereitete den Schülerinnen und Schülern viel Freude, denn man konnte erkennen, dass die Lernenden die Bearbeitung der Stationen nicht unbedingt als typische physikalische Aufgaben angesehen haben. Man konnte auch gut erkennen, dass die Zusammenarbeit und die Kommunikation innerhalb der Schülerinnen und Schüler reibungslos abgelaufen sind.

Bis auf zwei Schüler, die den Eingangsvortrag zu lang fanden, fühlte sich der Rest der Klasse gut auf die Bearbeitung der Stationen vorbereitet. Fast die gesamte Klasse hat auf die Frage „Die Experimente machten den Schülerlabortag interessant“ mit „trifft genau zu“ geantwortet.

Die mit Abstand beliebtesten Stationen waren die Station 1 „Wie schnell kannst du lesen?“ und die Station 8 „Strahlengänge und Fehlsichtigkeit“. Bereits während des Einführungsvortrages stellte ich fest, dass die Schülerinnen und Schüler sehr interessiert

daran waren, zu erfahren wie schnell sie lesen können. Der einzige Nachteil, der während der Durchführung der Station 1 aufgetreten ist, war das häufige Abfallen der Elektroden. Trotz der Entfettung der entsprechenden Körperstellen ließen sich diese nur schwer an der Stirn und neben den Augen anbringen. Zudem kam es auch vor, dass die Elektroden während des Lesens des Textes abfielen. Dadurch waren die Messergebnisse nicht immer zu gebrauchen. An dieser Stelle wäre es sinnvoll, sich darüber zu informieren, ob es noch andere Elektroden im Handel gibt, die evtl. besser an den entsprechenden Körperstellen haften. Die Informationskarte zur Station 1 war sehr hilfreich für die Schülerinnen und Schüler, sodass sie während der Durchführung nicht viel Hilfestellung benötigten.

Im Folgenden werden einige Antworten von den Schülerinnen und Schülern dargestellt, denen die Station 1 besonders gut gefallen hat:

Ich würde das Schülerlabor wieder besuchen, weil es abwechslungsreich ist, den Stoff der Studenten kennen zu lernen. Ebenfalls die Teamarbeit
Wie hat dir der Tag im Schülerlabor gefallen? Gut, war mal etwas anderes.
Mir hat folgender Versuch besonders gut gefallen, weil ... Mir hat der Lesetest gut gefallen, weil man wieder etwas mehr weiß von sich selbst.

Ich würde das Schülerlabor wieder besuchen, weil es hat sehr Spaß gemacht was , die Experimente waren gut.
Wie hat dir der Tag im Schülerlabor gefallen? Sehr gut es hat Spaß gemacht und hab manches neue Sachen erfahren
Mir hat folgender Versuch besonders gut gefallen, weil ... Mit den Schnell lesen weil ich erstens gesehen habe wie schnell ich beim lesen bin und hab viel geliebt

Ich würde das Schülerlabor wieder besuchen, weil Ich viele Interessante Sachen gelernt habe.
Wie hat dir der Tag im Schülerlabor gefallen? Mir hat der Tag sehr gut gefallen weil wir neue Experimente ausprobieren durften.
Mir hat folgender Versuch besonders gut gefallen, weil ... Am Meisten hat mir die Aufgabe mit Lesen gefallen.

Abbildung 61 Schülerantworten zum Tag im Schülerlabor

Zu Station 2 „Aufbau des Auges“ lässt sich sagen, dass die Lernenden Freude daran hatten, die Kärtchen zuzuordnen. Durch die Informationskarte benötigten die Schülerinnen und Schüler während der Station keine Hilfe und konnten sich die Bestandteile des Auges und deren Funktion selbstständig erarbeiten.

Zu Station 7 „Der blinde Fleck und der Nahpunkt“ lässt sich sagen, dass die Schülerinnen und Schüler durch den Vorversuch sehr motiviert waren. Viele der Lernenden staunten, als der Stern vor ihrem Auge „verschwand“ und hinterfragten dieses Phänomen sofort. Während der Durchführung des 1. Versuchsteils hatten einige Schülerinnen und Schüler jedoch Schwierigkeiten bei der Durchführung und benötigten häufig die Hilfe des Betreuers. Insbesondere die Befüllung der Linse mit dem destillierten Wasser bereitete den Lernenden Schwierigkeiten. Sie wussten zunächst nicht genau, wie das Wasser in die Linse eingefüllt werden muss. Dies wird in der Anleitung nicht erwähnt und sollte in Zukunft noch ergänzt werden. Für die Bearbeitung dieser Station benötigten die Schülerinnen und Schüler viel Zeit, sodass die eingeplanten 20 Minuten eindeutig zu knapp bemessen waren. Einige der Lernenden kamen leider nicht mehr dazu ihren Nahpunkt zu ermitteln.

Die Station 8 „Strahlengänge und Fehlsichtigkeit“ wurde ebenfalls von einem Großteil der Schülerinnen und Schülern positiv bewertet.

Ich würde das Schülerlabor wieder besuchen, weil es großen Spaß gemacht hat und man viel lernen konnte.
Wie hat dir der Tag im Schülerlabor gefallen? Gut aber ein wenig zu lang.
Mir hat folgender Versuch besonders gut gefallen, weil ... Station 8, das war sehr interessant. ☺

Abbildung 62 Antwort eines Schülers bzw. einer Schülerin zum Tag im Schülerlabor

Der Versuch ermöglichte es den Schülerinnen und Schülern sehr anschaulich, den Unterschied zwischen der Kurz- und Weitsichtigkeit und deren entsprechende Korrektur nachzuvollziehen. Die Lernenden waren in der Lage die Strahlengänge richtig in die entsprechende Vorlage einzuzichnen und konnten diese fachlich richtig erklären.

Bei der Auswertung der Fragebögen fällt auf, dass die Schülerinnen und Schüler die Teamarbeit während des Schülerlabortages positiv bewertet haben. Damit wurde ein wesentlicher Aspekt des Schülerlabors, die sozialen Kompetenzen der Lernenden zu fördern, erfüllt

Beim Auswerten der Fragebogen habe ich festgestellt 65% der Schülerinnen und Schüler bei der Frage „Mir macht der Physikunterricht Spaß“ die Antwort „trifft eher nicht zu“ angekreuzt haben. Dennoch erzeugte der Besuch im Schülerlabor großes Interesse bei den Lernenden. Hier zeigt sich sehr deutlich, dass durch den Besuch im Schülerlabor das Interesse am Fach Physik gesteigert werden kann.

	trifft genau zu	trifft eher zu	trifft eher nicht zu	trifft überhaupt nicht zu
Der Ablauf des Schülerlabortages war gut organisiert:	X			
Die Arbeitsblätter enthielten zu viel Text:		X		
Die Zeit für das Experimentieren war zu kurz:			X	
Mir macht der Physikunterricht Spaß:	X			

Ich würde das Schülerlabor wieder besuchen, weil Es sehr Spaß gemacht hat und es Herr. Ghanem uns sorgfältig erklärt hat
Wie hat dir der Tag im Schülerlabor gefallen? wo wir in Gruppen gearbeitet haben und die Lehrern uns geholfen hat
Mir hat folgender Versuch besonders gut gefallen, weil ... Station 6 Spaß gemacht hat

Abbildung 63 Rückseite des Fragebogens zum Tag im Schülerlabor

Zur Organisation des Schülerlabortages lässt sich sagen, dass der Ablauf reibungslos geklappt hat. Durch den übersichtlichen Aufbau der Stationen im Raum, gab es keine Probleme beim Wechsel der Stationen. Jede Gruppe wusste stets wohin sie gehen

musste. Durch die Größe des Raumes hatten die Lernenden stets genug Platz für die Durchführung der Versuche und standen sich nicht im Weg. Die Anzahl der Betreuer war ausreichend.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es ein schöner Tag war und die Schülerinnen und Schüler viel Freude am Experimentieren hatten. Einige der Lernenden teilten mir mit, dass sie nun auch gerne studieren möchten, da ihnen die Universität sehr gut gefallen hat.

5 Fazit

In dieser Arbeit ist ein neues Konzept für das Schülerlabor zum Thema „Auge und Sehen“ erarbeitet worden. Dabei wurde zunächst in einer Betrachtung der fachlichen Aspekte gezeigt, dass es sich beim Thema „Auge und Sehen“ um ein interessantes und vielseitiges Thema handelt, welches eine große Bedeutung für uns hat. In der Sachanalyse wurden neben den physikalischen auch die biologischen Aspekte des Themas „Auge und Sehen“ näher erläutert.

Schulstudien wie TIMSS und PISA haben deutlich gemacht, dass die Fähigkeiten deutscher Schülerinnen und Schüler auf mathematisch-naturwissenschaftlicher Ebene zu wünschen übrig lassen. Gründe für die schlechten Ergebnisse werden unter anderem in der fehlenden fächerübergreifenden Vernetzung gesehen. Die Antwort auf diese Ergebnisse war unter anderem die Entwicklung von Bildungsstandards, die Kompetenzen festlegen, welche die Schülerinnen und Schüler nach einem bestimmten Schulabschluss erlangt haben sollen. Im Rahmen der Auseinandersetzung mit den Bildungsstandards ist deutlich geworden, dass sie keine konkreten Inhalte festlegen, sondern vielmehr übergeordnete Konzepte, welche die notwendige Verstehensbasis eines Fachs bilden, sowie dessen Wissensinhalte strukturieren. Weiterhin werden Fertigkeiten und Fähigkeiten aufgeführt, welche einen (fachspezifischen) Wissensaufbau ermöglichen und die Vernetzung des Gelernten mit bereits vorhandenem Wissen, sowie die Verortung im Gesamtzusammenhang fordern. Es wurde aufgezeigt, dass im Unterricht die Selbsttätigkeit der Lernenden sowie eine eigenständige Regulation des Lernprozesses im Vordergrund stehen sollen. Ein weiteres essentielles Element ist die Einbettung des Erlernten in einen Kontext, um einen optimalen Wissensaufbau sowie eine Vernetzung der unterschiedlichen Inhalte und Konzepte zu einem Gesamtzusammenhang zu ermöglichen. Hier wurde gezeigt, dass sich das Thema Optik gut unter dem Kontext „Auge und Sehen“ erarbeiten lässt, da dieser einen für die Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler relevanten Bezug aufweist und somit aktivierend wirkt. Weiterhin hat die Betrachtung der Grundlagen des hier erarbeiteten Konzepts gezeigt, dass das Schülerlabor eine wichtige Einrichtung darstellt.

Das Schülerlabor als ein außerschulischer Lernort soll das Interesse an Naturwissenschaften und naturwissenschaftlichem Forschen und Arbeiten wecken und fördern. Es ist deutlich geworden, dass hierbei das selbstständige Experimentieren und Arbeiten der Schülerinnen und Schüler im Vordergrund steht, um eine autonome Erkenntnisgewinnung zu gewährleisten. Bei der Betrachtung außerschulischer Lernorte

ist deutlich geworden, wie notwendig eine Öffnung der Schule nach außen ist, da diese eine direkte Begegnung und eine aktive Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand im Original ermöglichen, wodurch entdeckendes sowie selbsttätiges Lernen gefördert werden. Ein Lernen an außerschulischen Orten gliedert sich am sinnvollsten in die drei Schritte Vorbereitung. Durchführung und Auswertung. Als einen wichtigen Aspekt außerschulischer Lernorte wurde das Lernen über mehrere Kanäle, welches sich bezüglich des Behaltens von Informationen als sehr effektiv erweist, festgehalten.

Im Schülerlabor dagegen liegt der Schwerpunkt auf Versuchen, die von den Schülerinnen und Schüler selbstständig durchgeführt werden können. Die Zusammenstellung von Versuchen zum Thema „Auge und Sehen“ für das Schülerlabor-Programm bietet neben Versuchen zum Sehvorgang auch Versuche zur Fehlsichtigkeit, zur Bestimmung des Nahpunkts sowie des blinden Flecks und zur Bestimmung der Lesegeschwindigkeit. Fachliche Schwerpunkte des Programms bilden demzufolge zahlreiche Aspekte des Auges, von der Adaption bis hin zur Optischen Täuschung. Durch die unterschiedlichen Versuche werden die Schülerinnen und Schüler an naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen herangeführt und üben im Sinne des handlungsorientierten Unterrichts das selbstständige, eigenverantwortliche und selbstreflektierte Handeln ein. Die Lernenden bilden dabei ein Team, planen, erörtern, treffen Entscheidungen und erproben diese Entscheidungen in Handlungen (Ruppert, W. 2002, S. 5).

Insgesamt 8 Pflichtstationen müssen die Schülerinnen und Schüler im Schülerlabor bearbeiten. Die Stationen mit den entsprechenden Versuchen, die für das Schülerlabor ausgewählt wurden, werden in Kapitel 4.3 dargestellt.

Das Konzept wurde mit einer 9. Klasse der Georg Büchner Schule ausprobiert. Insgesamt sind die Erfahrungen als sehr positiv zu werten. Durch das Konzept werden die Unterrichtsinhalte nicht durch die Fachsystematik, sondern durch ihren „Gebrauchswert“ im Alltag bestimmt. Die Schülerinnen und Schüler lernen etwas über sich selbst, sodass die Thematik eine hohe subjektive Relevanz aufweist. Das Konzept zum Thema „Auge und Sehen“ eröffnet dabei ausreichend komplexe Situationen für Lehr-Lern-Prozesse und es werden Zusammenhänge und Kerninhalte durch fächerübergreifende Erfahrungszusammenhänge hergestellt. Mit dieser Arbeit wurde der erste Schritt in Richtung einer besseren Vernetzung der unterschiedlichen Angebote des Instituts Didaktik der Physik der Goethe-Universität Frankfurt/Main gemacht. Es bleibt für die Zukunft zu hoffen, dass sich das Konzept als sinnvoll und tragfähig erweist.

Literaturverzeichnis

I. Bücher und Zeitschriftenaufsätze

- **Aderhold, K. (1987):** *Kurz- und Weitsichtigkeit*. In: Naturwissenschaften im Unterricht Biologie: Auge. Ausgabe 12/87, 11. Jahrgang. Seelze. Friedrich Verlag in Zusammenarbeit mit Klett. S. 23 - 26.
- **Aufschnaiter, C. (2007):** *Lernprozesse im Schülerlabor anregen und evaluieren. Eine Untersuchung im TechLab der Universität Hannover*. In: Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (2007): Aus Bildung und Wissenschaft. Ausgabe 3/07, 60. Jahrgang. Neuss. Klaus Seeberger-Verlag. S. 132 - 139.
- **Baumert, J., Lehmann, R. (1997):** *TIMSS - mathematisch-naturwissenschaftlicher Unterricht im internationalen Vergleich*, Opladen.
- **Berck, K. H. (2001):** *Biologiedidaktik. Grundlagen und Methoden*. 2. Auflage, Quelle & Meyer, Wiebelsheim.
- **Berck, H.; Starosta, B. (1990):** *Lernorte außerhalb der Schule* in: Killermann, W., Staack, L. (Hg.), *Methoden des Biologieunterrichts*, Köln, S. 163-165.
- **Berge, O. E. (2000):** *Das menschliche Auge und das Sehen*. In: Naturwissenschaften im Unterricht Physik: Das Auge, Ausgabe 04/00, 11. Jahrgang. Seelze. Friedrich Verlag in Zusammenarbeit mit Klett. S. 4-9.
- **Berge, O. E. (2000):** *Das Auge im Optik-Unterricht der Sekundarstufe I*. In: Naturwissenschaften im Unterricht Physik: Das Auge, Ausgabe 04/00, 11. Jahrgang. Seelze. Friedrich Verlag in Zusammenarbeit mit Klett. S. 10-14.
- **Berge, O. E. (2000):** *Einfache Versuche zum Sehen*. In: Naturwissenschaften im Unterricht Physik: Das Auge, Ausgabe 04/00, 11. Jahrgang. Seelze. Friedrich Verlag in Zusammenarbeit mit Klett. S. 15-17.
- **Berge, O. E.; Lichtenstein, H.; Mikelskis-Seifert, S. (2009):** *Optische Geräte*. Didaktische Potenziale eines Themenfeldes. In: Naturwissenschaften im Unterricht Physik: Materialien und Methoden: Optische Geräte, Ausgabe 10/09, 20. Jahrgang. Seelze. Friedrich Verlag in Zusammenarbeit mit Klett. S. 4-7.
- **Bergmann, L.; Schäfer, C.; Niedrig, H. (Hg.) (2004):** *Lehrbuch der Experimentalphysik, Band 3, Optik, Wellen- und Teilchenoptik*, 10. Auflage, Walter de Gruyter, Berlin, New York.

- **Bönsch, M. (2000):** *Der geschlossene Charakter der Schule. In der Öffnung zu außerschulischen Wirklichkeiten liegen massive Chancen*, in: Realschule in Deutschland, 5. Auflage, S. 12 - 17.
- **Bühler, T.; Graf, E. (2009):** *Sinnesorgan Auge, Lernen an Stationen im Biologieunterricht*, 2. Auflage, Auer-Verlag, Donauwörth.
- **Campbell, N. A.; Reece, J. B. (2003):** *Biologie*, 6. Auflage, Spektrum Verlag, Heidelberg.
- **Cieplik, D. (Hg.); Dobers, J. (Hg.) et al (2011):** *Erlebnis Naturwissenschaften* 2, Schroedel-Verlag, Braunschweig.
- **Colicchia, G.; Wiesner, H. (2004):** *Simulation von Fehlsichtigkeiten. Akkommodationsfähige Augenmodelle für den Unterricht*. In: Naturwissenschaften im Unterricht Physik: Medizin, Ausgabe 03/04, 15. Jahrgang. Seelze. Friedrich Verlag in Zusammenarbeit mit Klett. S. 15-17.
- **Comenius, J. A. (1993):** *Große Didaktik*, Stuttgart.
- **Demuth, R., Ralle, B., Parchmann, I. (2005):** *Basiskonzepte – Eine Herausforderung an den naturwissenschaftlichen Unterricht*, in CHEMKON, S. S. 55 - 60.
- **Dierkes, P., Lühken, A. (2009):** *SUFIS (Studieren und Forschen im Schülerlabor)*. Ein Beitrag zur Verbesserung der naturwissenschaftlichen Lehramtsausbildung und fachdidaktischen Nachwuchsförderung, in: *L-News* 02/09. Zeitung für Lehramtsstudierende, Frankfurt S. 4 - 5.
- **Duit, R.; Gropengießer, H.; Stäudel, L. (2008):** *Naturwissenschaftliches Arbeiten*. Unterricht und Material 5-10. Friedrich-Verlag in Zusammenarbeit mit Klett, Seelze.
- **Dziewas, A. (2007):** *Chemieunterricht an außerschulischen Lernorten – eine Interventionsstudie*. Dissertation, Duisburg – Essen.
- **Eschenhagen, D.; Kattmann, U.; Rodi, D. (2006):** *Fachdidaktik Biologie*, 7. Auflage, Aulis Verlag Deubner, Köln.
- **Fassbender K. (2007):** *Schülerlabor aus Lehrersicht*. Erfahrungsbericht einer fächerverbindenden Exkursion Chemie/Biologie. In: Naturwissenschaften im Unterricht Chemie: Experimentieren im Schülerlabor, Ausgabe 03/07, 18. Jahrgang. Seelze. Friedrich Verlag in Zusammenarbeit mit Klett. S. 19f.
- **Giancoli, D. C. (2008):** *Physik*, 3. Auflage, Pearson Studium, München.

- **Graf, E. (1999):** *Stationenlernen - ein Beitrag zur Weiterentwicklung des Chemieunterrichts*. In: *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie: Methodenvielfalt*, Ausgabe 10/99, 10. Jahrgang. Seelze. Friedrich Verlag in Zusammenarbeit mit Klett. S. 6 - 8.
- **Guesne, E. (1984):** *Die Vorstellung von Kindern über Licht*. In: *physica didactica* 11, S. 79.
- **Harms, U. (2008):** *Fächerübergreifender Unterricht*. In: *Naturwissenschaften im Unterricht Biologie: Fächerübergreifend unterrichten*. Ausgabe 07/08, 32. Jahrgang. Seelze. Friedrich Verlag in Zusammenarbeit mit Klett. S. 2 - 6.
- **Hecht, E. (2005):** *Optik*, 4. Auflage, Oldenbourg Verlag, München.
- **Heepmann, B., Muckenfuß, H. (1987):** *Natur und Technik, CVK Physik*, Cornelsen-Velhagen & Klasing, Berlin.
- **Hedewig, R. (1987):** *Augen – Fenster zur Außenwelt*. In: *Naturwissenschaften im Unterricht Biologie: Auge*. Ausgabe 12/87, 11. Jahrgang. Seelze. Friedrich Verlag in Zusammenarbeit mit Klett. S. 4 - 13.
- **Hepp, R.; Herzig, G. (1997):** *Umwelt: Physik*, Ausgabe B; Klett-Verlag, Stuttgart.
- **Hessisches Kultusministerium (Hg.) (2008):** *Lehrplan Physik*. Bildungsgang Haupt- und Realschule – Jahrgangsstufen 5-9/10, Wiesbaden.
- **Hillebrandt, D.; Dähnhardt, D. (2005):** *Forschend lernen - Schülerlabore in Deutschland*. In: *Lernort Labor - Zentrum für Beratung und Qualitätsentwicklung LeLa: TheoPrax*, Band 1. Kiel.
- **Jank, W.; Meyer, H. (2002):** *Didaktische Modelle*. Cornelsen Verlag Scriptor, Berlin.
- **Krüger, D.; Foret, M.; Meyfarth, S. (2007):** *Ein Wirbeltierauge untersuchen*. In: *Naturwissenschaften im Unterricht Biologie: Sinne*. Ausgabe 02/07, 31. Jahrgang. Seelze. Friedrich Verlag in Zusammenarbeit mit Klett. S. 22 - 23.
- **Kühlke, D. (2011):** *Optik. Grundlagen und Anwendungen*, 3. Auflage, Wissenschaftlicher Verlag Harri Deutsch, Frankfurt am Main.
- **Lühken, A. (2009):** *Schülerlabor Chemie & Physik an der Goethe Universität Frankfurt am Main*. Arbeitstext für Studierende der Lehrämter, Frankfurt.
- **Mattes, W. (2011):** *Methoden im Unterricht*, Schöningh Verlag, Paderborn.
- **Meschede, D. (2008):** *Optik, Licht und Laser*, 3. Auflage, Vieweg + Teubner, Wiesbaden

- **Mikelskis, H. (2006):** *Physik-Didaktik: Praxishandbuch für die Sekundarstufe 1 und 2*, Cornelsen Verlag Scriptor GmbH & Co. KG, Berlin.
- **Parchmann, I. (2006):** Lernlinien zur Verknüpfung von Kontexten und Kompetenzentwicklung, in Chemkon 3, 2006, S.124 - 131.
- **Purves, W. K.; Sadava, D.; Orians, G. H.; Heller, H. C. (2006):** *Biologie*, 6. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- **Rennie, L. J.; Mc Clafferty, T. P. (1996):** *Science centres and science learning*. Studies in Science Education 27, S. 53 - 98.
- **Richter, R. (2007):** *Das Auge – Versuche zur „alltäglichen“ Wahrnehmung*. In: Naturwissenschaften im Unterricht Biologie: Sinne. Ausgabe 02/07, 31. Jahrgang. Seelze. Friedrich Verlag in Zusammenarbeit mit Klett. S. 39-41.
- **Ruppert, W. (2004):** *Handlungsorientierung im Biologieunterricht*. In: Naturwissenschaften im Unterricht Biologie (2002): Handlungsorientierung. Ausgabe 04/02, 26. Jahrgang. Seelze. Friedrich Verlag in Zusammenarbeit mit Klett. S. 4 - 10 .
- **Spiekermann, R.; Thiel, R.; Ewig, M. (2007):** *Entscheidend ist ‚was vorne‘ reinkommt: Lichtbrechung & Bildentstehung*. In: Naturwissenschaften im Unterricht Biologie: Sinne. Ausgabe 02/07, 31. Jahrgang. Seelze. Friedrich Verlag in Zusammenarbeit mit Klett. S. 14 - 21.
- **Spörhase-Eichmann, U.; Ruppert, W. (Hg.) (2004):** *Biologie-Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe 1 und 2*. Cornelsen Verlag Scriptor, Berlin.
- **Stock, H. (1988):** Außerschulische Lernorte in: Pädagogische Welt, 2. Auflage, S. 50 - 54.
- **Tipler, P. (2006):** *Physik für Wissenschaftler und Ingenieure*, 2. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, Elsevier GmbH, Heidelberg.
- **Volkmer, M. (2000):** Akkommodation des menschlichen Auges. In: Naturwissenschaften im Unterricht Physik: Das Auge, Ausgabe 04/00, 11. Jahrgang. Seelze. Friedrich Verlag in Zusammenarbeit mit Klett. S. 18-21.

II. Internetadressen

- **Arbeitsgruppe der Bund-Länder-Kommission (BLK) für Bildungsplanung und Forschungsförderung (1997):** Gutachten zur Vorbereitung des Programms „Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts“, Bonn.
<http://www.pedocs.de/volltexte/2008/259/pdf/heft60.pdf> (15.11.2014).
- **Beschlüsse der Kultusministerkonferenz (2005):** Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss, Beschluss vom 16.12.2004, München: Luchterhand.
http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Physik-Mittleren-SA.pdf (01.12.2014).
- **Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hg.) (2007):** Zur Entwicklung nationaler Bildungsstandards. Expertise, Berlin.
http://www.bmbf.de/pub/zur_entwicklung_nationaler_bildungsstandards.pdf#search=%22klimate%20bildungsstandards%20expertise%22 (07.11.2014).
- **Conatex-Didactic Lehrmittel GmbH (2014):** Augenfunktionsmodell mit variabler Linse,
http://www.conatex.com/mediapool/betriebsanleitungen/BAD_1007037.pdf (01.12.2014)
- **Conatex-Didactic Lehrmittel GmbH (2014):** Akkommodation des menschlichen Auges,
http://www.conatex.com/shop/product_info.php?products_id=1875 (01.12.2014).
- **Conatex-Didactic Lehrmittel GmbH (2014):** Die Pupillenbewegung
http://www.conatex.com/shop/product_info.php?products_id=1876 (01.12.2014).
- **Gruppenpuzzle (2008):** Schema der Phasen des Gruppenpuzzles, www.schuleratgeber.de/download/1274_phasen_eines_gruppenpuzzles.html (03.12.2014)
- **Grundschulwerkstatt der Universität Bremen (2009):** Geschichte der GSW, Bremen. http://www.gsw.unibremen.de/web/konzept_geschichte.html (13.11.2014).
- **Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (Hg.) (2009):** Chemie im Kontext, Kiel. <http://www.chik.de/index2.htm> (05.11.2009).

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Frequenz und Wellenlängenbereiche der elektromagnetischen Strahlung. (aus: Kühlke 2011, S. 2)	3
Abbildung 2 Vom Lichtbündel zum Lichtstrahl.	4
Abbildung 3 Drei Ausbreitungsarten von Licht	4
Abbildung 4 Sammellinsen und Zerstreuungslinsen.	6
Abbildung 5 Brechung des Lichtes an einer dünnen Linse	7
Abbildung 6 Strahlenverlauf durch eine Sammellinse.	8
Abbildung 7 Strahlenverlauf durch eine Zerstreuungslinse.	9
Abbildung 8 Bestimmung des von einer Sammellinse erzeugten Bildes durch Strahlverfolgung.	9
Abbildung 9 Bestimmung des von einer Zerstreuungslinse erzeugten Bildes durch Strahlverfolgung.	10
Abbildung 10 Das Sinnesorgan Auge	11
Abbildung 11 Der Aufbau des Auges	11
Abbildung 12 Verteilung der Zapfen und Stäbchen in der Netzhaut des menschlichen Auges und die daraus folgende Qualität auf das Farbsehen in Zonen des Gesichtsfeldes. (aus: Berge 2000, S. 7)	13
Abbildung 13 Absorptionsspektren von Zapfen.	14
Abbildung 14 Die Entstehung des Bildes auf der Netzhaut.	15
Abbildung 15 Die Netzhaut.	16
Abbildung 16 Bildentstehung bei einem System mit sphärischer Trennungsfläche. (Spiekermann et al 2007, S. 15)	17
Abbildung 17 Brechung und Reflexion eines Lichtstrahls an der Grenzfläche zwischen einem optisch dünneren Medium und einem optisch dichteren Medium. (Spiekermann et 2007, S. 14)	18
Abbildung 18 Brechung der einfallenden Lichtstrahlen im Auge.	19
Abbildung 19 Nah- und Ferneinstellung des Auges.	20
Abbildung 20 Ein kurzsichtiges Auge und dessen Korrektur.	22
Abbildung 21 Ein weitsichtiges Auge und dessen Korrektur.	23
Abbildung 22 Die beiden häufigsten Vorstellungen bei 13-14 Jährigen Kindern nach Guesne. (Guesne 1984, S. 11)	25
Abbildung 23 Testfrage aus dem IPN Curriculum Physik (Berge 2000, S. 12)	26
Abbildung 24 Aufbau der Stationen im Schülerlabor	52
Abbildung 25 Aufbau von Station 1	55
Abbildung 26 Öffnen des Programms Measure	55
Abbildung 27 Öffnung des Experiments	56
Abbildung 28 Öffnen des Experiments „Wir messen unsere Lesegeschwindigkeit“ ..	56
Abbildung 29 Versuchspersonen mit aufgeklebten Elektroden	57
Abbildung 30 Messung starten	58
Abbildung 31 Messung stoppen	59
Abbildung 32 Auswertung der Messergebnisse	59
Abbildung 33 Abbildung auf der Informationskarte (entnommen aus: Cieplik et al (2011), S. 77)	61
Abbildung 34 Schülerinnen und Schüler betrachten das Augenmodell.	61
Abbildung 35 Aufbau der Station 2.	61
Abbildung 36 Hellreaktion (entnommen aus Cieplik et al 2011, S. 78)	63
Abbildung 37 Dunkelreaktion (entnommen aus Cieplik et al 2011, S. 78)	63
Abbildung 38 Pupillenmodell.	63

Abbildung 39	Schülerinnen und Schüler während der Durchführung.....	63
Abbildung 40	Lückentext, der zu ergänzen ist.....	64
Abbildung 41	Akkommodationsmodell	66
Abbildung 42	Versuchsaufbau „Blenden engen das Licht ein“	68
Abbildung 43	Schülerinnen während der Durchführung der Station 5	68
Abbildung 44	Versuchsaufbau Station 6	70
Abbildung 45	Schüler während der Durchführung der Station 6.....	71
Abbildung 46	Analogie zwischen Modell und Wirklichkeit (rechte Abbildung entnommen aus: Cieplik et al (2011), S. 89).	71
Abbildung 47	Abbildung für den Vorversuch (aus: Bühler; Graf 2009, S. 39)	72
Abbildung 48	Schüler während der Durchführung.	73
Abbildung 49	Aufbau der Station 7	74
Abbildung 50	Augenfunktionsmodell (aus Conatex-Didactic Lehrmittel GmbH 2014).	74
Abbildung 51	Schüler während der Durchführung des Versuches zum blinden Fleck	75
Abbildung 52	Versuchsaufbau zu Versuchsteil 1	76
Abbildung 53	Versuchsaufbau zu Versuchsteil 2	76
Abbildung 54	Versuchsaufbau zu Versuchsteil 3	77
Abbildung 55	Versuchsaufbau zu Versuchsteil 4	77
Abbildung 56	Versuchsaufbau zu Versuchsteil 5	78
Abbildung 57	Schülerinnen und Schüler während der Durchführung der Station 8....	78
Abbildung 58	Karten der Station W1	79
Abbildung 59	Aufbau und Durchführung der Station W2	80
Abbildung 60	Durchführung der Station W2	80
Abbildung 61	Schülerantworten zum Tag im Schülerlabor	82
Abbildung 62	Antwort eines Schülers bzw. einer Schülerin zum Tag im Schülerlabor	82
Abbildung 63	Rückseite des Fragebogens zum Tag im Schülerlabor.....	82

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Ablauf der Stationen 1	51
Tabelle 2	Ablaufplan	52
Tabelle 3	Grafische Symbole der Arbeitsblätter.....	53
Tabelle 4	Material für Station 1 „Wie schnell kannst du lesen?“	60
Tabelle 5	Material für die Station „Der Aufbau des menschlichen Auges“	62
Tabelle 6	Material für die Station „Wie verändert sich die Pupillengröße bei Belichtung und im Dunkeln?“	65
Tabelle 7	Material für die Station „Wie sehen wir verschieden weit entfernte Dinge scharf?“	67
Tabelle 8	Material für die Station „Blenden engen das Licht ein“	69
Tabelle 9	Material für die Station „Wie entsteht das Bild auf der Netzhaut?“	71
Tabelle 10	Material für die Station „Der blinde Fleck und der Nahpunkt“	75
Tabelle 11	Material für die Station „Wie entsteht das Bild auf der Netzhaut?“	78
Tabelle 12	Material für die Station „Optische Täuschungen“	79
Tabelle 13	Material für die Station „Linsen befinden sich nicht nur in unseren Augen“	81

I. Folien des Einführungsvortrages

IDP Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt am Main

Herzlich Willkommen im



Goethe
SchülerLabor

zum Thema Auge und Sehen



Was erwartet euch heute?

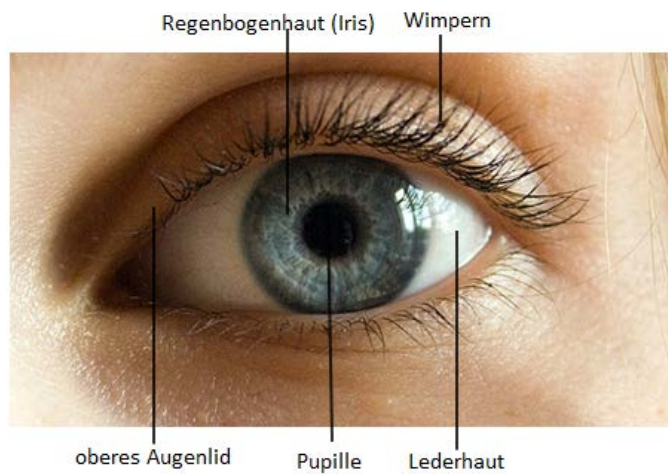
Wie sehen wir?

Warum brauchen manche Menschen eine Brille?

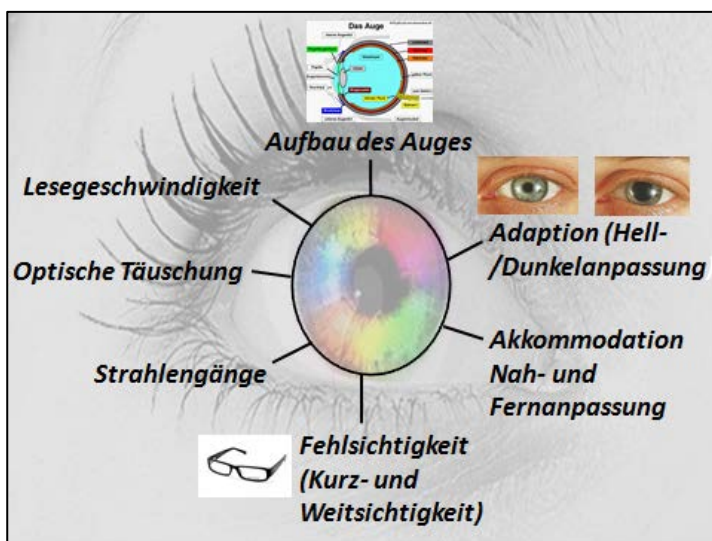
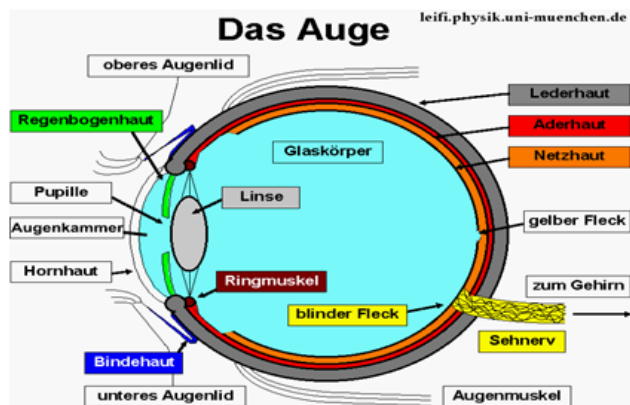
Täuschen wir uns?



Der äußere Aufbau des Auges



Der innere Aufbau des Auges



Das müsst ihr im Schülerlabor
beachten:

- **Sicherheitshinweise**

- **Achtung Laser!** Schaue nie direkt in den Laser! Laserstrahlen können die Netzhaut beschädigen
- Richte niemals den Laserstrahl auf Personen!
- Es wird im Schülerlabor weder gegessen noch getrunken. **Stromschlaggefahr!**

Das müsst ihr im Schülerlabor
beachten:

- Arbeitet als Gruppe selbstständig.
- Arbeitet zügig! Es gibt interessante Zusatzstationen.
- Bei Fragen stehen die Betreuer gerne zur Verfügung.

Ablauf

- Fülle das Deckblatt Deines Arbeitsheft aus.
- Lies die Versuchsanleitungen sorgfältig durch.
- Beachte den vorgegebenen Ablaufplan der Stationen
- Es gibt 8 verschiedene Pflichtstationen + 2 Wahlpflichtstationen

Ablauf

Ablaufplan der Stationen	
Gruppe 1	Station 1 → Station 2 → Station 3 → Station 4 → Station 5 → Station 6 → Station 7 → Station 8
Gruppe 2	Station 2 → Station 3 → Station 4 → Station 5 → Station 6 → Station 7 → Station 8 → Station 1
Gruppe 3	Station 3 → Station 4 → Station 5 → Station 6 → Station 7 → Station 8 → Station 1 → Station 2
Gruppe 4	Station 4 → Station 5 → Station 6 → Station 7 → Station 8 → Station 1 → Station 2 → Station 3
Gruppe 5	Station 5 → Station 6 → Station 7 → Station 8 → Station 1 → Station 2 → Station 3 → Station 4
Gruppe 6	Station 6 → Station 7 → Station 8 → Station 1 → Station 2 → Station 3 → Station 4 → Station 5

Zeitplan

Uhrzeit	Station
9:00 – 9:30	Einführungsvortrag und Einteilung der Gruppen
9:30 – 9:55	Station 1: Wie schnell kannst lesen?
9:55 – 10:20	Station 2: Der Aufbau des menschlichen Auges
10:20 – 10:45	Station 3: Wie verändert sich der Pupillengröße bei Belichtung und im Dunkeln
10:45 – 11:10	Station 4: Wie sehen wir verschieden weit entfernte Dinge scharf?
11:10 – 11:35	Pause
11:35 – 12:00	Station 5: Blenden engen das Licht ein
12:00 – 12:25	Station 6: Wie entsteht das Bild auf der Netzhaut?
12:25 – 12:50	Station 7: Der blinde Fleck und der Netzhaut
12:50 – 13:15	Station 8: Strahlengänge und Fehlsichtigkeit
13:15 – 13:35	Abschlussvortrag + Fragebogenausfüllen



Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt am Main

Wir wünschen euch
viel Spaß und Erfolg
beim
Experimentieren!

II. Schülerarbeitsheft



Goethe
SchülerLabor

zum Thema Auge und Sehen

Dieses Heft gehört:

Herzlich Willkommen im Goethe-Schülerlabor!
Wir wünschen dir viel Spaß und gutes Lernen beim Experimentieren.

Damit alles gut klappt und du genügend Zeit an den Experimentierstationen hast, solltest du den **Ablaufplan** für den heutigen Thementag beachten:

Begrüßung und Einführung

Experimentieren an Stationen – 1. Teil

Pause

Experimentieren an Stationen – 2. Teil

Abschlussrunde

Die **Beschreibungen und Experimentieranleitungen** zu den verschiedenen Versuchen findest du auf den nächsten Seiten dieses Heftes. Bitte lese dir diese jeweils gründlich durch, bevor du mit einem Versuch beginnst. An den Experimentierstationen wirst du von Mitarbeitern-/Innen betreut, die dir außerdem Fragen beantworten und deren Anweisungen du unbedingt befolgen musst!

Alles klar? Für Fragen steht dir jederzeit
Das Goethe-Schülerlabor Team bereit!



Skript zum Schülerlabortag
Ihssan Ghanem

Laufzettel für die Stationen

In der Übersicht findest du alle Stationen, die du im Schülerlabor bearbeiten kannst. Wenn du eine Station beendet hast, kreuze dies in der mittleren Spalte der Tabelle an.

Du bearbeitest die Reihenfolge der Stationen entsprechend deiner Gruppenzuteilung.

Ablaufplan der Stationen	
Gruppe 1	Station 1 → Station 2 → Station 3 → Station 4 → Station 5 → Station 6 → Station 7 → Station 8
Gruppe 2	Station 2 → Station 3 → Station 4 → Station 5 → Station 6 → Station 7 → Station 8 → Station 1
Gruppe 3	Station 3 → Station 4 → Station 5 → Station 6 → Station 7 → Station 8 → Station 1 → Station 2
Gruppe 4	Station 4 → Station 5 → Station 6 → Station 7 → Station 8 → Station 1 → Station 2 → Station 3
Gruppe 5	Station 5 → Station 6 → Station 7 → Station 8 → Station 1 → Station 2 → Station 3 → Station 4
Gruppe 6	Station 6 → Station 7 → Station 8 → Station 1 → Station 2 → Station 3 → Station 4 → Station 5

Pflichtstationen

Bearbeitet Seite

Station 1 Wie schnell kannst du lesen?	0	4
Station 2 Der Aufbau des menschlichen Auges	0	5
Station 3 Wie verändert sich die Pupillengröße bei Belichtung und im Dunkeln?	0	7
Station 4 Wie sehen wir verschieden weit entfernte Dinge scharf?	0	10
Station 5 Blenden engen das Licht ein	0	12
Station 6 Wie entsteht das Bild auf der Netzhaut?	0	13
Station 7 Der blinde Fleck und der Nahpunkt	0	15
Station 8 Strahlengänge und Fehlsichtigkeit	0	17

Wahlpflichtstationen

Wahlpflichtstation 1 Optische Täuschungen	0	20
Wahlpflichtstation 2 Linsen befinden sich nicht nur in unseren Augen	0	21

Station 1: Wie schnell kannst du lesen?

Du brauchst:

Geräte

- Cobra4 Wireless Manager
- Cobra4 Sensor-Unit Electrophysiology
- drei farbige Einzelmessleitungen
- Einwegelektroden
- Krokodilklemmen für Einwegelektroden
- Laptop mit Software Measure für Cobra4
- Küchenrolle
- einen Text
- Informationskarte

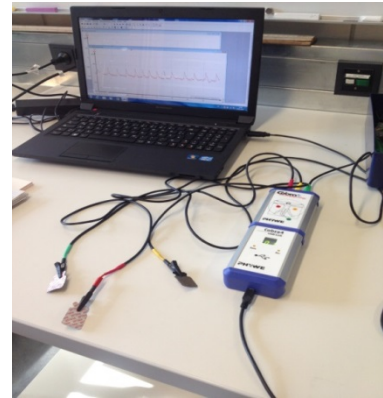


Abbildung: Versuchsaufbau

Durchführung:

- 1) Einigt Euch, wem aus der Gruppe die Elektroden angelegt werden. Damit die Elektrode kleben bleibt, solltest du deine Stirn und die Stellen rechts und links neben dem Auge mit einem Taschentuch abreiben.
- 2) Schließe die farbigen Einzelmessleitungen mit den farbigen Krokodilklemmen an die Elektroden an: Die gelbe Krokodilklemme an die Elektrode oberhalb der Nase auf der Stirn.

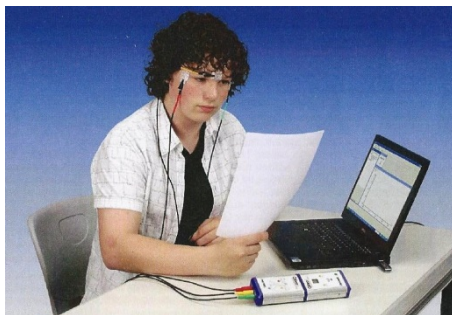


Abbildung: Versuchsdurchführung

- 3) Schließe die rote Krokodilklemme an die Elektrode neben dem rechten Auge an und die grüne Klemme an die Elektrode neben dem linken Auge der Versuchsperson (siehe Abbildung).
- 4) Die Versuchsperson setzt sich in entspannter Lesehaltung auf einen Stuhl.
- 5) Starte am PC die Messwertaufnahme ● in measure. Die Versuchsperson liest nun **stumm** (möglichst ohne Lippenbewegungen) mehrere Zeilen eines Textes.
- 6) Beende die Messung und klicke auf „OK“ zur weiteren Datenbearbeitung.

Aufgaben:

- 1) Lies mehrere Zeilen eines Textes und betrachte die Messergebnisse.
- 2) Lies dir die Informationskarte durch und zähle, wie viele „kleine“ Sakkaden deine Augen im Durchschnitt beim Lesen machen. Notiere die Zahl.



- 3) Wie viele Zeilen hast du im Durchschnitt pro Minute lesen können?

Station 2: Der Aufbau des menschlichen Auges

Information:

An dieser Station lernst du den Aufbau des menschlichen Auges kennen.

Du brauchst:

Geräte

- ein Augenmodell
- eine Informationskarte

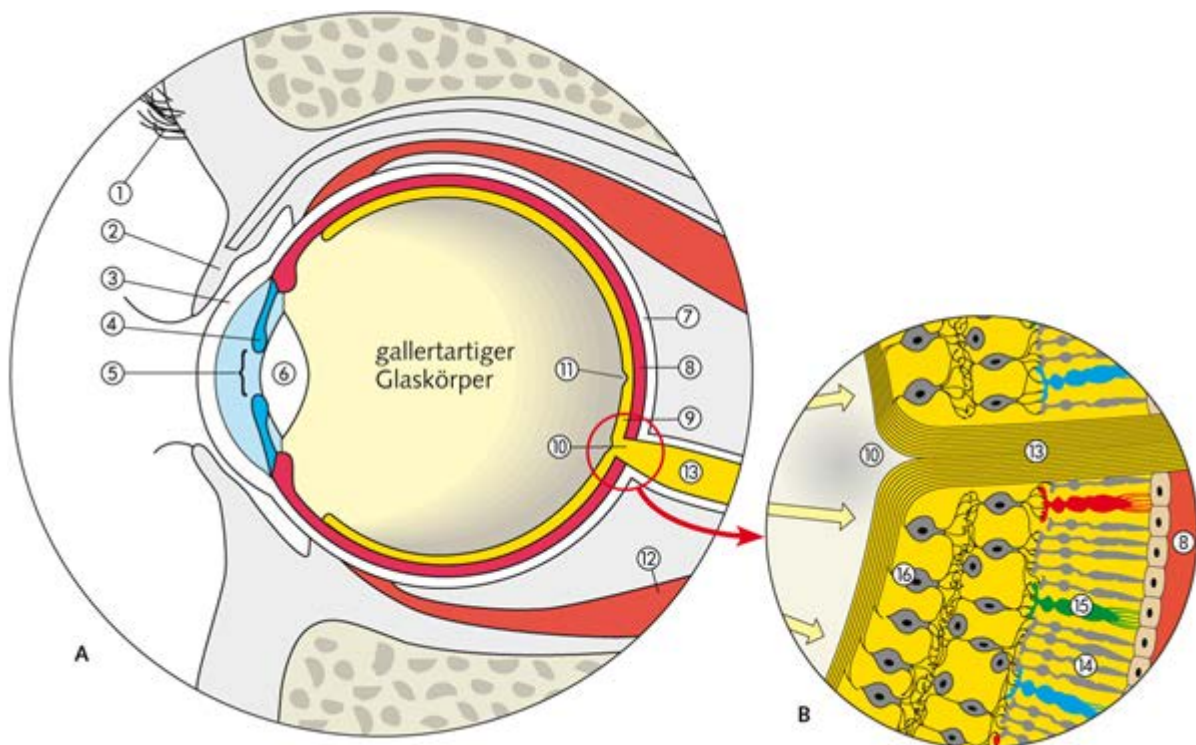


Abbildung: Augenmodell



Durchführung:

- 1) Betrachte das Augenmodell und ordne die Kärtchen mit den Bezeichnungen der Augenteile und deren Funktion am Augenmodell richtig zu. Solltest du nicht mehr weiter wissen, dann nimm dir die Infokarte zur Hilfe.
- 2) Trage die Bestandteile des Auges und ihre jeweilige Funktion in die Tabelle ein.



Nr.	Teil des Auges	Funktion
1		
2		
3		
4		
5		

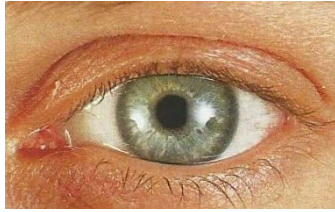
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		

**Aufgaben:**

- 1) Benenne die Teile des Auges, die zum so genannten optischen Apparat gezählt werden. Das sind die Teile, durch die das Licht im Auge bis zur Netzhaut geleitet wird. Beginne mit der Hornhaut.

Station 3: Wie verändert sich die Pupillengröße bei Belichtung und im Dunkeln?

Information: Vielleicht hast du dich schon einmal gefragt, weshalb die Pupillengröße variieren kann. Die Pupillengröße verändert sich je nachdem, wie hell es ist. An dieser Station könnt ihr anhand von Versuchen, welchen Einfluss das Licht auf die Pupillengröße hat.



A: _____



B: _____

Abbildung: Die Pupillenreaktion

Versuchsteil 1: Die Pupillenreaktion

Du brauchst:

Geräte

- ein Geodreieck oder ein Lineal



Durchführung:

Führt diesen Versuch in Partnerarbeit durch! Einigt euch vorher, wer die Versuchsperson ist.

- 1) Die Versuchsperson blickt mit beiden geöffneten Augen in Richtung Fenster. Der Partner misst vorsichtig mit dem Geodreieck den Durchmesser der Pupillen (in mm). Tragt die Ergebnisse in die Tabelle unten ein.
- 2) Die Versuchsperson blickt nun weiterhin zum Fenster und hält sich dabei für etwa 1 Minute beide Augen zu. Der Partner oder die Partnerin achtet auf die Zeit und beobachtet die Pupillen, wenn die Versuchsperson ihre Hände anschließend ruckartig entfernt. Trage das Ergebnis in die Tabelle ein.

Beobachtung:

Versuche	Pupillendurchmesser [mm]	Beobachtungen
a) Blick mit beiden Augen in Richtung Fenster		
b) Blick in Richtung Fenster nach einminütigem Augenschließen.		



Aufgaben:

- 1) Beschrifte die obige Abbildung mit den Begriffen Hellreaktion und Dunkelreaktion.

- 2) Welche Folgerungen könnt ihr aus dem Versuch ziehen? Ergänzt dazu den folgenden Lückentext mit folgenden Begriffen: **wenig, Adaption, weiten, viel, kleiner**

Je weniger Licht auf die Augen trifft, desto stärker _____ sich die Pupillen. Je heller es also in einem Raum ist, desto _____ sind die Pupillen. Dadurch können wir auch bei Dunkelheit gut sehen. Durch den Vorgang der _____ passen sich die Pupillen den gegebenen Lichtverhältnissen an. Dadurch wird gewährleistet, dass nicht zu _____ und nicht zu _____ Licht in die Augen fällt: Wir sehen gut und Augenschäden werden weitgehend vermieden.

Versuchsteil 2: Wie verändert sich die Pupille bei Belichtung und im Dunkeln?

Information:

Jetzt kannst du dir an einem Modell verdeutlichen, warum sich die Pupille bei Belichtung und im Dunkeln verändert. An der Pupillenreaktion sind zwei Muskeln beteiligt, die sich in der Regenbogenhaut (Iris) des Auges befinden.

Du brauchst:

Geräte

- ein Pupillenmodell
- ein Geodreieck oder ein Lineal

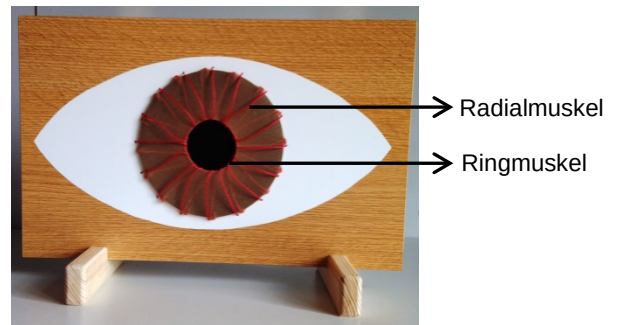


Abbildung: Pupillenmodell

Durchführung:

- 1) Betrachte das Pupillenmodell.
Wo ist im Modell die Pupille dargestellt? Wie ist die Regenbogenhaut im Modell dargestellt? Miss den Durchmesser der Pupille mit dem Lineal und notiere den Wert in cm.

- 2) Ziehe **gleichmäßig** auf der Rückseite an den roten Strängen (Vermeide den schrägen Zug!). Betrachte dabei ganz genau die Pupille und miss erneut den Durchmesser der Pupille mit dem Lineal. Notiere den Wert in cm. So sieht die Pupille bei geringem Lichteinfall aus.

**Aufgaben:**

- 1) Beantworte die oben stehende Stationsfrage, indem du den Lückentext ergänzt. Nimm dazu die nebenstehende Abbildung und das Pupillenmodell zur Hilfe.

Regenbogenhaut, Radialmuskel, Ringmuskel, Pupillenreaktion

An der Regulation der Pupillenweite sind zwei Muskeln beteiligt:

der _____ und

der _____. Diese Muskeln

befinden sich in der _____.

Die _____ können wir nicht beeinflussen.

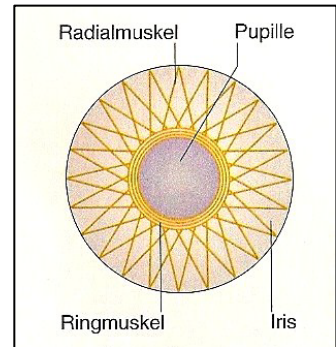


Abbildung: Die Pupillenreaktion

Station 4: Wie sehen wir verschieden weit entfernte Dinge scharf?

Versuchsteil 1:

Du brauchst:

Geräte

- einen Bleistift



Durchführung:

- 1) Setze dich auf einen Stuhl etwa 2 m vor ein Fenster und blicke in Richtung Fenster. Halte einen Bleistift mit der Bleistiftspitze etwa 30 cm vor dein Gesicht und fixiere die Bleistiftspitze.
- 2) Fixiere dann den Fensterrahmen und versuche anschließend, gleichzeitig die Bleistiftspitze und den Fensterrahmen scharf zu sehen. Was stellst du fest?

Beobachtung:

- 1) Notiere deine Beobachtung.

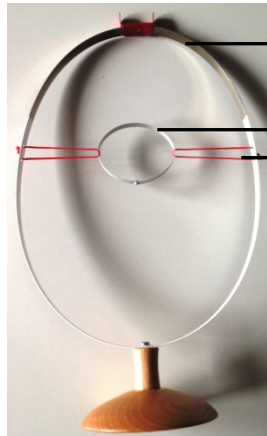
Versuchsteil 2:

Nun sollst du dir an einem Modell verdeutlichen, was im Auge passiert, wenn wir Dinge in der Nähe oder Dinge in der Ferne betrachten.

Du brauchst:

Geräte:

- ein Akkommodationsmodell



Ringmuskel

Linse

Linsenbänder

Abbildung: Akkommodationsmodell



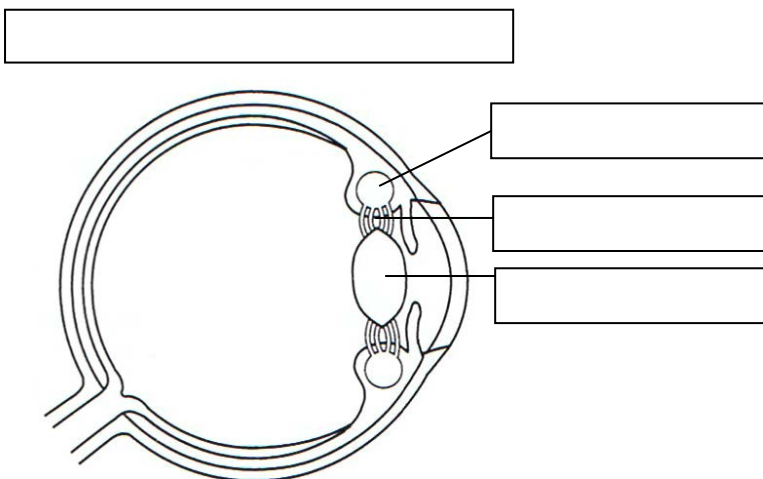
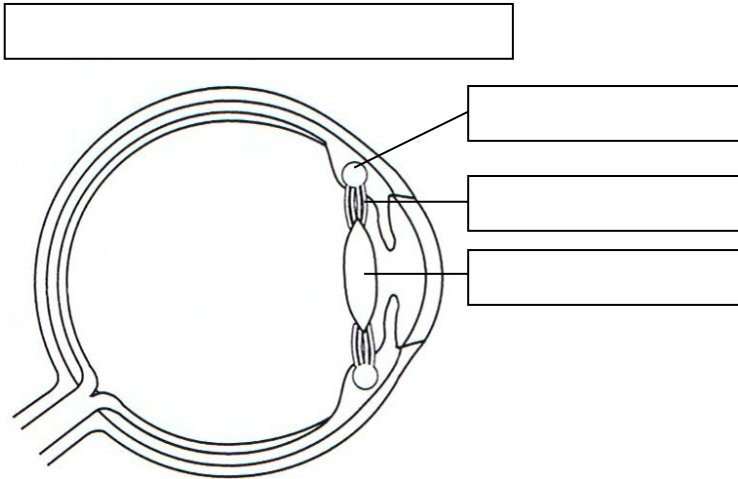
Durchführung:

- 1) Zuerst sollst du herausfinden, wie sich die Linse bei **Nahsicht** verhält: Ziehe dazu die zwei roten Ringe des Modells bis zu den weißen Grenzflächen auseinander. Notiere deine Beobachtung.

- 2) Schiebe nun die zwei roten Ringe zusammen. So verhält sich die Linse bei **Fernsicht**. Der „Ringmuskel“ ist jetzt gestreckt. Notiere erneut deine Beobachtung.

Aufgaben:

- 1) Beschrifte die Skizzen mit den Begriffen: Linse, Linsenbänder, Ringmuskel, Naheinstellung und Ferneinstellung.



- 2) Setze die Wörter in den Lückentext ein!

- Linse – scharf – entspannt – entfernte – Akkommodation – Linse – Ringmuskel – scharf – entspannt – gespannt – unscharf

Bei Nahsicht ist der _____ angespannt. Dadurch sind die Linsenbänder _____. Die _____ wölbt sich. Der nahe Gegenstand wird _____ auf der Netzhaut abgebildet. _____ Gegenstände werden unscharf gesehen.

Bei Fernsicht _____ sich der Ringmuskel. Dadurch werden die Linsenbänder _____. Die _____ flacht ab. Entfernte Gegenstände werden _____, nahe Gegenstände werden _____ auf der Netzhaut abgebildet. Diese Anpassungsleistung des Auges nennt man _____.

Station 5: Blenden engen das Licht ein Du brauchst:

Geräte

- eine optische Bank
- 3 Lochblenden
- eine Strahlungsquelle
- einen Schirm



Durchführung:

- 1) Stelle drei Blenden nacheinander zwischen eine Strahlungsquelle und einen Schirm (siehe Abbildung).
- 2) Verändere nacheinander die Lochgröße der Blenden und betrachte den Lichtfleck auf dem Schirm.



Abbildung: Versuchsaufbau



Aufgaben:

- 1) Beschreibe, wie sich der Lichtfleck auf dem Schirm jeweils verändert.

- 2) Übertrage diesen Modellversuch auf das menschliche Auge. Vergleiche dazu den Versuchsaufbau mit dem Augenmodell aus Station 2.
 - Womit kann man den Schirm vergleichen?
 - Was symbolisiert die Lochblende?

Schirm = _____

Lochblende = _____

- 1) Benenne den Bestandteil des menschlichen Auges, der die Blendenfunktion übernimmt.

- 2) Warum ist es wichtig, dass unsere Augen eine Blendenfunktion besitzen.

Station 6: Wie entsteht das Bild auf der Netzhaut?

Information: Für uns Menschen ist das Auge ein Sinnesorgan von besonderer Bedeutung. Wir können mit unseren Augen unsere Umwelt wahrnehmen und uns orientieren. Wie mit einer Kamera nehmen unsere Augen Bilder auf. An dieser Station könnt ihr nachvollziehen, wie Bilder in unseren Augen entstehen und wie sie weiterverarbeitet werden.

Du brauchst:

Geräte

- eine Linse
- eine Kerze
- einen Schirm
- eine optische Bank



Abbildung: Versuchsaufbau

Linse

g

b

Schirm
 m

optische
Bank

Durchführung:

- 1) Baue das in der Abbildung dargestellte Experiment auf. Beginne mit der Gegenstandsweite $g = 30$ cm. Die Gegenstandsweite ist der Abstand zwischen der Kerze und der Linse.
- 2) Suche mit dem Schirm die Stellung hinter der Linse, in der auf ihm ein scharfes Bild der Kerzenflamme entsteht. Blase die Flamme an und beschreibe das Bild genau!

- 3) Schiebe nun die Kerze näher an die Linse und wiederhole das Experiment! **Denke daran, dass du das Bild durch Verschieben des Schirmes neu scharf einstellst!** Was ist mit dem Bild geschehen?

- 4) Finde die Kerzenposition heraus, in der das **scharfe** Bild der Kerzenflamme genauso groß ist wie die Flamme selbst! Vergleiche Gegenstandsweite g und die Bildweite b . Die Bildweite ist der Abstand zwischen der Linse und dem Schirm.

- 5) Schiebe nun die Kerze näher zur Linse und suche erneut ein **scharfes** Bild! Wie hat es sich verändert?

- 6) Gibt es eine Grenze für die Gegenstandsweite g , unterhalb der keine scharfe Abbildung auf dem Schirm mehr möglich ist? Lies den Abstand auf dem Lineal ab und notiere den Wert.

**Aufgaben:**

- 1) Vergleiche Deinen Versuchsaufbau von Versuch 2 mit dem Augenmodell. Kannst Du einen Zusammenhang zwischen den beiden herstellen? Welche Teile des Auges entsprechen den Teilen aus Versuch 2?

Schirm = _____

Linse = _____

Bildweite (Abstand zwischen Linse und Schirm) = _____

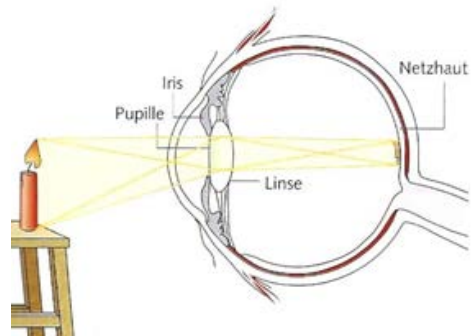


Abbildung: Vergleich zwischen dem Modellversuch und dem menschlichen Auge

- 2) Was ist beim Auge festgelegt: Gegenstands- oder Bildweite?

Station 7: Der blinde Fleck und der Nahpunkt

Lies dir zu Beginn die Infokarte zum Augenfunktionsmodell genau durch!

Versuchsteil 1:

Du brauchst:

Geräte

- Abbildung mit Stern und Kreis



Durchführung:

- 1) Halte die Abbildung mit dem Stern und dem Kreis mit ausgestreckten Armen vor dein Gesicht.
- 2) Fixiere mit dem linken Auge den Kreis und schließe dein rechtes Auge.
- 3) Nähere die Abbildung nun langsam deinem Gesicht und fixiere mit dem linken Auge weiterhin den Kreis. Achte darauf, was mit dem Stern passiert, wenn du weiterhin den Kreis mit dem linken Auge fixierst. Was stellst du fest?

Beobachtung:

Notiere deine Beobachtung.

Versuchsteil 2:

Du brauchst:

Geräte

- ein Augenfunktionsmodell
- zwei Glühlampen
- eine Karte mit gelbem und schwarzem Kreis
- ein Lineal

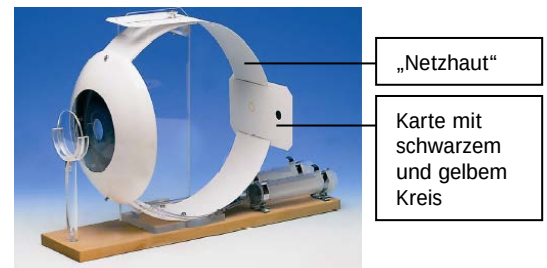


Abbildung: Versuchsaufbau



Durchführung:

- 1) Positioniere die Karte mit dem gelben und dem schwarzen Kreis am Augenfunktionsmodell wie in der Abbildung oben dargestellt.
- 2) Ordne zwei gleiche Glühlampen horizontal nebeneinander an (siehe Abbildung rechts). Der Abstand der beiden Glühlampen soll ca. 20 cm betragen.
- 3) Der Abstand vom Augenmodell zur Lichtquelle soll ca. 1 Meter betragen.
- 4) Stelle die Abbildung der beiden Lampen auf der "Netzhaut" scharf ein. Lass dir dabei vom Betreuer helfen.
- 5) Bewege nun das Modell in Richtung Lampen und beobachte dabei die Abbildungen auf der "Netzhaut". Die Abbildung der linken Lampe soll dabei stets auf den "gelben Fleck" (gelber Kreis) fallen.
- 6) In einer bestimmten Entfernung ist zu beobachten, dass die Abbildung der rechten Lampe auf die schwarze Kreisfläche fällt. Diese stellt den sog. "blinden Fleck" des Auges dar. Es ist die Netzhautstelle, die keine Sehzellen besitzt, da dort der Sehnerv austritt. In der Wirklichkeit könnte also in dieser Stellung, die rechte Lampe nicht wahrgenommen werden.



Beobachtung:

Notiere die Entfernung an der die Abbildung der rechten Lampe auf die schwarze Kreisfläche fällt.

**Aufgaben:**

- 1) Erkläre mithilfe des Versuchsteils 2 deine Beobachtung aus dem Versuchsteil 1.
-
-

Versuchsteil 3:**Du brauchst:****Geräte**

- einen Bleistift
- ein Lineal

**Durchführung:**

Hinweis: Führt den Versuch in Partnerarbeit durch. Wechselt bei dem Versuch die Rollen, um für beide Partner bzw. Partnerinnen Messwerte zu ermitteln.

- 1) Die Versuchsperson hält einen Bleistift (Spitze nach oben) mit ausgestrecktem Arm. Sie fixiert zunächst mit beiden Augen die Bleistiftspitze und schließt dann ein Auge.
- 2) Die Versuchsperson fixiert weiterhin die Bleistiftspitze mit einem Auge und führt nun den Bleistift langsam so nah an das Auge heran, bis sie ihn gerade noch scharf sieht.
- 3) In dieser Position misst der Partner oder die Partnerin möglichst genau den Abstand von der Hornhaut bis zum Bleistift.
- 4) Notiert den Wert und wiederholt den Versuch zwei weitere Male. Berechnet dann den Mittelwert. Dieser Wert ist die Nahpunktentfernung für scharfes Sehen.

Beobachtung:

Name der Versuchsperson	1. Wert [cm]	2. Wert [cm]	3. Wert [cm]	Mittelwert [cm] (Nahpunktentfernung)
1)				
2)				

Versuchsteil 4:**Du brauchst:****Geräte**

- ein Augenfunktionsmodell
- eine Lichtquelle
- ein Lineal
- eine Plexiglasscheibe mit Buchstaben

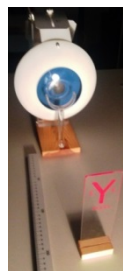


Abbildung: Versuchsaufbau

**Durchführung:**

- 1) Stelle das Augenfunktionsmodell ca. 1 Meter vor der Lichtquelle auf.
- 2) Stelle die mit einem Y versehende Plexiglasscheibe unmittelbar vor die Lichtquelle.
- 3) Bewege die Plexiglasscheibe zum Augenfunktionsmodell hin, bis eine scharfe Abbildung entsteht.
- 4) Dies ist die kürzeste Entfernung, auf die das Auge akkommodieren kann (Nahpunkt).

Beobachtung:

- 1) Notiere die Entfernung in cm.
-

Station 8: Strahlengänge und Fehlsichtigkeit

Lies dir zu Beginn die Infokarte zur Fehlsichtigkeit genau durch!

Du brauchst:

Geräte

- Laser Ray Box
- verschiedene Linsensysteme
- Modell-Abbildung eines Auges
- Magnettafel



Achtung! Schauge niemals direkt in das Laserlicht!



Durchführung:

Versuchsteil 1: Der Strahlengang eines normalsichtigen Auges.

- Befestige die Abbildung des Auges auf der Magnettafel.
- Platziere die Linse **Nr. 1** direkt hinter der Linie O_2 .
- Platziere die Laser Ray Box vor der Abbildung des Auges (siehe Abbildung rechts).
- Schalte die Laser-Ray-Box ein und beobachte den Strahlengang.

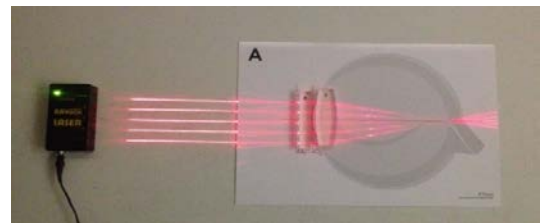
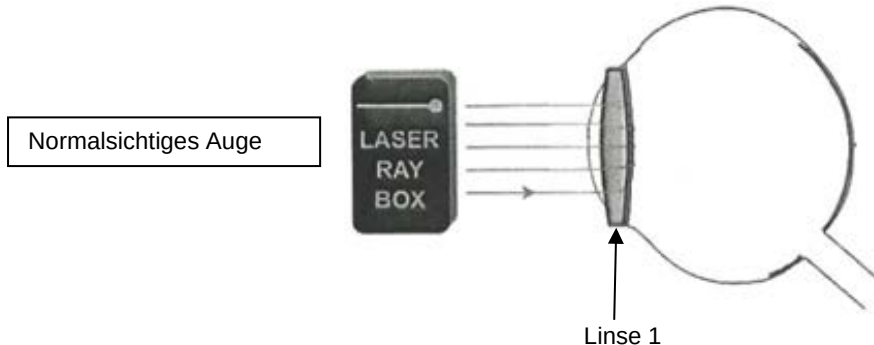


Abbildung: Versuchsaufbau

Beobachtung:

- Zeichne den Strahlengang in die Abbildungen ein:

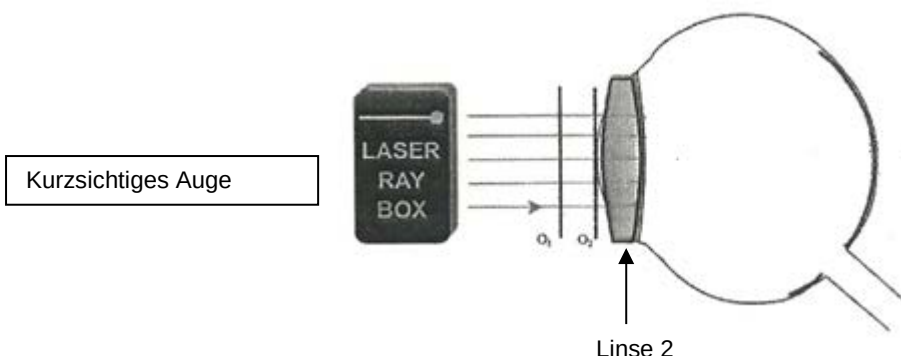


Versuchsteil 2: Der Strahlengang eines kurzsichtigen Auges.

- Platziere die Linse **Nr. 2** direkt hinter der Linie O_2 .
- Schalte die Laser-Ray-Box ein und beobachte den Strahlengang.

Beobachtung:

- Zeichne den Strahlengang in die Abbildungen ein:



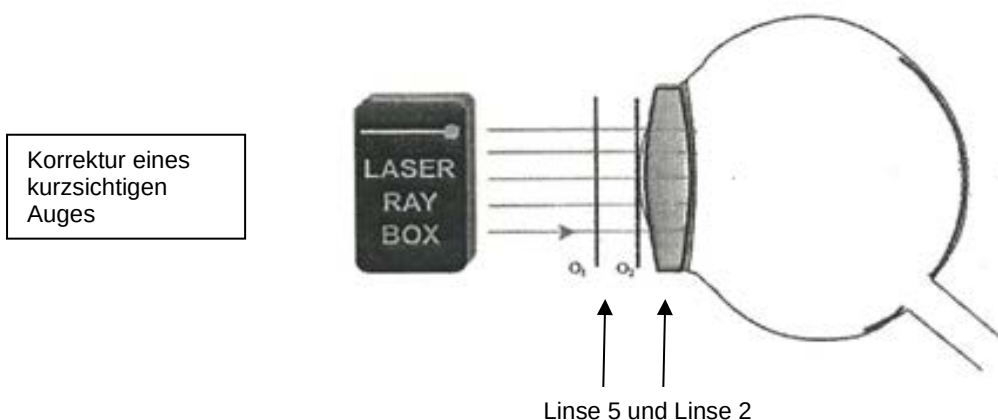
Vergleiche den Strahlengang eines kurzsichtigen Auges mit dem eines normalsichtigen Auges aus Versuchsteil 1. Was stellst du fest?

Versuchsteil 3: Die Korrektur eines kurzsichtigen Auges.

- Platziere jetzt zusätzlich zu Linse **Nr. 2** die Korrektur-Linse **Nr. 5** zwischen die Linie O_1 und O_2 .
- Schalte die Laser-Ray-Box ein und beobachte den Strahlengang.

Beobachtung:

- Zeichne die Korrekturlinse **Nr. 5** und den Strahlengang in die Abbildungen ein:

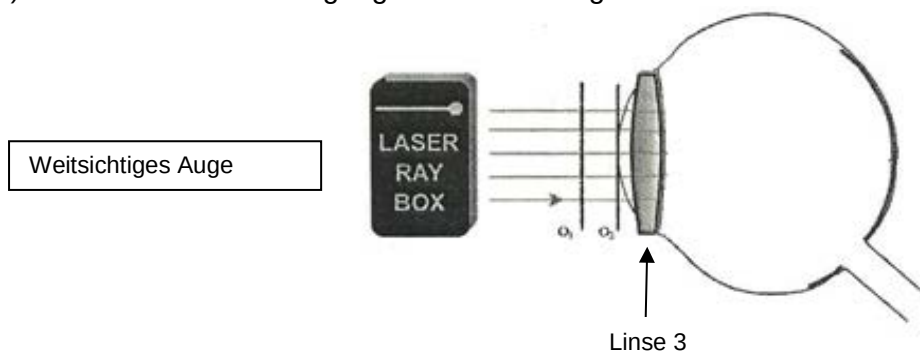


Versuchsteil 4: Der Strahlengang eines weitsichtigen Auges.

- Platziere die Linse **Nr. 3** direkt hinter der Linie O_2 .
- Schalte die Laser-Ray-Box ein und beobachte den Strahlengang.

Beobachtung:

- Zeichne den Strahlengang in die Abbildungen ein:



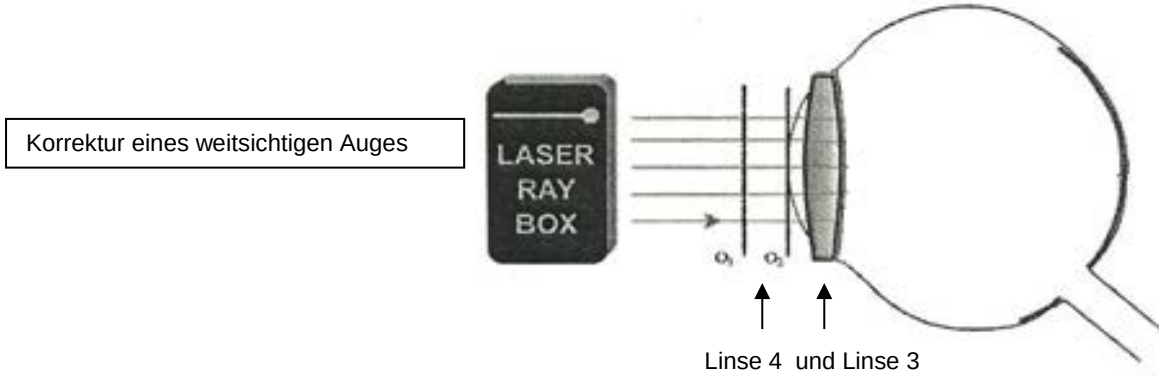
Vergleiche den Strahlengang eines weitsichtigen Auges mit dem eines normalsichtigen Auges aus Versuchsteil 1. Was stellst du fest?

Versuchsteil 5: Korrektur der Weitsichtigkeit.

- a) Platziere jetzt zusätzlich zu Linse **Nr. 3** die Korrektur-Linse **Nr. 4** zwischen die Linie O_1 und O_2 .
- b) Schalte die Laser-Ray-Box ein und beobachte den Strahlengang.

Beobachtung:

- 1) Zeichne die Korrekturlinse Nr. 4 und den Strahlengang in die Abbildungen ein:

 **Aufgaben:**

- 1) Wie verändern sich die Strahlengänge jeweils beim Einsatz der Korrekturlinsen in Versuchsteil 3 und 5?
-

Wahlpflichtstation 1: Optische Täuschung

Du brauchst:



Geräte

- Karten



Durchführung:

- 1) Betrachte die Karten, die an der Station „Optische Täuschungen“ ausliegen.
- 2) Lies dir folgenden Text durch, um herausfinden, wie optische Täuschungen entstehen.

Information: Wie optische Täuschungen entstehen?

- **Umspringbild:** Zwei sich widersprechende Bilder können nicht gleichzeitig gesehen werden. Das Gehirn muss für das eine oder das andere „entscheiden“.
- **Täuschung durch Perspektive:** Im Hintergrund zusammenlaufende Linien deutet das Gehirn als zunehmende Entfernung.
- **„unmögliche Bilder“:** Das Gehirn versucht etwas räumlich Sinnvolles zu erkennen, was es so in der Wirklichkeit gar nicht gibt.
- **Täuschung durch Größenvergleich:** Gleich große Figuren wirken unterschiedlich groß, je nachdem ob direkt benachbarte Figuren größer oder kleiner sind.
- **Täuschung durch die Umgebung:** Kreuzen sich gerade und gewölbte Linien, so erscheinen Geraden Krumm.

Wahlpflichtstation 2: Linsen befinden sich nicht nur in unseren Augen

Information:

Linsen findet man nicht nur in unseren Augen, sondern auch in Alltagsgegenständen. Der folgende Versuch soll dies verdeutlichen.

Du brauchst:

Geräte

- ein zylinderförmiges Glas
- eine Spritzflasche mit Wasser
- eine Linse Brennweite $f = 5\text{ cm}$



Arbeite sorgfältig mit dem Wasser, damit du deinen Arbeitsplatz nicht unter Wasser setzt!



Durchführung:

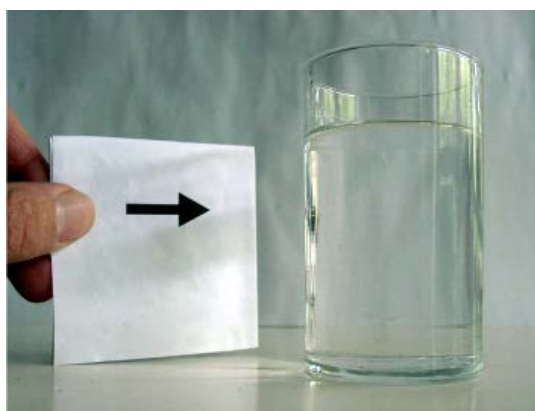


Abbildung: Versuchsaufbau

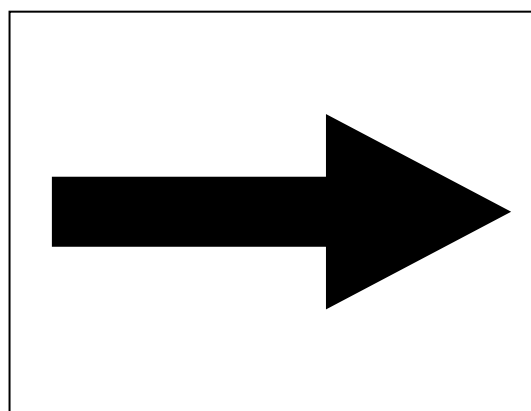


Abbildung: Pfeil zum Experimentieren

- 1) Halte, wie in Abbildung links zu sehen, den Pfeil hinter das Glas und gieße dann Wasser in das Glas!
- 2) Führe den gleichen Versuch mit der Linse durch.

Aufgaben:

- 1) Was beobachtest du? Beschreibe genau!



- 2) Verändere den Abstand zwischen dem Pfeil und dem Glas bzw. der Linse! Beschreibe deine Beobachtung.



Information:

Es hat geregnet! Die Blätter sind bedeckt von Wassertropfen! Was kannst du beobachten, wenn du diese Tropfen näher betrachtest?

Du brauchst:**Geräte**

- ein Glas Wasser
- eine Spritze
- einen Text
- eine Linse Brennweite $f = 5\text{ cm}$



Arbeite sorgfältig mit dem Wasser, damit du deinen Arbeitsplatz nicht unter Wasser setzt!

**Durchführung 2. Teil:**

- 1) Fülle die Spritze mit Wasser und drücke vorsichtig einen möglichst großen Tropfen aus der Spitze.
- 2) Halte zunächst den Tropfen an der Spitze und betrachte den Text durch den Tropfen! Beschreibe deine Beobachtung genau!





Abbildung: Spritze mit Wassertropfen

- 3) Lege den Tropfen auf den Text! Was beobachtest du? Gehe auch auf die Ausrichtung des Textes ein!



- 4) Führe den gleichen Versuch mit der Linse durch. Beschreibe deine Beobachtung.





Goethe
SchülerLabor

zum Thema
Auge und Sehen

Betreuerversion

Inhaltsverzeichnis

Pflichtstationen	Seite
Station 1 Wie schnell kannst du lesen?	3
Station 2 Der Aufbau des menschlichen Auges	7
Station 3 Wie verändert sich die Pupillengröße bei Belichtung und im Dunkeln?	11
Station 4 Wie sehen wir verschieden weit entfernte Dinge scharf?	13
Station 5 Blenden engen das Licht ein	15
Station 6 Wie entsteht das Bild auf der Netzhaut?	16
Station 7 Der blinde Fleck und der Nahpunkt	18
Station 8 Strahlengänge und Fehlsichtigkeit	21
Wahlpflichtstation 1 Optische Täuschungen	25
Wahlpflichtstation 2 Linsen befinden sich nicht nur in unseren Augen	26

Station 1: Wie schnell kannst du lesen?

Du brauchst:

Geräte

- Cobra4 Wireless Manager
- Cobra4 Sensor-Unit Electrophysiology
- drei farbige Einzelmessleitungen
- Einwegelektroden
- Krokodilklemmen für Einwegelektroden
- Laptop mit Software Measure für Cobra4
- Taschentücher

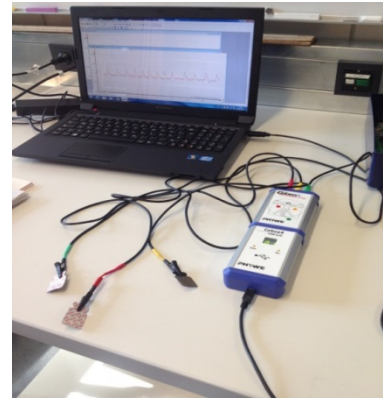


Abbildung: Versuchsaufbau

- Einigt Euch, wem aus der Gruppe die Elektroden angelegt werden. Damit die Elektrode kleben bleibt, solltest du deine Stirn und die Stellen rechts und links neben dem Auge mit einem Taschentuch abreiben.
- Schließe die farbigen Einzelmessleitungen mit den farbigen Krokodilklemmen an die Elektroden an: Die gelbe Krokodilklemme an die Elektrode oberhalb der Nase auf der Stirn.

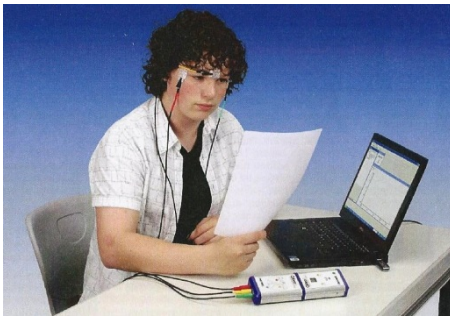


Abbildung: Versuchsdurchführung

- Schließe die rote Krokodilklemme an die Elektrode neben dem rechten Auge an und die grüne Klemme an die Elektrode neben dem linken Auge der Versuchsperson (siehe Abbildung).
- Die Versuchsperson setzt sich in entspannter Lesehaltung auf einen Stuhl.
- Starte am PC die Messwertaufnahme ● in measure. Die Versuchsperson liest nun **stumm** (möglichst ohne Lippenbewegungen) mehrere Zeilen eines Textes.
- Beende die Messung und klicke auf „OK“ zur weiteren Datenbearbeitung.

Aufgaben:

- Lies mehrere Zeilen eines Textes und betrachte die Messergebnisse.
- Lies dir die Informationskarte durch und zähle, wie viele „kleine“ Sakkaden deine Augen im Durchschnitt beim Lesen machen. Notiere die Zahl.

Bei einem geübten Leser sind i.d.R. 5-8 Sakkaden auszumachen.

- Wie viele Zeilen hast du im Durchschnitt pro Minute lesen können?

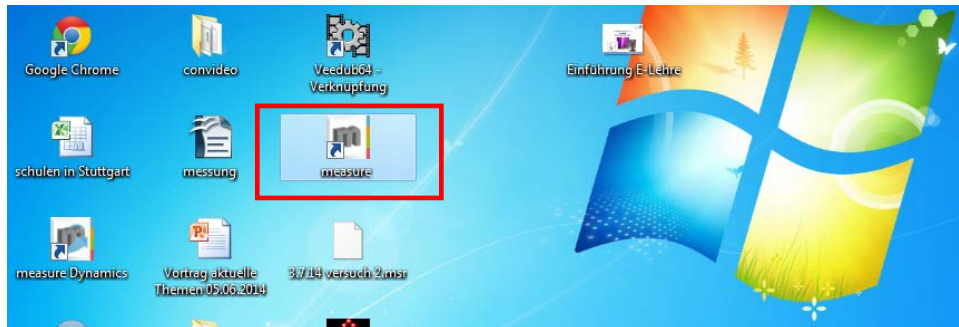
Ein geübter Leser liest ca. 30 Zeilen pro Minuten. Für das Lesen einer Zeile werden durchschnittlich ca. 2 Sekunden benötigt.

Infokarte zu Station 1

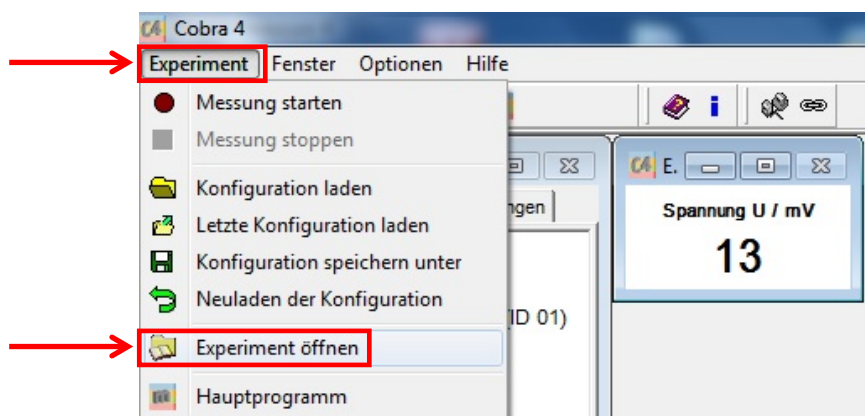
Wie schnell kannst du lesen?

Öffnung des Programms measure auf dem Laptop

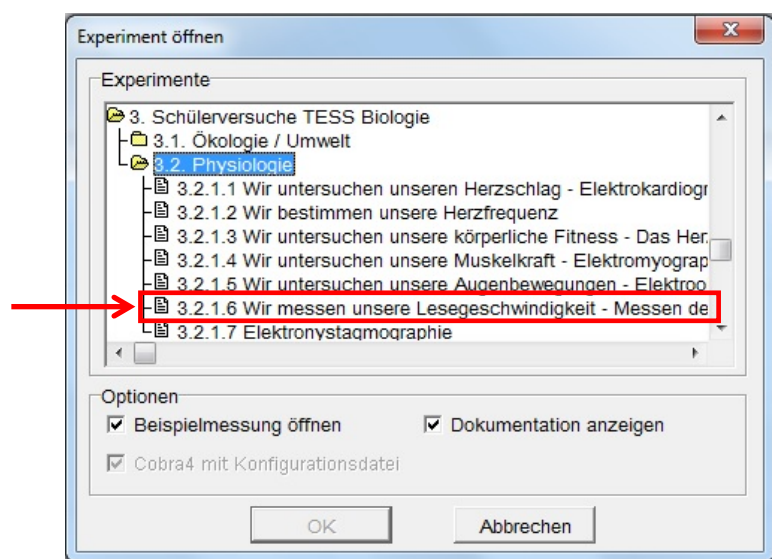
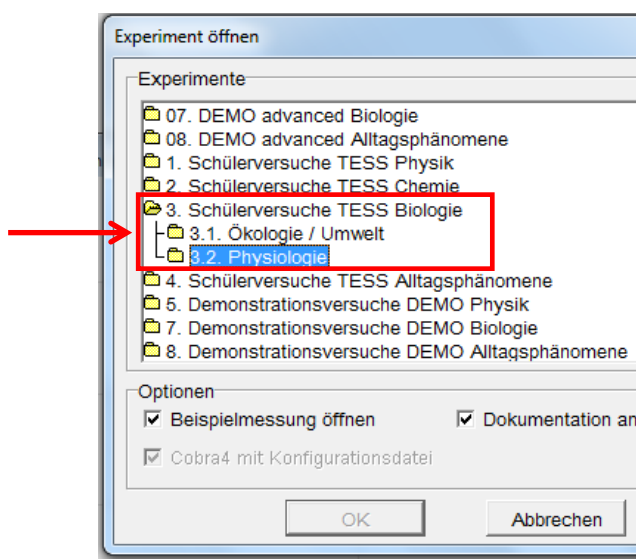
- Öffne das Programm **measure** (siehe rote Markierung in der Abbildung) mit einem Doppelklick.



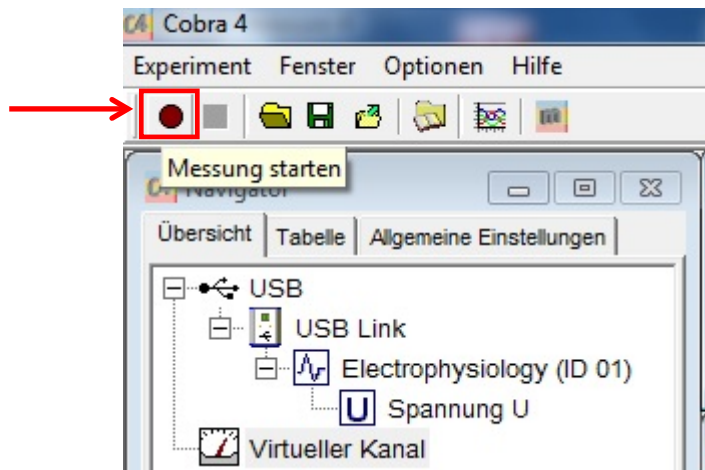
- Klicke dann oben links zunächst auf Experiment und anschließend auf → Experiment öffnen (siehe rote Markierung in der Abbildung)



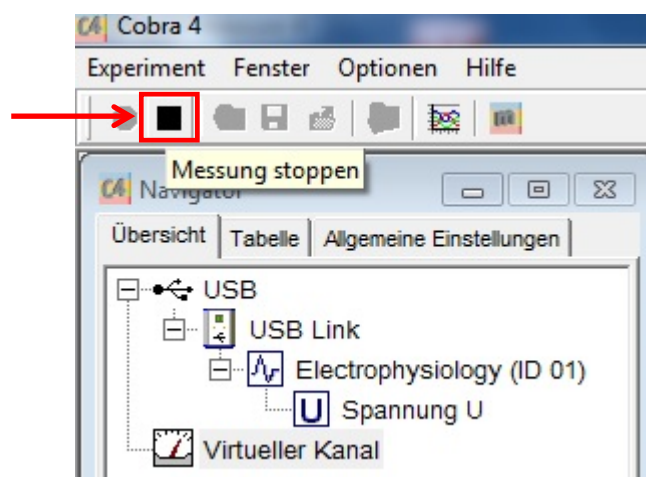
- Nun musst du folgende Ordner nacheinander mit einem Doppelklick öffnen:
3. Schülerversuche TESS Biologie → 3.2 Physiologie → 3.2.1.6 Wir messen unsere Lesegeschwindigkeit



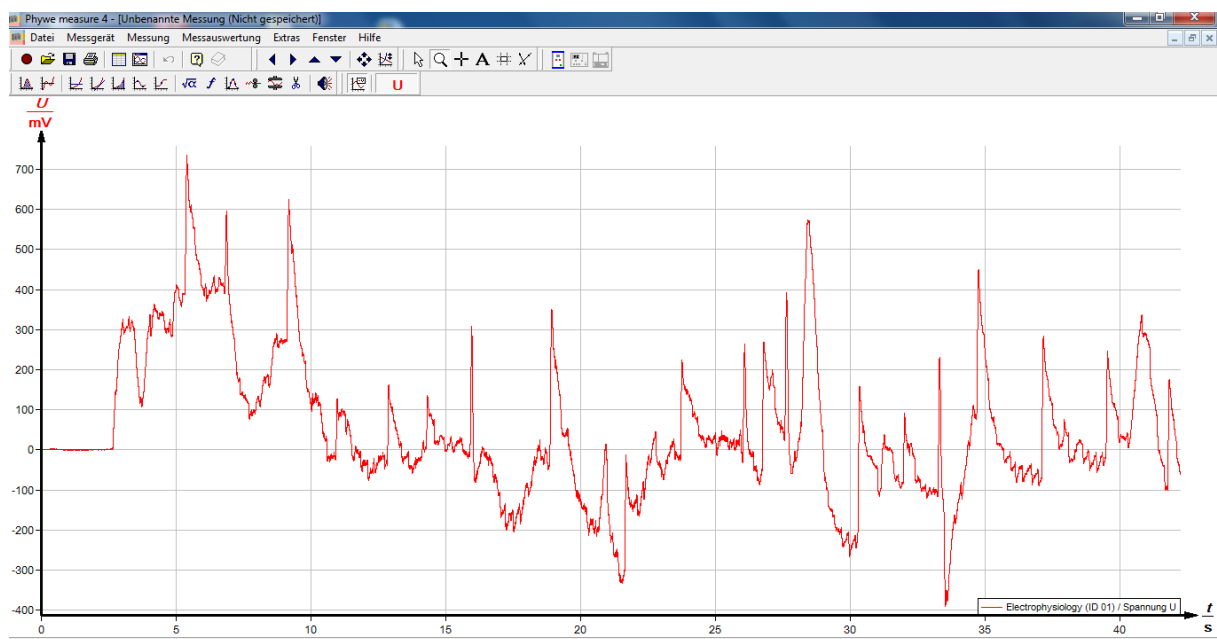
- Wenn die Versuchsperson bereit ist, kann die Messung gestartet werden. Klicke dazu einmal oben links auf den roten Punkt (siehe Abbildung).



- Die Versuchsperson liest nun stumm (und möglichst ohne Lippenbewegungen) mehrere Zeilen des ausliegenden Textes.
- Beende die Messung, indem du oben links auf das Quadrat klickst (siehe Abbildung).

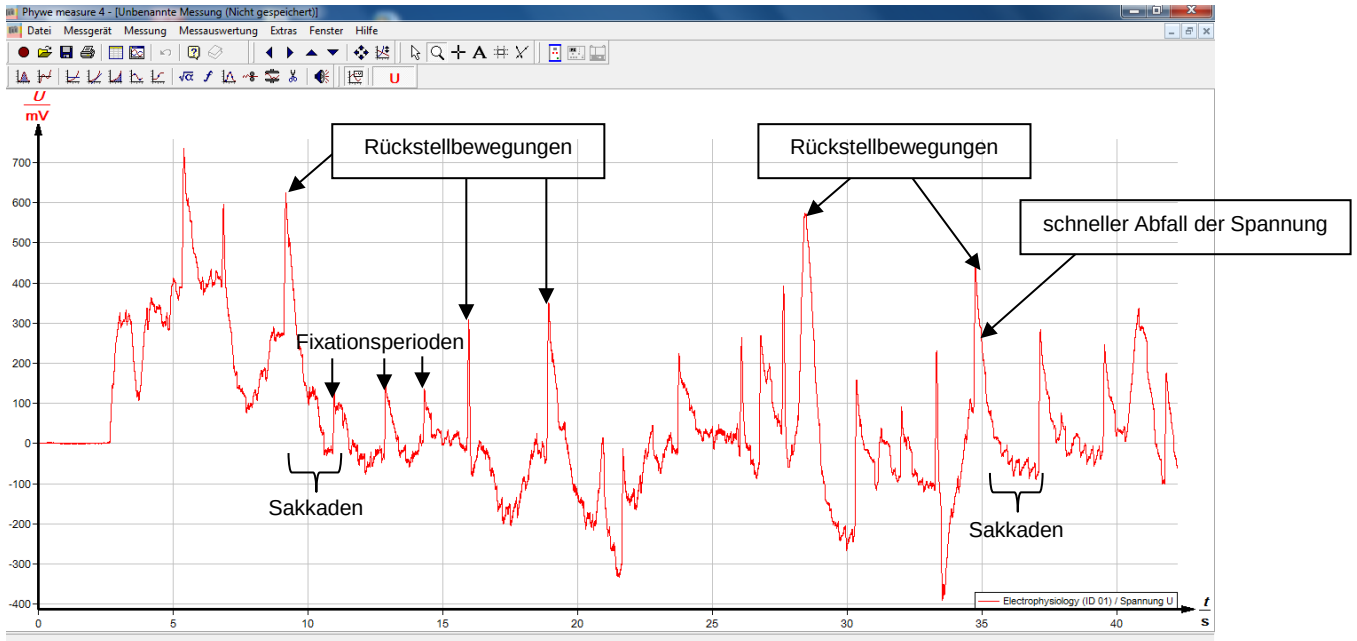


- Klicke anschließend auf „OK“ zur weiteren Datenverarbeitung. Du erhältst nun eine Grafik.



Auswertung der Messung

- Auf der x-Achse der Grafik ist die Zeit in Sekunden $\left[\frac{t}{s}\right]$ aufgetragen. Auf der y-Achse ist die Spannung in Millivolt aufgetragen $\left[\frac{U}{mV}\right]$.
- In der Grafik ist Folgendes zu erkennen: Rückstellbewegungen, Sakkaden und Fixationspunkte.



- Bewegt sich das Auge von einer Zeile zur nächsten, macht das Auge eine so genannte Rückstellbewegung. Die **Rückstellbewegungen** der Augen (Zeilensprung) sind durch hohe Spannungsdifferenzen erkennbar (siehe Abbildung).
- Beim Lesen einer Zeile wechseln schnelle horizontale Augenbewegungen, so genannte **Sakkaden** mit kurzen **Fixationsperioden** ab.
- Eine Sakkade wird durch einen schnellen Abfall der Spannung deutlich (siehe Abbildung). Die Fixationsperioden sind durch einen leichten Anstieg der Spannung im Verlauf zwischen zwei Rückstellbewegungen zu erkennen.
- In den Fixationsperioden hält die Augenbewegung kurz an, wobei mehrere Wörter (meist 1 bis 3) auf einmal wahrgenommen werden.
- Der Abstand zwischen den Sakkaden sagt aus, wie lange sich die Versuchsperson mit einem schwierigen Wort aufgehalten hat.
- Um herauszufinden, wie viele Zeilen in einer Minute gelesen werden können, müssen die Rückstellbewegungen in 60 Sekunden addiert werden.

Text zu Station 1

Es war einmal ein kleines Bergdorf. Dort lebte ein Abenteurer dem die Abenteuer ausgegangen waren. So fragte er die Dorfbewohner ob sie denn nicht doch noch ein Abenteuer wüssten. Doch Niemandem fiel etwas ein. Eines Tages saß der Abenteurer beim Schuster des Dorfes und klagte ihm sein Leid.

"Doch" sagte der Schuster "ich weiß ein Abenteuer."

"Was denn?" fragte der Abenteurer

"Ich glaube es wäre ein Abenteuer im *Meer* zu schwimmen. Ich war zwar noch nie am Meer, und weiß auch nicht wo es ist, aber ich glaube es wäre einen Versuch wert."

"Gut", sagte der Abenteurer, "ich werde mich auf den Weg machen."

"Aber du musst mir versprechen, dass du mir erzählst wie es war", sagte der Schuster.

"Ja" sagte der Abenteurer.

Und so ging los. Er kam durch viele Dörfer und Städte und vorbei an Seen und Ebenen, und traf Händler und Räuber, und schließlich fand er das Meer.

Sofort machte er sich bereit im Meer zu schwimmen. Er stieg hinein und wollte gerade seinen ersten Zug machen, da kam ein großer *Walfisch* vorbei und verschluckte unseren Abenteurer.

So fand sich der Abenteurer im Bauch des Wals wieder und sagte sich:

"Nun gut, wenn ich schon Mal hier bin kann ich's mir auch gemütlich machen".

Doch in diesem Moment verschluckte sich der große Walfisch an einer noch größeren Welle, und als er die Welle wieder ausgespuckt hatte fand sich der Abenteurer am Strand wieder. Er nahm seine sieben Sachen und machte sich auf den Weg in die Berge. Er kam durch viele Dörfer und Städte und vorbei an Seen, und schließlich fand er sein Dorf in den Bergen. Die Menschen kamen auf ihn zu und fragten ihn wie es denn gewesen wäre.

Doch er sagte: "Ich habe dem Schuster versprochen ihm zuerst zu erzählen."

Und er ging in Schusterstube, und der Schuster freute sich ihn zu sehen und fragte:

"Nun, war das Schwimmen im Meer ein Abenteuer?"

"Nein", sagte der Abenteurer, "gerade als ich anfangen wollte verschluckte mich ein großer Walfisch."

Text entnommen aus: <http://www.programmwechsel.de/humor-lustige-witze/geschichten/abenteurer-meer.html> (zuletzt aufgerufen am 03.12.2014)

Station 2: Der Aufbau des menschlichen Auges

Du brauchst:



Geräte

- ein Augenmodell
- eine Informationskarte

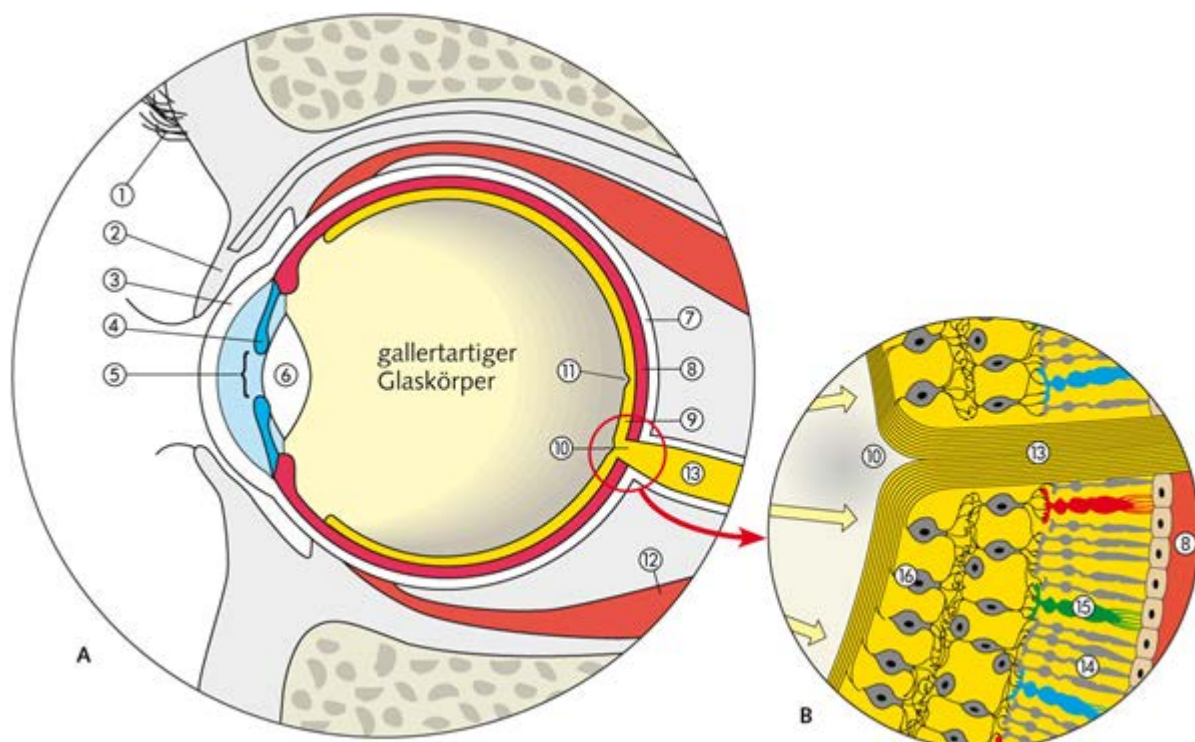


Durchführung:

- 3) Betrachte das Augenmodell und ordne die Kärtchen mit den Bezeichnungen der Augenteile und deren Funktion am Augenmodell richtig zu. Solltest du nicht mehr weiter wissen, dann nimm dir die Infokarte zur Hilfe.
- 4) Trage die Bestandteile des Auges und ihre jeweilige Funktion in die Tabelle ein.



Abbildung: Augenmodell



Nr.	Teil des Auges	Funktion
1	Augenbraue	leitet Regen- und Schweißtropfen ab
2	Augenlid mit Wimpern	schützt vor Licht, Wind, Staub
3	Hornhaut	schützt das Auge und bricht das Licht
4	Iris (Regenbogenhaut)	reguliert den Lichteinfall (Helligkeitsanpassung, Adaptation)
5	Pupille	lässt Licht ins Auge fallen
6	Linse	bricht das Licht, sorgt für ein scharfes Bild
7	Lederhaut	schützt das Auge und gibt ihm die Form
8	Aderhaut	versorgt das Auge mit Sauerstoff und Nährstoffen
9	Netzhaut	enthält die Lichtsinneszellen (Stäbchen und Zapfen), die bei Lichteinfall elektrische Impulse erzeugen
10	Blinder Fleck	Stelle ohne Sinneszellen, da hier der Sehnerv austritt
11	Gelber Fleck	Stelle schärfsten Sehens, Zapfen stehen hier am dichtesten

12	Augenmuskeln	bewegen den Augapfel
13	Sehnerv	leitet Nervenimpulse vom Auge zum Gehirn
14	Stäbchen	Sinneszellen zum Hell-Dunkel-Sehen, sehr lichtempfindlich
15	Zapfen	Sinneszellen zum Farbsehen, weniger lichtempfindlich
16	Nervenzelle	verarbeiten Informationen der Sinneszellen, schicken Nervenimpulse zum Gehirn

Aufgaben:

- 2) Benenne die Teile des Auges, die zum so genannten optischen Apparat gezählt werden. Das sind die Teile, durch die das Licht im Auge bis zur Netzhaut geleitet wird. Beginne mit der Hornhaut.

Hornhaut – vordere Augenkammer – Pupille – Linse - Glaskörper

Infokarte zu Station 2

Der Aufbau des menschlichen Auges

Der äußere Bau des Auges

Nur wenige Teile des Auges sind von außen sichtbar. Im Zentrum erkennt man zunächst einen farbigen Ring. Wenn man von blauen, grünen oder braunen Augen spricht, so ist damit die Farbe dieser Regenbogenhaut, auch **Iris** genannt, gemeint. In ihrer Mitte befindet sich eine dunkle, runde Öffnung, die **Pupille**. Hier dringen Lichtstrahlen ins Auge ein. Durch die Pupille regelt die Iris den Lichteinfall, ähnlich wie eine Blende. Das links und rechts von der Iris sichtbare Weiße des Auges wird von der **Lederhaut** gebildet. Die Lederhaut dient dem Schutz des Auges. An der Vorderseite des Augapfels geht die Lederhaut in die durchsichtige, stark gewölbte Hornhaut über.

Der innere Bau des Auges

Hinter der Pupille befindet sich – von außen unsichtbar – die durchsichtige **Linse**. Durch die Linse wird das Licht gebrochen und weiter geleitet. Das Innere des Augapfels wird vom gallertartigen, ebenfalls durchsichtigen **Glaskörper** ausgefüllt. Die Wand des Augapfels besteht aus drei Schichten. Ganz außen liegt die weiße und feste Lederhaut. Als schützende Kapsel gibt sie dem Auge seine runde Form. Seitlich setzen die sechs Augenmuskeln an. Mit ihnen kann das Auge in alle Richtungen bewegt werden. Die mittlere Schicht nennt man **Aderhaut**. Ihre Blutgefäße versorgen das Auge mit Sauerstoff und Nährstoffen.

Ganz innen, dem einfallenden Licht zugewandt, liegt die **Netzhaut**. Hier sitzen lichtempfindliche Sinneszellen, von denen es zwei Typen mit unterschiedlichen Aufgaben gibt: Die etwa 125 Millionen länglichen und schmalen **Stäbchen** sind darauf spezialisiert, hell und dunkel zu unterscheiden. Sie befinden sich mehr im Randbereich der Netzhaut. Die 5 Millionen kurzen **Zapfen** dienen dem Farbsehen. Im Zentrum der Netzhaut, dem gelben Fleck, befinden sich ausschließlich Zapfen. Hier ist der Ort des schärfsten Sehens. Dort wo der Sehnerv das Auge verlässt, befinden sich keine Sinneszellen. Diese Stelle wird deshalb **blinder Fleck** genannt.

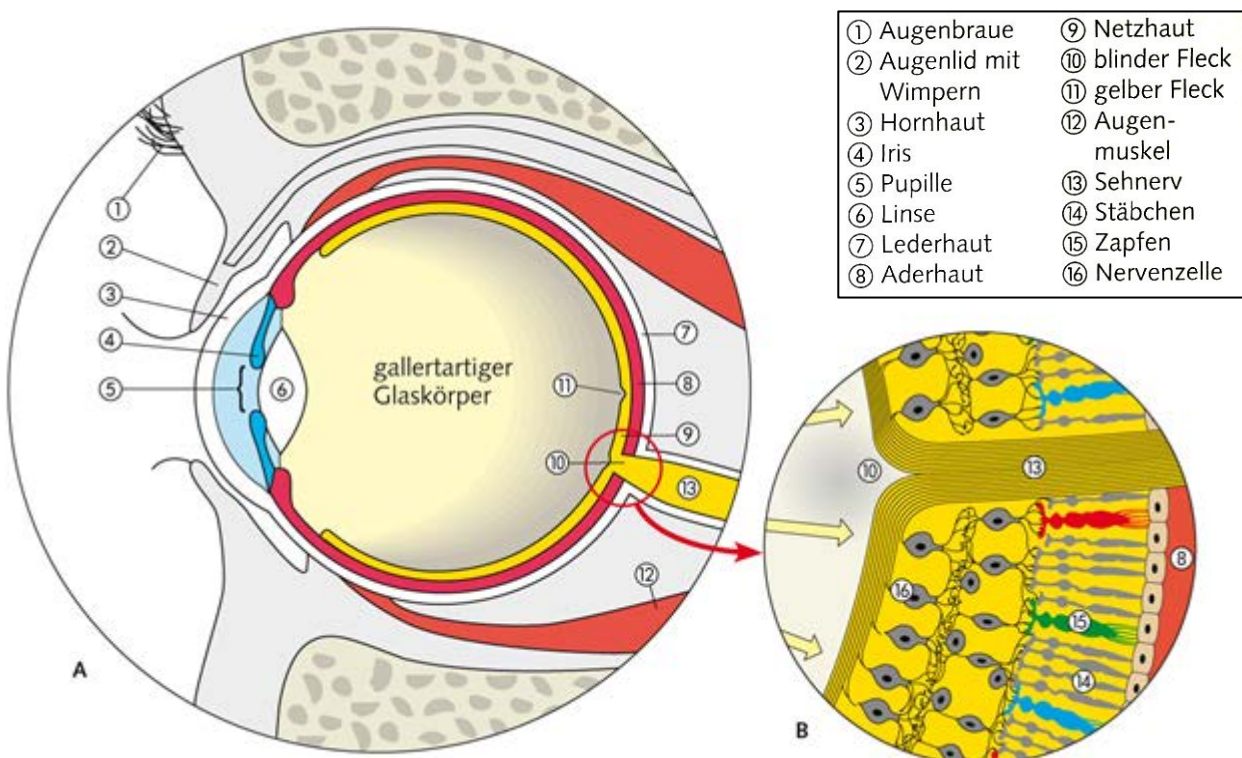


Abbildung: Aufbau des Auges. A Längsschnitt ; B Netzhaut

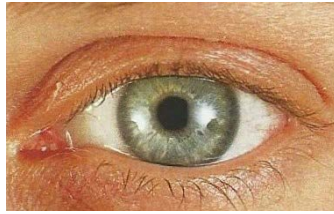
Kärtchen zum Augenmodell

blinder Fleck	Stelle, an welcher der Sehnerv aus der Netzhaut austritt.
Glaskörper	Elastischer, durchsichtiger Körper, durch den das Licht gebrochen und geleitet wird.
Iris	Augenblende, die den Lichteinfall reguliert.
Ringmuskel	Muskel zur Regulierung der Nah- und Ferneinstellung (Nah- und Fernakkommodation) des Auges.
Linse	Elastischer, durchsichtiger Körper, durch den das Licht gebrochen und geleitet wird.
Hornhaut	Äußere Augenhaut im vorderen Bereich des Augapfels (durchsichtig), dient dem Schutz des Auges.
Linsenbänder	Verbindung der Linse mit dem Ringmuskel.
Lederhaut	Äußere Augenhaut im hinteren Bereich des Augapfels (weiß) zum Schutz des Auges.
Aderhaut	Mit Blutgefäßen durchzogene Haut, die das Auge mit Blut versorgt.
Netzhaut	Sitz der Lichtsinneszellen, die das Licht aufnehmen.
gelber Fleck	Stelle in der Netzhaut, an der die Lichtsinneszellen am dichtesten sitzen.
Glaskörper	Besteht aus gallertartiger, durchsichtiger Substanz und verleiht dem Auge seine Form.
blinder Fleck	Stelle, an welcher der Sehnerv aus der Netzhaut austritt.
Sehnerv	Nervenfasern zur Leitung von Reizen (Informationen) vom Auge zum Gehirn.
Augenmuskel	Muskel zur Bewegung des Auges.
Augenbraue	leitet Regen- und Schweißtropfen ab
Nervenzelle	verarbeiten Informationen der Sinneszellen, schicken Nervenimpulse zum Gehirn

Station 3: Wie verändert sich die Pupillengröße bei Belichtung und im Dunkeln?

Information:

Vielleicht hast du dich schon einmal gefragt, weshalb die Pupillengröße variieren kann. Die Pupillengröße verändert sich je nachdem, wie hell es ist. An dieser Station könnt ihr anhand von Versuchen erfahren, welchen Einfluss das Licht auf die Pupillengröße hat.



A: **Hellreaktion**



B: **Dunkelreaktion**

Abbildung: Die Pupillenreaktion

Versuchsteil 1: Die Pupillenreaktion

Du brauchst:

Geräte

- ein Geodreieck oder ein Lineal



Durchführung:

Führt diesen Versuch in Partnerarbeit durch! Einigt euch vorher, wer die Versuchsperson ist.

- Die Versuchsperson blickt mit beiden geöffneten Augen in Richtung Fenster. Der Partner misst vorsichtig mit dem Geodreieck den Durchmesser der Pupillen (in mm). Tragt die Ergebnisse in die Tabelle unten ein.
- Die Versuchsperson blickt nun weiterhin zum Fenster und hält sich dabei für etwa 1 Minute beide Augen zu. Der Partner oder die Partnerin achtet auf die Zeit und beobachtet die Pupillen, wenn die Versuchsperson ihre Hände anschließend ruckartig entfernt. Trage das Ergebnis in die Tabelle ein.

Beobachtung:

Versuche	Pupillendurchmesser [mm]	Beobachtungen
a) Blick mit beiden Augen in Richtung Fenster	ca. 3 mm (Wert kann variieren)	Beide Pupillen sind gleich groß.
b) Blick in Richtung Fenster nach einminütigem Augenschließen.	6 mm, dann ca. 3 mm	Die Pupillen sind zunächst recht groß, verkleinern sich aber schnell.

Aufgaben:

- Welche Folgerungen könnt ihr aus dem Versuch ziehen? Ergänzt dazu den folgenden Lückentext mit folgenden Begriffen: **wenig, Adaption, weiten, viel, kleiner**

Je weniger Licht auf die Augen trifft, desto stärker **weiten** sich die Pupillen. Je heller es also in einem Raum ist, desto **kleiner** sind die Pupillen. Dadurch können wir auch bei Dunkelheit gut sehen. Durch den Vorgang der **Adaption** passen sich die Pupillen den gegebenen Lichtverhältnissen an. Dadurch wird gewährleistet, dass nicht zu **viel** und nicht zu **wenig** Licht in die Augen fällt: Wir sehen gut und Augenschäden werden weitgehend vermieden.

- Beschrifte die obige Abbildung mit den Begriffen Hellreaktion und Dunkelreaktion.

Versuchsteil 2: Wie verändert sich die Pupille bei Belichtung und im Dunkeln?

Information:

Jetzt kannst du dir an einem Modell verdeutlichen, warum sich die Pupille bei Belichtung und im Dunkeln verändert. An der Pupillenreaktion sind zwei Muskeln beteiligt, die sich in der Regenbogenhaut (Iris) des Auges befinden.

Du brauchst:

Geräte

- ein Pupillenmodell
- ein Geodreieck oder ein Lineal



Durchführung:

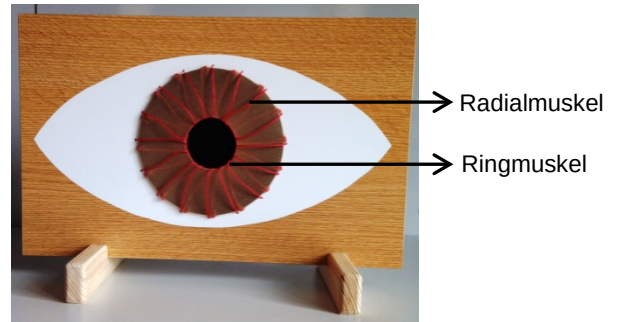


Abbildung: Pupillenmodell

- 3) Betrachte das Pupillenmodell.

Wo ist im Modell die Pupille dargestellt? Wie ist die Regenbogenhaut im Modell dargestellt? Miss den Durchmesser der Pupille mit dem Lineal und notiere den Wert in cm.

Die schwarze Öffnung in der Mitte stellt die Pupille dar. Die Iris ist braun dargestellt und enthält rote Fäden. Der Durchmesser der Pupille beträgt 7 cm.

- 4) Ziehe **gleichmäßig** auf der Rückseite an den roten Strängen (Vermeide den schrägen Zug). Betrachte dabei ganz genau die Pupille und miss erneut den Durchmesser der Pupille mit dem Lineal. Notiere den Wert in cm. So sieht die Pupille bei geringem Lichteinfall aus.

Die Pupillenöffnung wird größer. Der Durchmesser beträgt jetzt 13 cm.

Aufgaben:

- 2) Beantworte die oben stehende Frage, indem du den Lückentext ergänzt. Nimm dazu die nebenstehende Abbildung und das Pupillenmodell zur Hilfe.

Regenbogenhaut, Radialmuskel, Ringmuskel, Pupillenreaktion

An der Regulation der Pupillenweite sind zwei Muskeln beteiligt:

der **Ringmuskel** und der **Radialmuskel**. Diese Muskeln befinden sich in der **Regenbogenhaut**. Die **Pupillenreaktion** können wir nicht beeinflussen.

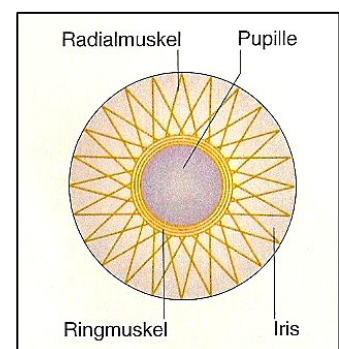


Abbildung: Die Pupillenreaktion

Station 4: Wie sehen wir verschieden weit entfernte Dinge scharf?

Versuchsteil 1:

Du brauchst:



Geräte

- einen Bleistift



Durchführung:

- 3) Setze dich auf einen Stuhl etwa 2 m vor ein Fenster und blicke in Richtung Fenster. Halte einen Bleistift mit der Bleistiftspitze etwa 30 cm vor dein Gesicht und fixiere die Bleistiftspitze.
- 4) Fixiere dann den Fensterrahmen und versuche anschließend, gleichzeitig die Bleistiftspitze und den Fensterrahmen scharf zu sehen. Was stellst du fest?

Beobachtung:

- 2) Notiere deine Beobachtung.

Zuerst ist die Bleistiftspitze klar zu erkennen (scharf). Den Fensterrahmen (fern) und den Bleistift (nah) kann man nicht gleichzeitig scharf sehen.

Versuchsteil 2:

Nun sollst du dir an einem Modell verdeutlichen, was im Auge passiert, wenn wir Dinge in der Nähe oder Dinge in der Ferne betrachten.

Du brauchst:

Geräte:

- ein Akkommodationsmodell

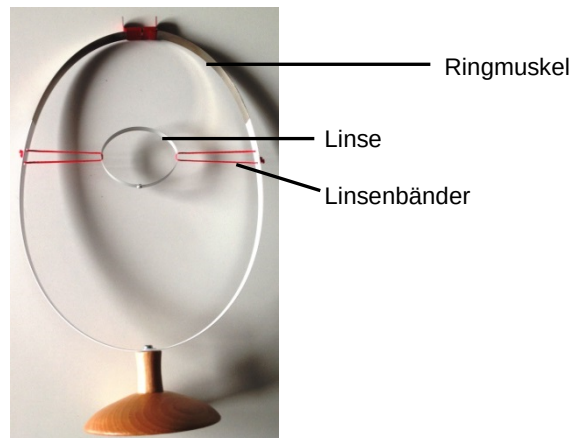


Abbildung: Akkommodationsmodell



Durchführung:

- 3) Zuerst sollst du herausfinden, wie sich die Linse bei **Nahsicht** verhält: Ziehe dazu die zwei roten Ringe des Modells bis zu den weißen Grenzflächen auseinander. Notiere deine Beobachtung.

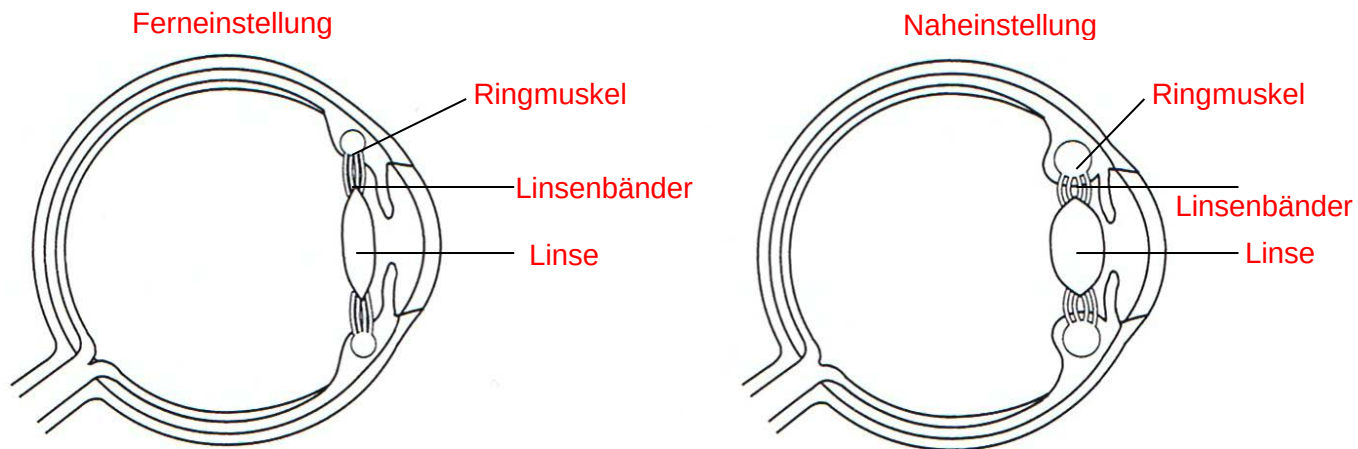
Die Linsenbänder erschlaffen (sind entspannt) und die Linse wölbt sich und wird rund.

- 4) Schiebe nun die zwei roten Ringe zusammen. So verhält sich die Linse bei **Fernsicht**. Der „Ringmuskel“ ist jetzt gestreckt. Notiere erneut deine Beobachtung.

Die Linsenbänder stehen unter Spannung und die Linse wird flach.

Aufgaben:

- 3) Beschrifte die Skizzen mit den Begriffen: Linse, Linsenbänder, Ringmuskel, Naheinstellung und Ferneinstellung.



- 4) Setze die Wörter in den Lückentext ein!

- **Linse** – **scharf** – **entspannt** – **entfernte** – **Akkommodation** – **Linse** – **Ringmuskel** – **scharf** – **entspannt** – **gespannt** – **unscharf**

Bei Nahsicht ist der **Ringmuskel** angespannt. Dadurch sind die Linsenbänder **entspannt**. Die **Linse** wölbt sich. Der nahe Gegenstand wird **scharf** auf der Netzhaut abgebildet. **Entfernte** Gegenstände werden unscharf gesehen. Bei Fernsicht **entspannt** sich der Ringmuskel. Dadurch werden die Linsenbänder **gespannt**. Die **Linse** flacht ab. Entfernte Gegenstände werden **scharf**, nahe Gegenstände werden **unscharf** auf der Netzhaut abgebildet. Diese Anpassungsleistung des Auges nennt man **Akkommodation**.

Station 5: Blenden engen das Licht ein

Du brauchst:

Geräte

- eine optische Bank
- 3 Lochblenden
- eine Strahlungsquelle
- einen Schirm



Durchführung:

- 3) Stelle drei Blenden nacheinander zwischen eine Strahlungsquelle und einen Schirm (siehe Abbildung).
- 4) Verändere nacheinander die Lochgröße der Blenden und betrachte den Lichtfleck auf dem Schirm.

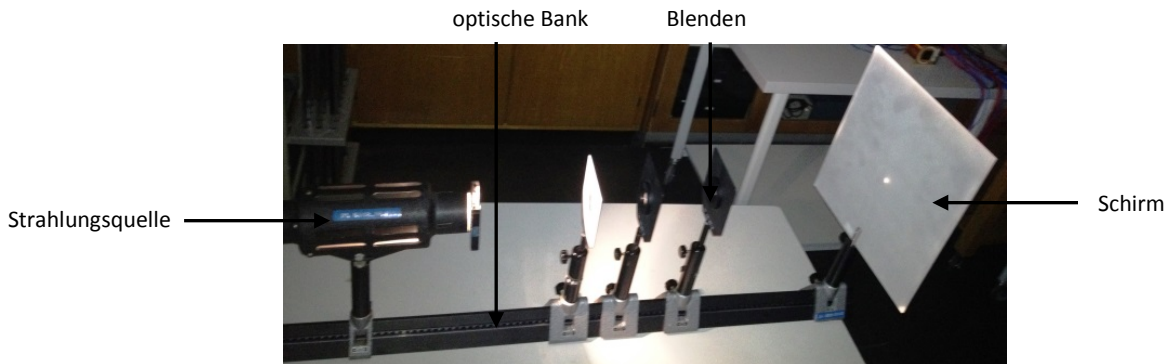


Abbildung: Versuchsaufbau

Aufgaben:

- 1) Beschreibe, wie sich der Lichtfleck auf dem Schirm jeweils verändert.
Stellt man die erste Blende zwischen die Strahlungsquelle und den Schirm, so ist der Lichtfleck so groß, wie die Blendenöffnung. Verkleinert man nach und nach die Lochgrößen der Blenden, so wird der Lichtfleck auf dem Schirm kleiner.
- 2) Übertrage diesen Modellversuch auf das menschliche Auge. Vergleiche dazu den Versuchsaufbau mit dem Augenmodell aus Station 2.
 - Womit kann man den Schirm vergleichen?
 - Was symbolisiert die Lochblende?

Schirm = Netzhaut

Lochblende = Iris (Regenbogenhaut)

- 1) Benenne den Bestandteil des menschlichen Auges, der die Blendenfunktion übernimmt.
Die Iris reguliert den Lichteinfall. Die Pupille lässt Licht ins Auge fallen.
- 2) Warum ist es wichtig, dass unsere Augen eine Blendenfunktion besitzen.
Schutz vor zu viel Licht. Schutz vor Blendung.

Station 6: Wie entsteht das Bild auf der Netzhaut?

Information: Für uns Menschen ist das Auge ein Sinnesorgan von besonderer Bedeutung. Wir können mit unseren Augen unsere Umwelt wahrnehmen und uns orientieren. Wir mit einer Kamera nehmen unsere Augen Bilder auf. An dieser Station könnt ihr nachvollziehen, wie Bilder in unseren Augen entstehen und wie sie weiterverarbeitet werden.

Du brauchst:

Geräte

- eine Linse
- eine Kerze
- einen Schirm
- eine optische Bank



Abbildung: Versuchsaufbau

Linse

Schirm

optische Bank

Durchführung:

- 7) Baue das in der Abbildung dargestellte Experiment auf. Beginne mit der Gegenstandsweite $g = 30 \text{ cm}$. Die Gegenstandsweite ist der Abstand zwischen der Kerze und der Linse.
- 8) Suche mit dem Schirm die Stellung hinter der Linse, in der auf ihm ein scharfes Bild der Kerzenflamme entsteht. Blase die Flamme an und beschreibe das Bild genau!
 Im Abstand von ca. 15 cm bildet sich ein scharfes Bild der Kerzenflamme. Dieses Bild ist verkleinert und auf dem Kopf stehend. Wenn man die Flamme anpustet, bewegt sich das Bild der Flamme genau in die entgegengesetzte Richtung, wie die Flamme selbst.
- 9) Schiebe nun die Kerze näher an die Linse und wiederhole das Experiment! **Denke daran, dass du das Bild durch Verschieben des Schirmes neu scharf einstellst!** Was ist mit dem Bild geschehen?
 Je näher man die Kerze an die Linse schiebt, umso weiter entfernt sich die Lage des scharfen Bildes von der Linse. Dabei wird das Bild größer.
- 10) Finde die Kerzenposition heraus, in der das **scharfe** Bild der Kerzenflamme genauso groß ist wie die Flamme selbst! Vergleiche Gegenstandsweite g und die Bildweite b . Die Bildweite ist der Abstand zwischen der Linse und dem Schirm.
 Die Bildweite b und die Gegenstandsweite g betragen jeweils ca. 20 cm.
- 11) Schiebe nun die Kerze näher zur Linse und suche erneut ein **scharfes** Bild! Wie hat es sich verändert?
 Nun ist das Bild größer als der Gegenstand, aber weiter von der Linse entfernt.
- 12) Gibt es eine Grenze für die Gegenstandsweite g , unterhalb der keine scharfe Abbildung auf dem Schirm mehr möglich ist? Lies den Abstand auf dem Lineal ab und notiere den Wert.
 Ist die Gegenstandsweite unter 10 cm gesunken, so kann das Bild nicht mehr aufgefangen werden.

**Aufgaben:**

- 3) Vergleiche Deinen Versuchsaufbau von Versuch 2 mit dem Augenmodell. Kannst Du einen Zusammenhang zwischen den beiden herstellen? Welche Teile des Auges entsprechen den Teilen aus Versuch 2?

Schirm = **Netzhaut**

Linse = **Linse des menschlichen Auges**

Bildweite (Abstand zwischen Linse und Schirm) = **Abstand zwischen Linse und Netzhaut**

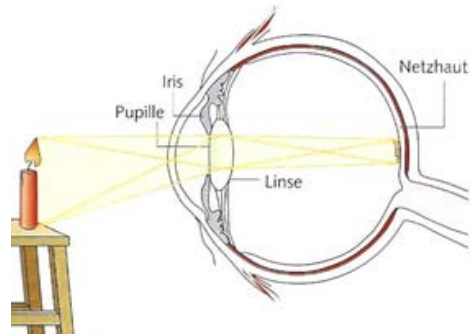


Abbildung: Vergleich zwischen dem Modellversuch und dem menschlichen Auge

- 4) Was ist beim Auge festgelegt: Gegenstands- oder Bildweite?

Bildweite

Station 7: Der blinde Fleck und der Nahpunkt

Lies dir zu Beginn die Infokarte zum Augenfunktionsmodell genau durch!

Versuchsteil 1:

Du brauchst:



Geräte

- Abbildung mit Stern und Kreis



Durchführung:

- 4) Halte die Abbildung mit dem Stern und dem Kreis mit ausgestreckten Armen vor dein Gesicht.
- 5) Fixiere mit dem linken Auge den Kreis und schließe dein rechtes Auge.
- 6) Nähere die Abbildung nun langsam deinem Gesicht und fixiere mit dem linken Auge weiterhin den Kreis. Achte darauf, was mit dem Stern passiert, wenn du weiterhin den Kreis mit dem linken Auge fixierst. Was stellst du fest?

Beobachtung:

Notiere deine Beobachtung.

Bei einem bestimmten Abstand zwischen Blatt und Auge verschwindet der Stern und taucht wieder auf, wenn der Abstand zum Blatt vergrößert oder verkleinert wird.

Versuchsteil 2:

Du brauchst:



Geräte

- Augenfunktionsmodell
- zwei Lampen
- Karte mit gelbem und schwarzem Kreis
- Lineal

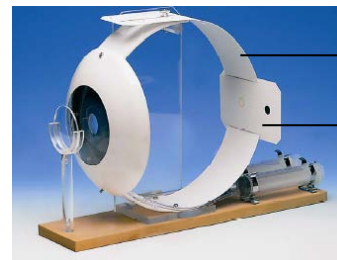


Abbildung: Versuchsaufbau



Durchführung:

- 7) Positioniere die Karte mit dem gelben und dem schwarzen Kreis am Augenfunktionsmodell wie in der Abbildung oben dargestellt.
- 8) Ordne zwei gleiche Glühlampen horizontal nebeneinander an (siehe Abbildung links). Der Abstand der beiden Glühlampen soll ca. 20 cm betragen.
- 9) Der Abstand vom Augenmodell zur Lichtquelle soll ca. 1 Meter betragen.
- 10) Stelle die Abbildung der beiden Lampen auf der "Netzhaut" scharf ein. Lass dir dabei vom Betreuer helfen.
- 11) Bewege nun das Modell in Richtung Lampen und beobachte dabei die Abbildungen auf der "Netzhaut". Die Abbildung der linken Lampe soll dabei stets auf den "gelben Fleck" (gelber Kreis) fallen.
- 12) In einer bestimmten Entfernung ist zu beobachten, dass die Abbildung der rechten Lampe auf die schwarze Kreisfläche fällt. Diese stellt den sog. "blinden Fleck" des Auges dar. Es ist die Netzhautstelle, die keine Sehzellen besitzt, da dort der Sehnerv austritt. In der Wirklichkeit könnte also in dieser Stellung, die rechte Lampe nicht wahrgenommen werden.



Beobachtung:

Notiere die Entfernung an der die Abbildung der rechten Lampe auf die schwarze Kreisfläche fällt.

Die Entfernung kann variieren und liegt bei ca. 50 cm

**Aufgaben:**

- 2) Erkläre mithilfe des Versuchsteils 2 deine Beobachtung aus dem Versuchsteil 1.

Es gibt einen Punkt in unserem Blickfeld, den wir nicht wahrnehmen können. Es handelt sich um den blinden Fleck. Dies ist die Stelle, an welcher der Sehnerv aus der Netzhaut austritt. Hier liegen keine Lichtsinneszellen.

Karte für den Blinden Fleck

Versuchsteil 3:**Du brauchst:****Geräte**

- Bleistift
- Lineal

**Durchführung:**

Hinweis: Führt den Versuch in Partnerarbeit durch. Wechselt bei dem Versuch die Rollen, um für beide Partner bzw. Partnerinnen Messwerte zu ermitteln.

- 1) Die Versuchsperson hält einen Bleistift (Spitze nach oben) mit ausgestrecktem Arm. Sie fixiert zunächst mit beiden Augen die Bleistiftspitze und schließt dann ein Auge.
- 2) Die Versuchsperson fixiert weiterhin die Bleistiftspitze mit einem Auge und führt nun den Bleistift langsam so nah an das Auge heran, bis sie ihn gerade noch scharf sieht.
- 3) In dieser Position misst der Partner oder die Partnerin möglichst genau den Abstand von der Hornhaut bis zum Bleistift.
- 4) Notiert den Wert und wiederholt den Versuch zwei weitere Male. Berechnet dann den Mittelwert. Dieser Wert ist die Nahpunktentfernung für scharfes Sehen.

Beobachtung:

Die gemessenen Nahpunktwerte schwanken von Person zu Person.

Versuchsteil 4:**Du brauchst:****Geräte**

- ein Augenfunktionsmodell
- eine Lichtquelle
- ein Lineal
- eine Plexiglasscheibe mit Buchstaben



Abbildung: Versuchsaufbau

**Durchführung:**

- 5) Stelle das Augenfunktionsmodell ca. 1 Meter vor der Lichtquelle auf (die Entfernungsangaben beziehen sich auf die Strecke zwischen der "Hornhaut" des Augenfunktionsmodells und Glühbirne).
- 6) Stelle die mit einem Y versehende Plexiglasscheibe unmittelbar vor die Lichtquelle (siehe Abbildung).
- 7) Gib möglichst viel Wasser in die Linse, sodass diese möglichst dick wird (höchste Brechkraft).
- 8) Bewege die Plexiglasscheibe zum Augenfunktionsmodell hin, bis eine scharfe Abbildung entsteht.
- 9) Dies ist die kürzeste Entfernung, auf die das Auge akkomodieren kann (Nahpunkt).

Beobachtung:

- 1) Notiere die Entfernung in cm.

Die Entfernung kann je nach Dicke der Linse des Augenfunktionsmodells variieren.

Station 8: Strahlengänge und Fehlsichtigkeit

Lies dir zu Beginn die Infokarte zur Fehlsichtigkeit genau durch!

Du brauchst:

Geräte

- Laser Ray Box
- verschiedene Linsensysteme
- Modell-Abbildung eines Auges
- Magnettafel



Achtung! Schauge niemals direkt in das Laserlicht!



Durchführung:

Versuchsteil 1: Der Strahlengang eines normalsichtigen Auges.

- Befestige die Abbildung des Auges auf der Magnettafel.
- Platziere die Linse **Nr. 1** direkt hinter der Linie O_2 .
- Platziere die Laser Ray Box vor der Abbildung des Auges (siehe Abbildung rechts).
- Schalte die Laser-Ray-Box ein und beobachte den Strahlengang.

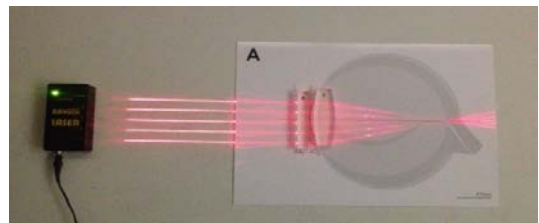
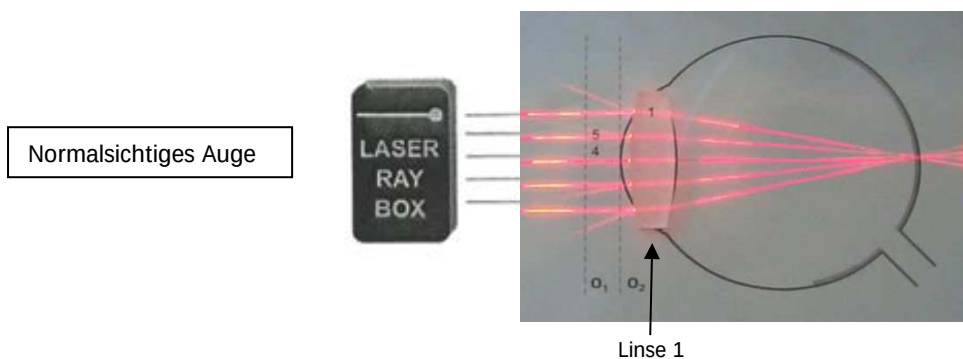


Abbildung: Versuchsaufbau

Beobachtung:

- Zeichne den Strahlengang in die Abbildungen ein:

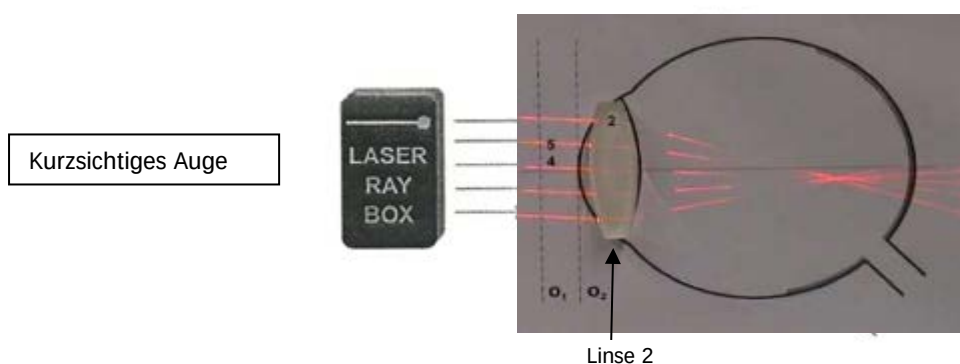


Versuchsteil 2: Der Strahlengang eines kurzsichtigen Auges.

- Platziere die Linse **Nr. 2** direkt hinter der Linie O_2 .
- Schalte die Laser-Ray-Box ein und beobachte den Strahlengang.

Beobachtung:

- Zeichne den Strahlengang in die Abbildungen ein:



Vergleiche den Strahlengang eines kurzsichtigen Auges mit dem eines normalsichtigen Auges aus Versuchsteil 1. Was stellst du fest?

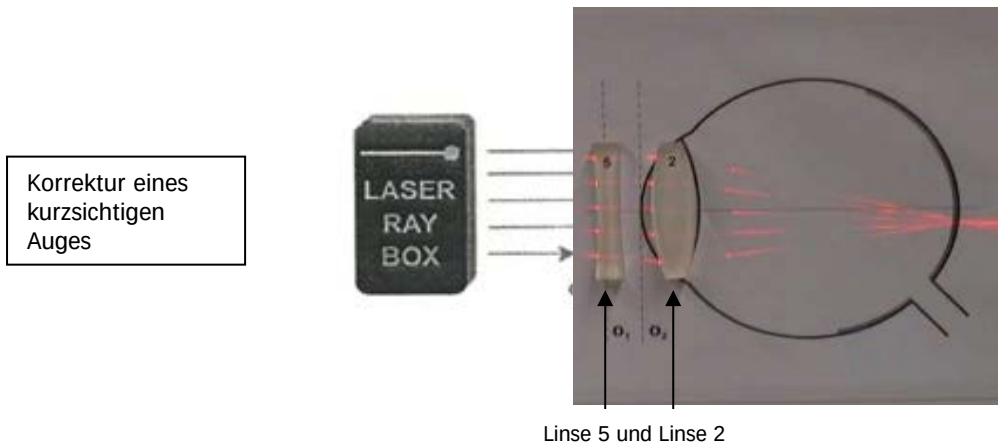
Der Strahlengang trifft vor der Netzhaut zusammen. Der Brennpunkt liegt vor der Netzhaut.

Versuchsteil 3: Die Korrektur eines kurzsichtigen Auges.

- Platziere jetzt zusätzlich zu Linse **Nr. 2** die Korrektur-Linse **Nr. 5** zwischen die Linie O_1 und O_2 .
- Schalte die Laser-Ray-Box ein und beobachte den Strahlengang.

Beobachtung:

- Zeichne die Korrekturlinse **Nr. 5** und den Strahlengang in die Abbildungen ein:

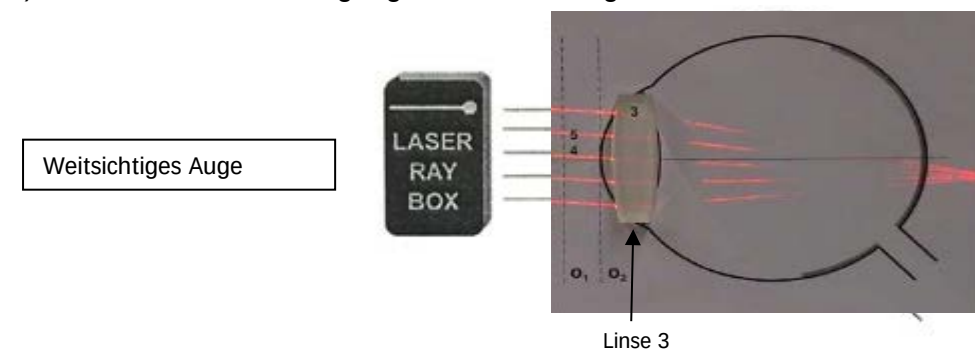


Versuchsteil 4: Der Strahlengang eines weitsichtigen Auges.

- Platziere die Linse **Nr. 3** direkt hinter der Linie O_2 .
- Schalte die Laser-Ray-Box ein und beobachte den Strahlengang.

Beobachtung:

- Zeichne den Strahlengang in die Abbildungen ein:



Vergleiche den Strahlengang eines weitsichtigen Auges mit dem eines normalsichtigen Auges aus Versuchsteil 1. Was stellst du fest?

Der Strahlengang trifft hinter der Netzhaut zusammen. Der Brennpunkt liegt hinter der Netzhaut.

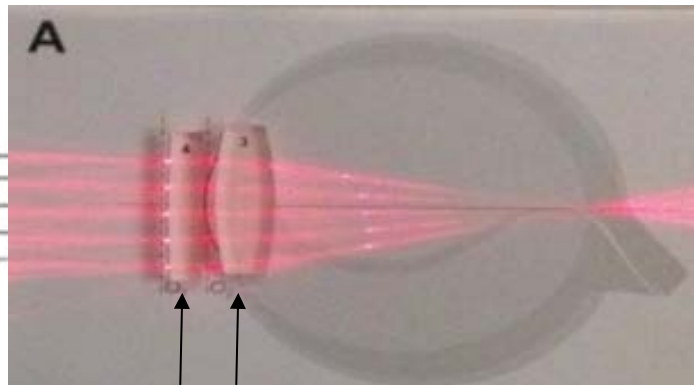
Versuchsteil 5: Korrektur der Weitsichtigkeit.

- a) Platziere jetzt zusätzlich zu Linse **Nr. 3** die Korrektur-Linse **Nr. 4** zwischen die Linie O_1 und O_2 .
- b) Schalte die Laser-Ray-Box ein und beobachte den Strahlengang.

Beobachtung:

- 2) Zeichne die Korrekturlinse Nr. 4 und den Strahlengang in die Abbildungen ein:

Korrektur eines weitsichtigen Auges



Linse 4 und Linse 3

 Aufgaben:

- 2) Wie verändern sich die Strahlengänge jeweils beim Einsatz der Korrekturlinsen in Versuchsteil 3 und 5?

Der Strahlengang trifft wieder auf der Netzhaut zusammen. Der Brennpunkt liegt wieder auf der Netzhaut.

Infokarte zu Station 8

Fehlsichtigkeit und ihre Korrektur

Viele Menschen Sehen etwas unscharf. Oft wird ein solcher Sehfehler in der Schulzeit bemerkt, wenn jemand nicht gut von der Tafel lesen kann oder beim Lesen und Schreiben Sehprobleme hat. Ein **Sehtest** verschafft hier Klarheit.

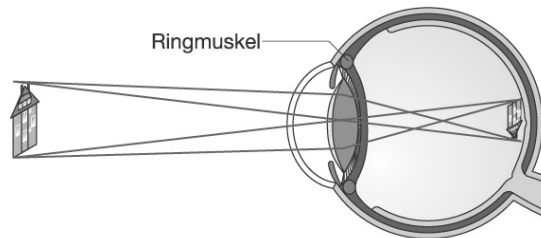


Abbildung: Normalsichtiges Auge

Bei der **Kurzsichtigkeit** werden weit entfernte Gegenstände nicht scharf auf der Netzhaut abgebildet, weil der **Augapfel zu lang** geformt ist. Hier hilft eine Brille mit **Zerstreuungslinsen**. Diese Linsen wirken der Brechkraft der Augenlinse entgegen. Damit entsteht das scharfe Bild auf der weiter hinten liegenden Netzhaut.

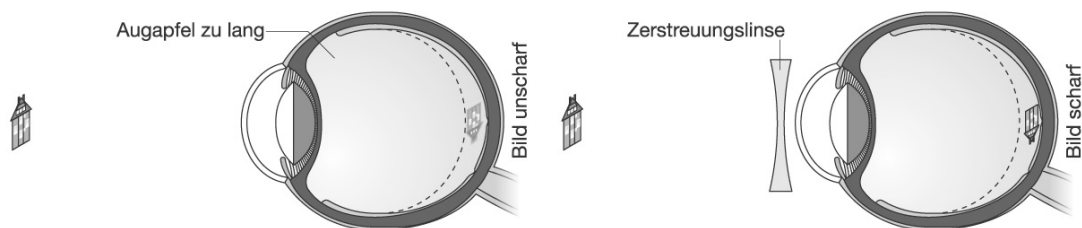


Abbildung: Kurzsichtiges Auge

Bei der **Weitsichtigkeit** ist es umgekehrt. Der **Augapfel ist zu kurz** und nah gelegene Dinge werden trotz Nahanpassungen des Auges nicht scharf gesehen, weil das scharfe Bild hinter der Netzhaut liegen würde. Hier wird durch die **Sammellinse** einer Brille die Brechkraft verstärkt und das scharfe Bild auf die Netzhaut vorgezogen.



Abbildung: Weitsichtiges Auge

Die **Altersweitsichtigkeit** hat andere Ursachen. Aber auch hier hilft eine Brille mit Sammellinsen. Wer einen korrigierbaren Sehfehler hat und keine Sehhilfen benutzt, schafft sich unnötige Probleme. Für jeden Typ findet sich eine gut aussehende Brille. Außerdem gibt es die Möglichkeit, **Kontaktlinsen** zu tragen. Die meist weichen Linsen werden direkt auf das Auge gesetzt und haben dieselbe Wirkung wie eine Brille. Auch beim Sport sind Kontaktlinsen praktisch.

Wahlpflichtstation 1: Optische Täuschung

Du brauchst:



Geräte

- Karten



Durchführung:

- 3) Betrachte die Karten, die an der Station „Optische Täuschungen“ ausliegen.
- 4) Lies dir folgenden Text durch, um herausfinden, wie optische Täuschungen entstehen.

Wie optische Täuschungen entstehen?

- **Umspringbild:** Zwei sich widersprechende Bilder können nicht gleichzeitig gesehen werden. Das Gehirn muss für das eine oder das andere „entscheiden“.
- **Täuschung durch Perspektive:** Im Hintergrund zusammenlaufende Linien deutet das Gehirn als zunehmende Entfernung.
- **„unmögliche Bilder“:** Das Gehirn versucht etwas räumlich Sinnvolles zu erkennen, was es so in der Wirklichkeit gar nicht gibt.
- **Täuschung durch Größenvergleich:** Gleich große Figuren wirken unterschiedlich groß, je nachdem ob direkt benachbarte Figuren größer oder kleiner sind.
- **Täuschung durch die Umgebung:** Kreuzen sich gerade und gewölbte Linien, so erscheinen Geraden Krumm.

Wahlpflichtstation 2: Linsen befinden sich nicht nur in unseren Augen

Information:

Linsen findet man nicht nur in unseren Augen, sondern auch in Alltagsgegenständen. Der folgende Versuch soll dies verdeutlichen.

Du brauchst:

Geräte

- ein zylinderförmiges Glas
- eine Spritzflasche mit Wasser
- eine Linse Brennweite $f = 5\text{ cm}$



Arbeite sorgfältig mit dem Wasser, damit du deinen Arbeitsplatz nicht unter Wasser setzt!



Durchführung:

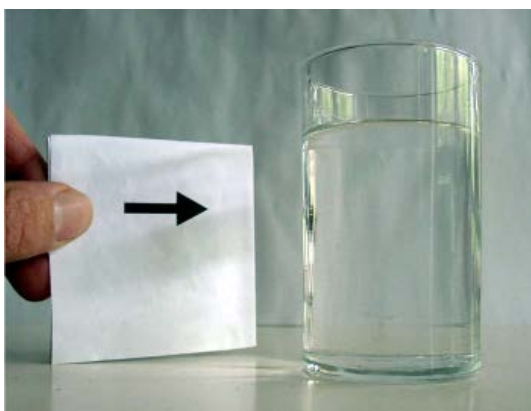


Abbildung 1: Versuchsaufbau

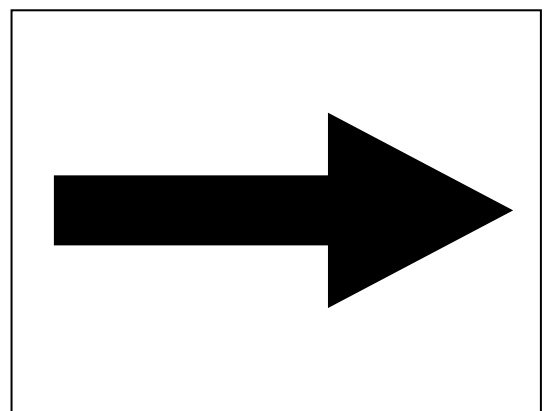


Abbildung 2: Pfeil zum Experimentieren

- 3) Halte, wie in Abbildung links zu sehen, den Pfeil hinter das Glas und gieße dann Wasser in das Glas!
- 4) Führe den gleichen Versuch mit der Linse durch.

Aufgaben:

- 3) Was beobachtest du? Beschreibe genau!

Sobald man Wasser in das Glas füllt und der Pfeil weit genug vom Wasserglas entfernt steht, dreht sich die Pfeilrichtung scheinbar um.

- 4) Verändere den Abstand zwischen dem Pfeil und dem Glas bzw. der Linse!

Je näher man den Pfeil an das Wasserglas hält, umso größer wird das Bild. Hält man den Pfeil unmittelbar hinter das Glas, so erscheint er richtig orientiert und vergrößert.

Information:

Es hat geregnet! Die Blätter sind bedeckt von Wassertropfen! Was kannst du beobachten, wenn du diese Tropfen näher betrachtest?

Du brauchst:**Geräte**

- ein Glas Wasser
- eine Spritze
- einen Text
- eine Linse Brennweite $f = 5\text{ cm}$



Arbeite sorgfältig mit dem Wasser, damit du deinen Arbeitsplatz nicht unter Wasser setzt!

**Durchführung 2. Teil:**

5) Fülle die Spritze mit Wasser und drücke vorsichtig einen möglichst großen Tropfen aus der Spitze.

6) Halte zunächst den Tropfen an der Spitze und betrachte den Text durch den Tropfen! Beschreibe deine Beobachtung genau!

Der Text erscheint im Tropfen umgekehrt und stark verkleinert.



Abbildung: Spritze mit Wassertropfen

7) Lege den Tropfen auf den Text! Was beobachtest du? Gehe auch auf die Ausrichtung des Textes ein!

Wenn man den Wassertropfen auf den Text legt, erscheint dieser richtig orientiert und leicht vergrößert.

8) Führe den gleichen Versuch mit der Linse durch. Beschreibe deine Beobachtung.

Das Experiment zeigt mit der Linse die gleiche Wirkung.

IV. Fragebogen

Rückmeldung zum Tag im Schülerlabor

Kreuze in der Tabelle an, was auf dich zutrifft:	Selbsteinschätzung			
	trifft genau zu	trifft eher zu	trifft eher nicht zu	trifft überhaupt nicht zu
				
Die Versuche waren zu schwer:				
Es gab für mich etwas Neues zu entdecken:				
Der Stoffumfang der Schülerlabortages war genau richtig:				
Es hat mir Spaß gemacht die Experimente selbst durchzuführen:				
Die Versuche waren abwechslungsreich:				
Die Arbeitsblätter waren übersichtlich:				
Ich wusste immer was zu tun war:				
Die Versuche haben geklappt:				
Die Experimente machten den Schülerlabortag interessant:				
Ich habe einige Versuche nicht verstanden:				
Ich habe gut mitgearbeitet:				
Die Betreuer und die Lehrkräfte haben uns gut geholfen:				
Wir brauchten oft Hilfe.				
Die Anzahl der Versuche war zu hoch:				
Die Experimente sorgen dafür, dass ich Spaß am Physikunterricht habe:				

	trifft genau zu	trifft eher zu	trifft eher nicht zu	trifft überhaupt nicht zu
				
Der Ablauf des Schülerlabortages war gut organisiert:				
Die Arbeitsblätter enthielten zu viel Text:				
Die Zeit für das Experimentieren war zu kurz:				
Mir macht der Physikunterricht Spaß:				

Ich würde das Schülerlabor wieder besuchen, weil

Wie hat dir der Tag im Schülerlabor gefallen?

Mir hat folgender Versuch besonders gut gefallen, weil ...

Vielen Dank für das Ausfüllen des Fragebogens!

Danksagung

Die vorliegende Arbeit wäre ohne die Hilfe und Unterstützung vieler Personen nicht möglich gewesen.

Zunächst bedanke ich mich ganz herzlich bei meinem Betreuer Prof. Dr. Thomas Wilhelm, der mir stets mit Rat und Tat zur Seite stand und mit vielen Anregungen den Umfang dieser Arbeit ermöglicht hat.

Auch den Mitarbeitern des Instituts Didaktik der Physik möchte ich ganz herzlich danken, da auch sie mir jederzeit hilfreich zur Seite gestanden haben. Herr Wenzel, der mir bei der Vorbereitung und Durchführung des Schülerlabortages eine große Hilfe war. Auch Herrn Beha möchte ich danken, der mir sehr oft bei der Suche nach Geräten geholfen hat.

Zudem möchte ich mich bei Herr Siegemund und seiner Klasse 9a aus der Georg Büchner-Schule in Frankfurt am Main bedanken, welche das Schülerlabor besucht haben. Ein weiterer Dank gilt dem Schulleiter der Georg Büchner-Schule, Herr Hundertmark.

Mein ganz besonderer Dank gilt meiner Freundin Katharina Kraft. Ohne ihre Unterstützung wäre die Arbeit in dieser Form nicht möglich gewesen. Danke für deine Hilfe beim Aufbau, dein Verständnis, deine Geduld und deine Unterstützung während der gesamten Zeit!

Ein ganz besonderer Dank gilt meinen Eltern, die mein Studium vom ersten Tag an unterstützt haben.

Vielen Dank!

SELBSTSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG

Hiermit versichere ich, dass ich die Arbeit in allen Teilen selbstständig angefertigt und keine anderen als die in der Arbeit angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Die bildlichen Darstellungen habe ich, soweit nicht anders angegeben, selbst angefertigt.

Bad Soden, den 15.12.14

(Ihssan Ghanem)