SINNESPHYSIOLOGIE

Versuchsanleitung

© by DIDACTEC e.K. - Rheinbach - 2005 - Alle Rechte vorbehalten

Inhalt **Seite**

Allgemeine Aussagen zur Sinnesphysiologie 4

Aufbau einer Nervenzelle 5

Lieferumfang 6

Die Haut – eine Kontaktstelle zur Umwelt 7
Versuche 7

1. Der Tastsinn 7

2. Wärmeempfindung 8

2.1 Kalt- und Warmpunkte 8

2.2 Wärmeempfindung von Wasser 9

3. Wahrnehmung des Abstandes von Tastpunkten mit dem Tastzirkel 9

Das Auge – Organ des Gesichtssinnes 12
Versuche 12

1. Geometrisch-optische Täuschungen 12

1.1 Optische Täuschung mit Overheadprojektor 13

1.2 Haptische Täuschung 13

1.3 Bilder zu optischen Täuschungen 14

2. Nachweis des “blinden Flecks“ im Auge 15

3. Betrachtung der Veränderung der Pupillenöffnung 16

4. Farbsehen und Farbveränderung im Auge 17

5. Flimmerfarben durch rotierende Musterscheiben 19

6. Bewegungsnacheffekt 20

7. Umkehrbrille zum Nachweis der Umkehrung des Bildes in unserem Gehirn 22
Versuche 25

Das Ohr – ein wichtiges Sinnesorgan 27
1. Erläuterung zum Richtungshöhren 27

2. Versuch zum Richtungshören 28

Körpereigene Geräusche hören 30
1. Abhören der Atemgeräusche 30

2. Abhören der Herzgeräusche 30

Literatur 32

Allgemeine Aussagen zur Sinnesphysiologie

Die Sinnesphysiologie ist ein Teilgebiet der Physiologie, das sich mit der Erforschung der Funktionen und Leistungen der Sinnesorgane bei Tieren und Menschen beschäftigt. Die Sinneszellen, die über den gesamten Körper verteilt und für die Reizaufnahme verantwortlich sind, stellen spezialisierte Zellen des äußeren (ektodermalen) Epithelgewebes dar. Sinneszellen können entweder einzeln oder zu Sinnesepithelien angeordnet auftreten und so die Sinnesorgane bilden, die die eigentlichen Träger der Sinnesfunktion darstellen.
Alle Sinnesorgane sind mit einer Vielzahl von Sinnesnervenzellen ausgerüstet. Diese Sinnesnervenzellen, die auch als freie Nervenendigungen bezeichnet werden, sind reizempfindliche, stark verzweigte Endfasern von Nervenzellen. Die Sinnesnervenzellen haben oft haarartige Fortsätze, die als Sehstäbchen, Hör-, Riech- und Tasthaare zur Aufnahme von Reizen dienen. Je nach der Funktion dieser Sinnesnervenzellen unterscheidet man Seh-, Hör-, Riech-, Geschmacks-, Tastzellen usw.

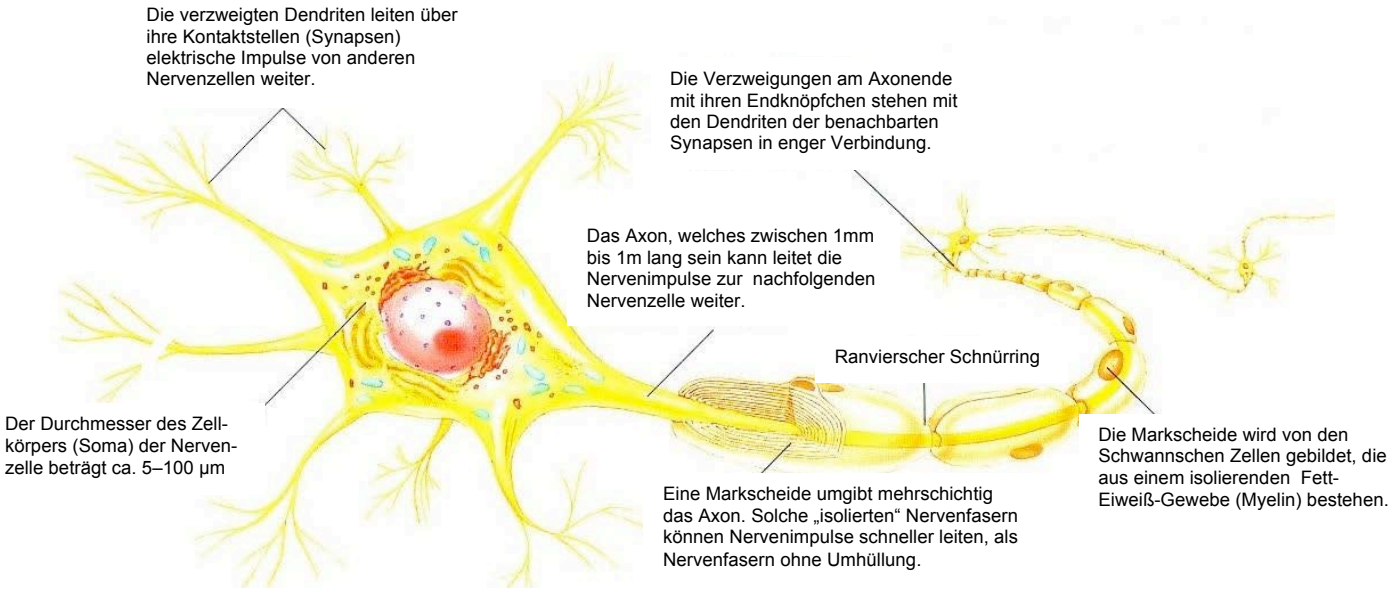
Alle Organismen sind in der Lage, auf Reize zu reagieren, egal ob Pflanzen, Tiere oder der Mensch. Jeder Organismus ist ständigen Reizen ausgesetzt, ohne die ein erfolgreiches Leben nicht möglich sein würde.

Befragt man ein Lexikon, so wird unter Reizen folgendes ausgeführt:

> **Reiz**, eine äußere Zustandsänderung, die nur in einem biologischen Objekt eine Erregung auslöst. Nicht jede Milieuänderung wirkt als Reiz. Daher kann man nur einige wenige Reizarten unterscheiden: chemische, osmotische, thermische, mechanische und elektrische Reize. Diesen "allgemeinen Protoplasmareizen“ stehen die akustischen und optischen Reize gegenüber, für deren Aufnahme beim tierischen Organismus besondere Sinneszellen bzw. Sinnesorgane ausgebildet sind. In den Sinnesorganen werden die speziellen Reizarten in allgemeine Plasmareize transformiert. Die für ein Sinnesorgan oder einen Rezeptor typische Reizart wird als adäquater Reiz dem inadäquaten Reiz gegenübergestellt. So können beispielsweise die Lichtrezeptoren im Auge durch den inadäquaten Reiz "Druck“ ebenfalls gereizt werden.
> Von besonderer Bedeutung für den Reizerfolg ist die Reizcharakteristik. Die einen Reiz kennzeichnende Größen (Intensität, Dauer, Anstiegssteilheit, zeitliche Intensitätsveränderung während der Reizdauer, bei elektrischen Reizen auf die Polarität) müssen bestimmte Werte aufweisen, wenn im Objekt eine Erregung hervorgerufen werden soll. Daher wirkt z. B. ein langsam ansteigender Gleichstrom erst bei viel höherer Intensität erregungsauslösend, als ein plötzlich eingeschalteter. Der Reiz kann nur von einem bestimmten, allerdings von der Reizzeit abhängigen Intensitätswert an eine Erregung hervorrufen. Dieser Wert wird Reizschwelle oder Schwellenreiz genannt. Reize von geringer Stärke werden als unterschwellige Reize den überschwelligen Reizen gegenübergestellt.

Reize werden von den Organismen aus dem Körperinneren und der Außenwelt aufgenommen und an die Erfolgsorgane weitergeleitet, wodurch eine bestimmte zweckentsprechende Körperreaktion ausgelöst wird. Dieses Zusammenspiel wird allgemein als Nervensystem bezeichnet. Die Schaltzentrale des Nervensystems ist das Gehirn. Es analysiert die ankommenden Reize und entscheidet über eine Reaktion auf diesen Reiz.

Aufbau einer Nervenzelle



Das Nervensystem besteht aus schätzungsweise mehr als 100 Milliarden Nervenzellen. Über diese werden die Reize in Form schwacher elektrischer Ströme weitergeleitet. Diese Weiterleitung wird auch als Nervenimpuls oder Aktionspotenzial bezeichnet. Ein Nervenimpuls breitet sich im menschlichen Körper mit einer Geschwindigkeit von ca. 430 km/h aus.
Die elektrischen Spannungen lassen sich messen. Wenn über ein Axon, das Nervenimpulse zu den nächsten Nervenzellen weiterleitet und dessen Länge zwischen Bruchteilen von Millimetern und 1 Meter variiert, keine Informationen übertragen werden, zeigt das Messgerät (Voltmeter) eine Ruhespannung von 80 mV an. Dieser Zustand ändert sich aber, sobald über das Axon eine Information läuft. Der Zeiger des Voltmeters fällt auf Null zurück. Bei einer Informationsübertragung kommt es zu einem Zusammenbruch der elektrischen Spannung an der Wand des Axons. Der Zusammenbruch der elektrischen Spannung erfolgt zunächst an der Stelle, wo das Axon aus dem Zellkörper heraustritt und breitet sich blitzartig über die gesamte Länge des Axons bis zur Synapse aus. Bedeutungsvoll sind dabei die Myelinscheiden der Nervenfasern. Myelin ist ein isolierendes Fett-Eiweiß-Gewebe, das das Axon umgibt. Damit wird die Informationsleitung in einer Form von "Gleisen“ weitergeleitet, denn sie kann das Axon dabei nicht oder nur in bestimmten Fällen verlassen.
Endet eine Nervenfaser mit der Synapse z. B. an einem Muskel, so bezeichnet man diese Stelle als motorische Endplatte. Bedeutungsvoll ist die Zahl der an der motorischen Endplatte ankommenden Impulse (Impulsfrequenz). Je mehr Nervenimpulse pro Sekunde an der motorischen Endplatte ankommen, desto stärker ist die Reaktion. Von den Synapsen werden Botenstoffe (Überträgersubstanz) gebildet, die die Nervenimpulse von Synapse zu Synapse oder von Synapse zur Muskelfaser übertragen. Elektrische Impulse werden von der Synapse nicht weitergeleitet. Je stärker die ankommenden elektrischen Impulse (Aktionspotentiale) sind, desto mehr Botenstoff wird von der Synapse ausgeschüttet und desto stärker ist die Weitergabe des Reizes oder desto stärker ist die Reaktion, die an der motorischen Endplatte hervorgerufen wird.
Sinnesorgane, in Verbindung mit unserem Nervensystem, ermöglichen es den Organismen sehr schnell auf unterschiedliche, zum Teil lebenswichtige Reize zu reagieren und sich gezielt zu bewegen.

Wie kommt es, dass z. B. ein Kind, welches auf das heiße Ceranfeld am Küchenherd fasst, seine Hand blitzschnell wegzieht? Ein sehr komplexes Geschehen läuft dabei im Körper ab. In der Hand, auf der Hand und an den Fingern findet man hitzeempfindliche Rezeptoren (Sinneszellen). Diese Rezeptoren sind Endigungen von Nervenzellen. Die Hand jedoch ist nicht in der Lage, zu erkennen, ob das Ceranfeld heiß oder kalt ist. Unser Gehirn ist dafür verantwortlich, dort werden die empfangenen Reize analysiert und verarbeitet. Blitzschnell erkennt das Gehirn – heiß – und gibt der motorischen Endplatte, der gereizten Nervenzelle, den Befehl zum Zurückziehen der Hand.
Um diesen Vorgang genauer zu verstehen, folgt zunächst eine kurze Erläuterung des Aufbaus einer Nervenzelle. Die Nervenzelle besteht aus den verzweigten Dendriten, die an ihrem Ende alle eine Synapse besitzen. Über die Synapsen sind die Dendriten der Nervenzellen miteinander verbunden. Wird ein Reiz aufgenommen, leiten ihn die Dendriten zur eigentlichen Nervenzelle, von dort über die Axone, die von den Schwann'schen Zellen ummantelt sind zum Rückenmark und von hier zum Gehirn weiter. Der Reiz kommt genau zu dem Zentrum im Gehirn, welches in der Lage ist, diesen Reiz zu erkennen und zu beantworten. Nach der Erkennung wird in entgegengesetzter Richtung eine motorische Nervenzelle, die sich in der Nähe der Reizaufnahme befindet, angeregt, auf den Reiz zu antworten. In unserem Falle die Hand wegzuziehen. Dies geschieht, indem die vom Gehirn beauftragte Nervenzelle über die motorische Endplatte, die mit einer Muskelfaser in Verbindung steht, Acetylcholin ausschüttet. Je stärker der Reiz, umso mehr Acetylcholin wird ausgeschüttet und desto heftiger ist die Reaktion.

Mit dem vorliegenden Experimentiersatz soll den Schülern gezeigt werden, dass unsere Sinnesorgane an den unterschiedlichsten Körperstellen anzutreffen sind und wie sie reagieren.

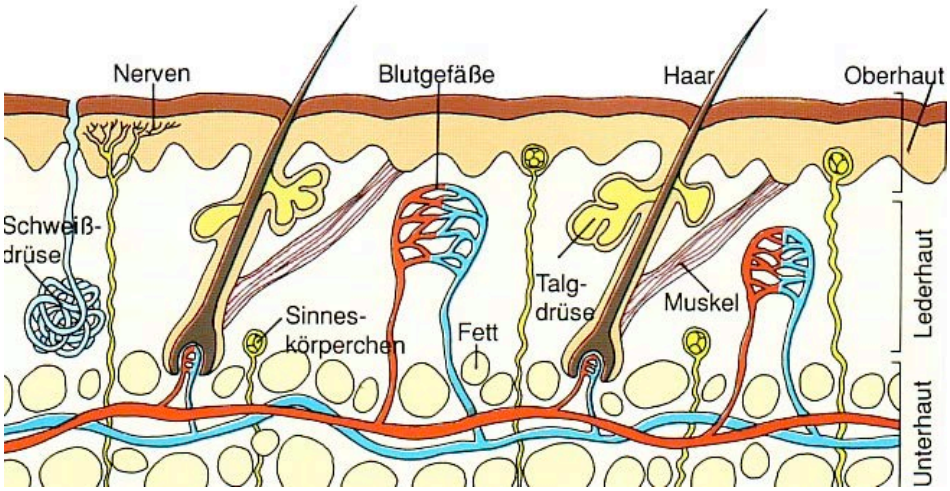
Lieferumfang

1 Tasthaar
1 Kalt-Warm-Sonde
1 Tastzirkel
1 Satz transparente Kunststoffkarten zur geometrisch-optischen Täuschung (4 Stück)
1 Testkarte zum Nachweis des "blinden Flecks" im Auge
1 Brille mit Vorsätzen
(bestehend aus 2 blauen und 2 roten Folien, 4 PVC-Scheiben)
2 Umkehrprismen für Brille
1 Motor, regelbar und in der Drehrichtung umschaltbar, inkl. Steckernetzgerät
1 Satz Musterscheiben (3 Stück)
1 Richtungshören
(bestehend aus Stethoskop, Silikonschlauch und Markierungsstift)
1 Resonanzrohr

Die Haut – eine Kontaktstelle zur Umwelt

Die Haut, die äußere Schicht des Körpers, ist aus mehreren übereinander liegenden Gewebeschichten aufgebaut.
Unser Tastsinn liefert uns wichtige Informationen über die Umwelt und warnt uns vor Gefahren. Dieser Tastsinn ist in unserer Haut "untergebracht“ und stellt damit ein sehr wichtiges Sinnesorgan dar. Im Inneren der Haut befinden sich sehr empfindliche Sinneszellen, die auf eine Vielzahl von unterschiedlichen Reizen, die von der Umwelt ausgehen, wie z. B. Wärme, Kälte oder auch Druck, reagieren.

Darstellung der Haut



Versuche

1. Der Tastsinn

Bestimmte Bereiche unseres Körpers sind sehr empfindlich, d. h. sie besitzen besonders viele Tastsinneszellen. Unser Gesicht, dort vor allen Dingen die Lippen und die Zunge im Mund, aber auch unsere Hände, hier ganz besonders die Fingerspitzen, besitzen ein sehr dichtes Netz von Sinneszellen. An den Fingerspitzen entsteht beispielsweise schon ein Reiz, wenn man die Haut dort nur wenige Tausendstel Millimeter eindrückt.

An anderen Stellen unseres Körpers sind sehr viel weniger solcher Sinneszellen vorhanden und dadurch ist die Reizschwelle relativ niedrig. Der Rücken und die Oberschenkel sind mit wesentlich weniger Tastsinneszellen ausgestattet. Erst wenn hier viele Sinneszellen einen Reiz weitergeben, wird er vom Gehirn erkannt und verarbeitet. Dagegen genügt an der Fingerspitze bereits die Erregung einer Sinneszelle und unser Gehirn nimmt diese auf und verarbeitet sie. Dabei ist die zeitliche Auflösung der Reize, die von den Tastsinneszellen der Fingerspitzen kommen, sehr hoch und macht damit die Hand zu einem präzise arbeitenden Werkzeug.
Nervenfasern, die hauptsächlich dem Tastsinn dienen, enden in bestimmten Sinnesorganen, die als Meißnersche-Tastkörperchen und Merkeschel-Tastscheiben bezeichnet werden. Diese sind in besonderem Maße in den Fingerspitzen, den Handflächen und den Fußsohlen sowie in den Lippen vorhanden. Es handelt sich um Rezeptoren, die auf Berührungsreize ansprechen, auf kleinste Verformungen der Hautoberfläche reagieren und Impulse an das Gehirn senden.

Zum Untersuchen der Tastsinneszellen in unserer Haut verwenden wir ein Tasthaar. Dieses Tasthaar besteht aus einem Holzstäbchen, das an einem Ende mit einer Kunststoffborste versehen ist. Mit diesem Tasthaar kann geringer Druck auf die Haut ausgeübt werden. Um die Verteilung der Tastsinneszellen auf der Hand untersuchen zu können, sollten zwei Schüler zusammenarbeiten. Ein Schüler betastet mit dem Tasthaar bei seinem Mitschüler unter gleichmäßigem Druck die unterschiedlichsten Zonen der Handfläche, des Handrückens und der Finger. Der Probant hat dabei die Augen geschlossen und gibt seinem Mitschüler zu verstehen, ob und wie stark er eine Berührung spürt. Es kann beobachtet werden, dass auf den Händen und an den Fingern sehr unterschiedliche Tastempfindungen festzustellen sind. Die Schüler erkennen, dass sich viele Tastsinneszellen an den Fingern und hier besonders an den Fingerspitzen befinden. Schon die geringste Berührung kann man an den Fingerspitzen wahrnehmen. Dagegen sind auf den Handrücken die Tastsinneszellen deutlich spärlicher vorhanden, so dass man an einigen Stellen kaum oder gar keine Empfindungen spürt.
Menschen, deren Sehfähigkeit stark beeinträchtigt ist, oder die nicht über ihr Augenlicht verfügen, sind in besonderer Weise auf den Tastsinn angewiesen. Dann werden die Fingerspitzen zum Ertasten und Erkennen in hohem Maße, z. B. beim Lesen der Blindenschrift, eingesetzt.

Punktdichte der Druckempfindungs- und Schmerzpunkte pro cm^2 auf der Haut

	Druckpunkte	Schmerzpunkte
Gesicht	50	184
Nasenspitze	100	44
Oberkörper	29	196
Innenseite des Unterarmes	15	203
Handrücken	14	188

Die in unserer Haut vorhandenen Vater-Pacinischen Körperchen, die Rezeptoren zur Erfassung des Druckes sind, werden durch dieses Tasthaar nicht erfasst. Diese Körperchen liegen in den tieferen Hautschichten und senden erst Informationen an das Gehirn, wenn das Gewebe sehr stark zusammengedrückt wird.

2. Wärmeempfindung

2.1 Kalt- und Warmpunkte

Zur Untersuchung der Kalt- und Warmpunkte benutzt man eine Sonde, die Kalt-Warm-Sonde, deren Spitze aus Kupfer besteht. Wärme- und Kältepunkte werden von unserer Haut durch Schmerzrezeptoren erfasst, die in der Oberhaut und der obersten Lederhaut verteilt sind.
Mit einer Kerze erhitzt man die Kalt-Warm-Sonde und setzt die Spitze der Sonde vorsichtig auf den Handrücken auf. Meist wird man dabei nur eine Berührung der Sonde bemerken. Nur an besonderen Stellen empfinden wir die Wärme der Sonde. Bei diesen wärmeempfindlichen Stellen handelt es sich um die Wärmepunkte auf der Haut. Diese Stellen, an denen man die Wärme empfindet, markiert man mit einem roten Filzschreiber.
In einem weiteren Versuch wird die Sonde mit Eis gekühlt und der Versuch erneut gestartet. Auch hier haben wir ein ähnliches Ergebnis. Man bemerkt wiederum die Berührung der Sonde auf der Haut, aber nur an ganz bestimmten Punkten empfindet man die Kälte der Sonde. Bei diesen Punkten handelt es sich um die Kältepunkte auf der Haut. Diese werden mit einem blauen Filzschreiber markiert. So ist es möglich, die Warm- und Kaltpunkte zu unterscheiden und deren Verteilung zu erkennen. Wenn man nun die roten und die blauen

Markierungen vergleicht, erkennt man, dass die Wärmepunkte und die Kältepunkte nicht übereinstimmen. Der Versuch zeigt, dass deutlich mehr Kältepunkte als Wärmepunkte auf der Haut markiert sind.

Insgesamt besitzt die Hautoberfläche des menschlichen Körpers etwa 30 000 Wärmepunkte und etwa 250 000 Kältepunkte. Der überwiegende Teil der Wärme- und Kältepunkte befindet sich im Gesicht und am Rumpf, weniger dicht sind diese Punkte an Armen und Beinen verteilt.

Punktdichte der Wärme- und Kältepunkte pro cm^2 auf der Haut

	Wärmepunkte	Kältepunkte
Gesicht	0,6	8
Nasenspitze	1,0	13
Oberkörper	0,3	9
Innenseite des Unterarmes	0,4	6
Handrücken	0,5	7

2.2 Wärmeempfindung von Wasser

Mit einem weiteren Versuch soll die Wärmeempfindung an den Händen mit Hilfe von warmem und kaltem Wasser untersucht werden. Die Wahrnehmung von Wärme und Kälte beruht auf den Wärme- und Kältepunkten des Körpers. Es ist erstaunlich, dass man Wasser gleicher Temperatur einmal als kalt und einmal als warm bzw. wärmer empfinden kann. Um dies zu untersuchen, werden zwei Gefäße mit Wasser unterschiedlicher Temperatur bereitgestellt. Nun wird in jedes der Gefäße eine Hand eingetaucht und die Wärmeempfindung beschrieben. Natürlich wird das kalte Wasser als kalt und das warme Wasser als warm beschrieben. Wenn man nach etwa einer Minute die Hände in das jeweils andere Gefäß eintaucht (von warm nach kalt und von kalt nach warm), so empfindet man, dass das warme Wasser sehr viel wärmer und das kalte Wasser sehr viel kälter erscheint. Unsere Warm-Kalt-Empfindung ist demnach sehr subjektiv, was auch im täglichen Leben immer wieder beobachtet werden kann.

3. Wahrnehmung des Abstandes von Tastpunkten mit dem Tastzirkel

Hierzu verwendet man den Tastzirkel. Der Tastzirkel wird geöffnet und mit beiden Spitzen vorsichtig bestimmte Zonen der Hand (Handrücken, Handfläche, Finger, Fingerkuppe ...) und des Armes berührt. Die Berührung sollte jeweils nur ganz kurz geschehen. Im Verlauf des Versuchs sollte der Abstand der Zirkelspitzen variiert werden, aber zunächst wird der Tastzirkel sehr gering geöffnet, die beiden Spitzen befinden sich in einem Abstand von ca. 1 mm.
Während des Versuches schließt die Versuchsperson die Augen, um erstens nicht den Abstand der Spitzen des Tastzirkels zu erkennen und zweitens auch nicht die Stelle, an welcher die Hand, der Finger oder der Arm berührt werden soll.
Um die Aufmerksamkeit der Versuchsperson bei diesem Versuch zu steigern, sollte bei der Berührung gelegentlich nur eine Spitze des Tastzirkels aufgesetzt werden. Werden aber beide Spitzen benutzt, müssen diese gleichzeitig die Haut berühren. Die Versuchsperson wird anschließend sagen, an welcher Stelle der Tastzirkel aufgesetzt worden ist und ob ein oder zwei Berührungspunkte bemerkt worden sind.

Es stellt sich die Frage, wie weit die Berührungspunkte auf der Haut auseinander liegen müssen, damit die Versuchsperson zwei einzelne Punkte wahrnimmt. Sind von der Versuchsperson beim Test zwei Berührungspunkte wahrgenommen worden, so wird der Abstand der beiden Tastzirkelspitzen gemessen und die Berührungsstelle sowie der Abstand der beiden Tastzirkelspitzen in einer Tabelle notiert.

Berührungsstelle	Abstand der Tastzirkelspitzen in mm
Handrücken nahe der Finger	
Handrücken Mitte	
Handrücken nahe dem Handgelenk	
Handfläche nahe den Fingern	
Handfläche Mitte	
Handfläche nahe dem Handgelenk	
Finger Innenseite an den Handfläche (3. Glied)	
.....	
.....	
.....	
Unterarm Oberseite kurz über dem Handgelenk	
Unterarm Oberseite nahe dem Ellenbogengelenk	

Eine weitere Frage ist, ob an einer ausgesuchten Stelle, wie z. B. des Handrückens, der Handfläche, der Finger, des Unterarmes usw., der Doppelreiz, der von der Versuchsperson wahrgenommen wird, nach allen Seiten gleich spürbar ist. Dazu markiert man auf der Haut einen Punkt mit einem Stift und setzt dann den Tastzirkel mit einer Spitze genau auf diesen Punkt. Erkennt die Versuchsperson zwei Berührungspunkte, wird der Tastzirkel erneut angesetzt, mit einer Spitze wiederum auf den markierten Punkt, mit der anderen Spitze aber etwas verdreht. Ist auch jetzt eine doppelte Berührung erkennbar? Dies kann an verschiedenen Stellen der Haut wiederholt werden.

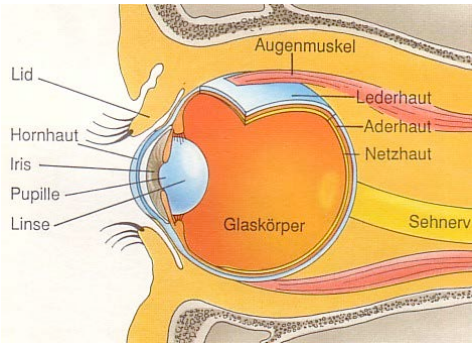
In einem weiteren Teilversuch wird der Tastzirkel auf eine Spannweite von ca. 2 cm eingestellt. Man setzt den Tastzirkel am Handgelenk an und zieht ihn langsam und unter leichtem Druck in Richtung des Ellenbogens. Was spürt und empfindet die Versuchsperson? Dieser Versuch kann auch an anderen Hautpartien durchgeführt werden.
Die Versuchsperson erkennt deutlich eine Veränderung der Berührungspunkte. Zunächst erkennt sie in der Nähe des Handgelenkes zwei Berührungspunkte, die aber in Richtung des Ellenbogengelenkes mehr und mehr verschmelzen. Obwohl die Spitzen des Tastzirkels während des Versuches immer den gleichen Abstand aufweisen, empfindet die Versuchsperson ein Zusammenlaufen der beiden Linien, bis sie vermeintlich nur noch eine Linie bilden. Dieses Phänomen läßt sich nur sehr schwer erklären. Eine mögliche Erklärung liegt wahrscheinlich in der Häufung der Tastsinneszellen. Liegen diese sehr eng beieinander, werden mehrere Sinneszellen gereizt, man empfindet zwei Reize, da die dazwischen liegenden Sinneszellen keine Informationen an das Gehirn geben. Liegen sie jedoch weit auseinander und befinden sich zwischen den beiden Sinneszellen keine weiteren Sinneszellen, empfindet man nur noch einen Reiz. Dies ist besonders im Gesicht zu erkennen. Beginnt man mit dem Tastzirkel an den Wangen und fährt über die Lippen zur anderen Wange, ist die Empfindung an den Lippen besonders stark ausgeprägt, als würden sich die beiden Linien an den Lippen sehr viel stärker voneinander entfernen.

Hinweis:
Ein weiterer Versuch zum Tastsinn wird im Kapitel "Das Auge - Organ des Gesichtssinnes", Versuch 1.2 Haptische Täuschung, S. 12 beschrieben.

Das Auge – Organ des Gesichtssinnes

Das Auge ist ein Hohlorgan mit mehreren Augenhäuten. Die innerste Augenhaut ist die Netzhaut mit einer Pigmentschicht und einer Schicht mit Millionen sensibler Nervenzellen, die Nervenimpulse, hervorgerufen durch Lichtstrahlen, zum Gehirn weiterleiten. Die Photorezeptoren setzen sich aus den farbtüchtigen Zapfen und den schwarz-weiß-empfindlichen Stäbchen zusammen. Bei Reizung der Stäbchen und Zapfen durch das eindringende Licht entstehen in den Nervenzellen die Nervenimpulse.

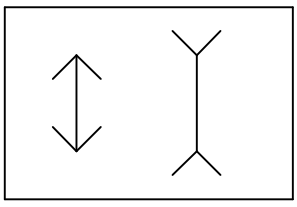
Bau des Auges – Schema



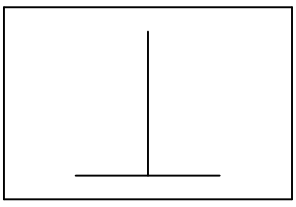
Auf der Netzhaut findet man einen "gelben Fleck“ und einen "blinden Fleck“. Der "gelbe Fleck“ ist ein gelblich gefärbtes Gebiet mitten in der Netzhaut. Hier befinden sich nur Zapfen und es handelt sich um die Stelle des schärfsten Sehens. Wenn man einen bestimmten Gegenstand fixiert, werden dessen Lichtstrahlen im "gelben Fleck“ gesammelt.
Der Sehnerv verlässt an einer Stelle des Auges den Augapfel. Dort befinden sich keine lichtempfindlichen Rezeptoren und eine Sehempfindung ist daher an dieser Stelle, die man als "blinder Fleck" bezeichnet, nicht möglich.

Versuche
1. Geometrisch-optische Täuschungen

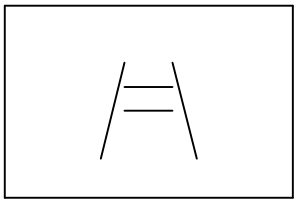
1. Müller-Lyer-Täuschung



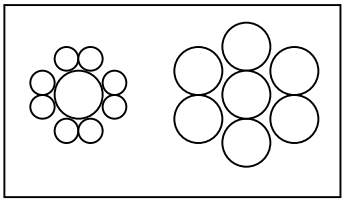
2. Fick'sche Täuschung



3. Ponzo'sche-Täuschung



4. Titchener-Täuschung



Diese 4 Motive sind als transparente Kunststoffkarten vorhanden. Aufgrund der Fräsungen der Strukturen sind sie auch projizierbar und es besteht die Möglichkeit, verblüffende Versuche durchzuführen.

1.1 Optische Täuschung mit Overheadprojektor

Nacheinander werden die 4 Kunststoffkarten auf den Overheadprojektor gelegt und projiziert. Die Schüler sollen dabei ihre Beobachtungen schildern.

Karte 1: Müller-Lyer-Täuschung
Der Betrachter wird die linke senkrechte Linie deutlich kürzer wahrnehmen als die rechte senkrechte Linie. Durch Anlegen eines Lineals entweder an der Projektionsfläche oder eines durchsichtigen Plastiklineals auf dem Overheadprojektor kann gezeigt werden, dass beide Linien tatsächlich gleich lang sind.

Karte 2: Fick'sche Täuschung
Betrachtet man die beiden Linien, die senkrechte und die waagerechte, so wird die senkrechte Linie immer deutlich länger erscheinen als die waagerechte Linie. In Wirklichkeit sind aber beide Linien in der Länge identisch. Auch hier kann dies durch Nachmessen bestätigt werden.

Karte 3: Ponzo'sche Täuschung
Beim Betrachten fällt auf, dass die obere der beiden waagerechten Linien deutlich länger erscheint, als die darunter liegende. Beide Linien sind in Wahrheit aber gleich lang, was mit Hilfe des Lineals erneut nachgewiesen werden kann.

Karte 4: Titchener Täuschung
Die Kreise in der Mitte wirken unterschiedlich groß, wobei der linke innere Kreis größer zu sein scheint, als der rechte. Auch hier ist das Nachmessen mit dem Lineal hilfreich.

Diese Beobachtungen zeigen, dass unser Gehirn deutlich an Leistungsgrenzen stößt. Man nimmt etwas wahr, was man nicht erwartet und daher macht unser Gehirn Fehler. Es gibt einen Unterschied zwischen der Erregungsbildung und der Erregungsverarbeitung. Vieles vergleicht unser Gehirn mit der Erfahrung aus dem täglich Leben. Oft erkennt das Gehirn diese Täuschungen nicht und erst dadurch, dass die Aufmerksamkeit darauf gelenkt wird, wird eine Täuschung bewusst wahrgenommen. Aus dieser Erkenntnis heraus lernen wir, dass man viele Dinge im Leben nicht so sieht, wie sie wirklich sind, sondern so, wie sie unsere Sinnesorgane aufnehmen, dem Gehirn zuleiten und wie sie dann dort verarbeitet werden.

1.2 Haptische Täuschung

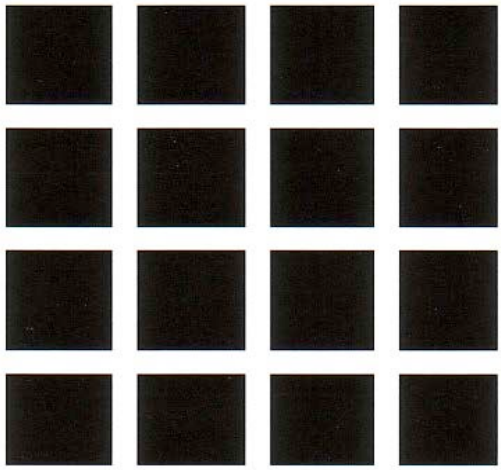
Hinweis:
Um den Versuch der haptischen Täuschung erfolgreich mit den Kunststoffkarten durchführen zu können, ist es erforderlich, dass die Testperson die 4 Karten vor Beginn des Versuchs weder sieht, noch die Täuschungen kennt.

Auch der Tastsinn unterliegt Täuschungen. Tastet der Probant die Fräsungen der Karten mit verbundenen Augen, so wird er erkennen, dass vermeintliche Unterschiede auf den Karten vorhanden sind. Nach dem Abtasten sollte der Probant die Augenbinde entfernen und die Karten betrachten. Er wird seine Ergebnisse beim Ertasten bestätigt finden. Erst nach der exakten Vermessung der Linien und Kreise mit einem Lineal werden die Unzulänglichkeiten unserer Sinnesorgane erkannt. Damit wird der Beweis erbracht, dass alle Sinnesorgane ähnliche Fehler bei der Wahrnehmung von Erscheinungen machen.

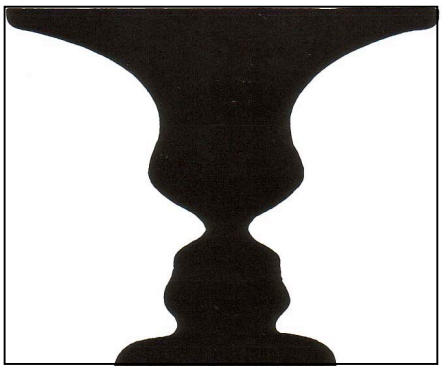
1.3 Bilder zu optischen Täuschungen

1. Junges Mädchen – Alte Frau

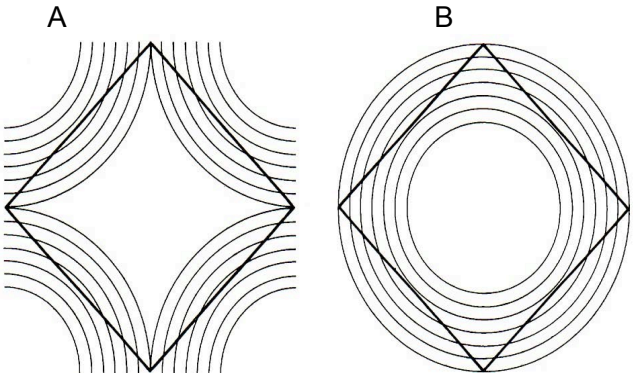
2. Herrmann'sche Kontrasttäuschung



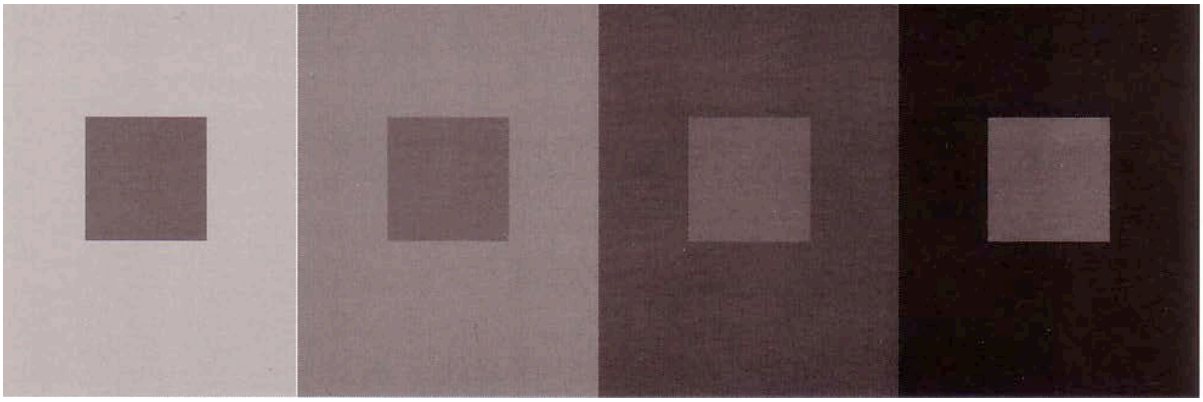
3. Rubin'sche Vase



4. Hering'sche Täuschung



5. Simultaner Helligkeitskontrast



Betrachtet man die vorstehenden 5 Bilder so wird deutlich, was optische Täuschungen sind.

Bild 1
Beim Betrachten erkennt man entweder eine alte Frau, oder ein junges, hübsches Mädchen. Sehr häufig wird beim Betrachten nur ein Bild gesehen. Ein Betrachter sieht immer nur die alte Frau, ein anderer sieht diese alte Frau nicht, er sieht immer nur das junge Mädchen. Erst wenn man direkt darauf aufmerksam gemacht wird, wie beide Bilder zu erkennen sind, ist man eventuell auch in der Lage, beide zu sehen.

Bild 2
Die Herrmann'sche Kontrasttäuschung ist ein gutes Beispiel für einen "physiologischen Kontrast“. Beim Betrachten sind an den weißen Kreuzungen deutlich sichtbare kleine graue Vierecke zu erkennen, die in Wirklichkeit nicht vorhanden sind.

Bild 3
Ein Musterbeispiel für eine optische Täuschung ist die Rubin'sche Vase. Beim Betrachten sieht man diese schwarze Vase sehr deutlich. Schaut man aber konzentriert auf die beiden weißen Seiten, so kommen die Konturen zweier Gesichter zum Vorschein, was die nachfolgenden beiden Bilder belegen.

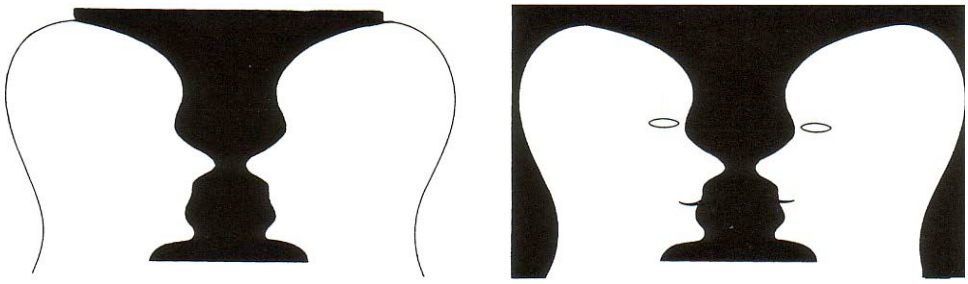
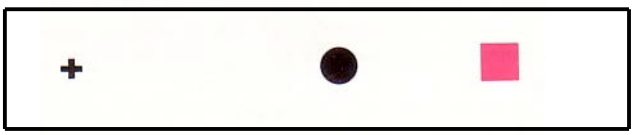


Bild 4
Bei der Hering'schen Täuschung erscheinen durch das Schneiden eines Quadrates entweder durch mehreren Kreisbögen (A), oder durch mehrere Linien eines Kreises (B) die Linien des Quadrates gebogen. Es entsteht ein vermeintlich deformiertes Quadrat.

Bild 5
Alle vier gleich großen Innenfelder haben eine identische Grautönung. Trotzdem scheinen die Innenfelder von links nach rechts immer heller zu werden, weil die Umgebung der Innenfelder immer dunkler wird. Die unterschiedlichen Kontraste lassen das Gehirn zu falschen Schlussfolgerungen gelangen. Durch Auflegen einer Schablone, die nur das innere Quadrat frei lässt, kann man erkennen, dass die Grautöne im Inneren tatsächlich identisch sind.

2. Nachweis des “blinden Flecks“ im Auge

Für den Versuch verwendet man die Testkarte mit Punkt, Kreuz und Dreieck.



Die Versuchsperson schließt ein Auge, z. B. das linke Auge, und hält die Testkarte mit ausgestrecktem Arm so vor das geöffnete Auge, dass sich der Punkt direkt senkrecht vor diesem Auge befindet. Er wird ununterbrochen fixiert. Nun führt die Versuchsperson die Testkarte näher zum Gesicht. Die dabei festzustellenden Beobachtungen werden notiert und später im Unterricht ausgewertet.

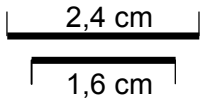
Ergebnis:
Zunächst sieht die Versuchsperson den Punkt, rechts daneben das Kreuz und auch das Dreieck. Wichtig ist, dass immer der Punkt fixiert wird. Beim langsamen Annähern der Testkarte kann bei einer Entfernung von ca. 55 cm beobachtet werden, dass plötzlich das außen liegende Dreieck verschwindet und nur noch Punkt und Kreuz zu erkennen sind. Führt man nun die Testkarte näher an das Gesicht heran, verschwinden bei einer Entfernung von ca. 40 cm sowohl das Kreuz als auch das Dreieck. Man sieht nur noch den Punkt, den man fixiert. Bei einer Entfernung von ca. 30 cm erscheint das Dreieck und danach auch das Kreuz wieder.

Mit diesem Versuch kann der "blinde Fleck“ im Auge nachgewiesen werden, denn es ist möglich ein Objekt auf dem "blinden Fleck“ abzubilden, das dann nicht mehr sichtbar ist. Da neben dem "blinden Fleck“ Sinneszellen vorhanden sind, nehmen diese die Lichtreize auf und senden die Nervenimpulse zum Gehirn, welches das Bild zusammenstellt. Beim normalen Sehen hat der "blinde Fleck“ keinerlei Bedeutung, da das Gehirn in der Lage ist, diesen Mangel auszugleichen und das Bild an dieser Stelle zu vervollständigen.

3. Betrachtung der Veränderung der Pupillenöffnung

Um den Versuch "Veränderung der Pupillenöffnung" durchführen zu können, verwendet man die im Satz vorhandene Brille. Der Klappmechanismus, der sich vor den Brillengläsern befindet, wird geöffnet und die beiden innen liegenden Verschraubungsringe herausgeschraubt. In die rechte Seite wird die Scheibe mit der Lochblende eingesetzt und mit dem Verschraubungsring befestigt. Die linke Seite bleibt ohne Einsatz. (Bitte während des Versuches auf den Verschraubungsring der linken Seite achten!)
Zur Durchführung des Versuches legt man einen Bogen weißes Papier auf einen Tisch. Der Proband deckt dann mit der Hand das linke Brillenglas ohne Vorsatz ab und schaut ca. 20 Sekunden auf das weiße Papier. Dabei soll er beobachten was zu erkennen ist.
Nach 20 Sekunden wird die Hand von der Brille entfernt und wieder beobachtet, was nun zu erkennen ist. Dieser Vorgang sollte mehrmals wiederholt werden, um das Ergebnis zu überprüfen. Die Beobachtungen sollten anschließend schriftlich festgehalten werden.

Als weiteren Versuch zeichnet man auf das Papier einen Strich von 2,4 cm Länge und darunter einen mit einer Länge von 1,6 cm. Diese werden wie folgt angeordnet:



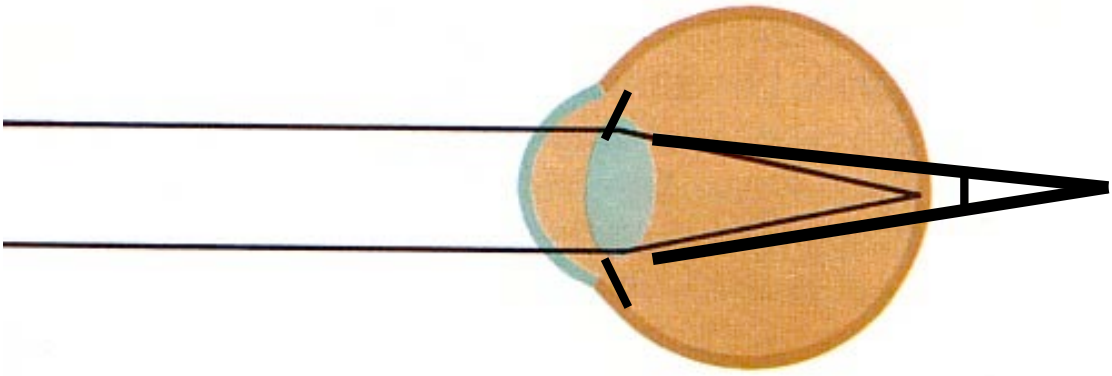
Die beiden Linien werden mit der Brille in einem Abstand von ca. 16 cm bei abgedeckter linken Brillenhälfte betrachtet. Anschließend wird das linke Brillenglas freigegeben. Der Betrachtungsabstand sollte nicht verändert werden. Was ist zu beobachten?

Ergebnis der Versuche:
Die Versuchsperson sieht beim ersten Versuch jeweils einen kreisrunden aber unscharfen hellen Fleck. Bei abgedecktem linken Brillenglas ist der helle Fleck etwas größer, wird das linke Brillenglas geöffnet, wird der noch immer sichtbare Fleck kleiner. Da diese

Beobachtung von der Versuchsperson nicht immer beim ersten Versuchsdurchgang erkannt wird, sollte er mehrfach wiederholt werden.
Man betrachtet die Pupille, die sich auf der hellen Unterlage abbildet. Ärzte nutzen diesen Reflex der Pupille, um bei bewusstlosen Personen, bei denen kein Lebenszeichen mehr erkennbar ist (z. B. Atmung, Puls), den Tod auszuschließen.

Wenn beobachtet wurde, dass sich die Pupille in ihrer Größe bei geöffnetem und geschlossenem linken Brillenglas ändert, kann mit dem Maßstab die Größenänderung gemessen werden. Die Pupille ändert ihre Öffnung mit zu- oder abnehmendem Lichteinfall. Bei viel Licht ist die Öffnung gering, bei wenig Licht ist die Öffnung groß.

Wie entsteht dieser Punkt auf der Netzhaut, den man als hellen, unscharfen Kreis auf dem weißen Untergrund sehen kann?
Bei einem normalsichtigen Auge wird auf der Netzhaut das Bild punktscharf abgebildet. Das Bild wird klar und scharf gesehen. Durch das Annähern des Kopfes an das weiße Papier und durch die Betrachtung durch die Lochblende wird der Strahlengang verändert, so dass das Bild auf der Netzhaut nicht mehr punktscharf ankommt. Statt eines Punktes entsteht auf der Netzhaut eine Scheibe, die man auf dem weißen Papier erkennen kann. Fällt weniger Licht in das Auge, wird die Scheibe größer, kommt mehr Licht in das Auge, wird die Scheibe kleiner, da sich die Pupille in ihrem Durchmesser verändert. Es stellt sich die Frage, warum sich die Pupille in ihrer Größe ändert, obwohl sich vor dem Auge noch immer die Scheibe mit der gleich großen Lochblende befindet. Dies ist damit zu erklären, dass unsere Augen "zusammenhängen“. Wenn also durch ein Auge mehr Licht auf die Netzhaut fällt, wird bei beiden Augen die Iris verkleinert und umgekehrt. Beide Pupillen eines gesunden Menschen sind immer gleich groß geöffnet. Dies macht man sich bei diesem Versuch zu Nutze.



Die dünnere Linie zeigt die punktscharfe Abbildung auf der Netzhaut, die dickere Linie, die auf der Netzhaut unscharf abgebildete Öffnung der Iris durch Verwendung der Lochblende.

4. Farbsehen und Farbveränderung im Auge

Dazu wird in das eine Brillenglas eine rote und in das andere Brillenglas eine blaue Farbscheibe, wie im Versuch 3 beschrieben, eingesetzt. Auf ein weißes Blatt Papier ohne Linien wird mit einem Bleistift eine gut sichtbare Markierung gezeichnet. Nun wird die Brille aufgesetzt und die Markierung zwinkernd beobachtet. In welcher Farbe sieht man das weiße Blatt Papier in der Umgebung der Markierung?
Längere Zeit sollte die Markierung des Blattes nun ohne zu zwinkern betrachtet werden und dabei auf die Farbe des Papierblattes geachtet werden.

In einem weiteren Versuch wird jeweils ein Brillenglas mit der Hand abgedeckt und die Umgebung der Markierung auf dem Blatt betrachtet, was erkennt man? Die Versuchsperson sollte die Brille mindestens 5 Minuten tragen und das Auge an die beiden Farben gewöhnen.

Danach wird die Brille bei geschlossenen Augen abgesetzt. Die Augen werden mit den Händen abgedeckt, wobei kein Licht auf die Augen fallen darf. Nun werden die Augen hinter den vorgehaltenen Händen geöffnet und für kurze Zeit eine Hand von einem Auge entfernt. Die Versuchsperson blickt auf das Blatt Papier. Das Auge wird schnell wieder mit der Hand abgedeckt und die Farbe mitgeteilt, in der das weiße Blatt Papier erscheint.
Ebenso wird mit dem anderen Auge verfahren. Auch hier soll die Farbe beschrieben werden, in der man das weiße Blatt Papier sieht. Was kann beobachtet werden? Welcher Farbfilter hat sich vor dem jeweiligen Auge befunden?

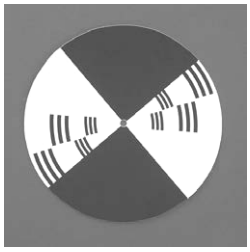
Beobachtung:
Zunächst kann erkannt werden, dass das Papier nicht, wie eventuell vermutet, in einer Mischfarbe zwischen blau und rot erscheint, sondern entweder rot oder blau. Das ist dadurch begründet, dass beide Augen in einer Art Wettstreit liegen. Das Gehirn setzt das Bild immer nur in einer Farbe zusammen, es kommt einfach darauf an, welcher Farbreiz stärker ist. Daher sieht man immer ein Objekt in ein und derselben Farbe. Es kann also nicht sein, dass ein Auge blau und das andere Auge gleichzeitig rot sieht.
Wird das Blatt Papier längere Zeit betrachtet, kann beobachtet werden, dass die beiden Farben in bestimmten Zeitabständen wechseln. Das Bild erscheint einige Zeit rot, dann plötzlich blau. Es ist möglich, diese Zeit zu stoppen, um zu erfahren, wie lange ein Auge benötigt, um die Farben umspringen zu lassen. Diese Zeit ist von Person zu Person sehr unterschiedlich. Der Wechsel der Farben kann nach einiger Betrachtungszeit sehr regelmäßig werden. Dieser Versuch gelingt aber nur, wenn sich die Versuchsperson auf die Markierung des Blattes konzentriert und nicht zwinkert. Nach einigen Minuten wird keine Änderung der Farben mehr bemerkt. Dies kann man dadurch beenden, dass in eine Lichtquelle oder ins helle Tageslicht gesehen wird. Wird nun das Blatt wieder in der Weise betrachtet, wie beschrieben, beginnt der Wechsel der Farben erneut.
Wird die Brille bei geschlossenen Augen abgenommen und kurz mit nur einem Auge das weiße Blatt Papier betrachtet, wird Erstaunliches beobachtet. Das Auge, welches über mindestens 5 Minuten durch das rote Brillenglas gesehen hat, sieht nun das Blatt Papier in einer blau-grünen Farbe und das Auge, welches durch das blaue Brillenglas gesehen hat, sieht das Blatt Papier orangerot. Dieses Phänomen wird auch als Farbumstimmung oder als Farbnachbild bezeichnet. Innerhalb von etwa 60 Sekunden verschwinden diese Eindrücke jedoch, so dass die Farben wieder wie gewohnt erkannt werden können.

Für unser Farbempfinden ist dieses Phänomen von immenser Bedeutung. Die spektrale Zusammensetzung des Lichtes ändert sich mit der Tageszeit, mit der Bewölkung und der geographischen Lage von Orten. Bei wolkenlosem Himmel nimmt der kurzwellige Anteil des Sonnenlichtes vom Morgen bis zum Mittag zu und danach wieder ab. Somit hat das Sonnenlicht am Mittag den höchsten Anteil an kurzwelliger Strahlung. Gäbe es keine Farbumstimmung würden sich die Farben über den Tag hin deutlich verändern. Morgens wäre der rötliche Anteil deutlich höher und zum Mittag hin würde der bläuliche Anteil stark zunehmen. Ein weißes Papier hätte dann am Morgen einen deutlich höheren rötlichen und am Mittag einen deutlich höheren bläulichen Anteil. Morgens sinkt durch den höheren rötlichen Anteil die Rotempfindlichkeit und mittags durch den höheren bläulichen Anteil die Blauempfindung in unserem Auge. Damit erscheint uns ein Objekt über den Tag hinweg immer in derselben Farbe, obgleich das von einem Objekt reflektierte Licht über den Tag hinweg nicht gleich bleibt.

5. Flimmerfarben durch rotierende Musterscheiben

Für diesen Versuch wird ein Motor mit Antriebsreglung und Vor- und Rücklauf benötigt. Der Motor wird an einem Stativ befestigt. Die Rändelmutter auf der Motorachse wird entfernt und die Musterscheibe A aufgesetzt. Danach die Rändelmutter wieder aufschrauben.

Musterscheibe A



Musterscheibe B

Nun wird die Musterscheibe durch Drehen des Potentiometers am Motor nach links in Bewegung gesetzt. Die Laufrichtung ist zunächst im Uhrzeigersinn. Die Schüler betrachten die rotierende Scheibe aus einem Abstand von 1 - 2 m. Die Scheibe sollte zunächst langsam laufen, die Geschwindigkeit der Scheibe wird nach und nach auf mittelschnell erhöht. Eine gesonderte Beleuchtung der Musterscheiben ist bei diesem Versuch nicht erforderlich und auch nicht anzuraten, es genügt das normale Tageslicht. Die mit Kunstlicht, besonders mit Leuchtstofflampen beleuchtete Scheibe, kann bei den Beobachtern zusätzliche Phänomene hervorrufen (z. B. Stroboskop-Effekt).
Was kann beobachtet werden?

Nun wird die Laufrichtung entgegen des Uhrzeigersinns, durch Umschalten des kleinen Kippschalters neben dem Potentiometer, geändert. Auch hier wird die Laufgeschwindigkeit wieder von langsam nach mittelschnell erhöht.
Was kann beobachtet werden?

Der Versuch wird mit der Musterscheibe B wiederholt. Auch hier wird die Geschwindigkeit erhöht und die Laufrichtung geändert.
Was kann beobachtet werden?

Beobachtung:
Bei Verwendung der Musterscheibe A sind die zu erkennenden Farbphänomene deutlicher zu beobachten als beim Einsatz der Musterscheibe B. Bei beiden Scheiben verschmilzt mit zunehmender Umlaufgeschwindigkeit das schwarze Segment. Es werden 9 bzw. 12 Ringe sichtbar, die mit zunehmender Umlaufgeschwindigkeit mehr und mehr in grau übergehen. Bei der Musterscheibe A kann mit zunehmender Umlaufgeschwindigkeit eine gewisse Farbveränderung der einzelnen Ringe beobachtet werden.
Läuft die Scheibe im Uhrzeigersinn, so erkennt man, dass die drei äußeren Ringe sich dunkel-violett verfärben. Die drei darunter liegenden Ringe erscheinen blass-blau und die drei inneren Ringe grün-braun.
Wird die Laufrichtung geändert (durch Umlegen des Schalters neben dem Potentiometer), kann beobachtet werden, dass sich die Farbenabfolge der konzentrischen Ringe umkehrt. Die drei äußeren Ringe erscheinen nun grün-braun, die darunter liegenden Ringe blass-blau und die drei inneren Ringe dunkel-violett gefärbt.
Hinweis: Nicht jeder Betrachter erkennt diese Farben in der beschriebenen Weise, was an der Umlaufgeschwindigkeit der Musterscheibe und der individuellen Wahrnehmung jedes Einzelnen liegen kann!

Wird die Umlaufgeschwindigkeit nach und nach weiter erhöht, so kann beobachtet werden, dass die wahrgenommenen Farben immer mehr verblassen und schließlich ein einheitliches Grau annehmen. Von den schwarzen Segmenten auf der Musterscheibe ist aber nach wie vor nichts zu erkennen.

Auch mit der Musterscheibe B können bei entsprechender Umlaufgeschwindigkeit Farben wahrgenommen werden, die allerdings deutlich in ihrer Farbintensität gegenüber der Musterscheibe A abnehmen. Auf dieser Scheibe sind die blauen und grau-grünen Farbtöne dominierend.
Wird die Scheibe mit Leuchtstoffröhren bestrahlt, können, wie oben bereits angedeutet, zusätzliche Effekte auftreten, die durch den Wechselstrom, mit denen Leuchtstoffröhren betrieben werden, hervorgerufen werden. Das Licht wird periodisch hell und dunkel, was wir im Normalfall wegen der schnellen Abfolge nicht bemerken. Durch die Rotation der Musterscheiben kann es aber dazu kommen, dass die Abfolge von schwarz und weiß auf der Scheibe sich gerade mit der Abfolge von hell und dunkel des Lichtes decken und wir es dann bemerken (Stroboskop-Effekt).

Versuch zur Erklärung von Flimmerfarben:
In unserem Auge befinden sich auf der Netzhaut Rezeptoren (Zapfen und Stäbchen). Die Zapfen können Farben erfassen, die Stäbchen hell / dunkel. Auf den Scheiben sind aber keine farbigen Linien, sondern nur schwarz-weiße Muster vorhanden. Damit können auch nur die Zapfen angeregt werden. Durch die Rotation der Musterscheiben erhalten die Zapfen zu einem Zeitpunkt mehr Licht als zu einem anderen. Das ist durch die auf den Scheiben vorhandenen Linien bedingt. Diese Information melden die Zapfen über die Nervenbahnen zum Gehirn. Durch die unterschiedliche Anordnung der Linien auf den Scheiben kommen diese Nervenimpulse auch noch versetzt von den einzelnen Dreiergruppen im Gehirn an, d. h. der Reizverlauf (Phasenverschiebung) ist unterschiedlich. Nicht alle Zapfen erfassen zu jeder Zeit identische Muster, d. h. nur die Unterschiede benachbarter Netzhautstellen werden an das Gehirn weitergegeben. Diese unterschiedlichen physiologischen Effekte lösen im Gehirn wahrscheinlich bestimmte Farbempfindungen aus, die dann vermeintlich auf der Musterscheibe erkannt werden. Würde man die rotierende Scheibe fotografieren, wären nur graue Linien zu erkennen. In der Literatur sind diese Phänomene auch unter den Fechner'schen, Benham'schen oder polyphänen Farben beschrieben. (Vgl. auch C. v. Camphausen: Die Sinne des Menschen, Thieme Verlag, Stuttgart 1981.)

6. Bewegungsnacheffekt

Für diesen Versuch wird ein Motor mit Antriebsregelung und Vor- und Rücklauf benötigt. Diesen Motor befestigt man an einem Stativ. Die Musterscheibe C wird mit dem Motor verbunden, indem die Rändelmutter entfernt und die Musterscheibe C auf die Welle des Motors gesetzt wird, danach die Rändelmutter wieder aufschrauben.

Die Musterscheibe C wird in eine langsame Rotation versetzt. Zunächst lässt man die Scheibe im Uhrzeigersinn rotieren. Die Schüler sollten diese rotierende Scheibe aus einer Entfernung von etwa 1 - 2 m betrachten. Beim Betrachten der sich bewegenden Scheibe hat man das Gefühl, dass eine Scheinbewegung nach außen (Vergrößerung) auftritt.
Die Musterscheibe sollte nicht zu schnell laufen. Die Schüler erhalten den Auftrag, sich auf den Mittelpunkt der rotierenden Scheibe zu konzentrieren. Mindestens 30 - 40 Sekunden sollten die Schüler ohne Ablenkung die Scheibe betrachten. Je länger die Betrachtungszeit, um so besser!

Nach dieser Betrachtungszeit kann man entweder aus dem Fenster, einer Person ins Gesicht, in das geöffnete Lehrbuch oder auf die angehaltene Scheibe schauen. Was ist zu beobachten?

Musterscheibe C

Wird die Drehrichtung umgeschaltet, verändert sich die Wahrnehmung dahingehend, dass man meint eine Scheinbewegung nach innen (Verkleinerung) zu erkennen. Die Schüler erhalten auch hier wieder den Auftrag die Scheibe konzentriert für ca. 30 - 40 Sekunden zu beobachten und danach erneut aus dem Fenster, einer Person ins Gesicht, ins Lehrbuch oder auf die angehaltene Scheibe zu schauen.
Was kann diesmal beobachtet werden?

Die Versuche werden mit nur einem Auge wiederholt, das andere Auge wird z. B. durch die Hand abgedeckt. Ändert sich dadurch etwas?

Was geschieht, wenn man das abgedeckte Auge nach dem Adaptieren zum Betrachten eines Gegenstandes öffnet und das Auge, mit dem man die rotierende Scheibe betrachtet hat, schließt?

Hinweis: Da die Zeit der Adaptation sehr schnell abnimmt, sollte nach jeder Betrachtung erneut für ca. 30 - 40 Sekunden auf die rotierende Scheibe gesehen werden!

Beobachtung:
Egal wohin der Blick nach der Adaptationszeit gerichtet wird, immer werden folgende Phänomene beobachtet.
Je nachdem in welche Richtung die Musterscheibe gedreht wurde, erscheint zum Beispiel beim Blick aus dem Fenster dieses sich entweder zu verkleinern oder zu vergrößern. Sieht man einem Menschen ins Gesicht, am besten auf die Nasenspitze, hat man den Eindruck, dass das Gesicht entweder zu schrumpfen oder sich zu vergrößern scheint. Das, was man sieht, ist dem Bewegungsreiz während der Adaptationszeit genau entgegengesetzt.
Besonders deutlich wird der so genannte Nacheffekt, wenn man die Musterscheibe anhält und diese dann betrachtet. Man hat das Gefühl, dass sich die Scheibe entweder zu verkleinern oder zu vergrößern scheint.
Sicherlich werden einige Schüler beim Betrachten der rotierenden Scheibe das Gefühl haben und dies auch äußern, dass sich die Scheibe entweder von ihnen entfernt oder sich bei geänderter Drehrichtung zu nähern scheint. Dieser Effekt wird erheblich verstärkt, wenn man die rotierende Scheibe nur mit einem Auge betrachtet.
Schließt man nach dem Betrachten der rotierenden Scheibe die Augen, so ist von einem Nacheffekt nichts zu bemerken. Erst wenn die Augen wieder geöffnet werden, tritt der beschriebene Nacheffekt wieder ein. Dabei ist es egal, wie lange die Augen geschlossen gehalten worden sind. Hier ist aber eine Betrachtung der rotierenden Scheibe von nur 30 - 40 Sekunden nicht lang genug. Soll dieser Versuch durchgeführt werden, ist es erforderlich, dass die Schüler die sich drehende Scheibe mehrere Minuten lang konzentriert betrachten.

Adaptiert man nur ein Auge mit der rotierenden Scheibe und betrachtet dann einen Gegenstand mit dem anderen Auge, so tritt der beschriebene Nacheffekt ebenfalls ein, obwohl dieses Auge nicht von der drehenden Scheibe adaptiert worden ist.
Nacheffekte entstehen, wenn unser visuelles System im Gehirn "umgestimmt“ wurde. Die Nervenzellen in unserem Auge sind immer mit der Aufgabe betraut zu erkennen, ob und wie sich ein Gegenstand in seiner Lage verändert. Bewegt sich ein Gegenstand immer in eine Richtung (wie z. B. die rotierende Musterscheibe) melden die Nervenzellen dies an das Gehirn. Das Gehirn bewertet diese Bewegung bei ununterbrochener Information immer weniger schnell, d. h. man könnte es mathematisch so ausdrücken, als würde das Gehirn den Nullpunkt in die Gegenrichtung verschieben. Durch diese "Verschiebung“ des Nullpunktes müssen nach Beendigung der Informationen (Adaptation) alle betrachteten Gegenstände in umgekehrter Richtung wieder "zurückverschoben“ werden, bis sich ein neuer "Nullpunkt“ im System Gehirn eingestellt hat. Diese "Verschiebungen der Nullpunkte“ sind für uns als Nacheffekte zu beobachten.

Mehrere Deutungen sind daher bei den Nacheffekten möglich:

a) Kommt ein Gegenstand auf den Betrachter zu, wird dieser nach den Seiten größer; dies hat zur Folge, dass sich der Gegenstand vom Betrachter als Nacheffekt scheinbar entfernt.
Entfernt sich jedoch ein Gegenstand vom Betrachter, wird dieser nach allen Seiten kleiner; was zur Folge hat, dass sich der Gegenstand als Nacheffekt scheinbar auf den Betrachter zu bewegt. Daraus folgt, dass als Nacheffekt immer eine scheinbare Bewegung in Gegenrichtung ausgeführt wird.

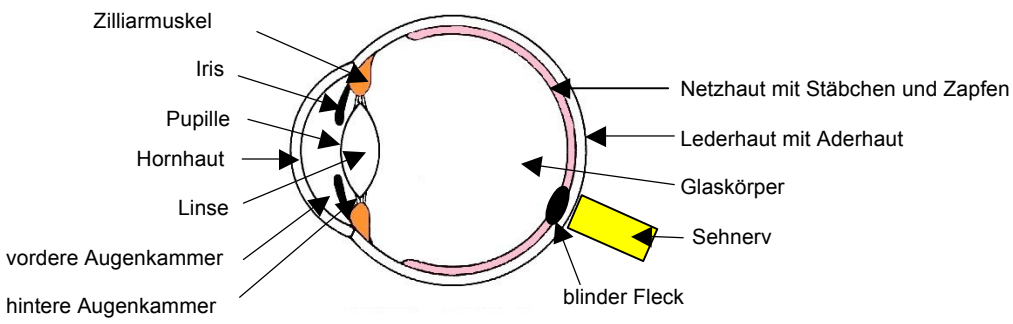
b) Bei geschlossenen Augen wird vom Gehirn keinerlei Information hinsichtlich eines Bildes aufgenommen. Daher kann die "Verschiebung des Nullpunktes“ in die Gegenrichtung (Nacheffekt) erst einsetzen, wenn vom Gehirn wieder ein Bild aufgenommen wird.

c) Für die Entstehung des Nacheffektes sind die Nervenzellen im Gehirn verantwortlich, die sich hinter der Stelle befinden, an der sich die beiden Sehnerven vereinigt haben. Daher ist es erklärlich, dass auch dann ein Nacheffekt beobachtet werden kann, wenn nur mit einem Auge eine Adaptation erfolgt ist.

7. Umkehrbrille zum Nachweis der Umkehrung des Bildes in unserem Gehirn

Erläuterung der Vorgänge in unserem Gehirn durch die Umkehrbrille

Bau des Auges:

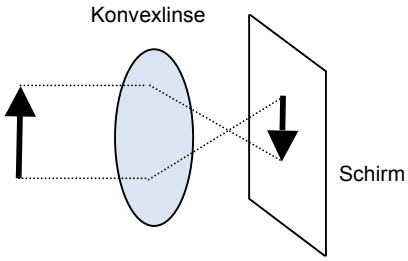


Das menschliche Auge ist eines der wichtigsten Sinnesorgane unseres Körpers. Mit Hilfe dieses und aller weiteren Sinnesorgane ist es möglich, dass wir uns in unserer Umgebung zurechtzufinden. Die Netzhaut im Augenhintergrund enthält Sinneszellen für Helligkeit (Stäbchen) und für Farbe (Zapfen). Werden diese Sinneszellen durch einfallendes Licht unterschiedlicher Intensität und Farbe gereizt, sendet der Sehnerv die entstehenden Informationen an das Gehirn, welches dann ein Bild zusammensetzt, was wir wahrnehmen.

Ein Teilbereich der Optik, die physiologische Optik, befasst sich u.a. mit dem Strahlengang in unserem Auge. Mit Hilfe der Optik lässt sich der Vorgang des Sehens nur sehr begrenzt erklären, da unser Gehirn dabei die größte Rolle spielt, indem es die ankommenden Aktionspotentiale zu den Informationen verarbeitet, die wir „landläufig“ als Sehen bezeichnen. Unser Auge mit seinen durchsichtigen Teilen wirkt wie eine Sammellinse, die ein wirkliches Bild, welches stark verkleinert ist, verkehrt herum auf die Netzhaut projiziert.

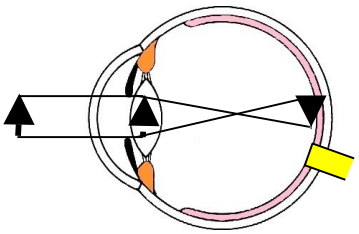
Abbildung auf der Netzhaut

Johannes Keppler beschrieb erstmals 1604, wie das aufgenommene Bild auf der Netzhaut des Auges ankommt. Er wusste, dass die Linse im Auge stark konvex gewölbt ist. Versuche außerhalb des Auges zeigten ihm, dass sich Strahlen durch eine Konvexlinse kurz hinter dieser kreuzen.



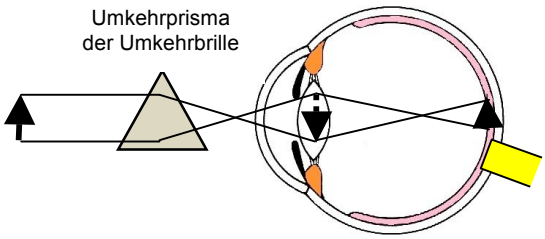
Darstellung der Erkenntnisse Kepplers

Die erste Veröffentlichung der Beschreibung des Strahlenganges im Auge geht zurück auf den belgischen Mathematiker und Physiker Aguilonius (1567 – 1617). Er lieferte damit den Schlüssel zur Erklärung des Phänomens der physiologischen Optik. Seine Beschreibung nahm aber keinerlei Bezug auf Johannes Keppler, der bereits deutlich früher Erklärungen zum Verlauf des Strahlenganges im menschlichen Auge gab und somit die eigentlichen Grundlagen des Sehens legte.



Aguilonius´ Vorstellung des Strahlenganges im menschlichen Auge

Obwohl das aufgenommene Bild in unserem Auge auf der Netzhaut auf dem Kopf stehend ankommt, nehmen wir unsere Umwelt aufrecht wahr. Unser Gehirn, das die Informationen vom Auge aufnimmt und verarbeitet, kennt weder ein unten noch ein oben. Das Gehirn setzt Eindrücke, die aus einem Bild und anderen Sinneswahrnehmungen bestehen, als ein Ganzes zusammen und versetzt uns damit in die Lage, die Umwelt so wahrzunehmen, wie sie ist.
George Stratton, ein Psychologe von der University of California in Berkeley unternahm 1896 einen Selbstversuch. Mit diesem Versuch wollte er der Frage nachgehen, was passiert, wenn das auf der Netzhaut ankommende Bild nicht mehr auf dem Kopf stehend, sondern aufrecht ankommt.
Dazu stellte er eine Maske her, die ein Auge völlig abdeckte und über Prismen vor dem anderen Auge das ankommende Bild bereits vor der Linse umdrehte. Auf der Netzhaut kam nun das Bild nicht mehr auf dem Kopf stehend an, sondern aufrecht. Das Gehirn aber drehte wie immer das Bild, so dass das, was oben war unten und umgekehrt gesehen wurde.



Mit diesem Problem beschäftigten sich nochmals ausgiebig in den 50-er Jahren des 20. Jahrhunderts die beiden Psychologen an der Universität Innsbruck Ivo Kohler und Theodor Erismann.
Sie gingen davon aus, dass Neugeborene bereits kurz nach der Geburt die sie umgebende Umwelt mit ihren Augen wahrnehmen – allerdings sehr undeutlich und wahrscheinlich noch auf dem Kopf stehend. Sehschärfe, räumliches und aufrechtes Sehen sind noch nicht ausgeprägt und müssen im Zusammenspiel des Auges mit den anderen Sinneswahrnehmungen vom Gehirn erlernt werden.

Der Lernprozess ist langsam, aber prägt sich im Gehirn sehr fest ein. Ab dem frühen Kindesalter hat sich das Sehen so manifestiert, dass Bilder bereits in der Vorstellung „gesehen“ werden können. Diese Vorstellung ist das Problem, wenn mit der Umkehrbrille versucht, seine Umgebung wahrzunehmen. Zwar ist das Gehirn zunächst irritiert und man sieht die Bilder auf dem Kopf stehend, aber nach mehreren Tagen hat sich das Gehirn adaptiert und Bilder können wieder ganz normal aufrecht stehend gesehen werden.
Tatsache ist, dass sich das Gehirn auf neue Situationen einstellen und das Bild immer wieder korrigieren kann. Sehen ist daher nicht nur eine Projektion der Außenwelt durch das Auge in das Gehirn, sondern das Gehirn verarbeitet das Bild auf vielfältige Weise und kann sich erstaunlich schnell an Veränderungen anpassen.

Versuche
Die Umkehrbrille ist eine Präzisionsarbeit mit hochwertigen Spezialprismen, die auch für Brillenträger geeignet ist.
Die Umkehrbrille kann eingesetzt werden

- zum Erkennen des Strahlenganges in unserem Auge
- um Versuche durchzuführen, wie z.B. Zeichnen eines Hauses oder Baumes, aber auch zum Eingießen von farbiger Flüssigkeit in einen Behälter usw.

Bitte beachten Sie, dass die Prismen unverrückbar in die Fassung eingepasst sind. Dazu die hinter den Prismenplatten zur Halterung vorhandene Gewinderinge mit einem kleinen Schraubendreher vorsichtig festziehen. Den Schraubendreher hierfür in eine der vier Ausbuchtungen einsetzen und den Gewindering vorsichtig anziehen.

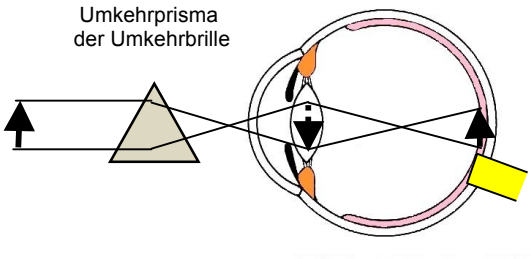
Beim Einsatz der Umkehrbrille sollte die Versuchsperson ständig unter Kontrolle gehalten werden, um Stürze zu vermeiden.

Bei den Probanden kann es zu Schwindelanfällen oder Übelkeit kommen, dann die Umkehrbrille sofort abnehmen.

Die Prismen und Brille nur mit einem weichen Lappen und gegebenenfalls mit Wasser säubern. **Keinesfalls die Prismen und die Brille mit einem Lösungsmittel reinigen!**

Was geschieht beim Einsatz der Umkehrbrille ?

Die Umkehrbrille dreht das Bild vor dem Auftreffen auf die Hornhaut auf den Kopf. Durch den natürlichen Strahlengang im Auge, wird nun das Bild aufrecht auf die Netzhaut geworfen.



Das Gehirn verarbeitet diese Informationen, die es über den Sehnerv erhält, so, wie immer. Es dreht das Bild um. Daher nimmt die Versuchsperson ein auf dem Kopf stehendes Bild wahr. Behält man die Umkehrbrille einige Tage ständig auf, so stellt sich das Gehirn nach einiger Adaptationszeit auf die neue Information ein, denn es hat über viele Jahre gelernt, dass das Bild, so wie es gesehen wird, nicht den Tatsachen entspricht. Dabei wird es durch die Tastsinneszellen der Haut, dem Gleichgewichtssinn und anderer Sinneswahrnehmungen unterstützt. Das Bild wird plötzlich wieder aufrecht gesehen, das Gehirn hat alle ankommenden Informationen miteinander abgeglichen und den vermeintlichen „Fehler“ behoben.
Bei längerem Tragen der Brille empfindet man mehr oder weniger Übelkeit, beim Bewegen des Kopfes scheint sich alles um einen herum zu bewegen.
Mit jedem Tag, den das Experiment dauert, stellt sich das Gehirn mehr und mehr auf die neuen Bedingungen ein. Nach 5 bis 6 Tagen hat sich das Gehirn so umgestellt, dass gesehene Bilder bei entsprechender Konzentration aufrecht gesehen werden, obwohl sich an der Abbildung des aufgenommenen Bildes auf der Netzhaut nichts geändert hat. Es wird also klar, dass „das umgekehrte Bild auf der Netzhaut nicht erforderlich ist für aufrechtes Sehen“ (Stratton). Das Gehirn kann aus einem gedrehten Bild somit die Harmonie herstellen zwischen dem, was man sieht, und dem, was man spürt.
Man darf sich aber nicht der Illusion hingeben, dass jede Versuchsperson mit einer Umkehrbrille dauerhaft aufrecht sehen kann. Dieser Eindruck kann oft nur kurzzeitig herbeigeführt werden und manchmal auch nur dann, wenn sich der Proband dabei sehr stark konzentriert. Ob man also aufrecht oder verkehrt Gegenstände der Umwelt wahrnimmt, hängt nicht allein vom Auge ab; denn das Sehen steht in enger Beziehung mit den anderen Sinnen, was diese im gleichen Moment an das Gehirn melden.
Da sich das Gehirn immer wieder an das „erinnert“, wie es Gegenstände vor dem Versuch abgespeichert hat, ist es schwierig mit der Umkehrbrille schon nach kurzer Zeit Bilder aufrecht zu sehen. Das Gehirn ist zunächst irritiert und man sieht die Bilder auf dem Kopf stehend, aber nach mehreren Tagen adaptiert sich das Gehirn und die Versuchsperson kann Bilder ganz normal sehen. Alle Tätigkeiten, die zunächst größte Schwierigkeiten ergaben sie auszuführen, können ohne größere Probleme wieder ausgeführt werden.
Probanden werden die Umkehrbrille i.d.R. nur kurze Zeit benutzen, da Langzeitversuche nur in Ausnahmefällen angestrebt werden. Bei Kurzzeitversuchen kann man z.B. den Versuchspersonen mit aufgesetzter Umkehrbrille die Aufgabe stellen, ein Haus zu zeichnen oder gefärbtes Wasser in ein Glas zu gießen. Hierbei wird sehr schnell klar, wie schwierig es ist, diese Aufgaben unter den gegebenen Umständen zu lösen.
Aus diesem Versuch erkennen wir, dass das Gehirn die Informationen, die es von den Stäbchen und Zapfen des Auges und den anderen Sinneswahrnehmungen erhält, erst weiter verarbeiten muss, um sie uns zu Bewusstsein zu bringen.

Die Rückgewöhnung nach einem Langzeitversuch mit der Umkehrbrille ist nach wenigen Minuten wieder abgeschlossen.
Der Grund hierfür ist, dass das Bild, welches auf der Netzhaut ankommt, nun wieder wie gewohnt auf dem Kopf steht und das Gehirn seine über Jahre „erworbene“ Erfahrung umsetzt. Das gesehene Bild steht wieder aufrecht.

Das Ohr – ein wichtiges Sinnesorgan

Neben dem Tasten und dem Sehen nehmen wir unsere Umwelt auch mit dem Gehör wahr. Das Gehör nimmt Nachrichten über ausgesendete Schallwellen auf. Dies geschieht durch Schwankungen des Luftdruckes. Das Hörorgan hat die Aufgabe Schallwellen aufzufangen, in Nervenerregungen umzuwandeln und dem Gehirn zuzuleiten. Die Hörempfindung entsteht nicht im Ohr, sondern erst im Gehirn.

Bau des Ohres

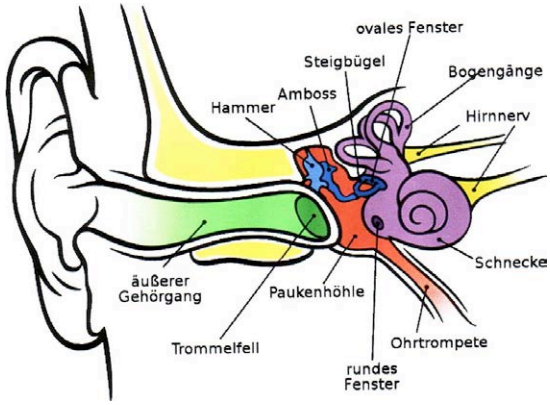


Abbildung aus WIKIPEDIA

Das Hörorgan setzt sich aus drei Abschnitten zusammen:

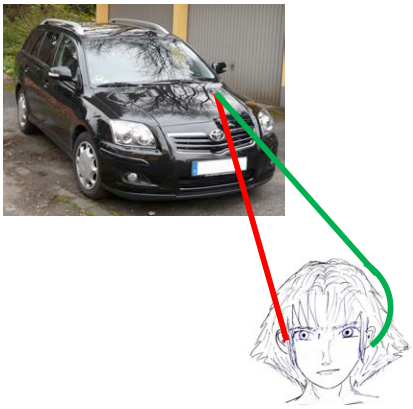
- dem äußeren Ohr
- dem Mittelohr und
- dem Innenohr

Das äußere Ohr ist der Schallempfänger mit Ohrmuschel, Gehörgang und Trommelfell, das Mittelohr (Paukenhöhle) leitet die Schallwellen durch die Brücke der Gehörknöchelchen weiter zum Hörorgan und das flüssigkeitsgefüllte Innenohr mit der Schnecke, dem eigentlichen Hörorgan, verarbeitet die Schallwellen zu Nervenimpulsen, die über den Hörnerv dem Gehirn zugeleitet werden. Ferner befindet sich das Gleichgewichtsorgan mit den Bogengängen im Innenohr, obwohl es nicht dem Hören dient.

1. Erläuterung zum Richtungshöhren

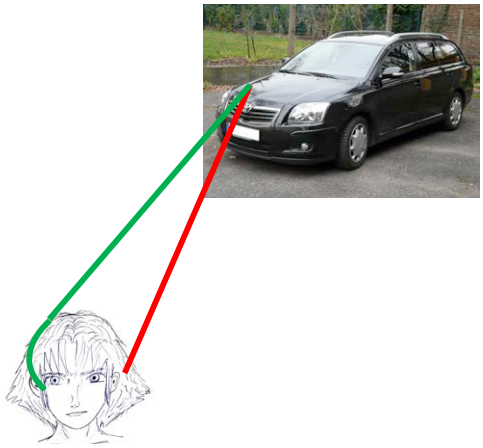
Unser Kopf ist mit 2 Ohren ausgestattet. Damit ist es möglich sehr präzise eine Schallquelle zu orten. Das ist z.B. im Straßenverkehr bzw. bei der Ortung anderer Geräusche, von größter Bedeutung.
Die Richtung, aus der ein Schall unser Gehör erreicht, lässt sich sehr einfach experimentell nachvollziehen. Dazu soll zunächst die Schallaufnahme durch unser Gehör kurz beschrieben werden.
Der Schall wird von der Ohrmuschel aufgenommen und durch den Gehörgang zum Trommelfell geleitet. Durch Vibration des Trommelfells werden die drei gelenkig miteinander verbundenen Gehörknöchelchen (Hammer, Amboss und Steigbügel) in Bewegung gesetzt und verstärkt. Der Steigbügel, als letztes Gehörknöchelchen, überträgt die Vibration auf das ovale Fenster der Gehörschnecke. Dadurch wird die darin befindliche Flüssigkeit in Bewegung versetzt, welche ihre Flimmerhärchen reizen. Die an den Flimmerhärchen vorhandenen Sinneszellen bauen Aktionspotentiale auf, die über den Hörnerv zum Gehirn gelangen. Das Gehirn macht uns daraus den entsprechenden aufgen Abbildung aus WIKIPEDIA
das Geräusch bewusst.

Wir stehen an der Bordkante einer belebten Straße und hören, aus welcher Richtung ein Fahrzeug auf uns zukommt. Die Frage ist: „Wie erkennt unser Gehirn, von welcher Seite der Schall des Fahrzeuges kommt?“ Dies hat etwas mit unseren beiden Ohren zu tun, die sich rechts und links am Kopf befinden.



Der **Schall eines von rechts kommenden Fahrzeugs trifft zunächst auf das rechte** und **Bruchteile von Sekunden später auf das linke Ohr** der Person. Das Gehirn erkennt diesen minimalen Zeitunterschied und gibt der Person die Information, dass ein Fahrzeug von rechts angefahren kommt. Laufzeitunterschiede des Schalls von 0,1 bis 0,7 ms kann unser Gehirn erfassen und einer Richtung zuweisen.

Kommt das Fahrzeug von vorn nehmen **unsere beiden Ohren den Schall zur gleichen Zeit wahr** und das Gehirn erkennt, dass das Fahrzeug direkt von vorn angefahren kommt.



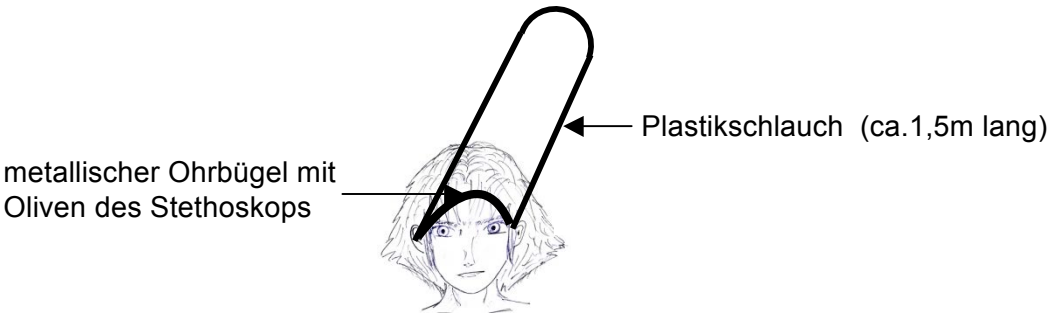
Ebenso, wie von der rechten Seite wird der Schall auch **bei einem von links kommenden Fahrzeugs vom linken Ohr eher wahrgenommen**, **als vom rechten**.

Neben dem etwas längeren Schallweg des dem Schall abgewandten Ohres ist auch die dadurch abnehmende Lautstärke des Schalls eine weitere Hilfe für das Gehirn, die exakte Schallrichtung festzustellen.

2. Versuch zum Richtungshören

In einem einfachen Experiment kann im Unterricht ganz schnell und mit erstaunlich genauer Präzision die Richtung eines ankommenden Schalls bestimmt werden.
Dazu benötigt man ein Stethoskop, von dem der Plastikschlauch mit Stethoskopkopf (Schalltrichter und Membran) entfernt wird. Die beiden Enden des metallischen Ohrbügels

werden nun mit einem PVC-Schlauch verbunden, dessen Mitte vorher mit dem beiliegenden Textmarker markiert wurde. Der Schlauch sollte mindestens 1,5 m lang sein.
Der Versuchsperson werden die beiden Oliven des metallischen Ohrbügels mit dem nach hinten geführten Schlauch , wie es aus der unten stehenden Abbildung ersichtlich ist, in die Ohren gesetzt.



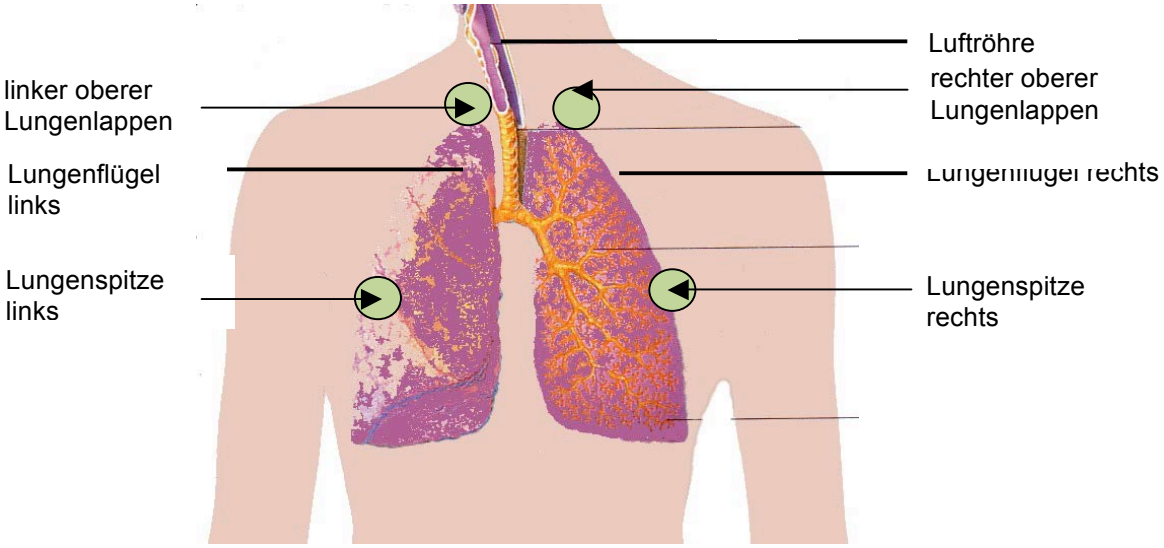
Mit dem Textmarker wird vorsichtig hinter dem Rücken des Probanden auf den Schlauch geklopft. **Hinweis:** *Nur sehr vorsichtig auf den Schlauch klopfen* ! Der Proband soll mitteilen, woher der Schall des Klopfens kommt. Man wird erstaunt feststellen, dass der Proband ganz exakt die Seite benennt, von wo der Schall herkommt. Klopft man nur wenige Millimenter aus der Mitte auf den Schlauch, wird der Proband dies erkennen.

Körpereigene Geräusche hören

1. Abhören der Atemgeräusche

Zum Abhören der Atemgeräusche benötigt man ein Stethoskop mit Membran, um die Geräusche in der Lunge hörbar zu machen.
Den Untersuchungskopf mit Membran des Stethoskops drückt man dazu auf den Brustkorb. Der Gummischlauch ist so beschaffen, dass Nebengeräusche nicht die Abhörgeräusche beeinflussen können. Der Ohrbügel mit den beiden Ohroliven wird so an den vorderen Teil des Gehörganges gesetzt, dass dieser vollkommen verschlossen ist und nur noch die Geräusche, die mit der Membran des Stethoskops aufgenommen werden, hörbar sind.

Unsere Lunge ist ein Organ, durch die der Gasaustausch in unserem Körper ermöglicht wird. Ohne den von der Lunge aufgenommenen Sauerstoff und die Abgabe des schädlichen Stoffwechselproduktes Kohlenstoffdioxid, ist das Leben undenkbar. Bei einer Erkältung ist das ungehinderte Aufnehmen des Sauerstoffs durch den in den Lungengängen vorhandenen Schleim nur bedingt möglich. Der Arzt kann durch das Abhören der Lungengeräusche feststellen, ob eine Veränderung die Funktion der Lunge beeinträchtigt.
Die Atmungsgeräusche können auch im Schülerversuch problemlos abgehört werden.
Wie können Atmungsgeräusche von Schülern abgehört werden?

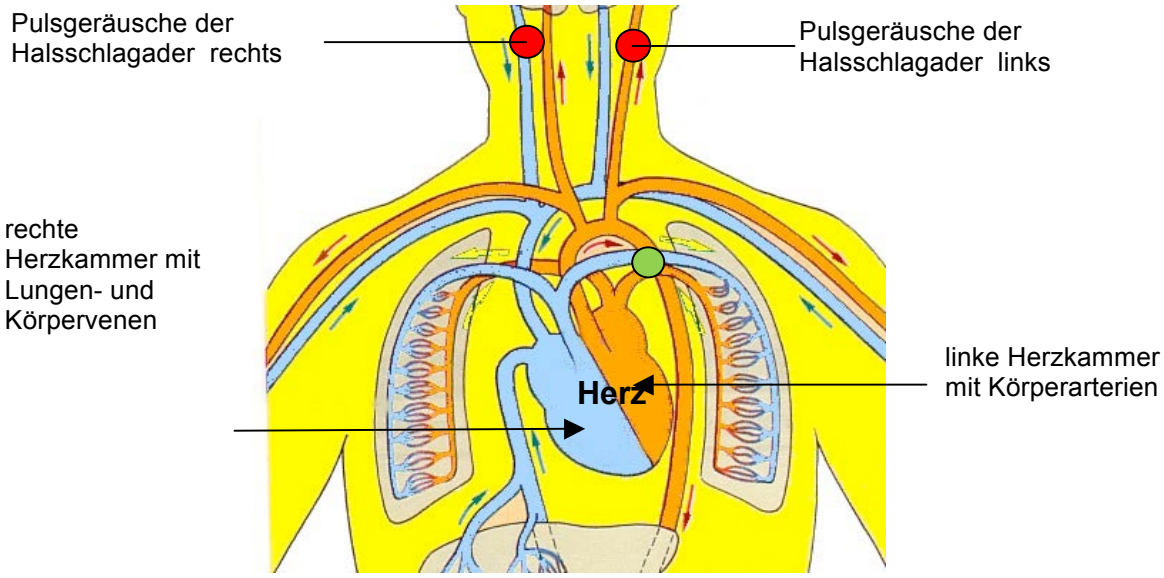


Die Atmungsgeräusche werden bei den Versuchen mit Schülern grundsätzlich am Rücken des Probanden abgehört. Dabei setzt man die Membran des Stethoskops am Rücken der Versuchsperson, in der Höhe der auf der obigen Darstellung gezeigten Punkte ◯, an. Der Proband atmet dabei tief ein und aus. Es wird ein deutliches Rauschen zu hören sein.

2. Abhören der Herzgeräusche

Unser Körper benötigt zum Leben den aus der Luft über die Lungen aufgenommenen Sauerstoff. Der Sauerstoff wird vom arteriellen Blut (Arterien) durch den Körper zu den einzelnen Organen transportiert. Das „Abfallprodukt“ Kohlenstoffdioxid wird durch die Körpervenen zur Lunge zurückgebracht und von hier aus an die uns umgebende Atmosphäre abgegeben.

Das Blut wird von unserem Herzen durch den Körper zu den einzelnen Organen gepumpt. Das Herz besteht aus zwei Vor- und zwei Hauptkammern. Die linke und rechte Herzseite sind durch die Herzscheidewand getrennt, um das arterielle von dem venösen Blut zu trennen. Zwischen der Vor- und Herzkammer befindet sich beidseitig je eine Herzklappe, die dafür sorgt, dass das Blut vom Herzen in die jeweils richtige Richtung in den Körperkreislauf bzw. Lungenkreislauf gepumpt wird.
Hört man das Herz ab, werden zwei Geräusche wahrgenommen, die Diastole und die Systole. In der Diastole werden die Herzkammern mit Blut gefüllt. Die Systole ist das Geräusch bei dem das Blut aus der linken Herzkammer in den Körperkreislauf und aus der rechten in die Lunge gepumpt wird.
Die dabei entstehenden Geräusche können mit dem Stethoskop abgehört werden.



Um die Herztöne abhören zu können, setzt man die Membran des Stethoskops etwas links neben dem Brustbein auf die Brust, wie in der Abbildung dargestellt. Hier kann man die beiden Herzgeräusch (Diastole und Systole) sehr gut erkennen.
Eine weitere Möglichkeit, das „Rauschen“ des Blutes zu hören, ist das Ansetzen der Membran des Stethoskops an der Halsschlagader. Dabei ist es ohne Bedeutung, ob die Geräusche mittels Membran an der rechten oder der linke Halsschlagader abgenommen werden .

Literatur

Bayrhuber, H. und U. Kull, Linder Biologie, Lehrbuch für die Oberstufe, J.B. Metzlersche Verlagbuchhandlung, Stuttgart 1989.

von Camphausen, C., Die Sinne des Menschen, Thieme Verlag, Stuttgart 1981.

Hensel, H., Thermoreception and Temperature Regulation, Acadamic Press, London 1981.

Keidel, W. D., Physiologie des Gehörs, Thieme Verlag, Stuttgart 1975.

Linder /Hübler, Biologie des Menschen, J.B. Metzlersche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart 1989.

Roederer, J.G., Physikalische und Psychoakustische Grundlagen der Musik, Verständl. Wiss., Springer Verlag, Berlin 1977.

Spektrum der Wissenschaft: Verständliche Forschung, Wahrnehmung und visuelles System, Spektrum der Wissenschaft-Verlagsgesellschaft, Heidelberg 1986.

Schober, H., Das Sehen, Band 1, VEB Fachbuch Verlag, Leipzig 1970.

Schultze, W., Farbenlehre und Farbenmessung, Springer Verlag, Berlin 1966.