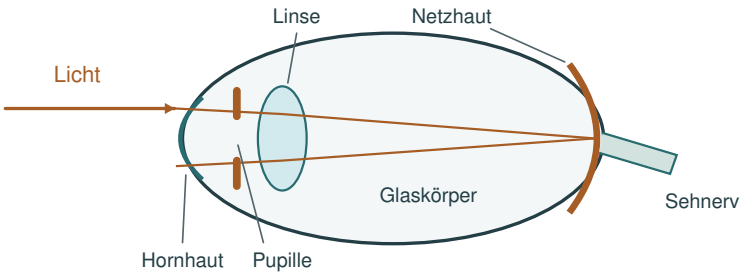
01 | WISSEN IM ZUSAMMENHANG

Licht erreicht die Netzhaut

Ein beleuchteter Gegenstand wirft Licht in viele Richtungen zurück. Ein Teil davon gelangt in dein Auge. Damit du Einzelheiten erkennst, müssen Lichtbündel passende Stellen auf der Netzhaut erreichen.



Vereinfachter Augenschnitt: Licht gelangt durch Hornhaut, Pupille und Linse zur Netzhaut. Die Strahlen zeigen einen ausgewählten Bildpunkt; Größen und Brechungen sind schematisch.

1 · Ein geschütztes Sinnesorgan

Der Augapfel liegt geschützt in der knöchernen Augenhöhle. Augenlider und Tränenflüssigkeit helfen, die Oberfläche feucht und sauber zu halten. Vorn liegt die durchsichtige **Hornhaut**. Durch sie tritt Licht ein. Die feste äußere **Lederhaut** gibt dem Augapfel Halt. Im Inneren liegt der durchsichtige Glaskörper. Die verschiedenen Bauteile erfüllen damit unterschiedliche Aufgaben: Schutz, Formstabilität, Lichtleitung und Wahrnehmung greifen ineinander.

2 · Öffnung und Bündelung

Die farbige **Iris** kann die Größe der **Pupille** verändern. Die Pupille ist die Öffnung, durch die Licht weiter ins Auge fällt. Bei größerer Öffnung gelangt unter gleichen Bedingungen mehr Licht hinein. Hinter ihr liegt die Linse. Hornhaut und Linse brechen das Licht: An ihren Grenzflächen ändert es seine Richtung. Den größten Anteil an der Bündelung übernimmt die Hornhaut. Die Linse ermöglicht zusätzlich die veränderliche Feineinstellung.

3 · Ein Bild auf einer empfindlichen Fläche

Die **Netzhaut** kleidet den hinteren Innenraum des Auges aus. Auf ihr entsteht ein verkleinertes, umgekehrtes optisches Bild. Sie enthält lichtempfindliche Zellen und weitere Nervenzellen. In einer kleinen zentralen Region, der Sehgrube, ist besonders scharfes Sehen möglich. Dort ist die Dichte bestimmter Sinneszellen hoch. Beim genauen Betrachten richtest du die Augen so aus, dass wichtige Einzelheiten auf diese Region fallen. Augenbewegung und Bildentstehung arbeiten deshalb zusammen. Die Austrittsstelle des Sehnervs ist lichtunempfindlich. Diese Stelle heißt blinder Fleck. Das gemeinsame Sehen mit zwei Augen und die Verarbeitung der Umgebung tragen dazu bei, dass uns diese Stelle im Alltag gewöhnlich kaum auffällt.

Das gehört zusammen: Der Augenbau verbindet Schutz und Lichtleitung mit einer empfindlichen Empfangsfläche: der Netzhaut.

Wähle „Aufbau & Beschriftung“. Tippe Hornhaut, Iris, Linse und Netzhaut an und verändere anschließend die „Helligkeit“.

01 | ZUSAMMENHÄNGE VERTIEFEN

Lichtmenge und Bildentstehung getrennt erklären

Vier Aufgaben auf dem Lichtweg

1. Hornhaut
Sie schützt die Vorderseite und bündelt einfallendes Licht stark.

→

2. Iris und Pupille
Die Iris stellt die Größe der Lichtöffnung ein.

→

3. Linse
Ihre veränderliche Form passt die Bündelung an die Entfernung an.

→

4. Netzhaut
Das optische Bild trifft auf Sinnes- und Nervenzellen.

Der Ablauf zeigt Funktionen in vereinfachter Reihenfolge. Hornhaut und Linse wirken gemeinsam als optisches System.

Die **Pupille** ist kein schwarzer Körper, der Licht einsammelt, sondern eine Öffnung in der Iris. Ihre Größe beeinflusst, wie viel Licht unter gleichen Bedingungen in das Auge gelangt. Die Iris stellt diese Öffnung ein. Hornhaut und Linse übernehmen dagegen die Bündelung. Zum Verständnis hilft eine Arbeitsteilung: Ein Bauteil regelt die Lichtmenge, andere verändern die Lichtwege, und die Netzhaut nimmt das optische Bild auf. Diese Aufgaben wirken zusammen, lassen sich aber einzeln untersuchen. Eine größere Pupille ersetzt deshalb keine passende Linsenform. Ebenso macht eine stärkere Bündelung einen Gegenstand nicht automatisch heller.

Von jedem sichtbaren Punkt eines Gegenstands gelangen viele Lichtstrahlen in das Auge. Ein scharfes Bild entsteht, wenn die Strahlen desselben Punktes auf einer kleinen gemeinsamen Stelle der Netzhaut zusammentreffen. Strahlen von anderen Punkten werden auf andere Stellen gelenkt. So entsteht eine geordnete Abbildung. Die **Sehgrube** ist ein kleiner Bereich der Netzhaut mit besonders hoher Sehschärfe. Wenn du ein einzelnes Wort genau liest, richtest du den Blick immer wieder auf die nächste Stelle. Das gesamte Blickfeld hat also nicht überall dieselbe Detailgenauigkeit. Beim Lesen arbeiten Augenbewegung, optische Abbildung und Verarbeitung der Einzelheiten fortlaufend zusammen.

Ein Gegenstand ist nur sichtbar, wenn Licht von ihm in das Auge gelangt. In einem völlig dunklen Raum hilft auch eine weit geöffnete Pupille nicht. Sie kann vorhandenes Licht besser nutzen, erzeugt aber selbst kein Licht zum Beleuchten der Umgebung.

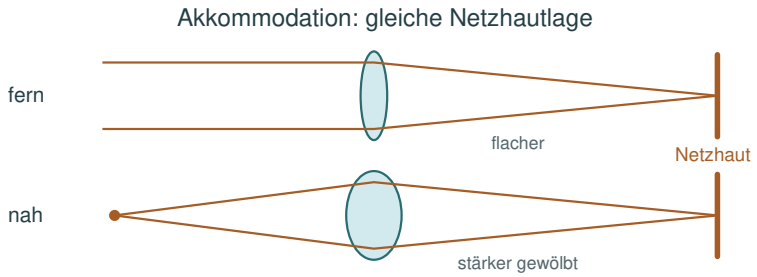
Vom hellen Fenster zum Buch
Beim Blickwechsel ändern sich möglicherweise Helligkeit und Gegenstandsentfernung zugleich. Die Iris kann die Pupillenweite anpassen; die Linsenform passt sich an die Entfernung an. Im Modell veränderst du diese Einflüsse getrennt. Dadurch erkennst du, welcher Bauteil welche Änderung erklärt, obwohl im Alltag beides zusammen auftreten kann.

Genau unterscheiden
Häufige Verwechslung: Die Pupille stellt das Bild scharf, weil sie größer oder kleiner wird. **So stimmt es:** Die Pupille regelt vor allem die Lichtmenge. Das aktive Scharfstellen an verschiedene Entfernungen geschieht durch die veränderte Linsenform; auch die Hornhaut trägt zur Bündelung bei.

02 | WISSEN IM ZUSAMMENHANG

Nah und fern scharfstellen

Du blickst von der Tafel auf einen Satz im Heft. Die Entfernung ändert sich, während die Netzhaut nahezu am gleichen Ort bleibt. Die Linse passt ihre Form an diese Aufgabe an.



Fern- und Naheinstellung im vereinfachten Linsenmodell. Eine stärkere Wölbung hilft, Licht von einem nahen Punkt auf derselben Empfangsfläche zu bündeln.

4 · Die Linsenform verändert die Brechung

Akkommodation heißt die Anpassung an unterschiedliche Entfernungen. Beim Nahsehen zieht sich der Ziliarmuskel zusammen. Die Spannung der Aufhängefasern sinkt und die elastische Linse wird stärker gewölbt. Dadurch bündelt sie stärker. Beim Blick in die Ferne ist die Linse flacher. Beide Einstellungen gehören zu derselben Aufgabe: Die Lichtstrahlen eines betrachteten Punktes sollen möglichst genau auf der Netzhaut zusammentreffen.

5 · Die Lage des Bildes entscheidet

Liegt die Bildlage vor oder hinter der Netzhaut, fällt das Licht eines Punktes auf eine größere Fläche. Die Einzelheit erscheint unscharf. Bei **Kurzsichtigkeit** liegt der Brennpunkt für weit entfernte Gegenstände vor der Netzhaut; eine Zerstreuungslinse kann das ausgleichen. Bei **Weitsichtigkeit** wäre die Bildlage bei entspannter Linse hinter der Netzhaut; eine Sammellinse kann unterstützen. Diese einfachen Strahlenmodelle verbinden die Brechkraft des Auges mit seiner Länge.

6 · Ein Modell gezielt vergleichen

Verändere beim Untersuchen jeweils eine Größe: zuerst die Gegenstandsentfernung, danach die Linsenwölbung. Beobachte, wie sich Bildlage und Schärfe verändern. Die Pupille und die Linse haben dabei verschiedene Funktionen. Die Pupille beeinflusst vor allem die einfallende Lichtmenge; die Linsenform verändert die Bündelung. Das Werkstattmodell fasst mehrere optische Teile zu einem vereinfachten System zusammen. Seine Entfernungen zeigen Zusammenhänge, während ein echtes Auge weitere Gewebeschichten und Anpassungen besitzt. Mit zunehmendem Alter verliert die Linse einen Teil ihrer Elastizität. Das Nahstellen wird dadurch schwieriger; diese Veränderung heißt Alterssichtigkeit. Eine geeignete Sehhilfe verändert die einfallenden Lichtbündel. Damit lässt sich dieselbe Grundidee auch auf eine weitere Alltagssituation übertragen.

Das gehört zusammen: Scharfstellen bedeutet: Die Bündelung wird an die Entfernung angepasst, damit das Bild auf der Netzhaut entsteht.

Öffne „Licht bündeln & Scharfstellen“. Ändere die Entfernung, stelle die Linsenwölbung selbst ein und vergleiche mit „Automatisch scharfstellen“.

02 | ZUSAMMENHÄNGE VERTIEFEN

Die Netzhaut bleibt am Platz - die Linse passt sich an

Wo treffen sich die Strahlen eines Punktes?

Vor der Netzhaut
Am Empfangsort laufen die Strahlen bereits wieder auseinander.

Auf der Netzhaut
Die Strahlen treffen dort gebündelt auf: ein scharfer Bildpunkt.

Hinter der Netzhaut
Am Empfangsort sind die Strahlen noch nicht ausreichend gebündelt.

Verglichen wird ein betrachteter Punkt. Die gezeichnete Bildlage hinter der Netzhaut ist eine geometrische Verlängerung, kein Lichtweg durch das Gehirn.

Die Netzhaut wird beim normalen Scharfstellen nicht vor- und zurückgeschoben. Die Entfernung zwischen dem optischen System und der Netzhaut bleibt im Wesentlichen fest. Dagegen kommen Lichtstrahlen von einem nahen Gegenstand stärker auseinanderlaufend am Auge an als von einem fernen. Damit sie trotzdem auf derselben Netzhaut zusammentreffen, ist eine stärkere Bündelung nötig. Der **Ziliarmuskel** verändert dafür die Spannung der Aufhängefasern. Beim Nahsehen lässt diese Spannung nach, und die elastische Linse wird runder. Die Linse wird also nicht durch einen direkt an ihr ziehenden Muskel zusammengedrückt. Muskel, Fasern und Elastizität wirken als System zusammen.

Im Strahlenmodell kannst du eine absichtlich unpassende Einstellung untersuchen. Treffen sich die Strahlen schon vor der Netzhaut, laufen sie auf dem Weg zur Netzhaut wieder auseinander. Würden sie sich erst dahinter treffen, sind sie beim Auftreffen ebenfalls noch verteilt. In beiden Fällen entsteht statt eines kleinen Bildpunkts eine größere beleuchtete Fläche. Benachbarte Einzelheiten überlagern sich stärker: Das Bild wird unscharf. Eine passende Sehhilfe verändert die Strahlen bereits vor dem Eintritt ins Auge. Bei Kurzsichtigkeit hilft meist eine Zerstreuungslinse, bei Weitsichtigkeit eine Sammellinse. Welche Korrektur nötig ist, wird durch eine fachliche Untersuchung ermittelt.

Akkommodation und Sehkorrektur sind nicht gleichbedeutend. Akkommodation ist die veränderliche Einstellung der eigenen Linse. Eine Brille fügt dagegen ein weiteres optisches Bauteil hinzu. Beide beeinflussen die Bündelung, greifen aber an unterschiedlichen Stellen des Lichtwegs ein.

Nahes Heft, ferne Tafel
Beim Blick vom Heft zur Tafel muss die Linse ihre Einstellung ändern. Stelle im Modell zuerst die Nahsicht ein und verschiebe dann nur den Gegenstand in die Ferne. Beobachte die zunächst falsche Bildlage. Erst das Anpassen der Linsenwölbung bringt die Strahlen wieder auf der Netzhaut zusammen.

Genau unterscheiden
Häufige Verwechslung: Beim Blick in die Nähe muss die Linse flacher werden.
So stimmt es: Für nahe Gegenstände ist eine stärkere Bündelung nötig. Die elastische Linse wird dabei runder; der Ziliarmuskel entlastet dafür ihre Aufhängefasern.

03 | WISSEN IM ZUSAMMENHANG

Aus Licht werden Signale und Wahrnehmung

Auf der Netzhaut endet der optische Lichtweg. Nun beginnt ein biologischer Vorgang: Sinneszellen verändern ihre elektrische Antwort. Viele Nervenzellen verarbeiten die Information weiter.



Vom Lichtreiz über Netzhautzellen zum Sehnerv und zur Verarbeitung im Gehirn. Das Schaubild ordnet Funktionen und fasst viele beteiligte Zelltypen und Stationen zusammen.

7 · Stäbchen und Zapfen ergänzen sich

Stäbchen reagieren besonders empfindlich auf schwaches Licht. **Zapfen** ermöglichen bei ausreichender Helligkeit feine Einzelheiten und Farbsehen. Typischerweise gibt es drei Zapfentypen mit unterschiedlichen, überlappenden Empfindlichkeitsbereichen für Wellenlängen. Der Farbeindruck entsteht aus ihrem gemeinsamen Antwortmuster. Ein roter Gegenstand reflektiert bestimmte Anteile des einfallenden Lichts stärker als andere. Beleuchtung und Eigenschaften des Gegenstands wirken deshalb zusammen, bevor das Auge die Information verarbeitet.

8 · Die Netzhaut verarbeitet bereits

Lichtempfindliche Moleküle in den Sinneszellen starten eine Reaktionskette. Dadurch verändert sich die elektrische Spannung der Zelle und ihre Botenstoffabgabe. Über weitere Netzhautzellen beeinflusst dies die **Ganglienzellen**. Deren Fortsätze bilden den Sehnerv und leiten Aktionspotenziale weiter. Schon in der Netzhaut werden Unterschiede zwischen benachbarten Bereichen verarbeitet. Die Weiterleitung verbindet viele einzelne Zellantworten mit geordneten Signalen über Helligkeit, Kontraste und Veränderungen im Blickfeld.

9 · Das Gehirn verknüpft die Information

An der Sehnervenkreuzung wechseln bestimmte Nervenfasern die Seite. Informationen aus der linken Hälfte des Gesichtsfelds gelangen überwiegend zur rechten Gehirnhälfte und umgekehrt. Über weitere Stationen erreichen sie die Sehrinde im Hinterhaupt. Dort und in verbundenen Gebieten werden unter anderem Formen und Bewegungen verarbeitet. Erfahrung und Aufmerksamkeit tragen dazu bei, Gegenstände zu erkennen. Sehen entsteht somit durch das Zusammenwirken von Licht, Sinneszellen und Nervennetzwerken. Beim Lesen müssen zum Beispiel Kanten, Buchstabenfolgen und bekannte Wortmuster zusammenpassen. Wenn du den Blick weiterbewegst, ändern sich die Signale laufend. Die Verarbeitung verbindet aktuelle Reize mit bereits Gelerntem. Deshalb führt der Weg vom Auge unmittelbar zum Thema Lernen.

Das gehört zusammen: Licht wird gebündelt, in Zellantworten umgesetzt und als Nervensignal verarbeitet. Wahrnehmung entsteht aus dem Zusammenspiel dieser Ebenen.

Fachbücher und Quellen stehen auf Seite 7. Die Onlinefassung verlinkt außerdem die passenden Lehrbuchkapitel.

03 | ZUSAMMENHÄNGE VERTIEFEN

Gesichtsfeld und Auge sind nicht dasselbe

Vom Lichtmuster zur erkannten Form

1. Licht auf der Netzhaut
Ein optisches Bild verteilt Helligkeit und Farbe.

→

2. Verarbeitung in Zellen
Sinneszellen und weitere Netzhautzellen verändern ihre Signale.

→

3. Sehnerv und Sehbahnen
Geordnete Nervensignale erreichen weitere Ver arbeitungsstationen.

→

4. Verknüpfung im Gehirn
Form, Bewegung und Erfahrung tragen zum Erkennen bei.

Ein vereinfachter Informationsweg. Rückverbindungen und viele parallel arbeitende Nervennetze sind nicht einzeln eingezeichnet.

Das **Gesichtsfeld** ist der Bereich der Umgebung, den du bei einer Blickrichtung erfassen kannst. Seine linke Hälfte wird nicht ausschließlich vom linken Auge gesehen. In einem großen gemeinsamen Bereich liefern beide Augen Informationen. Durch die optische Abbildung treffen Lichtanteile einer Gesichtsfeldhälfte auf bestimmte Hälften beider Netzhäute. An der Sehnervenkreuzung wechseln nur bestimmte Fasern die Seite. Dadurch werden Informationen aus dem linken Gesichtsfeld überwiegend in der rechten Gehirnhälfte zusammengeführt, Informationen aus dem rechten überwiegend in der linken. Die Bezeichnungen „linkes Auge“ und „linkes Gesichtsfeld“ dürfen daher nicht einfach vertauscht werden.

Vor dieser Weiterleitung hat die Netzhaut bereits gearbeitet. **Stäbchen und Zapfen** reagieren auf Licht und verändern die Signale, die sie an weitere Zellen abgeben.

Ganglienzellen fassen viele Einflüsse zusammen; ihre Axone bilden den Sehnerv. Das Gehirn bekommt also kein kleines Foto, sondern geordnete Muster von Nervensignalen. Verschiedene Netzwerke verarbeiten unter anderem Kanten, Bewegung und Farbe. Aufmerksamkeit und Erfahrung helfen, eine Form als bekannten Gegenstand zu erkennen. Beim Lesen reicht es beispielsweise nicht, helle und dunkle Stellen zu registrieren. Die Buchstaben müssen auch mit Lauten und Bedeutungen verbunden werden. Sehen verbindet dadurch optische Abbildung, Zellvorgänge und gelerntes Wissen.

Zwei Augen betrachten die Umgebung aus etwas verschiedenen Positionen. Das Gehirn kann Unterschiede ihrer Bilder für das **räumliche Sehen** nutzen. Zusätzlich liefern Überdeckung, Größenverhältnisse und Erfahrung Hinweise auf Entfernungen. Auch mit einem Auge bleiben daher bestimmte Informationen über Tiefe verfügbar.

Ein Buchstabe und ein unbekanntes Zeichen
Beide Zeichen erzeugen Lichtmuster auf der Netzhaut. Einen vertrauten Buchstaben kannst du zusätzlich benennen und beim Lesen verwenden. Dafür werden die aktuellen Signale mit gelernten Verbindungen verknüpft. Die optische Schärfe ist wichtig, erklärt aber allein noch nicht, warum du ein Zeichen verstehst.

Genau unterscheiden
Häufige Verwechslung: Das linke Auge ist nur mit der rechten Gehirnhälfte verbunden. **So stimmt es:** Entscheidend ist die Gesichtsfeldhälfte. Informationen aus einem gemeinsamen Gesichtsfeldbereich stammen aus beiden Augen; nur ein Teil der Fasern wechselt an der Sehnervenkreuzung die Seite.

Wissen anwenden und weiterdenken

Drei ergänzende Entdeckeraufträge. Erkläre deine Beobachtungen mit den Zusammenhängen aus dem Wissenstext.

1 · Aufbau & Beschriftung

Ausprobieren: Wähle Iris, Hornhaut, Linse und Netzhaut. Verändere „Helligkeit“ und betätige getrennt davon den Wechsel zwischen Nahsicht und Fernsicht.

Beobachten: Welcher Bereich verändert sich mit der Helligkeit? Welcher verändert seine Form beim Nah-/Fernwechsel?

Erklären: Warum braucht eine vollständige Erklärung sowohl Lichtmenge als auch Bündelung?

Modellgrenze: Das Schnittbild zeigt vereinfachte Formen und keine gemessenen Pupillendurchmesser. Die Regler dienen dazu, Funktionen getrennt zu vergleichen.

2 · Licht bündeln & Scharfstellen

Ausprobieren: Wähle „Nahsicht ansehen“. Verschiebe danach nur die „Gegenstandsentfernung im Modell“. Passe die Linsenwölbung selbst an und prüfe mit „Automatisch scharfstellen“.

Beobachten: Liegt die berechnete Bildebene vor, auf oder hinter der Netzhaut? Welche Änderung bringt die Strahlen wieder zusammen?

Erklären: Warum reicht es beim Blickwechsel nicht, einfach mehr Licht durch die Pupille zu lassen?

Modellgrenze: Das vereinfachte Sammellinsenmodell verwendet frei gewählte Längeneinheiten. Die angezeigten Werte sind keine Messwerte eines echten Auges.

3 · Netzhaut → Gehirn

Ausprobieren: Wähle „Linkes Gesichtsfeld“, verfolge den Signalweg und wechsle dann zu „Rechtes Gesichtsfeld“. Gehe die sieben Stationen durch.

Beobachten: Von welchen Augen stammen die markierten Informationen? Wo kreuzen Fasern, und welche Gehirnhälfte wird hervorgehoben?

Erklären: Warum beschreibt „linkes Auge → rechte Gehirnhälfte“ den gesamten Sehweg unvollständig?

Modellgrenze: Die Bahnen und Verarbeitungsstationen sind stark vereinfacht. Das Modell zeigt die Zuordnung der Gesichtsfelder, keine vollständige Gehirnkarte.

Interaktive Werkstatt öffnen →

Fachliche Quellen und weiterführende Literatur

Anatomy and Physiology 2e

College Physics 2e

Taschenatlas Physiologie