

## E.2.18

### Informationsverarbeitung – Sinnesphysiologie

## Fotorezeptoren und Fototransduktion – Das Farbsehen verstehen

Stephan Engelmann, Dr. Monika Pohlmann



© RAABE 2024

© Philip Steury/Stock/Getty Images Plus

Die Lernenden begegnen dem Farbsehen auf allen Systemebenen, ausgehend vom Sehorgan Auge bis hin zu den molekularen Fotoreaktionen des Rhodopsins in den Membranstapeln der Zapfen. Die eigene Farbsehtätigkeit oder die weit verbreitete, genetisch bedingte Rotgrünblindheit werden im Sehtest erfahrbar. Die Schülerinnen und Schüler lernen, dass die Farbigkeit der Welt für jede Tierart einzigartig ist, ein Ausdruck ökologischer und genetischer Anpassbarkeit.

recherche vertiefen die Lernenden ihre Kompetenzen zur Variabilität des Wirbeltierauges und präsentieren ihre Detailkenntnisse zum Sehvermögen einer ausgewählten Wirbeltierart.

In Material (M3) wird das Sehen als die Umwandlung des Umweltreizes Licht in elektrische Signale dargestellt. Dabei wird der Weg der Fototransduktion vom Auge bis zum Gehirn durch Legekärtchen visualisiert. Es wird vorgeschlagen, die Schülerinnen und Schüler arbeitsteilig in Tandems zu organisieren, damit sie den komplexen Vorgang der Fototransduktion zum einen in Ruhe für sich in Stillarbeit erschließen können und um ihn anschließend zu versprachlichen. Es folgt die Beschreibung der Strukturen der Biomedikale, die den Sehpurpur ausmachen und die durch ein einziges Photon auslösbare fotochemische Reaktion des Rhodopsin. Mithilfe eines Lernvideos wiederholt jeder Lernende die Fototransduktion im eigenen Lerntempo. Den Abschluss dieser Lerneinheit bildet die Präsentation des Sehprozesses.

Das Farbsehen und Formen von Farbenblindheit sind Themen im Material (M4). Die Schüler erarbeiten, dass verschiedene Selektionsdrücke Unterschiede in der Farbtüchtigkeit hervorrufen. Durch den Farbsehtest zur Rot-Grün-Sehschwäche kann ein jeder Lernende seine individuelle Farbtüchtigkeit überprüfen.

Nutzen Sie hierfür die PowerPoint aus dem Downloadmaterial.

Die häufig bei männlichen Individuen beobachtbare Rotgrünblindheit wird als erblich bedingte Einschränkung kennengelernt.

Aufgabe 5 kann alternativ auch als interaktive LearningApp bearbeitet werden. Über den folgenden Link können Sie die LearningApp in Ihrem eigenen Account duplizieren und ggf. anpassen: <https://learningapps.org/display?v=pd71x2k24>

Die Schülerinnen und Schüler vertiefen ihre Kompetenzen zur klassischen Genetik an und erläutern die statistische Erwartung für die Vererbung des Merkmals Rotgrünblindheit über mehrere Generationen. Es bietet sich an, den dominant-rezessiven X-gekoppelten Erbgang übersichtlich in Punnett-Quadraten abzubilden.

### Vorausgesetztes Fachwissen

Diese Unterrichtseinheit setzt Vorkenntnisse aus den Teildisziplinen der Ökologie, Neurobiologie, Evolution und der klassischen Genetik voraus. Sie verlangt die Verknüpfung von Kompetenzen zur evolutionären Morphologie und zu Evolutionsfaktoren für die Erklärung von unterschiedlich aufgebauten Netzhäuten im Wirbeltierauge verschiedener Spezies. Ebenso sollten die Grundlagen der Neurobiologie beherrscht werden. Am Prozess der Fototransduktion können im neuen Kontext wesentliche Kompetenzen zur neuronalen Signalweiterleitung angewendet und vertieft werden. Darüber hinaus wird genetisches Basiswissen zur Erstellung von Erbschemata zu einem X-gekoppelten Erbgang mittels Punnett-Quadraten gefordert. Für das Verstehen des Farbsehens sind grundlegende Kompetenzen der Chemie sowie der Physik zur Absorption und Brechung von Licht hilfreich.



## Die Anatomie des menschlichen Auges

M 1

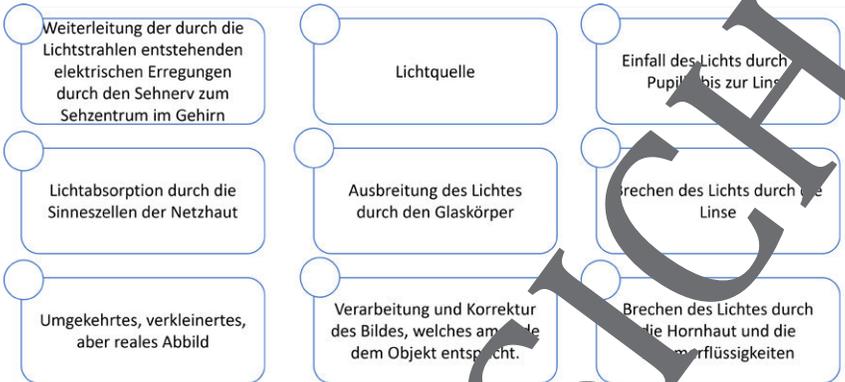
Das menschliche Auge ist das komplexeste Sinnesorgan des Menschen, an das verschiedenste Anforderungen gestellt werden. Durch die Wahrnehmung von Licht kann es die Unterscheidung von Farben, Formen, Bewegungen, Geschwindigkeiten und Distanzen und die Orientierung im Raum möglich. So muss es beweglich und reaktionsschnell sein, scharfes Nah- und Fernsehen ermöglichen, Bewegungen erschütterungsfrei folgen, Gefahren wahrnehmen und am Tag sowie in der Nacht sehen können. Oft spiegelt das Auge auch unsere Gefühle wider. Das Organ ist zentraler Bestandteil des Sehens, indem es Licht empfängt, in Signale umwandelt und an das Gehirn weiterleitet.

Zur Erfüllung der komplexen Funktionen beim Sehen ist eine Vielzahl unterschiedlicher Strukturen notwendig. In einer Knochenhöhle liegt das Auge mit dem Sehnerv mit dem Gehirn verbunden. Die an der Optik beteiligten Teile sind frei von Gefäßen. Der Augapfel liegt zum größten Teil in der knöchernen Augenhöhle, wo er in einer festen weißen Hülle, der Lederhaut oder Sklera, schützend umschlossen wird. Im vorderen Augenbereich geht die Lederhaut in die durchsichtige Hornhaut über, welche die Pupille bedeckt und die dahinterliegende Linse schützt. Unter der Lederhaut liegt als mittlere Gewebeschicht die Uvea, die mittlere Augenhaut. Sie ist für die Akkommodation, die Adaptation und die Ernährung der weiter innen liegenden Netzhaut verantwortlich. Die Uvea besteht aus der Regenbogenhaut (Iris), der Aderhaut und den Ziliarkörper. Die Iris enthält Pigmente, die dem Auge seine Farbe verleihen. Ein hoher Pigmentanteil färbt die Iris braun, ein niedriger lässt sie grün bis blau oder grau erscheinen. In der Mitte der Regenbogenhaut befindet sich eine Öffnung, die Pupille, die dem Auge als Blende dient. Über ihre Weite regulieren die glatten Augenmuskeln der Iris, wie viel Licht auf die Netzhaut einfällt (Adaptation). Bei Dunkelheit oder psychischer Erregung stellt sich die Pupille weit, bei hellem Licht und Ermüdung eng. Die Rückfläche der Augenlider und der vordere Bereich des Augapfels werden von der sogenannten Konjunktiva, der Bindehaut, überzogen. Diese hat zwei Aufgaben: Sie sorgt für die Durchblutung und damit für die Zufuhr von Sauerstoff. Außerdem enthält sie Leuko- und Lymphozyten, die für die zelluläre Immunabwehr verantwortlich sind. Die Aderhaut wird von Blut durchflossen. Sie dient der Ernährung der weiter innen liegenden Netzhaut und versorgt auch das vordere Augensegment. Die innerste Gewebe-

## Sehen – Umwandlung von Licht in körpereigene, elektrische Signale

M 3

### A: Sehen auf Ebene der Organe verstehen



### B1: Sehen auf Ebene der Gewebe der Netzhaut verstehen

Die Netzhaut besteht aus verschiedenen Typen von Nervenzellen, die sich in Aufbau und Funktion unterscheiden. Unter dem Lichtmikroskop ist erkennbar, dass diese Neuronen weitgehend in Schichten angeordnet sind. Allerdings findet die Verknüpfung der Synapsen über diese Schichten hinweg statt.

Reihenfolge der Neuronenschichten der Netzhaut von innen nach außen:

Strukturen der Retina	Funktion
Retinales Pigmentepithel (RPE)	Absorbieren von überschüssigem Licht, Abgrenzen der Fotorezeptoren von der stark durchbluteten Aderhaut
Fotorezeptoren	Umwandeln des Lichtes in Nervenimpulse
Horizontalzellen	Bündeln der Information aus den Fotorezeptoren, sog. receptive Felder
Bipolarzellen	Verstärken und Bündeln der Informationen von Horizontalzellen und Fotorezeptoren
Makulazellen	Verarbeiten Informationen der Bipolar- und Horizontalzellen
Ganglienzellen	Verstärken und Weiterleiten über die Axone ins Gehirn: Die Gesamtheit der langen Axone nennt man Sehnerv

# Sie wollen mehr für Ihr Fach?

## Bekommen Sie: Ganz einfach zum Download im RAABE Webshop.



**Über 5.000 Unterrichtseinheiten**  
sofort zum Download verfügbar



**Webinare und Videos**  
für Ihre fachliche und  
persönliche Weiterbildung



**Attraktive Vergünstigungen**  
für Referendar:innen mit  
bis zu 15% Rabatt



**Käuferschutz**  
mit Trusted Shops



Jetzt entdecken:  
**www.raabe.de**