

## Akkommodation

### 1. Eine zwangsläufige „Nachrüstung“ unserer Augen

Wie in der Technik ziehen auch in der Natur manche (wertvollen) Neuerungen zwangsläufig Veränderungen an anderen Stellen nach sich oder machen zusätzliche Erfindungen notwendig. Da wir später sowieso das Fahrrad als Vergleichsobjekt heranziehen werden: Die Erfindung eines luftgefüllten Reifens anstelle eines Vollgummireifens wäre ohne die speziellen Ventile (samt Pumpen) zum Aufpumpen wertlos! Die Linse in unseren Augen ist ein evolutorisches „Erfolgsmodell“: schon bei fossilen Trilobiten, die sich vor ca. 500 Mio a in den Meeren tummelten, konnten Linsen nachgewiesen werden. Was ist der Grund für diesen Erfolg? Dazu ein kurzer Ausflug in die Physik (keine Angst, ohne Formeln!).

Ein (höher entwickeltes) Auge ermöglicht das Sehen eines Bildes, d.h. auf einer Art Projektionsfläche im Inneren wird ein Abbild der Außenwelt erzeugt. Dieses „Bild“ kann man sich als ein Mosaik aus kleinen Lichtflecken vorstellen, wobei jedes Mosaiksteinchen einem kleinen Ausschnitt der „Originalwelt“ entspricht.

Die einfachste Möglichkeit, ein solches Mosaik zu erzeugen, ist die Lochkamera. Sie ist ganz schlicht ein Kasten mit einem kleinen Loch. Der Trick besteht darin, dass die enge Öffnung nur schmale Lichtbündel ins Innere dringen lässt. Von jedem Bereich des Originalen beleuchtet dadurch solch ein Lichtbündelchen die Innenwand, ein Licht-Mosaiksteinchen. Solche Lochkameraeinrichtungen waren als „*Camera obscura*“ schon im Altertum bekannt und später eine Jahrmarktsattraktion. Eine große Schwäche liegt aber eben in der Tatsache, dass nur ein kleiner Ausschnitt der Lichtmenge, die von einem Punkt der „Originalwelt“ ausgestrahlt werden, den Weg durch die enge Öffnung findet. Diese Schwäche verstärkt sich um so mehr, je kleiner das „Loch“ der Kamera wird, leider gerade die einzige Möglichkeit, das Bild schärfer werden zu lassen. Stellen Sie sich wieder das Bild als Mosaik vor: Je größer die Mosaiksteinchen sind, um so größer wird das Bild, oder wie man sagt „unschärfer“. So steckt also die Lochkamera in dem Dilemma, entweder ein helleres, dafür aber unscharfes oder ein schärferes, aber lichtschwächeres Bild zu erhalten.

Die „Nachrüstungsrettung“ ist eine Linse: Sie kennen alle den Brennglaseneffekt einer Lupe, die die Strahlen der Sonne auf einen Punkt zu bündelt. Eine Linse im Auge erfasst eine wesentliche größere Lichtmenge, erzeugt also ein deutlich helleres Bild. Umgekehrt ausgedrückt, auch bei schlechten Lichtverhältnissen kann das Auge noch ein verwertbare Informationen über die Umwelt liefern.

Im Gegensatz zum lichtschwachen **Lochkameraauge** liefert ein **Linsenauge** ein deutlich lichtstärkeres Bild.

Toll also, Linse einbauen und alles bestens? Leider schon wieder mit einem Pferdefuß: die von der Linse erzeugten (gebündelten) „Mosaiksteinchen“ liegen, abhängig von der Entfernung der Objekte, in unterschiedlicher Entfernung hinter der Linse. Lebewesen, deren Aktivitäten in unterschiedlichen Entfernungen ablaufen, sind aber darauf angewiesen, sowohl Objekte in der Nähe als auch in der Entfernung scharf sehen zu können. Bei uns Menschen (und natürlich auch bei unseren nächsten Affen-Verwandten) ist das besonders augenfällig (im wahrsten Sinne des Wortes!): Wir wollen die reifen Äpfel (Bananen oder was es auch immer nahrhaftes zu finden gibt) aus der Entfernung erkennen, sie aber auch im nächsten Moment vor dem Essen genau untersuchen oder schälen können.

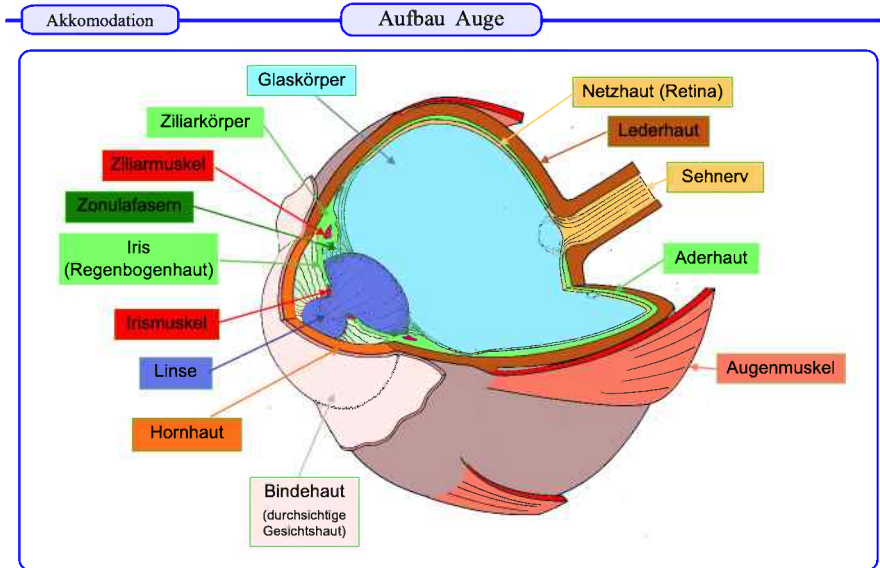
Sie kennen das Problem vom Fotoapparat: früher musste man von Hand die Schärfe einstellen, was heute die Elektronik erledigt. Ohne hier näher auf die physikalischen Einzelheiten einzugehen: im Fotoapparat wird die Linse verschoben, damit die Bildpunkte („Mosaiksteinchen“) genau auf den Film (bzw. den Bildsensorchip) projiziert werden. Diese technische Lösung des Problems haben schon vor vielen Millionen Jahren die Perlboote, eine Gruppe der Tintenfische entwickelt.

In unserer Verwandtschaft der Wirbeltiere hat die Evolution einen anderen Weg eingeschlagen: Hier wird die Linsenform verändert.

Die Fähigkeit eines (Linsen-)Auges,  
sich auf verschiedene Objektentfernungen einstellen zu können,  
wird als **Akkommodation\*** bezeichnet.

Wie das im Einzelnen funktioniert, wollen wir uns jetzt genauer anschauen.

## 2. Zur Erinnerung: wie unser Auge konstruiert ist



Ganz grob ähnelt unser Augapfel einem Fußball:

- außen wird er von einer Lederhülle umschlossen: die Lederhaut (auch weiße Augenhaut),
- die Form wird durch den Luftdruck in Inneren aufrecht erhalten: die gallertige Masse des Glaskörpers und der Augeninnendruck in der Flüssigkeit der vorderen Augenkammer (Raum zwischen Hornhaut und Linse) sind für die kugelige Form des „Augenballes“ verantwortlich.
- an die Innenseite der Lederhülle schmiegt sich die luftdichte Gummiblase an: hier endet langsam die Ähnlichkeit zwischen Fußball und Auge (jeder Vergleich hinkt eben): anstelle einer toten Gummihaut ist die Innenseite der Lederhaut mit der höchst lebendigen Aderhaut ausgekleidet, über deren reich verästelte Blutgefäße das Auge mit Nahrung und Sauerstoff versorgt wird,
- auf der Aderhaut liegt schließlich die Netzhaut (Retina\*) mit den lichtempfindlichen Sehzellen (Stäbchen und Zapfen), unser „Bildsensorchip“.

Im vorderen, von außen sichtbaren Teil des Auges sind die Schichten zu besonderen Funktionen speziell ausgeformt:

- die Aderhaut geht in den Ziliarkörper\* (der uns anschließend beschäftigen wird) und die Regenbogenhaut über (diese wegen ihrer Färbung auch Iris genannte Lochblende kann bei wechselnden Helligkeiten in ihrer Öffnungsweite verstellt werden und hilft so, uns vor Blendungen wenigstens teilweise zu schützen);
- die Lederhaut geht in die durchsichtige Hornhaut über, auf diese „aufgeklebt“ ist;
- die Bindehaut: sie ist ein lichtdurchlässiger Bereich der Gesichtshaut. Man muss sich klar machen, dass der Augapfel offen zur Außenwelt in der Augenhöhle

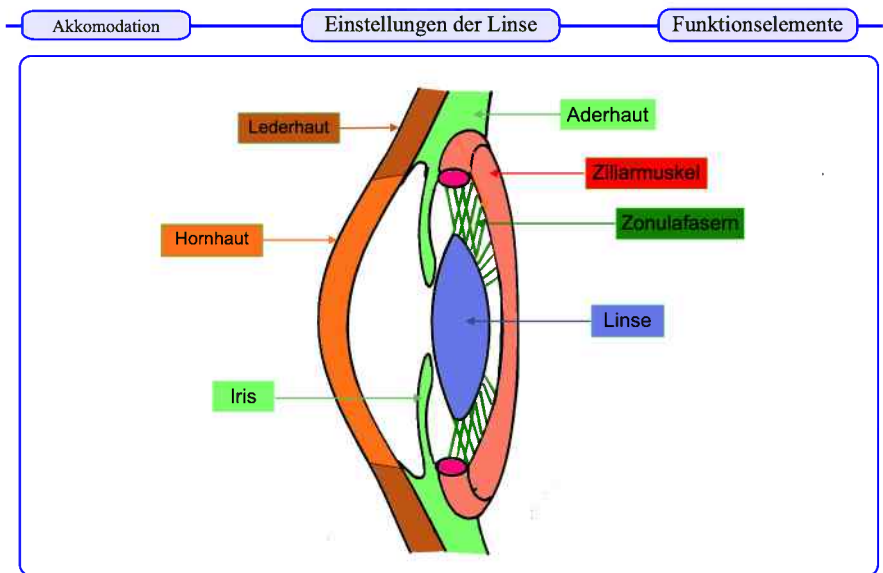
läge, wenn die Augenhöhle nicht durch die darüber gespannte Haut abgedichtet wäre. Damit sich der Augapfel aber bewegen kann, ist die Haut nur im Bereich der Hornhaut mit ihm verwachsen, darum kann sich die Haut dank einer ringförmigen Falte den Bewegungen anpassen, grob vergleichbar mit dem Faltenbalg um den Schalthebel im Auto.

### 3. Die „Gummilinsen“

Die Bezeichnung „Gummilinsen“ kennen Sie wahrscheinlich aus der Welt der Fotografie: hier werden Objektive mit veränderlicher Brennweite (Zoom-Objektive) umgangssprachlich gern so genannt. Der Name würde aber eigentlich viel eher auf die Linse in unserem Auge passen als auf die (in der Form natürlich unveränderbaren) Glaslinsen eines Fotoobjektives.

#### 3.1. Ein „leicht“ verändertes Fahrrad im Auge

Schauen wir uns zunächst den Aufbau des Linsenapparates an:



Als Vorstellungshilfe soll uns noch einmal das Fahrrad dienen:

in der Mitte der Felge sitzt die Nabe mit der Radachse. Sie ist verspannt in den Speichen aufgehängt. Sie haben eher die Funktion von Spannseilen als von Tragstützen: wenn Sie genau hinschauen, werden Sie sehen, dass sie nicht senkrecht auf den Rand der Nabe „gestützt“ sind, sondern schräg verspannt montiert sind. Jetzt ist Ihre Phantasie gefordert:

- Lassen Sie die Nabe anwachsen, dass Sie etwa zwei Drittel des Radinneren ausfüllt,
- ersetzen Sie die feste Stahlnabe durch einen mit Wasser (oder besser Pudding) gefüllten Gummiball und

- wechseln Sie die steifen Speichen durch Gummischnüre aus.
- Wenn Sie jetzt noch die Felge größer werden lassen, dann ziehen die Gummischnüre an dem Naben-Gummiball. Da die Schnüre nur in einem Ring am Ball (sozusagen an seinem Äquator) befestigt sind, wird der zunächst kugelige Ball in eine abgeplattete Linsenform gezogen.

Hoffentlich können Sie sich nun die in der Abbildung dargestellte Konstruktion im Auge vorstellen:

- der ringförmige „Ziliarmuskel“\*“ entspricht der Felge,
- die „Zonulafasern“\*“ den zu Gummischnüren gewandelten Speichen und
- die Linse ist die eingespannt aufgehängte Ball-Nabe.

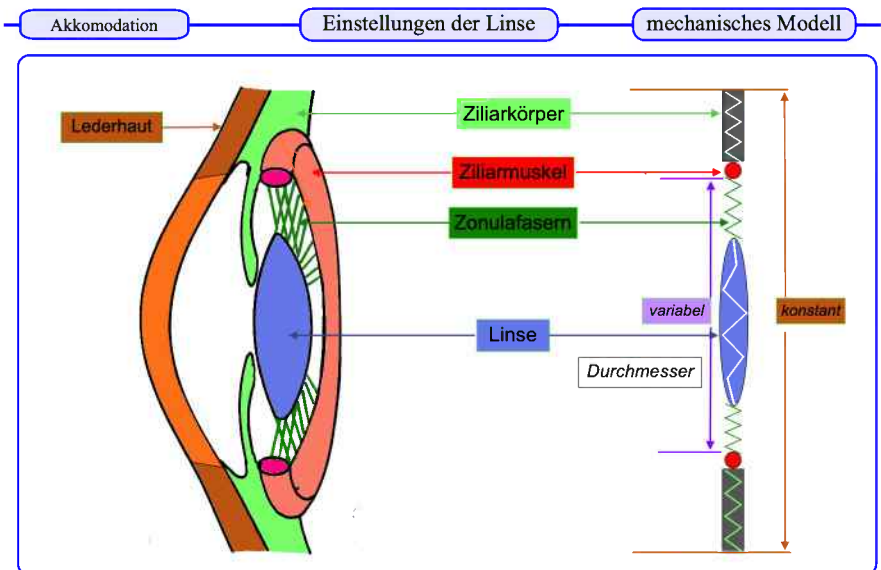
Sie sehen aber in der Abbildung, dass der Ziliarmuskel (also die „Felge“) seinerseits an der hier zum

- „Ziliarkörper“ verdickten Aderhaut angewachsen ist und
- diese wiederum zum guten Schluss an der Innenseite der Lederhaut ansitzt.

Nachdem wir jetzt den Aufbau der Konstruktion kennen, wollen wir sie in Aktion betrachten:

### 3.2. Die „Gummilinse“ in Aktion

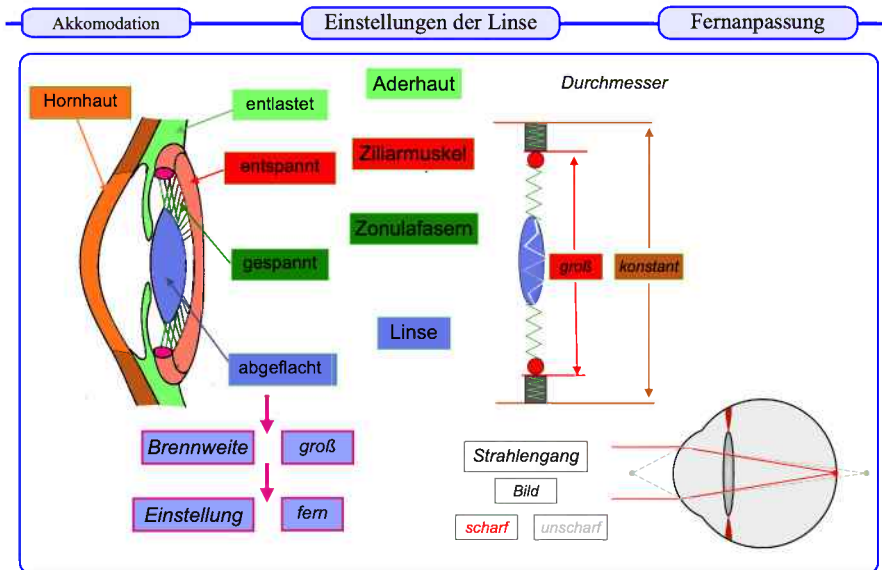
#### 3.2.1. Ein Akteur und mehrere Mitläufer



Der Akkomodationsvorgang wird durch die mechanischen Eigenschaften der Bauelemente möglich gemacht. Man kann drei Eigenschaften unterscheiden:

- a. Starr, d.h. in der Form unveränderlich:  
das gilt für die Lederhaut, deren Durchmesser konstant ist;
- b. elastisch, d.h. wie eine Feder dehnbare (im Schema entsprechend symbolisiert) und damit mit variablem Durchmesser:  
hier finden wir
  - den Ziliarkörper (Aderhaut im Bereich der Linse),
  - die Zonulafasern, an denen die Linsen aufgehängt ist und natürlich
  - die „Gummi“-Linse.
- c. ebenfalls mit variablem Durchmesser, aber nicht passiv dehnbare, sondern aktiv arbeitend:  
der Ziliarmuskel. Wie die Verschlussmuskeln in unserem Magen-Darm-Kanal (Mageneingang und -ausgang, After) arbeitet er nicht auf Zug (wie die Skelettmuskeln), sondern als Ring mit veränderlichem Durchmesser. Durch seine Kontraktion bzw. Erschlaffung werden die elastisch verformbaren Elemente entweder gespannt oder gelockert. Sein „Gegenlager“ ist letztlich die formstabile Lederhaut.

### 3.2.2. Der Akteur ruht sich aus

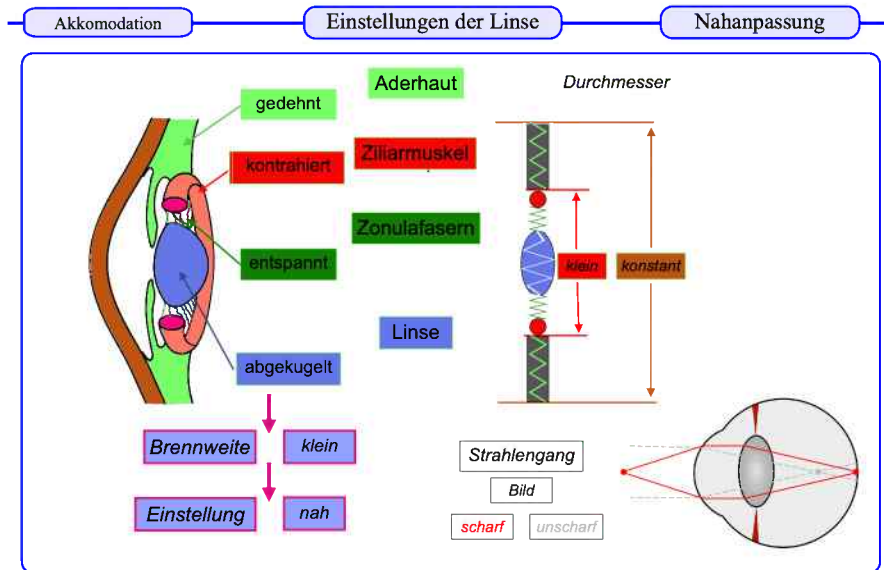


Im entspannten Zustand hat der Ziliar-Ringmuskel seinen maximalen Durchmesser. Dadurch wird einerseits nach außen hin der Ziliarkörper entspannt, nach innen wirkt aber ein Zug auf die Zonulafasern, der an die Linse weitergeleitet wird. Die Linse, der Naben-Ball im Fahrradmodell, flacht sich ab. Physikalisch betrachtet hat sie in

dieser flachen Form die geringste Brechkraft, ihre Brennweite ist groß. Sie bildet Objekte, die weit entfernt liegen, scharf auf der Netzhaut ab: das ist die Fern-Einstellung des Auges. Strahlen von näher liegenden Gegenständen würden sich erst hinter dem Auge treffen, auf der Netzhaut bilden sie einen m.o.w. großen Fleck, ihr Bild ist deshalb unscharf.

Da der Ziliarmuskel nicht arbeiten muss, strengt das Sehen in die Ferne am wenigsten an. Darin liegt einer der Gründe, weshalb zum Fernseher ein ausreichend großer Abstand eingehalten werden sollte!

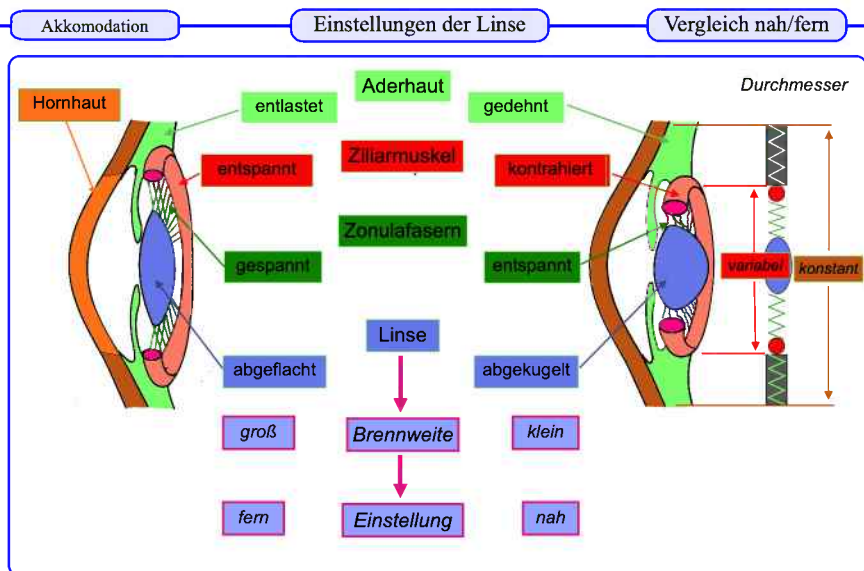
### 3.2.3. Nahsehen: Arbeit für den Ringmuskel



Liegt ein Objekt, das wir genau (d.h. auf der Netzhaut scharf abgebildet) sehen wollen, näher als etwa 5m vor uns, muss die Brennweite der Linse verkürzt werden oder umgekehrt ausgedrückt ihre Brechkraft erhöht werden. Durch das Zusammenziehen des Ringmuskels lässt der Zug auf die Zonulafasern und damit auf die Linse nach. Sie kugelt sich mehr ab und bündelt die Strahlen des nahe gelegenen Objektes auf die Netzhautenebene. Strahlen von entfernten Gegenständen führt sie dagegen vor der Netzhaut zusammen, auf der Netzhaut bilden sie nur unscharfe Flecken.

Es ist leicht einzusehen, dass das Sehen um so anstrengender ist, je näher das Objekt vor dem Auge liegt.

Zum Abschluss die beiden Einstellungen im Vergleich:



### 3.2.4. Die nächste „Nachbesserung“

Wenn Sie früher eine Kamera mit einem einstellbaren Objektiv benutzt haben, dann wissen Sie, dass auf dem Einstellring für die Entfernung die Abstände zwischen den Markierungen immer größer werden, je kürzer die Entfernung wird. Das Objektiv bzw. das Bild reagieren auf Fehleinstellungen in der Nähe sehr empfindlich, schon eine kleine Verstellung (oder Verschiebung des Objektabstandes zur Kamera) lässt das Bild unscharf werden. „Geringe Tiefenschärfe“ heißt das in der Fotografensprache. Das beste Mittel dagegen ist eine Verengung der Blende: wie bei der Lochkamera macht man damit das Lichtbündel, das die Linse einfängt, schmaler. Die „Tiefenschärfe“, d.h. der Entfernungsraum, von dem noch ein ausreichend scharfes Bild erzeugt wird, wird dadurch größer. Dieser alte Fotografentrick ist in unserem Auge einprogrammiert: Das Gehirnareal, von dem aus der Ziliarkörper gesteuert wird, bewirkt zusammen mit einer Kontraktion des Ziliarmuskels auch eine Verengung der Pupillenöffnung. Eine geschickte Kopplung, um die geringe Tiefenschärfe beim Nahsehen größer werden zu lassen: das scharf gesehene Objekt rutscht nicht bei der geringsten Bewegung aus dem Tiefenschärfenbereich heraus.

### 3.2.5. - zieht noch eine nach sich!

Der Trick mit der Blendenverengung hat aber wieder einen Pferdefuß: durch die kleinere Öffnung tritt auch weniger Licht ein, Nahaufnahmen verlangen mehr Helligkeit! Dagegen ist das Auge nun wirklich machtlos. Hier hilft nur noch ein Hilferuf unseres Sehzentrums an das bewusste Verhalten: *Sorge für mehr Licht, geh in die Sonne, mache eine Lampe an, sonst kann ich dir kein scharfes Bild liefern!* Wenn wir diesem Appell nicht folgen, versucht der Ziliarmuskel durch ständige Veränderungen seiner Spannkraft verzweifelt, die Linse in die passende Brennweite zu brin-



gen. Dass das alles andere als ein entspanntes Sehen ist, liegt auf der Hand. Sparen Sie deshalb nicht an Ihrer Arbeitsplatzbeleuchtung! Hier ist die schlechteste Stelle um Energie sparen zu wollen! Zumal mit heutigen LED-Lampen der Energiebedarf einer Tischleuchte Ihre Stromrechnung kaum noch belastet.

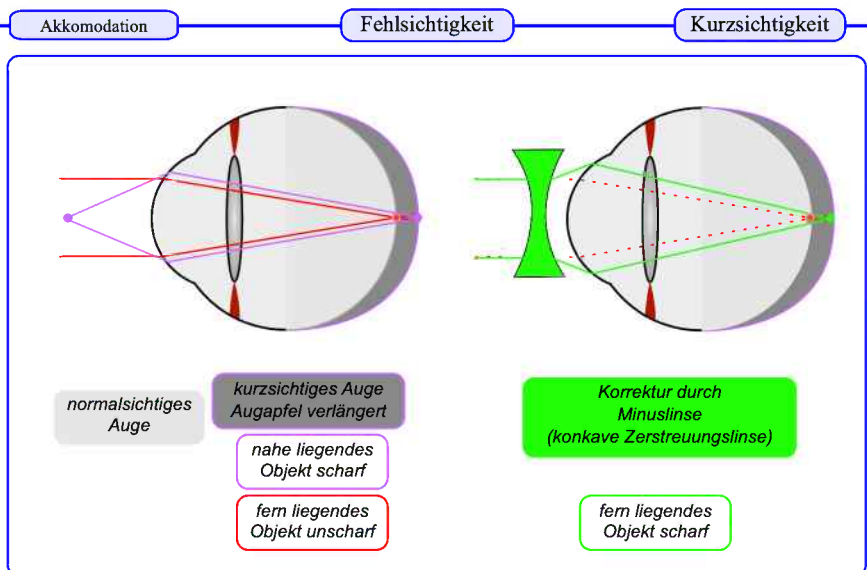
#### 4. Was einem so in die Wiege gelegt wird

Entweder schon von Geburt an oder im Laufe des Lebens ereilt es mindestens jeden vierten Erwachsenen: entfernte Gegenstände werden nicht mehr scharf wahrgenommen. Da die Betroffenen aber nah liegende Objekte ohne Brille gut, manchmal sogar besser als Normalsichtige, erkennen können, spricht man Kurzsichtigkeit („kurz“ meint dabei nah vor dem Auge).

Neben genetischen Ursachen werden auch Umgebungsbedingungen wie insbesondere zu wenig Tageslicht für die Entstehung der Kurzsichtigkeit verantwortlich gemacht. Besonders in Asien konnte belegt werden, dass Kinder, die sich täglich mindestens zwei Stunden im Freien aufgehalten haben, ein deutlich verringertes Risiko haben, kurzsichtig zu werden. Über die kausalen Zusammenhang rätseln die Wissenschaftler noch.

Rein optisch ist die Kurzsichtigkeit leicht zu erklärbar. Im Verhältnis zur Brechkraft der Linse ist der Augapfel zu lang oder umgekehrt ausgedrückt: die Brechkraft der Linse ist für die Größe des Augapfels zu stark.. Die einfallenden Lichtstrahlen werden auf Punkte gebündelt, die vor der Netzhaut liegen, auf der Netzhaut entsteht kein scharfes Bild.

Eine Brille mit Minusgläsern (konkave Zerstreuungslinse) verringert die Brechkraft des gesamten Abbildungssystems, gleicht also die zu große Brechkraft der Augenlinse aus.

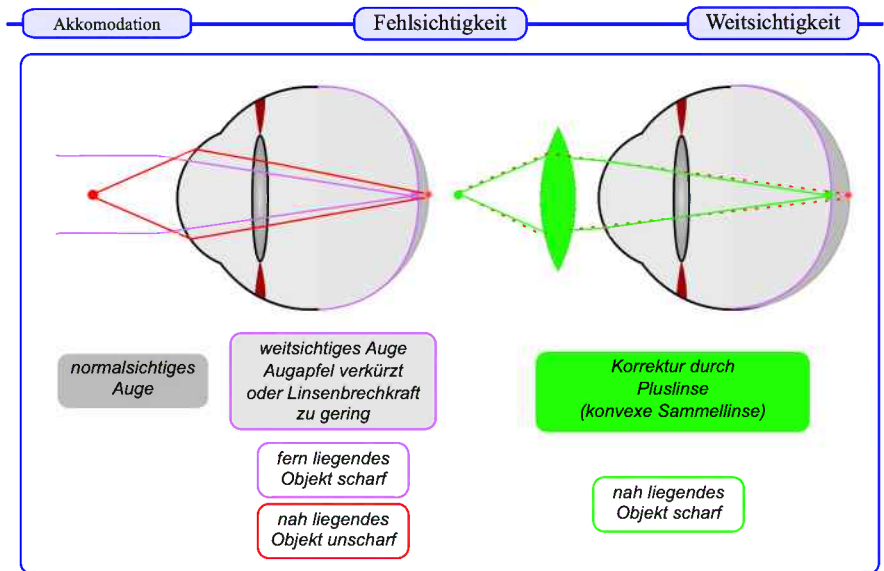


### 5. ... und was das Alter so bringt

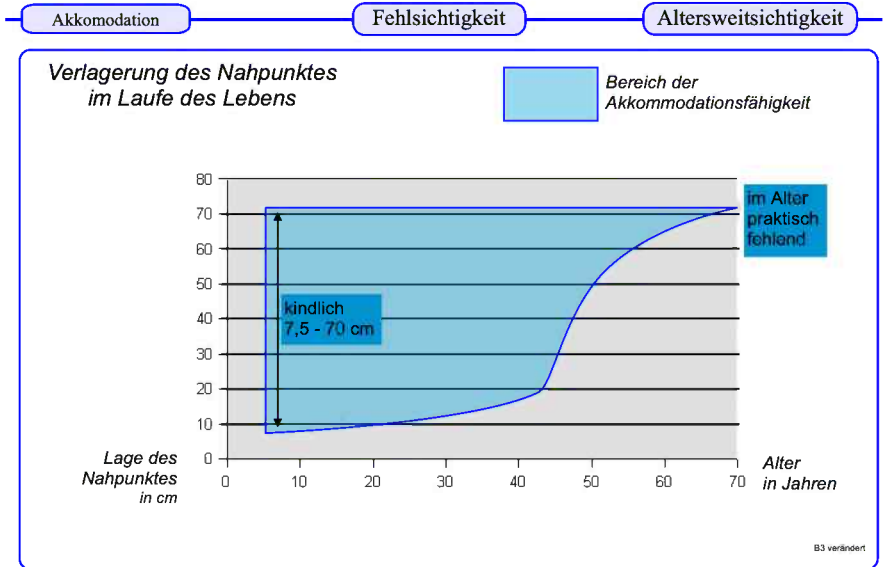
Bevor ich diesen Artikel schrieb, wusste ich noch nicht, woher das Wort „Priester“ stammt. Wieso ich jetzt damit anfangen? Nun, das Wort „Priester“ ist eine Verkürzung von „Presbyter“ (von gr. *πρεσβύτερος presbýteros* 'Älterer'), womit die frühen christlichen Gemeinden ihre Leiter benannten. Und jetzt die Verbindung zu unserer Thematik: die bekannte Altersweitsichtigkeit heißt wissenschaftlich „Presbyopie“ (gr. *πρέσβυς presbys* 'alt' und *ὄψ ops* 'Auge').

Von jedem Gummiband wissen wir aus Erfahrung, dass seine Elastizität im Laufe der Zeit abnimmt. Auch die Linse verliert im Laufe des Lebens ihre Federeigenschaften. Dadurch vermindert sich die Fähigkeit zur Naheinstellung (Objekte in der Ferne können noch scharf gesehen werden, daher Altersweitsichtigkeit). Der minimale Abstand für ein noch scharf erkennbares Objekt („Nahpunkt“) vergrößert sich von etwa 10 cm im Kindesalter auf 70 cm im Alter. Man erkennt diesen Effekt oft daran, dass ältere Menschen die Zeitung oder ein Formular zum Lesen am ausgestreckten Arm halten (also weiter als für einen jüngeren Menschen notwendig).

Wie eine Zerstreuungslinse als Korrektur einer Kurzsichtigkeit hilft, gleicht eine vorgeschaltete Sammellinse die Weitsichtigkeit aus.



Wie die nachfolgende Grafik zeigt, beginnt dieser Alterungsprozess sehr langsam bereits in jungen Jahren, mit etwa 45 Jahren rückt der Nahpunkt in den Bereich um 40 cm. Dies ist der normale Abstand, den man beim Lesen einhält, d.h. man kann das Schriftbild gerade noch scharf sehen. Für Arbeiten in geringerer Entfernung ist jetzt schon eine Brille notwendig, um die fehlende Brechkraft der Linse auszugleichen. Der steile Anstieg der Kurve lässt erkennen, dass aber ab diesem Alter für die meisten Menschen kein Weg mehr an einer „Lese“brille vorbei führt.



www.die-reise-maus.de

Eine solche einfache Sehhilfe kann aber die mangelhafte Regulierungsfähigkeit (Akkommodation) des Auges nicht beheben. Jetzt hilft nur eine Gleitsichtbrille, um sich das lästige ständige Auf- und Absetzen der Brille oder den Wechsel zwischen einer Lese- und einer Fernbrille zu ersparen.

## Fachbegriff-Erklärungen

### Akkommodation

Anpassung der Augenlinse an verschiedene Objektentfernungen (je nach Tierart durch Veränderung der Linsenkrümmung oder Verschieben der Linse).

lat. *accommodare* 'sich anpassen' von *commodare* 'günstig sein' bzw. *commodus* 'zweckmäßig, bequem' (die „Kommode“ ist durch ihre Schubladen erheblich bequemer und zweckmäßiger als ein Kasten, wie er früher als Aufbewahrungsmöbel üblich war).

Nicht zu verwechseln mit der

**Adaptation** (Adaption, Anpassung)

Bei Sinneszellen (bzw. -organen): Anpassung an unterschiedliche Reizintensitäten

B: Auge: durch Irisblende / durch physiologische A. der Sinneszellen

lat. *aptere* anpassen

### Hyperopie (Weitsichtigkeit, Übersichtigkeit, Hypermetropie)

Fehlsichtigkeit; Brechkraft der Linse (bzw. des gesamten lichtbrechenden Apparates) im Vergleich zur Länge des Augapfels zu stark, durch Verkürzung des Augapfels.

Entfernt liegende Objekte werden (ohne Akkommodation) unscharf gesehen, die Unschärfe nimmt zu, je näher das Objekt an das Auge heranrückt.

Die unscharfe Abbildung beim entspannten Auge kann durch Akkommodation ausgeglichen werden. Dieser Ausgleich gelingt aber mit zunehmendem Alter durch die verringerte Fähigkeit zur Akkommodation immer weniger.

Eine (normale), geringe kindliche Weitsichtigkeit (Maximum bei ca. 6a) reduziert sich meist bis zum 12. Lebensjahr.

Abhilfe durch Brille mit Plusgläsern (konvexe Sammellinsen).

Ursache genetische Veranlagung; hinsichtlich des Alters s. Presbyopie\*.

Weltweit, auch D, ca. 25% (>16a), bei Jugendlichen starker Anstieg auf 50%.

gr. *ὑπέρ* 'über' (bzw. *ὑπέρμετρος* *Hypermetros* 'übermäßig') und *ὄψ* *ops* 'Auge'

### Myopie (Kurzsichtigkeit)

Fehlsichtigkeit; Brechkraft der Linse (bzw. des gesamten lichtbrechenden Apparates) im Vergleich zur Länge des Augapfels zu schwach, durch

a. Verlängerung des Augapfels oder

b. zu starke Brechkraft der Linse.

Fern liegende Objekte werden scharf gesehen, entfernt liegende bleiben unscharf.

Abhilfe durch Brille mit Minusgläsern (konkave Zerstreuungslinsen).

Ursache genetische Veranlagung, Umgebungsbedingungen (zu wenig Tageslicht im Kindesalter).

Weltweit, auch D, ca. 25% (>16a), bei Jugendlichen starker Anstieg auf 50%.

gr. *μύωψ* *myops* 'kurzsichtig' aus *μυεῖν* *mein* 'Auge oder Ohr schließen'\* und *ὄψ* *ops* 'Auge' (daraus auch „Optik“): Kurzsichtige neigen dazu, die Augen zuzukneifen, um durch verengten Lidspalt vergleichbar mit der Lochblende der Lochkamera eine größere Tiefenschärfe zu erreichen.

\* davon auch „Mystik“, über *μυεῖν* *myein* 'einweihen' und daraus *μυστικός* *mystikos* 'geheimnisvoll', geheimnisvolle Erlebnisse, außerhalb dessen, was Auge und Ohr tatsächlich wahrnehmen.

**Presbyopie (Alterssichtigkeit, Altersweitsichtigkeit)**

Mit zunehmendem Alter (stark ab 40. Lebensjahr) verringerte Fähigkeit zur Akkommodation.

Ursache: Verhärtung und damit verringerte Verformbarkeit der Linse.

gr. πρέσβυς *presbys* 'alt' sowie und ὄψ *ops* 'Auge'

**Retina (Netzhaut)**

Zellschicht mit lichtempfindlichen Sinneszellen (Photorezeptoren; Stäbchen und Zapfen) im Inneren des Auges, beim Wirbeltierauge auch mit mehreren Lagen von Nervenzellen („vorgeschobener Außenposten des Gehirns“)

lat. *rete* Netz

**Ziliarkörper**

Spezialisierter Bereich der Aderhaut im vorderen Teil des Auges, enthält den Ziliarmuskel\*.

**Ziliarmuskel**

Ringmuskel im Ziliarkörper\*, verändert den Krümmungsradius der Augenlinse und dient damit der Akkommodation\*.

**Zonulafasern**

Aufhängeapparat der Linse im Ring des Ziliarkörpers\*, übertragen durch den Grad ihrer Spannung den Zug des Ziliarmuskels\* auf die Linse.

Weitere Fachbegriffserklärungen aus der Biologie und den angrenzenden Wissenschaftsgebieten Physik und Chemie finden Sie auch in meiner Homepage [www.die-reise-maus.de](http://www.die-reise-maus.de) in der Rubrik „Lexika“ in der Datei „Biologie\_LX.pdf“.

**Bildnachweis**

- B1. <https://www.wissen.de/sites/default/files/styles/lightbox/public/wissensserver/jadis/incoming/506667.jpg?itok=QZNa2Keu>
- B2. [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/81/Focus\\_in\\_an\\_eye.svg/1280px-Focus\\_in\\_an\\_eye.svg.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/81/Focus_in_an_eye.svg/1280px-Focus_in_an_eye.svg.png)
- B3. <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/52/Akkomodbreiterp.png>
- B4. <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/18/Myopia-2-2.svg?uselang=de>

**Quellen**

1. DWDS – Digitales Wörterbuch der deutschen Sprache; [www.dwds.de](http://www.dwds.de)
2. [de.wikipedia.org/wiki/Auge](http://de.wikipedia.org/wiki/Auge) und weitere wiki-Artikel
3. <https://www.wissen.de/medizin/akkommodation>
4. G. Vogel, H. Angermann: dtv-Atlas zur Biologie
5. <https://www.spektrum.de/news/gegenmassnahmen-gegen-kurzichtigkeit/1455215>
6. H. Lullies D. Trincker: Taschenbuch der Physiologie, Stuttgart 1977
7. [https://de.wikipedia.org/wiki/Kurzichtigkeit#cite\\_note-3](https://de.wikipedia.org/wiki/Kurzichtigkeit#cite_note-3)