

Die Netzhaut spielt eine zentrale Rolle beim Sehvorgang.

## 1.6 Netzhaut

### Grundprinzip

In der Netzhaut werden ..... in ..... Signale umgewandelt.  
Trifft Licht auf ....., so zerfallen  
..... und setzen einen komplizierten chemischen Prozess in  
Gang, der ein ..... erzeugt. Die Sehfärbstoffmoleküle  
..... laufend.

Aus der 7. Klasse kennst du bereits die additive Farbmischung, also die Mischung von verschiedenen Lichtfarben.

Auf leifiphysik gibt es hierzu eine passende Simulation: „Additive Farbmischung durch Projektion von Licht der Spektralfarben rot, grün und blau“

### Additive Farbmischung

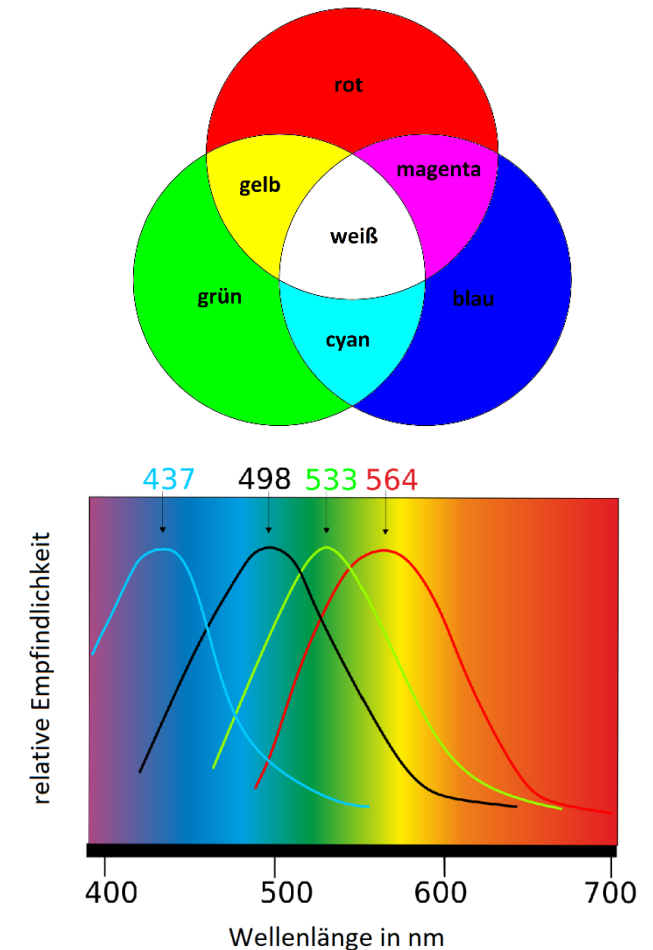
rot + grün →                      rot + blau →  
grün + blau →                    rot + grün + blau →

Alle anderen Farbtöne erhält man, indem man die Lichtstärken der einzelnen Farben variiert.

0 % blau + 50 % grün + 100 % rot →

### Spektrale Empfindlichkeit der Fotorezeptoren

Die Zapfen (blau, grün, rot) und Stäbchen (schwarz) wandeln Licht abhängig von der Wellenlänge in unterschiedlich starke Nervenimpulse um (vgl. Abb.).



[Pancrat; [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Specetre\\_absorption\\_des\\_cones.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Specetre_absorption_des_cones.svg), Achsenbeschriftung neu]

*Experiment: Betrachte bei Dunkelheit Kleidungsstücke verschiedener Farben. Was kannst du dabei beobachten?*

*Der Mensch hat 120 Millionen Stäbchen und 6 Millionen Zapfen. 95 % aller Fotorezeptoren sind also Stäbchen. Dieser Anteil ist auch bei allen tag- und nachtaktiven Tieren üblich.*

*Die Verschaltung von Stäbchen und Zapfen ist recht komplex und erfolgt über Horizontalzellen, Bipolarzellen, Amakrine und Ganglienzellen. In der Biophysik werden wir uns ausschließlich auf die Funktion der Bipolarzellen beschränken.*

### **Stäbchen**

- 120 Mio Stück, aber keine am .....
- .....
- tagsüber ....., da alle Sehfärbstoffmoleküle dauerhaft zerfallen sind
- nur ein Stäbchentyp → .....  
Größte Empfindlichkeit für ..... → In der Nacht werden ..... Farben hellgrau, ..... Farben dunkelgrau wahrgenommen.

### **Zapfen**

- 6 Mio Stück, die meisten am .....
- .... Sorten, die für Licht bestimmten Wellenlängen (Farben: .....)  
empfindlich sind (vgl. Abb. spektraler Absorptionskurven).
- Der Farbeindruck entsteht dadurch, dass die Zapfentypen .....  
aktiviert werden (vgl. additive Farbmischung). Zum Beispiel aktiviert gelbes Licht hauptsächlich ..... Zapfen.
- Sehfärbstoffmoleküle zerfallen nur bei hoher Lichtintensität → .....  
.....

### **Bipolarzellen**

- Leiten die elektrischen Signale der Zapfen und Stäbchen an ..... weiter.
- gelber Fleck: Bipolarzelle leitet die Informationen ..... Zapfens an ..... Nervenzelle weiter.
- Außerhalb: Bipolarzelle leitet die Informationen ..... Zapfen/Stäbchen an .....  
Nervenzelle weiter (→ .....  
.....)

*Die Abbildung zeigt, wie Menschen mit und ohne Farbfehlsichtigkeit die verschiedenen Farben wahrnehmen.*

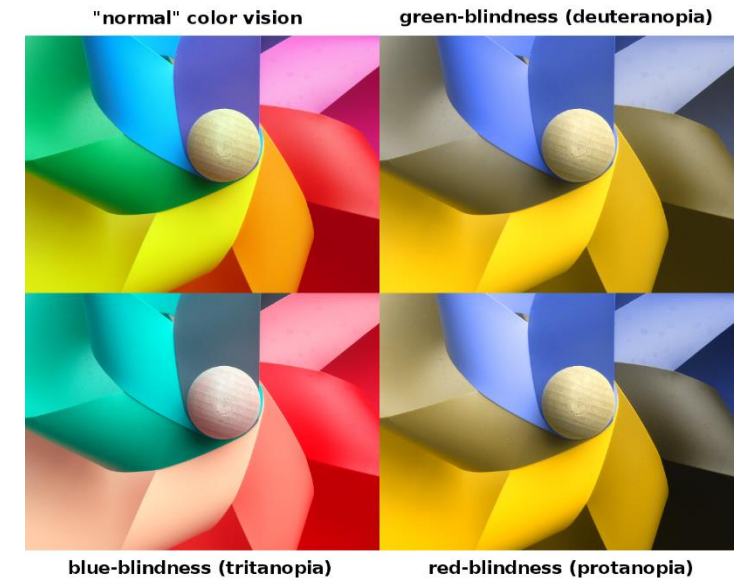
***Erkläre, weshalb das Farbempfinden bei Rot- bzw. Grünblindheit sehr ähnlich ist.***

*Experiment: Mithilfe von Ishihara-Farbtafeln kannst du leicht selbst überprüfen, ob bei dir eine Farbfehlsichtigkeit vorliegt.*

*Sehr selten tritt auch eine Stäbchenmonochromasie oder eine Blauzapfenmonochromasie auf. Dabei funktionieren gar keine bzw. nur die blauen Zapfen, Stäbchen sind nicht beeinträchtigt. Beschreibe die Auswirkungen in beiden Fällen die Auswirkungen auf das Sehen bei Tag.*

## **Farbfehlsichtigkeit**

- Bei der Rot-, Grün- bzw. Blaublindheit fehlt jeweils das entsprechende Zapfenpigment, bei einer Rot-, Grün- bzw. Blauschwäche ist eines der Farbpigmentensysteme schwächer ausgeprägt.
- Häufigkeit der Rot-/Grün-Blindheit/schwäche: Männer 9 %, Frauen 0,5 % (defektes Gen sitzt rezessiv auf dem X-Chromosom. Häufigkeit der Blaublindheit/schwäche: 1:100 000)



[Johannes Ahlmann; [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Red\\_to\\_Green\\_Color\\_Blindness.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Red_to_Green_Color_Blindness.png)]

## **Übungsaufgabe: Monochromasie** ●●

Im Tierreich findet man eine Reihe an Unterschieden zur menschlichen Netzhaut. Einige werden hier erläutert.

## Anpassungen im Tierreich

- **Katzenaugen:**

Nachaktive Tiere haben fast nur ..... , von denen bis zu 2500 Stück an eine Bipolarzelle geschaltet sind → .....

Tapetum lucidum: .....

hinter der Netzhaut erhöht die Lichtausbeute (daher „leuchten“ Katzenaugen, vgl. Abb.).



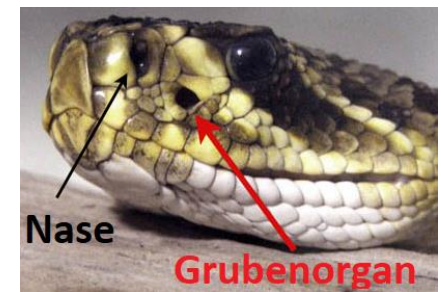
- **Adlerauge:**

- **UV- und IR-Wahrnehmung:**

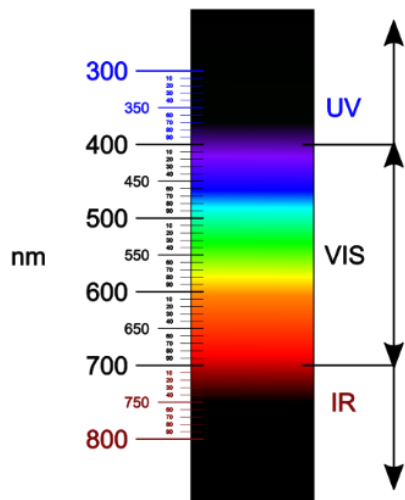
Im elektromagnetischen Spektrum grenzt an das sichtbare Licht **ultraviolettes Licht (UV)** und **infrarotes Licht (IR)**.

Viele Vögel können UV-Licht wahrnehmen. Dies geschieht über einen weiteren Zapfentyp mit Absorptionsmaximum ca. 370 nm.

Schlangen können IR-Licht (=Wärmestrahlung) wahrnehmen. Dies erfolgt aber nicht durch das Auge, sondern ein **Grubenorgan** (vgl. Abb.). Dies funktioniert wie ein Grubenaugen, nur dass in der Grube eine thermosensible Membran ist, die Temperaturänderungen von ca. 0,003 °C wahrnehmen kann.



[Serpent nirvana; [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:The\\_Pit\\_Organs\\_of\\_Two\\_Different\\_Snakes.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:The_Pit_Organs_of_Two_Different_Snakes.jpg); Ausschnitt]



[Fulvio314; [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Light\\_spectrum\\_\(precise\\_colors\).svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Light_spectrum_(precise_colors).svg)]