

Augenfunktionsmodell mit variabler Linse



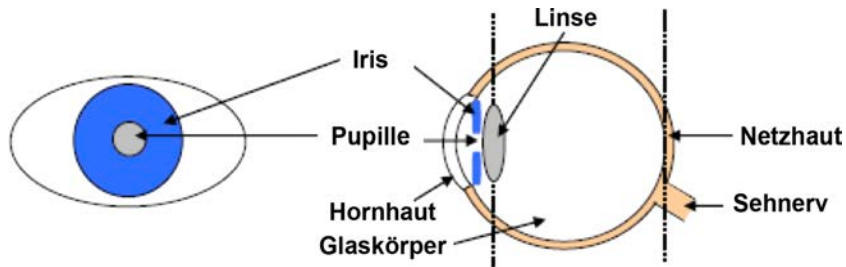
1. Inhalt

Das Augenfunktionsmodell besteht aus folgenden Komponenten:

- **Variable Silikonlinse:** mit einer Experimentierleuchte oder Schreibtischlampe erzeugt Sie ein hinreichend scharfes Abbild auf dem Schirm. Mit Wasser gefüllt kann ihre Brennweite mit einer Kunststoffspritze verstellt werden.
- **Halter mit Abbildungsgegenstand:** auf einem Träger befindet sich ein schwarzes Dreieck auf einer halbdurchsichtigen Platte. Sie lässt sich durch ein Stück Transparentpapier mit einer beliebigen Abbildung (schwarz-weiß oder farbig) ersetzen.
- **Augapfelmodell:** das eigentliche Auge besteht (von vorne nach hinten gesehen) aus:
 - Steckplatz für Korrekturlinsen für Fehlsichtigkeit.
 - Modell einer Irisblende.
 - Variable Augenlinse zur Akkomodation.
 - Auswechselbare weiße Scheibe als Netzhautmodell (Projektionsschirm).
- Korrekturlinsen: zwei Korrekturlinsen aus einem Stück mit einer divergenten ($f = -200$ mm) und konvergenten Linse ($f = + 500$ mm).

2. Anatomie des menschlichen Auges

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Anatomie des menschlichen Auges.



Folgende Komponenten des menschlichen Auges korrespondieren mit denen des Augenfunktionsmodells:

- Die Iris entspricht der Irisblende.
- Die Linse des Auges entspricht der variablen Silikonlinse.
- Die Netzhaut – genauer die hintere Ebene der Netzhaut - entspricht dem auswechselbaren Projektionsschirm.

3. Inbetriebnahme des Augenfunktionsmodells

3.1. Lieferumfang

Die nachfolgende Abbildung entspricht dem Lieferumfang des Augenfunktionsmodells.



3.2. Zusätzlich benötigtes Material

Zusätzlich zum Funktionsmodell des menschlichen Auges benötigen Sie folgendes Material:

- Eine Optikleuchte oder eine Schreibtischlampe.
- Destilliertes Wasser zum Befüllen der variablen Silikonlinse.

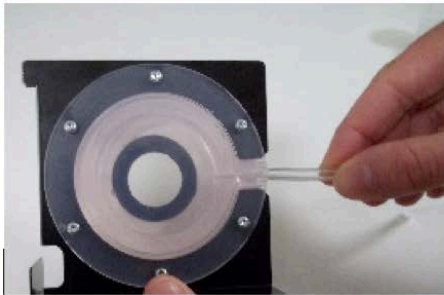
3.3. Wichtiger Hinweis

Verwenden Sie unbedingt zum Befüllen der Silikonlinse **destilliertes** Wasser, das Sie vorher **abgekocht** haben. So vermeiden Sie Kalkablagerungen und Schimmelbildung durch länger verbleibendes Wasser in der Linse.

3.4. Montage des Augenfunktionsmodells

- Schließen Sie den Kunststoffschlauch an den Anschluß der Silikonlinse an.
- Befüllen Sie die Linse mit entmineralisiertem abgekochtem Wasser.
- Schließen Sie an das freie Ende des Schlauches die mit Wasser befüllte Spritze an.

Achten Sie darauf, dass sich keine Luftblasen im System aus befinden.



Führen Sie nun die Irisblenden-Linseneinheit in die vordere Aussparung des Grundkörpers ein. Platzieren Sie nun den Schirm auf der gegenüberliegenden hinteren Seite.

Zur Erzeugung eines Bildes gibt es **zwei** Möglichkeiten:

1. Platzieren Sie nacheinander Leuchte, Abbildungsgegenstand und anschließend Augenmodell in der optischen Achse.
2. Leuchte und Abbildungsgegenstand liegen mit der Mitte der Irisblende auf einer optischen Achse (Das Augenmodell selbst ist um einen Winkel α aus der optischen Achse herausgedreht).

In beiden Fällen werden Sie später ein Bild auf der Projektionsfläche erkennen.

Positionieren Sie nun die Variable Linse im Augenfunktionsmodell. Das Augenmodell kann nun verwendet werden.

4. Begriffsdefinitionen

Hier werden einige Begriffe in Zusammenhang mit dem Auge bzw. dem Sehvorgang eingeführt, denen Sie auch im z.T. im Alltag im Zusammenhang mit diesem Thema immer wieder begegnen werden. (Quelle der Definitionen: Wikipedia, wenn nicht gesondert gekennzeichnet)

Akkommodation

(lateinisch *accommodare* „anpassen, anlegen“) ist eine dynamische Anpassung der Brechkraft des Auges. Sie führt dazu, dass ein Objekt, das sich in einer beliebigen Entfernung zwischen dem individuell unterschiedlichen optischen Nah- und Fernpunkt befindet, scharf auf der Netzhautebene abgebildet wird und somit eine wesentliche Voraussetzung für deutliches Sehen erfüllt wird. Der Nahpunkt gibt hierbei die kürzeste und der Fernpunkt die weiteste Distanz zum Auge an, in der dies möglich ist.

Normalsichtigkeit (Emmetropie)

Ein Auge wird als normalsichtig oder emmetrop bezeichnet, wenn es ohne Akkommodationsaufwand einen optisch unendlich weit entfernten Gegenstand scharf abbildet. Das bedeutet im Sinn der geometrischen Optik, dass sich parallel einfallende Lichtstrahlen (Lichtquelle in großer Entfernung) genau in einem Punkt der Netzhaut schneiden. Eine Abweichung davon wird als Fehlsichtigkeit (Ametropie) bezeichnet – dazu gehören Kurzsichtigkeit (Myopie), Weitsichtigkeit (Hyperopie) und Stabsichtigkeit (Astigmatismus).

Kurzsichtigkeit (Myopie)

Mit Kurzsichtigkeit oder Myopie bezeichnet man eine bestimmte Form von optischer Fehlsichtigkeit (Ametropie) des Auges. Sie ist zumeist Folge entweder eines zu langen Augapfels oder einer für seine Länge zu starken Brechkraft der optisch wirksamen Bestandteile. Das Ergebnis ist ein Abbildungsfehler, der weit entfernte Objekte unschärfer erscheinen lässt als nahe gelegene – der Betroffene sieht also in der Nähe (daher die Bezeichnung „kurz-sichtig“) besser als in der Ferne.

Weitsichtigkeit (Hypermetropie)

Bei der allgemeinsprachlich Weitsichtigkeit genannten Übersichtigkeit (Synonym: Hyperopie oder Hypermetropie) handelt es sich um einen sogenannten axialen Brechungsfehler des Auges (Ametropie), bei dem der Augapfel im Verhältnis zur Brechkraft seiner optischen Einrichtung zu kurz beziehungsweise die Brechkraft zu gering ist. Dies führt dazu, dass sich die Bildlage für optisch unendlich weit entfernte Objekte bei entspanntem (nicht akkommodiertem) Auge nicht in der Netzhautebene befindet, und damit eine wesentliche Voraussetzung für einen scharfen Seheindruck nicht erfüllt ist. Stattdessen liegt der (virtuelle) Bildpunkt beim weitsichtigen Auge hinter der Netzhaut, und es resultiert ein unscharfer Seheindruck. Je näher ein Objekt an das Auge herangeführt wird, desto weiter verlagert sich der Bildpunkt nach hinten. Das Ergebnis ist ein Abbildungsfehler, der nahe gelegene Objekte unschärfer erscheinen lässt als weit entfernte – der Betroffene sieht also in der Ferne (daher die Bezeichnung „weit-sichtig“) besser als in der Nähe.

Fernpunkt

Als Fernpunkt bezeichnet man den Endpunkt der Gesichtslinie, auf den das Auge ohne Akkommodation eingestellt ist. Er liegt beim emmetropen (normalsichtigen) Auge im Unendlichen, beim myopen (kurzsichtigen) vor der Netzhaut des Auges und beim hyperopen dahinter. Daraus ergibt sich, dass der Fernpunkt bei Normal- und Kurzsichtigen ein reeller und bei Weitsichtigen ein virtueller Punkt ist.

Nahpunkt

der Nahpunkt oder minimale Sehweite, wird bei maximaler Akkommodation erreicht. Er liegt im Kindesalter etwa bei 7 cm und rückt mit zunehmendem Alter in die Ferne. Damit ist der Nahpunkt eine individuelle Größe, die stark differieren kann.

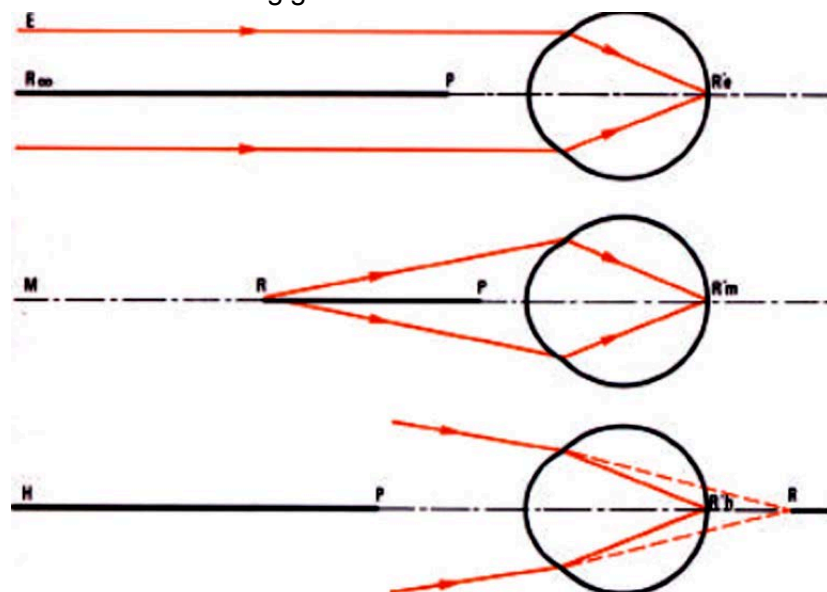
Altersweitsichtigkeit (Presbyopie)

Als Presbyopie auch Alterssichtigkeit beziehungsweise Altersweitsichtigkeit genannt, bezeichnet man den fortschreitenden, altersbedingten Verlust der Nahanpassungsfähigkeit des Auges mittels Akkommodation. Ein scharfes Sehen in der Nähe ist deshalb ohne geeignete Korrektur nicht mehr möglich. Presbyopie ist dabei jedoch keine Krankheit, sondern ein normaler altersbedingter Funktionsverlust.

Hornhautverkrümmung (Stabsichtigkeit oder Astigmatismus)

Astigmatismus (gr. A = nicht, Stigma = Punkt, also die Punktlosigkeit), auch Stabsichtigkeit oder Hornhautverkrümmung genannt, bezeichnet in der augenheilkundlichen Optik einen besonderen Brechungsfehler des Auges. Hierbei werden die von einem betrachteten Objekt ausgehenden Lichtstrahlen nicht in einem Punkt auf der Netzhautebene gebündelt, sondern in einer Brennlinie abgebildet, was zu der Bezeichnung Stabsichtigkeit geführt hat. Ein Lichtstrahl, der parallel zur optischen Achse in den Augapfel einfällt, wird in Abhängigkeit von seiner mit der optischen Achse gebildeten Einfallsebene unterschiedlich stark gebrochen. Im Gegensatz dazu beschreibt der Begriff sphärisch eine optische Anordnung, deren Brechkraft von der Einfallsebene des Lichtstrahls unabhängig ist.

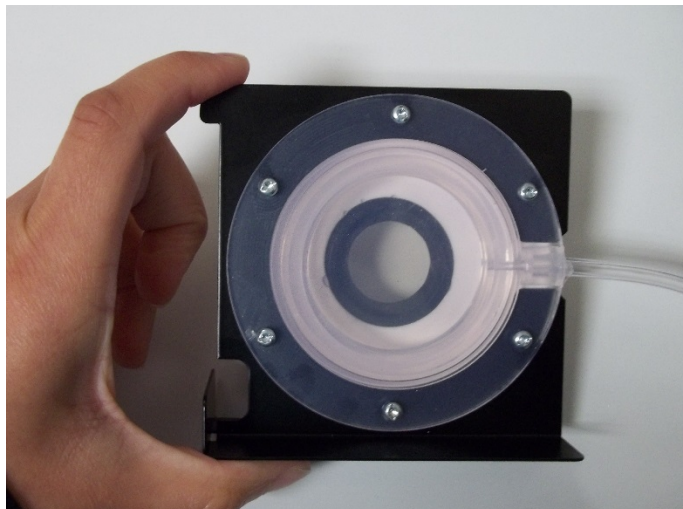
- R_{∞} : Fernpunkt
- P : Nahpunkt
- E : Normalsichtigkeit
- R : Kurzsichtigkeit
- H : Weitsichtigkeit



Quelle: umvf.univ-nantes.fr

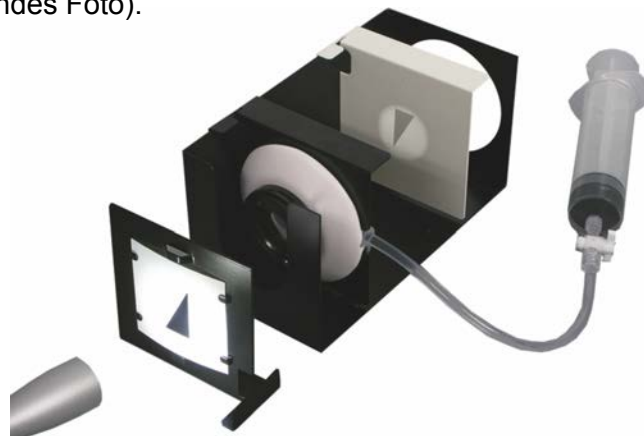
5. Die variable Silikonlinse

Die Augenlinse wird in dem Funktionsmodell durch eine variable Silikonlinse ersetzt. Im realen Auge wird die Linse durch elastische Bänder (Zonulafasern), die die sog. *Zonula ciliaris* bilden umgeben. An diese greift der ringförmige Ziliarmuskel (*Ziliarkörper*) an, der für die Akkomodation sorgt. Im Ruhezustand neigt die Linse zu einer Kugelform. Der Ziliarmuskel liegt im entspannten Zustand nahe der Außenseite, wodurch die Linse in die Länge gezogen wird. Hierdurch ist erst eine gute Fernsicht möglich. Sobald sich der Ziliarmuskel anspannt wird, dehnt sich die Linse durch nachgebende Zonularfasern in Richtung Kugelgestalt aus, wodurch erst eine Nahsicht möglich wird, da sich die Brechung der Linse erhöht. Diese Funktion der Linsenverformung – Akkomodation genannt - ermöglicht erst das unterschiedliche Fokussieren auf Gegenstände in unterschiedlichem Objektstand vom Auge. Die nachfolgende Abbildung zeigt die flexible Linse mit variabler Fokussierung im Augenfunktionsmodell.



Die hohe Transparenz und optische Qualität der Silikonlinse ermöglicht die Verwendung einfacher Lichtquellen, wie beispielsweise einer einfachen Schreibtischlampe zur Durchführung der Versuche.

Die Lichtquelle sollte mit der optischen Achse des Funktionsmodelles ausgerichtet werden (vgl. nachstehendes Foto).



6. Der Abbildungsgegenstand

Der Träger eignet sich sehr gut für halbtransparente Vorlagen. Im Lieferumfang enthalten ist ein Objekt in Form eines ungleichschenkligen rechtwinkligen Dreiecks. Sehr gut ist die Umkehrung des Bildes auf der Mattscheibe zu erkennen. Wird auf eine Transparentpapierscheibe – dünnes Papier eignet sich ebenfalls gut dafür – eine beliebige andere Form (auch in Farbe) gedruckt und in den Halter eingesetzt, können Schüler auch mit diesen arbeiten.

7. Beispiele für Versuche

7.1. Das normalsichtige Auge

- Positionieren Sie die Leuchte weit (> 1 m) vom Modell entfernt.
 - Schalten Sie die Lichtquelle ein.
 - Positionieren Sie den Abbildungsgegenstand zwischen Lichtquelle und Augenmodell.
 - Wählen Sie eine Position, in der Sie den Projektionsschirm (=Netzhautebene) plazieren.
 - Pumpen Sie mehr oder weniger Wasser mit der Spritze in die Linse, um die Akkomodation zu simulieren.
 - Versuchen Sie so ein scharfes Bild auf der Netzhautebene zu erreichen, verändern Sie ggf. den Abstand des Abbildungsgegenstandes zwischen Leuchte und Augenmodell etwas.
- ⇒ Sobald ein hinreichend scharfes Bild erkennbar ist notieren sie den Abstand zwischen Silikonlinse und Bildebene.
- ⇒ Hinweis: das Bild ist umgekehrt und spiegelverkehrt.

7.2. Das kurzsichtige Auge

7.2.1. Was versteht man unter Kurzsichtigkeit

Ein Objekt im Unendlichen bildet sich **vor** der Netzhautebene eines gesunden Auges ab. Um Kurzsichtigkeit zu simulieren, gehen wir von dem Versuchsaufbau eines normalsichtigen Auges aus. Schieben Sie zuerst die Projektionsfläche (=Netzhautebene) etwas nach **hinten**, Sie erhalten ein unscharfes Bild. Durch Betätigen der Spritze können Sie nun das unscharfe Bild scharf stellen. Verschieben Sie nun die „Netzhautebene“ wieder auf die Position des gesunden Auges. Als Ergebnis ergibt sich nun ein unscharfes Abbild. Das Auge ist jetzt **kurzsichtig**.

7.2.2. Korrektur der Kurzsichtigkeit

Um das kurzsichtige Auge zu korrigieren, müssten wir die Netzhautebene nach hinten schieben, sie müsste sich also weiter hinten im Auge befinden. Diesen Effekt erreichen wir durch eine Zerstreuungslinse, die die Abweichung zwischen Bild und Abbildungsgegenstand kompensiert. Verwenden Sie die Korrekturlinse mit der Brennweite $f = -200$ mm, um die Wirkung zu zeigen.

7.3. Das weitsichtige Auge

7.3.1. Was versteht man unter Weitsichtigkeit

Ein weitsichtiges Auge sieht in der Nähe unscharf. Ein Objekt im Nahbereich bildet sich **hinter** der Netzhautenebene eines gesunden Auges ab. Um Weitsichtigkeit zu simulieren, gehen wir wieder von dem Versuchsaufbau eines normalsichtigen Auges aus. Schieben Sie zuerst die Projektionsfläche (=Netzhaut) etwas nach **hinten**, Sie erhalten ein unscharfes Bild. Verschieben Sie nun die „Netzhaut“ wieder auf die Position des gesunden Auges. Als Ergebnis ergibt sich nun ein unscharfes Abbild. Das Auge ist jetzt **weitsichtig**.

7.3.2. Korrektur der Weitsichtigkeit

Um das weitsichtige Auge zu korrigieren, müssten wir die Netzhaut nach vorne schieben, sie müsste sich also weiter vorne im Auge befinden. Diesen Effekt erreichen wir durch eine Sammellinse, die die Abweichung zwischen Bild und Abbildungsgegenstand kompensiert. Verwenden sie die Korrekturlinse, mit der Brennweite $f = + 500 \text{ mm}$, um die Wirkung zu zeigen.

7.4. Der Einfluss der Öffnung der Iris

Je weiter die Iris geöffnet ist, desto mehr Licht erreicht die Netzhaut. Wenn zu viel Licht auf die Netzhaut fällt, kann das Bild bei gleicher Akkomodation flau (kontrastarm) erscheinen. Eine Untersuchung des Abbildkontrastes ermöglicht die Rolle der Iris zu demonstrieren.

7.5. Die Lichtempfindlichkeit des Auges

Manche Menschen sagen, sie fänden es schmerzhaft, in helles Licht zu schauen. Sie empfinden, je mehr Licht auf die Netzhaut fällt, desto größer ist der Schmerz bzw. das Unbehagen. Um dem Effekt entgegenzuwirken, gibt es Brillen, mit phototropen, d.h. selbsttönenden Gläsern. Es handelt sich dabei um Gläser, deren Lichtdurchlässigkeit helligkeitsabhängig ist.

Um die Dämpfung des Lichts zu demonstrieren, kann man ein Polarisationsfilter oder –folie verwenden, welches man in den Strahlengang einbringt. Das Bild kann man entweder visuell beurteilen, oder anstatt des Schirmes eine Kamera installieren, um mit einer Bildbearbeitungssoftware die Helligkeitsunterschiede quantitativ zu untersuchen, indem man zwei Aufnahmen mit und ohne Polarisationsfilter vornimmt.

8. Lagerung des Augenfunktionsmodelles

Zur geschützten Aufbewahrung stecken Sie einfach den Halter mit dem Abbildungsgegenstand umgekehrt in das Gehäuse des Augenfunktionsmodelles zwischen Projektionsschirm und Silikonlinse. Die Vorsatzlinsen zur Augenkorrektur stecken Sie in die vordere Halterung.



Hinweis:

Die tatsächliche Ausstattung des Versuchssets kann von der Abbildung in dieser Dokumentation leicht abweichen, da unsere Geräte ständig weiterentwickelt werden.