

E.2.18

Informationsverarbeitung – Sinnesphysiologie

Fotorezeptoren und Fototransduktion – Das Farbsehen verstehen

Stephan Engelmann, Dr. Monika Pohlmann



© RAABE 2024

© Philip Steury/iStock/Getty Images Plus

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

KOMPETENZPROFIL

Klassenstufe:	11/12/13
Dauer:	4–6 Unterrichtsstunden
Kompetenzen:	1. Fachkompetenz; 2. Erkenntnisgewinnungskompetenz; 3. Kommunikationskompetenz; 4. Bewertungskompetenz
Methoden:	<i>Think-Pair-Share</i> , Präsentation
Inhalt:	Sehorgan Auge, Fotorezeptoren, Fototransduktion, Farbwahrnehmung, neuronale Informationsverarbeitung

Didaktisch-methodische Hinweise

Das Auge als optisches Sehorgan sowie Organ für die Rezeption von Farben wird von Forschenden als eines der wichtigsten Kommunikationssysteme des Menschen betrachtet. Durch das Erlernen zentraler neuer Fachbegriffe und Fachkonzepte fördert die Beschäftigung mit der individuellen Wahrnehmung auch sprachliche Fähigkeiten, indem ein Bezug zwischen dem alltäglich Wahrnehmbaren und der damit korrespondierenden Bildungssprache hergestellt wird. Es bietet sich zur Unterstützung daher die kontinuierliche Fortführung eines Glossars an. Das kulturelle Erbe des Menschen basiert in besonderer Weise auch auf der Funktionalität des Auges. Das Sehorgan erschließt dem Menschen die Welt, ohne jedoch eine objektive Wirklichkeit abzubilden. Insofern sind mit einer vertieften unterrichtlichen Behandlung Erkenntnisse verbunden, die über das Fach Biologie deutlich hinausreichen.

Ablauf

Zu Beginn der Unterrichtssequenz (**M 1**) liegt ein Schwerpunkt auf der Erarbeitung der Anatomie des Auges.

Aufgabe 1 kann von den Schülerinnen und Schülern als *LearningApp* bearbeitet werden. Sie können diese über den folgenden Weblink ganz einfach nach Ihren Wünschen modifizieren:

 <https://learningapps.org/display?v=ptrb2q49n24>

Hierfür rufen Sie den Weblink auf und klicken links unten auf „ähnliche App erstellen“. In der Maske können Sie nach Belieben Veränderungen vornehmen und die abgeänderte App in Ihrem eigenen Account abspeichern. Bitte beachten Sie, dass sich dadurch der Zugangslink ändert.

Im zweiten Materialteil (**M 2**) wird der zytologische Aufbau der Fotorezeptoren des Wirbeltierauges thematisiert. Es erfolgt ein Vergleich der Zapfen und Stäbchen der Retina. Die Schülerinnen und Schüler beschreiben die jeweilige Lichtempfindlichkeit im Absorptionsspektrum des sichtbaren Lichts. Sie begründen Vorteil einer unterschiedlichen Anzahl und Verteilung der verschiedenen Sehsinneszellen auf der Retina. Mithilfe einer selbstständigen Internet-

Auf einen Blick

Aufbau des Auges, Fotorezeptoren und Fototransduktion

- M 1** Die Anatomie des menschlichen Auges
M 2 Das Absorptionsspektrum des menschlichen Auges
M 3 Sehen – Umwandlung von Licht in körpereigene, elektrische Signale

Benötigt: Internetfähige Endgeräte

Farbsehen als evolutive Anpasstheit und Rot-Grün-Sehschwäche

M 4 Farbsehen und Farbenblindheit

ZM Farbsehtest

Benötigt: Internetfähige Endgeräte

Erklärung zu den Symbolen

 Dieses Symbol markiert differenziertes Material. Wenn nicht anders ausgewiesen, befinden sich die Materialien auf mittlerem Niveau.		
 einfaches Niveau	 mittleres Niveau	 schwieriges Niveau
 Zusatzaufgaben	 Alternative	

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 Lichtreizen macht es die Unterscheidung von Farben, Formen, Bewegungen, Geschwindigkeiten und Distanzen und die Orientierung im Raum möglich. So muss es beweglich und reaktions-schnell 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 liegend ist das Auge über den 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 von 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 dem 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 in 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-

© RAABE 2024

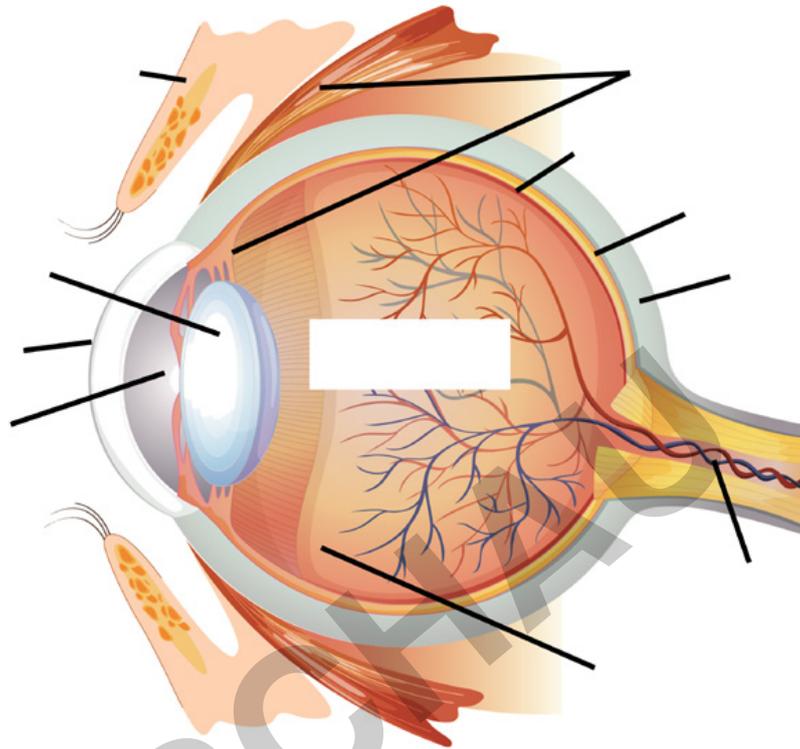


A: Kompetenztest

Augenstrukturen	Beschreibung	Position im Auge	Funktion
Lederhaut			
Hornhaut			
Regenbogenhaut			
Pupille			
Augenlinse			
Netzhaut			
Glaskörper			
Sehnerv			

© RAABE 2024

B: Querschnitt des menschlichen Auges



Grafik: Sylvana Timmer

© RAABE 2024

Aufgaben



1. **Bearbeiten** Sie den Sachtext mit einer texterschließenden Methode Ihrer Wahl und **vervollständigen** Sie den tabellarischen Kompetenztest (A) oder lösen Sie die dazugehörige *LearningApp*:

<https://learningapps.org/watch?v=ptrb2q49n24>



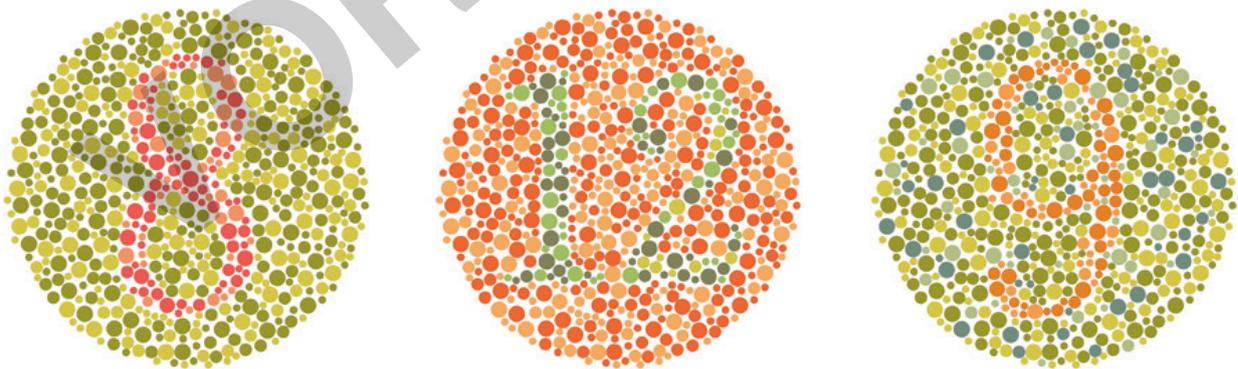
2. **Beschriften** Sie den Querschnitt des Auges mit den zugehörigen Fachbegriffen (B).

Ausschärfung der Farbwahrnehmung in der Primatenevolution im Zusammenhang mit der Ernährung ihrer Vorfahren steht. Mit dem dritten Zapfentyp konnten Affen präzise gelbe, rote und grüne Farbtöne unterscheiden. Dies war zur Bestimmung der Reife von Früchten wichtig sowie für die Unterscheidung gut verdaulicher junger, hellgrüner Blätter von alten, dunkelgrünen Blättern.

Warum aber sieht der Mensch genau das Farbenspektrum mit Wellenlängen zwischen 400 und 700 Nanometer? Beim kurzwelligen Ende des sichtbaren Spektralbereichs gibt es eine Einschränkung bei 300 Nanometer. Ultraviolettes Licht mit kürzeren Wellenlängen wird von den Proteinen im Auge absorbiert und erreicht deshalb gar nicht erst die Retina. Allerdings gelangen Strahlen zwischen 300 und 400 Nanometer bis zur Retina vor. Dieses Licht kann der Mensch in Anpasstheit an die tagaktive Lebensweise jedoch nicht wahrnehmen, weil seine Linse einen schützenden UV-Filter besitzt. Über Tag ist das UV-Licht der Sonne so intensiv, dass es das empfindliche Gewebe im Auge schädigen würde. An nächtliche Aktivität angepasste Tiere, wie beispielsweise Mäuse, haben keinen UV-Filter in der Linse. Bei Licht können sie im Spektralbereich zwischen 300 und 400 Nanometer farbig sehen.

Die langwellige Grenze des sichtbaren Spektrums liegt für alle Säugetiere einheitlich bei 700 Nanometer.

C: Farbenblindheit beim Menschen



Farbsehtest

© kowalska-art/Getty Images Plus