



Co-funded by
the European Union

Unterrichtseinheit: Der Sehmechanismus: Vom Licht zum Gehirn

DiFC – Universität Palermo



BIOS4YOU
AR 2.0

BIO-INSPIRED STEM TOPICS FOR ENGAGING YOUNG GENERATIONS
THANKS TO THE USE OF AUGMENTED REALITY

Project Number: KA220-BW-23-30-126516

"Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them."





Inhalt

1. Der Sehmechanismus: Vom Licht zum Gehirn.....	3
Biologie des Sehens und Optik; Signaltransduktion; vom Augapfel zum visuellen Kortex	3
2. Modul erkunden	6
Engagementphase	6
Brainstorming-Aktivitäten im Unterricht	7
Grundstufe.....	8
Physik und Optik des Sehens	8
Von der Physik zur Physiologie: Photorezeptoren und Signale.	10
Räumliche Verteilung und Sehschärfe.....	10
Von der Netzhaut zum Gehirn: obligatorische Stufen.	11
Von der Theorie zu Alltagsgegenständen.....	11
Webbasierte Ressourcen	12
Fortgeschrittenes Niveau	12
Umgekehrtes Lernen:	13
3. Betriebsmodul.....	13
Grundstufe	13
Fortgeschrittenenstufe.....	15
Aktivitäten:	16
4. Referenzen.....	17





Allgemeines Thema des Lernpfads	Der Sehmechanismus: Vom Licht zum Gehirn
Spezifischer Name der Lerneinheit	Biologie des Sehens und Optik; Signaltransduktion; vom Augapfel zum visuellen Kortex
Alter der Zielgruppe	17–19 Jahre
Voraussetzungen für die Lernenden	Grundkenntnisse in Biologie (Anatomie des Auges, Nervengewebe), Physik (geometrische Optik: Reflexion, Brechung, Fokussierung) und einführende Elemente der Elektrophysiologie.
Beschreibung der Lerneinheit	Die Einheit führt Schüler und Lehrer durch einen multidisziplinären Lehrpfad, der Biologie und Physik miteinander verbindet, um zu verstehen, wie von Objekten reflektiertes Licht auf der Netzhaut fokussiert, von Fotorezeptoren (Zapfen und Stäbchen) in elektrische Signale umgewandelt und über den Sehnerv an die für das Sehen zuständigen Bereiche der Großhirnrinde weitergeleitet wird. Der Einsatz digitaler und AR-Tools soll sonst unsichtbare Prozesse sichtbar machen (Aktivierung von Photopigmenten, Weiterleitung neuronaler Signale) und anatomische Strukturen klar und schrittweise mit physikalischen Prinzipien verknüpfen.
Thema: Beteiligte Parteien	Biologie, Neurowissenschaften, Physik (Optik), Technologie (Visualisierung/AR)
Schlüsselwörter	Sehen; Netzhaut; Zapfen und Stäbchen; Signaltransduktion; Sehnerv; Brechung; Fokussierung; Visueller Kortex; AR; Szenenbasiertes Lernen





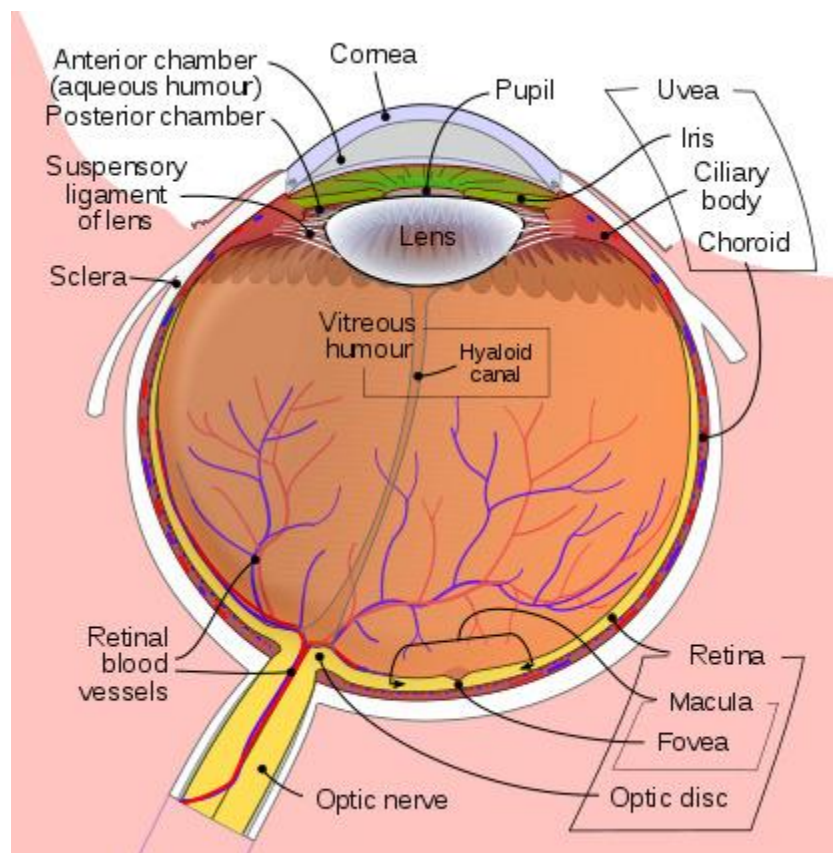
Wichtige Qualifikationen, Fähigkeiten und Kenntnisse, die erworben werden können	• Argumentation und Problemlösung bei integrierten biophysikalischen Prozessen • Design Thinking angewendet auf sequenzielle und visuelle Darstellungen (Szenen) • Praktisches Wissen: geometrische Optik, Augen Anatomie, Sehbahnen • Digitale/AR-Kenntnisse: 3D-Visualisierung, informative Überlagerungen, Szenennavigation
Verwendete Ressourcen und didaktische Hilfsmittel	AR-Plattformen (z. B. Delightex Studio – Spaces, Marker), zuverlässige Webressourcen und Lehrvideos, wissenschaftliche Artikel und Datenbanken; 3D-Modelle (Auge, Netzhaut/Fotorezeptoren, Sehnerv) und Textüberlagerungen für wichtige Daten.
Bewertungskriterien und Bewertung	Bewertung von Wissen (optisch-biologisch-neuronale Abfolge), Fähigkeiten (Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge zwischen optischen Phänomenen und biologischen Reaktionen) und Kompetenzen (bewusste Nutzung von AR-Tools, interdisziplinäre Integration).

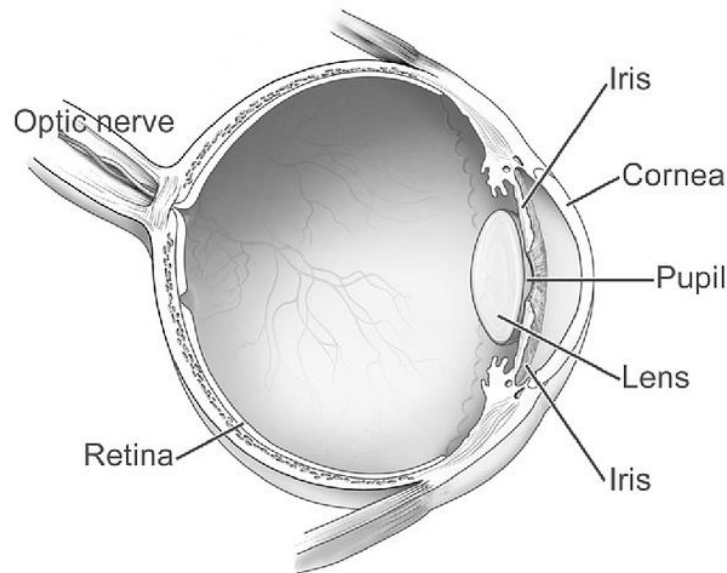


1. Der Sehmechanismus: Vom Licht zum Gehirn

Biologie des Sehens und Optik; Signaltransduktion; vom Augapfel zum visuellen Kortex

Das Sehen entsteht aus dem Zusammenspiel physikalischer Phänomene und biologischer Prozesse. Von Objekten reflektiertes Licht durchdringt die transparenten Medien des Auges, wird gebrochen und auf der Netzhaut fokussiert. Hier wandeln Photorezeptoren Lichtenergie in elektrische Signale um, die über den Sehnerv zu den für die visuelle Verarbeitung zuständigen Bereichen der Großhirnrinde weitergeleitet werden. Sehen bedeutet nicht, ein Bild passiv aufzunehmen, sondern es aus Signalen zu rekonstruieren, die das Gehirn interpretiert und integriert.



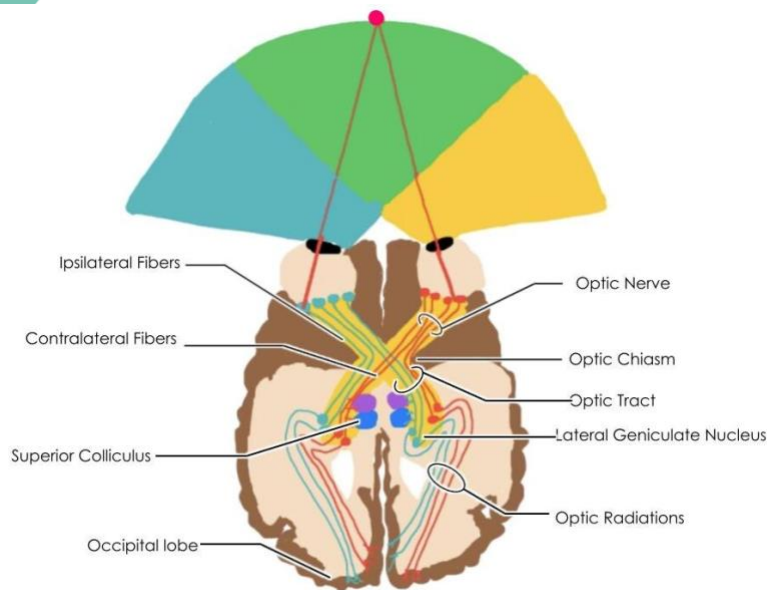


Die Fokussierung hängt von der Krümmung der Oberflächen und den Brechungsindizes der Augenmedien ab. Geometrische oder optische Veränderungen führen zu Erkrankungen wie Kurzsichtigkeit oder Weitsichtigkeit, bei denen der Brennpunkt vor oder hinter der Netzhautebene liegt. Die Augenlinse trägt zur Akkommodation bei, indem sie ihre Krümmung leicht verändert, um die Schärfe bei unterschiedlichen Entfernungen aufrechtzuerhalten.

Die Netzhaut ist ein spezialisiertes Nervengewebe. Stäbchen, die sehr empfindlich sind, unterstützen das Sehen bei schlechten Lichtverhältnissen; Zapfen, die weniger empfindlich sind, ermöglichen die Farbwahrnehmung und scharfes Sehen bei Tageslicht. Die Phototransduktion beginnt, wenn Photopigmente Photonen absorbieren und eine biochemische Kaskade auslösen, die das Membranpotenzial der Photorezeptoren und der nachfolgenden Netzhautneuronen (bipolare, Ganglien- und Interneurone) moduliert.

Von der Netzhaut aus bilden die Axone der Ganglienzellen den Sehnerv. Die Fasern kreuzen sich teilweise am Chiasma opticum, wodurch sichergestellt wird, dass das rechte Gesichtsfeld hauptsächlich von der linken Hemisphäre verarbeitet wird und umgekehrt. Das Signal wandert entlang des Sehbahnstrangs zum lateralen Genikularkörper (Thalamus) und erreicht dann den primären visuellen Kortex (V1), wo es zusammen mit assoziativen Bereichen analysiert und integriert wird, um Merkmale wie Form, Tiefe, Bewegung und Farbe zu extrahieren.





Die Wahrnehmung wird durch Anpassungsmechanismen und Schlussfolgerungsprozesse beeinflusst. Die Anpassung ermöglicht es dem visuellen System, seine Empfindlichkeit über einen weiten Bereich von Helligkeitsstufen aufrechtzuerhalten, während visuelle Illusionen zeigen, dass das Gehirn Reize auf der Grundlage von Kontext und Erfahrung interpretiert und Teilinformationen ergänzt, um ein kohärentes Bild zu rekonstruieren.

Das binokulare Sehen liefert Disparitätshinweise, die für die Tiefenschätzung unerlässlich sind, während monokulare Hinweise – wie relative Größe, Perspektive, Okklusion und Schattierung – zur dreidimensionalen Wahrnehmung beitragen, selbst wenn nur ein Auge verwendet wird.

Aus pädagogischer Sicht ist es entscheidend, die Abfolge der Ereignisse zu verdeutlichen: (1) Licht wird auf die Netzhautebene fokussiert; (2) Photorezeptoren wandeln Licht in elektrische Signale um; (3) das Netzhautnetzwerk verarbeitet das Signal vor; (4) das Signal wandert entlang des Sehnervs und der Thalamusstationen; (5) der visuelle Kortex integriert die Informationen, um eine Wahrnehmungsrepräsentation zu erzeugen. Die Darstellung dieser Schritte in einer geordneten Reihenfolge hilft den Schülern, physikalische Ursachen und biologische Wirkungen miteinander in Verbindung zu bringen.

Der gezielte Einsatz von digitalen und Augmented-Reality-Tools ermöglicht es, ansonsten unsichtbare Prozesse zu visualisieren, wie beispielsweise den Weg des Lichts durch die Augenmedien, die Aktivierung der Photorezeptoren und die Übertragung von Signalen entlang der Sehbahnen. Die Visualisierung Szene für Szene erleichtert das Verständnis der Zusammenhänge zwischen anatomischen Strukturen und physikalischen Prinzipien.





Lassen Sie uns gemeinsam darüber nachdenken.

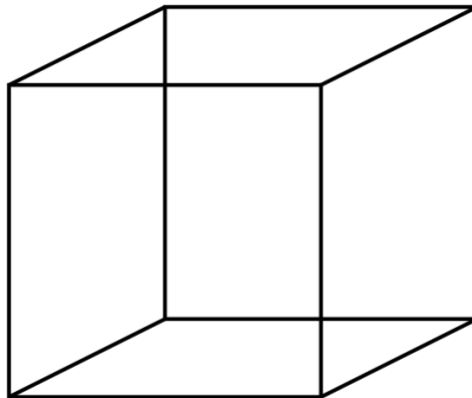
Warum sehen wir ohne Licht nichts? Wie beeinflussen die Krümmung der Augenlinse und die Brechungsindizes der Augenmedien die Bildschärfe? Inwieweit trägt die kortikale Interpretation zu unserer Wahrnehmung von Farbe und Bewegung bei? Diese Fragen helfen dabei, beobachtbare Phänomene mit den zugrunde liegenden Mechanismen zu verknüpfen.

2. Modul erkunden

Engagementphase

Leitfrage: *Sehen wir mit unseren Augen oder mit unserem Gehirn?*

Die Lektion beginnt mit einem kurzen visuellen Reiz: einem Bild, auf dem dieselbe Oberfläche je nach Umgebung unterschiedliche Farben zu haben scheint, oder einer Helligkeitsillusion. Der Zweck besteht nicht darin, die Schüler zu „täuschen“, sondern ihnen die Idee zu vermitteln, dass das Sehen nicht nur eine optische Aufzeichnung ist, sondern eine **Interpretation** physikalischer Signale durch biologische Strukturen.



Anfängliche Reize (Videos und kurze Ressourcen)

Wie die Augen funktionieren – National Eye Institute (NEI): ein klarer Überblick über die wichtigsten Teile des Auges und den Lichtweg durch die Augenmedien.

<https://www.nei.nih.gov/learn-about-eye-health/healthy-vision/how-eyes-work>

Unsere Augen – Unser Sehen – Science Learning Hub: eine leicht verständliche Zusammenfassung des Nervenwegs von der Netzhaut → zum Sehnerv → zum Gehirn.

<https://www.sciencelearn.org.nz/resources/3006-our-eyes-our-vision>





PhET – Geometrische Optik (Linsen/Bilder): eine kurze interaktive Erkundung der Lichtbrechung und Fokussierung.

https://phet.colorado.edu/sims/html/geometric-optics/latest/geometric-optics_all.html

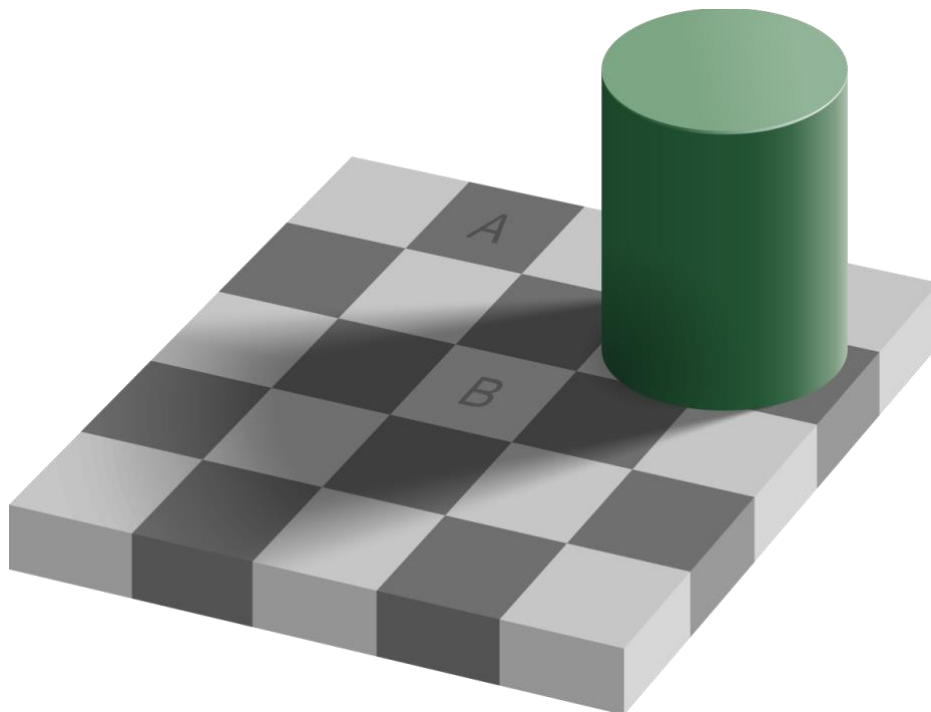
Auftaktaktivität (5–10 Min.).

Eine kurze Projektion einer optischen Täuschung oder ein kurzer Videoclip regt die Schüler dazu an, zu fragen: „*Warum sehen wir etwas, das nicht da ist?*“

Das Ziel ist es, hervorzuheben, dass das Sehen ein vom Gehirn gesteuerter **Interpretationsprozess** ist und nicht nur eine optische „Eingabe“.

Vorschlag für ein Video: *How Vision Works* (Academy of Science – Curious)

<https://www.science.org.au/curious/video/vision>



Brainstorming-Aktivitäten im Klassenzimmer

Leitfrage: Ohne Licht gibt es kein Sehen: Was passiert mit Licht, wenn es durch das Auge wandert, und wie wird es zu einem elektrischen Signal, das vom Gehirn interpretiert werden kann?

Anregende Fragen

Was bestimmt den Fokus des Bildes auf der Netzhaut?

Die Brechung in der Hornhaut und der Augenlinse; die Pupille reguliert die Lichtmenge; die Akkommodation der Linse sorgt für Schärfe bei unterschiedlichen Entfernungen.





Warum nehmen wir Farben im Dunkeln schlecht wahr?

Weil die Aktivität der Stäbchen überwiegt (hohe Empfindlichkeit, aber keine Farbdiskriminierung), während die Zapfen mehr Licht benötigen, um Wellenlängen zu unterscheiden.

„Zeichnet“ die Netzhaut ein fertiges Bild auf?

Nein, die Netzhaut führt eine Vorverarbeitung durch (Kontrast, Bewegung, Richtung), dann wird das Signal an den Thalamus und den visuellen Kortex weitergeleitet, wo die Informationen integriert werden.

Warum sind manche Objekte in einer bestimmten Entfernung scharf und in einer anderen verschwommen?

Weil die Brennebene von der Geometrie und den Brechungsindizes abhängt; wenn die Bildebene nicht mit der Netzhaut übereinstimmt, ist das Bild unscharf (Kurzsichtigkeit/Weitsichtigkeit).

Mikroaufgabe.

Beschriften Sie die Teile des Auges (Hornhaut, Pupille, Iris, Linse, Netzhaut, Sehnerv) mithilfe eines Arbeitsblatts oder einer interaktiven Ressource.

Empfohlene Ressource: **Beschriften des Auges** – Science Learning Hub

<https://www.sciencelearn.org.nz/resources/3007-labelling-the-eye>

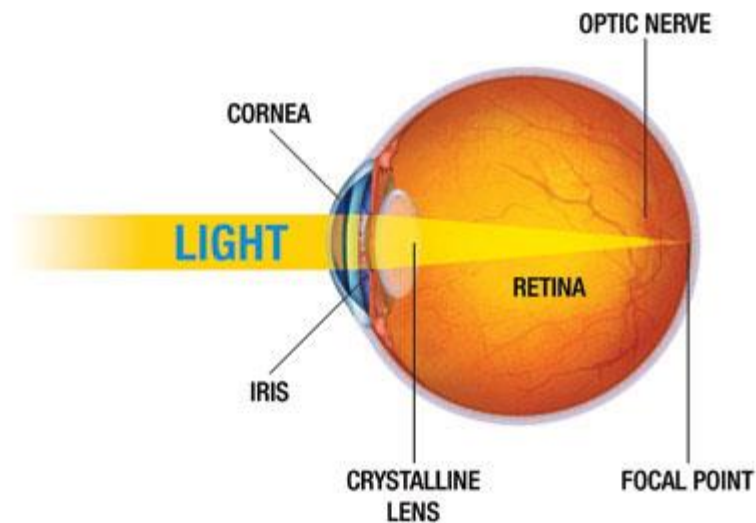
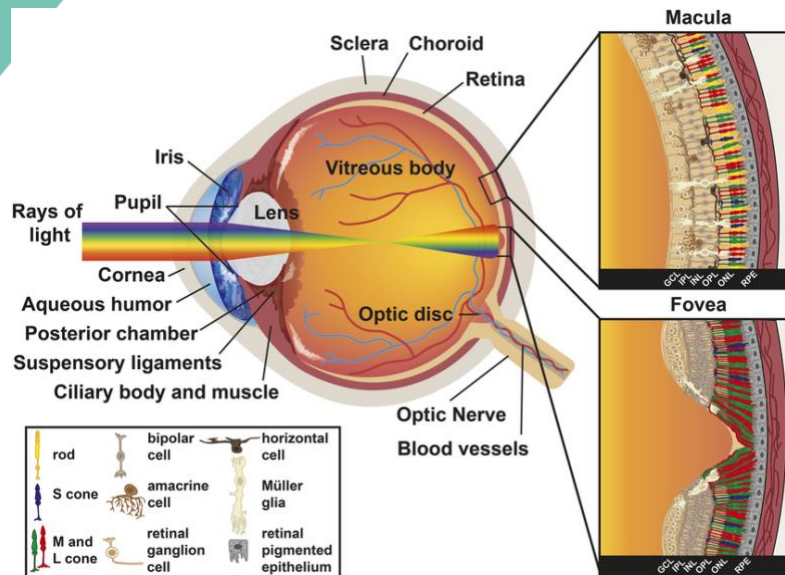
Grundstufe

Physik und Optik des Sehens

Licht, Brechung und Bildentstehung.

Das Sehen beginnt, wenn von Objekten reflektiertes Licht in das Auge eintritt und ein natürliches optisches System durchläuft: Hornhaut, Kammerwasser, Augenlinse und Glaskörper. An jeder Grenzfläche wird das Licht entsprechend den Unterschieden im Brechungsindex gebrochen. Das Ergebnis dieses Prozesses ist die **Fokussierung des Bildes** auf der Netzhautenebene. Die Qualität des Bildes hängt von drei Hauptfaktoren ab: Oberflächengeometrie (Krümmung), Brechungsindizes und dem Pupillendurchmesser, der die Schärfentiefe steuert. Wenn das Licht **vor** der Netzhaut (Kurzsichtigkeit) oder **hinter** ihr (Weitsichtigkeit) konvergiert, erscheint das Bild unscharf; die Augenlinse gleicht dies durch **Akkommodation** innerhalb physiologischer Grenzen aus.

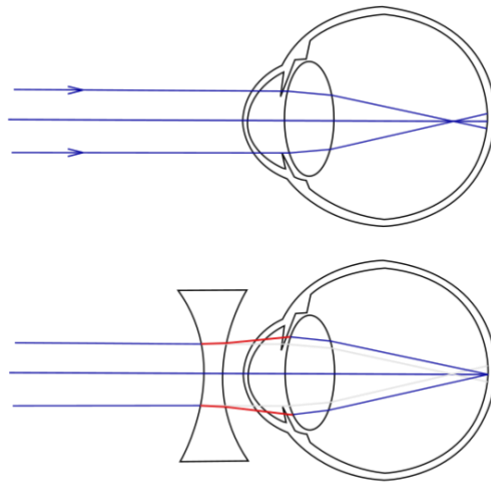




Was bestimmt, wo der Fokus liegt?

Das Gleichgewicht zwischen optischer Krümmung und Objektentfernung: Je näher das Objekt ist, desto größer muss die Krümmung sein, um ein scharfes Bild auf der Netzhaut zu erhalten.





Von der Physik zur Physiologie: Photorezeptoren und Signal.

Auf der Netzhaut ist das umgekehrte Bild keine endgültige „Momentaufnahme“: Es ist der physikalische Reiz, der **die Signalübertragung** auslöst. Photorezeptoren (Stäbchen und Zapfen) enthalten Photopigmente, die bei Absorption von Photonen ihren Zustand ändern und eine biochemische Kaskade aktivieren. Das resultierende Signal ist kein „Alles-oder-Nichts“-Aktionspotential, sondern ein abgestuftes Potential, das an bipolare und Ganglienzellen weitergeleitet wird. Die Axone der Ganglienzellen bilden den **Sehnerv**, den Ausgangskanal, der Informationen zum Gehirn transportiert.

Warum können wir im Dunkeln große Formen unterscheiden, aber keine Farben?

Weil Stäbchen unter skotopischen (schwach beleuchteten) Bedingungen empfindlicher und aktiver sind, aber keine Farben erkennen können; Zapfen, die für Farben und Sehschärfe zuständig sind, benötigen höhere Lichtstärken.

Räumliche Verteilung und Sehschärfe.

Die Zapfen sind in der **Fovea** am dichtesten, wo die Sehschärfe am größten ist und die Verbindungen direkter sind; in der Peripherie dominieren die Stäbchen, was die Erkennung von Bewegungen und Lichtveränderungen begünstigt. Dieser Kompromiss erklärt, warum das Lesen eine direkte Fixierung der Fovea erfordert, während das periphere Sehen für die Bewegungserkennung effektiver ist.

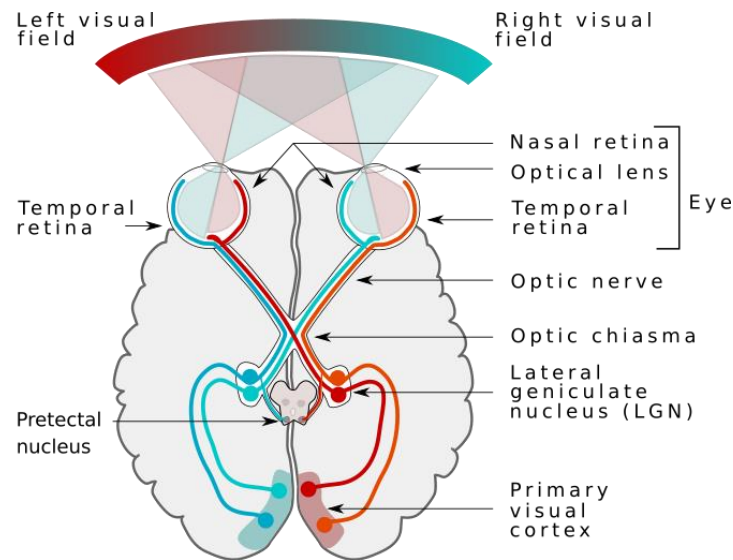
Warum werden Buchstaben weniger scharf, wenn wir einen einzelnen fixieren?

Weil die Zapfendichte außerhalb der Fovea abnimmt und die neuronale Konvergenz zunimmt: Die Empfindlichkeit verbessert sich, aber die räumliche Auflösung nimmt ab.



Von der Netzhaut zum Gehirn: obligatorische Stufen.

Das Signal verlässt das Auge über den **Sehnerv**, passiert das **Chiasma opticum** (teilweise Kreuzung), setzt sich im **Sehbahn** bis zum **lateralen Genikularkern** (Thalamus) fort und erreicht schließlich den **primären visuellen Kortex (V1)**. Hier – und in höheren Bereichen – wird die Information in Merkmale (Ausrichtung, räumliche Frequenzen, Bewegung, Farbe) zerlegt und dann zu einer kohärenten Wahrnehmung zusammengesetzt. Das Gehirn „sieht“ keine Photonen – es rekonstruiert die Bedeutung aus neuronalen Aktivitätsmustern.



Wenn die Netzhaut ein auf dem Kopf stehendes Bild empfängt, warum sehen wir dann die Welt nicht auf dem Kopf stehend?

Weil die Wahrnehmung im Gehirn entsteht: Der Kortex interpretiert und rekonstruiert Informationen unabhängig von der ursprünglichen optischen Ausrichtung.

Von der Theorie zu Alltagsgegenständen.

Die gleichen Prinzipien, die im Auge wirken, finden sich auch in **Brillen und Kontaktlinsen** (Fokuskorrektur), **Kameras und Smartphones** (Objektive, Blenden, Sensoren) sowie **VR/AR-Headsets** (Optik für Nahbereichsfokussierung). Wenn man die Physik aus dem Labor holt, versteht man nicht nur, *wie* eine Linse funktioniert, sondern auch, *wann* und *warum* eine optische Korrektur wirksam ist.

Lassen Sie uns gemeinsam darüber nachdenken.

Die Optimierung der Netzhaut reicht nicht aus: Die Wahrnehmung hängt von der anschließenden Verarbeitung ab. Wenn das physikalische Licht gleich bleibt, warum verändern dann Kontext und Kontrast das, was wir sehen? Was bedeutet es wirklich, „mit dem Gehirn zu sehen“?





Webbasierte Ressourcen

Wie die Augen funktionieren – National Eye Institute (NEI)

<https://www.nei.nih.gov/learn-about-eye-health/healthy-vision/how-eyes-work>

Interaktive Erklärung der Augen Anatomie und des Lichtwegs durch transparente Medien.

Fotorezeptoren: Stäbchen und Zapfen – Khan Academy

<https://www.khanacademy.org/science/health-and-medicine/nervous-system-and-sensory-infor/sight-vision/v/photoreceptors-rods-cones>

Videolektion über Photorezeptoren und Unterschiede zwischen skotopischem und photopischem Sehen.

Geometrische Optik – PhET Interactive Simulations, University of Colorado Boulder

https://phet.colorado.edu/sims/html/geometric-optics/latest/geometric-optics_all.html

Interaktive Simulation: Beobachten Sie, wie sich Fokus und Vergrößerung mit der Entfernung und der Linsenkrümmung verändern; verbinden Sie die Ergebnisse mit Kurzsichtigkeit, Weitsichtigkeit und Akkommodation.

Fortgeschrittenes Niveau

Fototransduktion und Anpassung.

Die in den Photorezeptoren ablaufende Kaskade (Aktivierung von Photopigment, Transducin, Modulation von cGMP und Ionenkanälen) erklärt, wie Licht zu Strom wird. **Die Anpassung** (an Licht und Dunkelheit) kalibriert die Empfindlichkeit des Systems neu und ermöglicht so den Betrieb über mehrere Größenordnungen der Leuchtdichte hinweg.

Auflösung und Kontrast.

Die Sehschärfe hängt nicht nur von der Optik ab: Netzhaut- und Kortexkreisläufe wählen **räumliche Frequenzen** und **Ausrichtungen** aus und verbessern so den Kontrast der Konturen. Die verschiedenen Bahnen (parvozellulär/magnocellulär) priorisieren **Details/Farben** oder **Bewegungen**.

Sehbahnen und Integration.

Jenseits von V1 teilt sich die Verarbeitung in Netzwerke auf, die „**was**“ (Form, Farbe) und „**wo/wie**“ (Raum, Aktion) betonen. Die Farbwahrnehmung entsteht aus der Integration von L/M/S-Zapfenreaktionen und chromatischen Opponentenphänomenen, während die Bewegungswahrnehmung eine zeitliche Integration und binokulare Disparität für die Tiefenwahrnehmung erfordert.

Warum nehmen wir bei schlechten Lichtverhältnissen Bewegungen besser wahr als feine Details?

Weil beim skotopischen Sehen Bahnen dominieren, die empfindlich auf globale und zeitliche Veränderungen reagieren, wobei die räumliche Auflösung reduziert ist.





Warum kann eine kleine Pupille manchmal die Schärfe verbessern?

Weil sie Aberrationen reduziert und die Schärfentiefe erhöht (innerhalb der Grenzen der Beugung).

Flipped Learning:

Ziel: Bereiten Sie sich auf die Diskussion im Unterricht vor, indem Sie den Ablauf *Licht* → *Netzhaut* → *Sehnerv* → *Großhirnrinde* und die physikalischen/biologischen Zusammenhänge verstehen.

Aufgaben (einzureichen als 1–2-seitiger Bericht oder 6–8 Folien):

1. **Kurze Lektüre** über die Anatomie des Auges und den Weg des Lichts. Hervorheben: Hornhaut, Pupille/Iris, Linse, Netzhaut, Sehnerv.
2. **Arbeitsblatt „Zapfen vs. Stäbchen“:** Füllen Sie eine Tabelle mit *Empfindlichkeit*, *Rolle bei Farbe/Sehschärfe*, *Lichtverhältnissen* (skotopisch/photopisch) und *Verteilung auf der Netzhaut* aus.
3. **Geometrische Optik-Simulation (dünne Linse):** Erstellen Sie zwei Screenshots —
 - a. *Fokussiertes Bild* (Fokus auf „Netzhaut“) mit kommentierten Parametern;
 - b. *Unscharfes Bild* (simulierte Kurzsichtigkeit/Weitsichtigkeit) mit Anmerkungen dazu, wie Akkommodation oder Korrekturlinsen die Schärfe wiederherstellen.
4. **Kurze Zusammenfassung (max. 120 Wörter):** Erklären Sie mit eigenen Worten, warum die Netzhaut keine fertigen Bilder „aufzeichnet“, sondern Signale **umwandelt und vorverarbeitet**, die an das Gehirn gesendet werden.
5. **Drei Fragen zur Nachbesprechung:** eine zur Optik (Brechung/Fokussierung), eine zur Biologie (Phototransduktion) und eine zur Wahrnehmung (warum sehen wir die Welt nicht auf dem Kopf?).

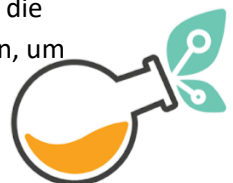
Einreichung: Laden Sie das PDF oder die Folien vor dem Unterricht in den Klassenkanal hoch.

3. Operationsmodul

Grundstufe

Das Verständnis des Sehvorgangs kann durch eine Reihe praktischer Aktivitäten vertieft werden, bei denen die Schüler sowohl optische als auch biologische Phänomene beobachten können, die am Sehmechanismus beteiligt sind. Das Ziel dieses Abschnitts ist es, die im theoretischen Teil behandelten Konzepte der Brechung, Fokussierung und Signaltransduktion unter Anleitung anzuwenden und dabei die **Physik der Optik** mit der **Biologie des menschlichen Auges** zu verbinden.

Wenn Licht durch Medien mit unterschiedlicher optischer Dichte hindurchgeht, ändert sich seine Bahnrichtung – ein Phänomen, das als **Brechung** bekannt ist. Die Hornhaut und die Augenlinse, die die natürlichen Linsen des Auges bilden, wirken als brechende Elemente, die die Lichtstrahlen ablenken, um





ein scharfes Bild auf der Netzhaut zu erzeugen. Die Schüler können dieses Verhalten mit einem einfachen Experiment beobachten: Tauchen Sie einen Bleistift teilweise in ein Glas Wasser und beobachten Sie, wie das Objekt an der Grenzfläche zwischen Luft und Wasser „gebrochen“ erscheint. Dieser visuelle Effekt veranschaulicht direkt, wie Licht in den Medien des Auges abgelenkt wird, und führt in das Prinzip der Refraktion ein, das die Fokussierung des Netzhautbildes bestimmt.

Das Phänomen wird anschließend in einer virtuellen Umgebung mithilfe der interaktiven Simulation „**Geometric Optics**“ (Geometrische **Optik**) untersucht, die auf der **PhET-Plattform der University of Colorado Boulder** verfügbar ist:

https://phet.colorado.edu/sims/html/geometric-optics/latest/geometric-optics_all.html

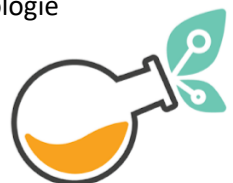
Mithilfe der Simulation können die Schüler den Abstand zwischen Objekt und Linse variieren und die Krümmung der Oberflächen verändern, um zu beobachten, wie sich die Position des Brennpunkts und die Bildschärfe verändern. Diese Aktivität hilft den Schülern zu verstehen, wie die menschliche Augenlinse ihre Krümmung verändert, um das Bild auf der Netzhaut scharf zu halten – ein Prozess, der als **Akkommodation** bezeichnet wird.

Aus diesen Beobachtungen ergeben sich wesentliche Fragen: In welcher Beziehung stehen die Form der Linse und die Fokussierentfernung zueinander? Warum führen übermäßige oder unzureichende Krümmungen zu Sehstörungen wie Kurzsichtigkeit oder Weitsichtigkeit? Der Vergleich der physikalischen Linse in der Simulation mit der biologischen Augenlinse verdeutlicht, wie sich Schwankungen der Brechkraft auf die Position des Brennpunkts und damit auf die Sehqualität auswirken.

Der Fokus verlagert sich dann auf die Netzhaut, die dünne Sinnesmembran im hinteren Teil des Auges, die Lichtenergie in elektrische Signale umwandelt. Die Schüler analysieren die Anordnung der **Photorezeptoren** – Zapfen und Stäbchen – und ihre komplementären Funktionen: Stäbchen sind auf das Nachtsehen spezialisiert und nehmen Helligkeitsänderungen wahr, während Zapfen für die Farbwahrnehmung und eine hohe Sehschärfe bei hellem Licht sorgen. Die hohe Dichte der Zapfen in der Fovea erklärt die zentrale Sehschärfe, während die Prävalenz der Stäbchen in der Peripherie die Bewegungswahrnehmung verbessert.

Die Klassendiskussion wird mit einer Analyse des Verhaltens der Photorezeptoren bei schlechten Lichtverhältnissen fortgesetzt. Warum erscheinen Farben in der Dämmerung verblasst? Die Antwort liegt in der höheren Empfindlichkeit der Stäbchen, die das Sehen bei schwachem Licht ermöglichen, aber nicht zwischen den für Farben verantwortlichen Wellenlängen unterscheiden können. Diese gemeinsame Reflexion hilft den Schülern zu verstehen, wie das Gehirn Informationen aus verschiedenen Sinneszellen integriert, um eine kohärente visuelle Darstellung zu erstellen.

Anschließend werden die Schüler aufgefordert, das menschliche Auge mit alltäglichen optischen Geräten wie Kameras oder Smartphones zu vergleichen. Die Augenlinse verhält sich wie eine Sammellinse, die Pupille fungiert als Blende, die Netzhaut als digitaler Sensor und das Gehirn als Bildprozessor. Durch diese Analogie wird das Sehen als physikalisches Modell neu interpretiert, das Technologie und Biologie miteinander verbindet.



Lassen Sie uns gemeinsam darüber nachdenken. Das Sehen ist ein komplexer Prozess, der geometrische Optik und Neurobiologie miteinander verbindet. Wie begrenzt die Physik die Qualität des wahrgenommenen Bildes? Welche Strategien hat das Gehirn entwickelt, um die Unvollkommenheiten des Auges auszugleichen und eine stabile und kontinuierliche Wahrnehmung der Außenwelt zu gewährleisten?

Fortgeschrittenes Niveau

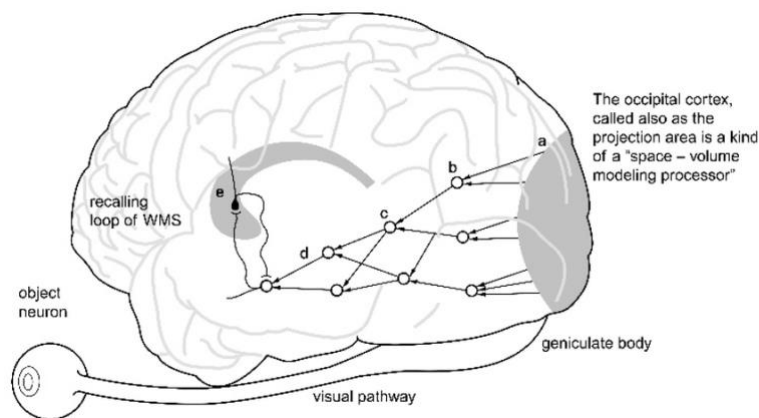
Die fortgeschrittene Stufe vertieft den Zusammenhang zwischen der Transduktion in der Netzhaut und der Weiterleitung des Signals entlang der Nervenbahnen zum visuellen Kortex. Die Schüler beobachten, wie Lichtenergie in den Photorezeptoren in elektrische Signale umgewandelt wird und wie diese Impulse über Bipolar- und Ganglienzellen zum Sehnerv weitergeleitet werden.

Um die Abfolge der Ereignisse zu verstehen, wird das Konzept der **Phototransduktion** eingeführt: Die Absorption eines Photons durch ein Rhodopsinmolekül löst eine Konformationsänderung aus, die eine biochemische Kaskade aktiviert. Diese Kaskade reduziert zyklisches GMP, schließt Ionenkanäle und hyperpolarisiert folglich die Zelle. Das Ergebnis ist die Umwandlung von Lichtenergie in Schwankungen des elektrischen Potentials.

Die Ausbreitung des Signals entlang des Sehnervs und sein Weg zum visuellen Kortex werden durch eine **Augmented-Reality-Simulation** veranschaulicht, die mit **Delightex Studio – Spaces (Marker)** entwickelt wurde:

<https://edu.delightex.com/Studio/Spaces>

Mithilfe mobiler Geräte erkunden die Schüler ein dreidimensionales Modell des menschlichen Auges, beobachten die Aktivierung der Photorezeptoren, verfolgen das Signal entlang des Sehnervs, visualisieren die Faserkreuzung am Chiasma opticum und sehen schließlich die Projektion der Signale auf den lateralen Genikularkern und den primären visuellen Kortex.





Während der Aktivität werden Leitfragen gestellt:

- An welcher Stelle der Netzhaut wird Licht zu einem elektrischen Impuls?
- Warum kreuzen sich einige Fasern im Chiasma opticum, während andere ungekreuzt bleiben?
- Wie unterscheidet der visuelle Kortex Form, Farbe und Bewegung?

Die Antworten ergeben sich aus Gruppendiskussionen und dem Vergleich zwischen anatomischen Modellen und physikalischen Prozessen.

Die Lektion endet mit einer Reflexion über die Entwicklung künstlicher Sehsysteme. Die Schüler vergleichen die Funktionsweise des menschlichen Auges mit der einer Digitalkamera und heben dabei Analogien und Unterschiede hervor. Während die Kamera Bilder über einen Sensor aufnimmt, rekonstruiert das Gehirn die Wahrnehmung, indem es Informationen aus mehreren sensorischen Quellen integriert und mit früheren Erfahrungen in Verbindung bringt.

Lassen Sie uns gemeinsam darüber nachdenken. Imitieren moderne Technologien des künstlichen Sehens wirklich die Mechanismen des biologischen Sehens oder reproduzieren sie lediglich dessen optische Komponente, während sie die Interpretation an Software delegieren? *Sieht* eine Maschine tatsächlich oder zeichnet sie lediglich auf?

Aktivitäten:

Die abschließenden Aktivitäten zielen darauf ab, das Gelernte zu festigen und die Zusammenarbeit unter Gleichaltrigen zu fördern. Die Schüler erstellen eine **Konzeptkarte**, die den gesamten Ablauf des Sehens vom Licht bis zur bewussten Wahrnehmung darstellt und für jede Phase das physikalische Phänomen, die beteiligte anatomische Struktur und die Art des Signals (Licht, elektrisch oder chemisch) angibt.

Anschließend entwerfen sie in kleinen Gruppen mit **Delightex Studio – Spaces (Marker)** eine **Mini-Augmented-Reality-Erfahrung**. Jede Gruppe illustriert eine bestimmte Phase des Sehvorgangs und fügt kurze Erläuterungstexte, Beschriftungen und einfache Animationen hinzu. Am Ende werden die Szenen in einer Abfolge miteinander verbunden, um den gesamten Sehweg nachzubilden.

Um das Verständnis zu überprüfen, absolvieren die Schüler ein **interaktives Quiz** in AR, das aus Multiple-Choice-Fragen zu den Phasen des Sehmechanismus besteht.

Das Modul endet mit einer **Plenardiskussion**, in der die Schüler die erzielten Ergebnisse kritisch analysieren, ihre Erfahrungen vergleichen und über die Analogien zwischen biologischen und künstlichen Sehsystemen nachdenken.

Erwartete Ergebnisse

Am Ende des Operationsmoduls sollten die Studierenden in der Lage sein, den gesamten Verlauf des Sehens in wissenschaftlicher Sprache zu beschreiben, die Prinzipien der geometrischen Optik mit neurobiologischen Prozessen zu verknüpfen, digitale und AR-Tools zur Darstellung komplexer Phänomene zu verwenden und einen kritischen Ansatz gegenüber Technologien des künstlichen Sehens zu entwickeln.





4. Referenzen

National Eye Institute (NEI), How the Eyes Work. US-Gesundheitsministerium. Verfügbar unter:
<https://www.nei.nih.gov/learn-about-eye-health/healthy-vision/how-eyes-work>

Khan Academy, Photorezeptoren: Stäbchen und Zapfen. Verfügbar unter:
<https://www.khanacademy.org/science/health-and-medicine/nervous-system-and-sensory-infor/sight-vision/v/photoreceptors-rods-cones>

Universität von Colorado Boulder – PhET Interactive Simulations, Geometrische Optik. Verfügbar unter:
https://phet.colorado.edu/sims/html/geometric-optics/latest/geometric-optics_all.html

Science Learning Hub (Neuseeland), Unsere Augen – Unser Sehvermögen. Verfügbar unter:
<https://www.sciencelearn.org.nz/resources/3006-our-eyes-our-vision>

Delightex Studio – Spaces (Marker), Bildungs-AR-Plattform für die Erstellung interaktiver Szenen.
Verfügbar unter: <https://edu.delightex.com/Studio/Spaces>

Google Forms (2025), Vision Quiz – Augmented Synapse Project. Verfügbar unter:
https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSdmXunTg8-vIIU_FyBsFppkFlhtSUJYgjUS-T3cfWnGUF70_Q/viewform?usp=dialog

Khan Academy, Die Phototransduktionskaskade. Verfügbar unter:
<https://www.khanacademy.org/science/health-and-medicine/nervous-system-and-sensory-infor/sight-vision/v/the-phototransduction-cascade>

National Institutes of Health (USA), Vision and the Brain: Understanding Visual Processing. Verfügbar unter: <https://www.nih.gov/news-events/nih-research-matters/vision-brain>

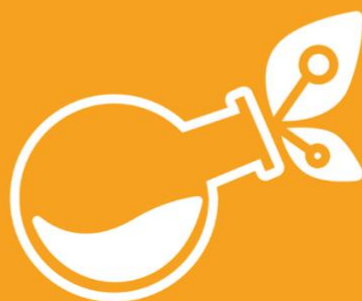
Curious – Academy of Science, Wie das Sehen funktioniert (Video). Verfügbar unter:
<https://www.youtube.com/watch?v=IrXuyxDt5jo>

Bildnachweis: Wikimedia Commons (CC BY-SA / Public Domain), National Eye Institute (NEI) und ResearchGate-Bildungsressourcen – für Bildungszwecke.





Co-funded by
the European Union



BIOS4YOU AR 2.0

BIO-INSPIRED STEM TOPICS FOR ENGAGING YOUNG GENERATIONS
THANKS TO THE USE OF AUGMENTED REALITY



Project Number: KA220-BW-23-30-126516

*Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.