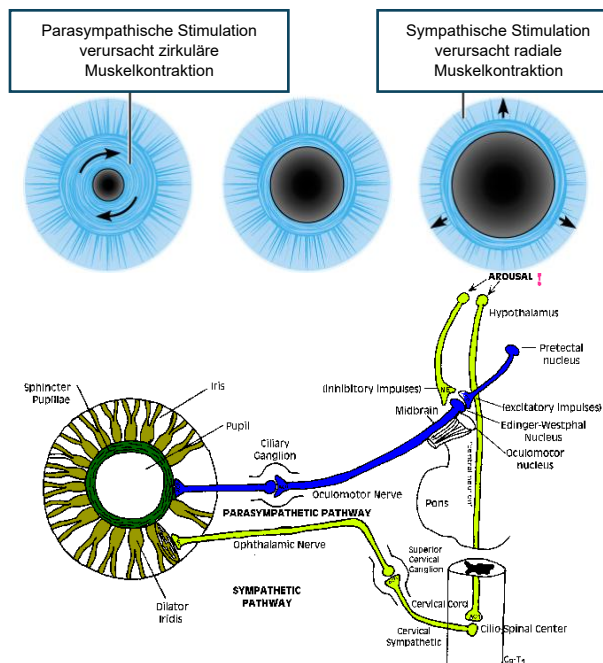


Disclaimer: Hab nur die Folien zusammengefasst, auf denen ein Sternchen war oder die Zusammenfassungen

Licht: Kleiner Bruchteil aus dem elektromagnetischen Spektrum $\lambda = 400 - 700 \text{ nm}$.

Regulation der Pupillenweite (beeinflusst Quantität des aufgenommenen Lichts):



Pupillenreaktion: Verengen sich bei **Lichteinfall**, weiten sich in **Dunkelheit**
 Konsensuelle Lichtreaktion: wird ein Auge beschienen, dann ändert sich Durchmesser des **anderen Auges in gleichem Maße**

Zirkulärer Muskel: **parasympathisch** gesteuert

Radiärer Muskel: **sympathisch** gesteuert

Parasympathischer Pathway wird bei sympathischer Erregung gehemmt

Neurone setzen direkt an Muskeln an

Regulation des Lichtstrahls durch die Linse (Akkommodation):

Länge/Dicke beeinflusst Brennweite des Auges, dadurch Akkommodation und Nah- und Fernsicht.

Nahsicht (Parasympathikus):

mACH-Agonist (Neostigmin: AChE-Blocker, verhindert Abbau von Acetylcholin, dadurch verlängerte Parasympathikus-Wirkung) → **Ziliarmuskel kontrahiert** → Runde Linse, enge Pupille

Fernsicht (Parasympathikus):

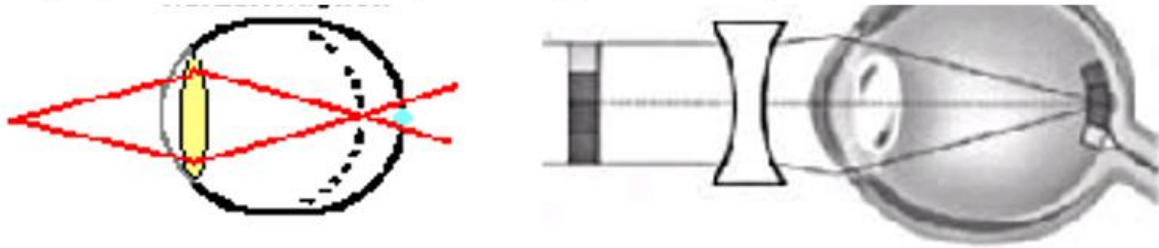
mACH-Antagonist (Atropin, blockiert ACh-Wirkung und damit Parasympathikus) → **Ziliarmuskel entspannt** → flache Linse, weite Pupille

Zusammenfassung I

- Quantität von Licht wird durch Pupillenweite verändert
- Lichtstrahl wird durch Linsenform fokussiert
- Licht (+): **zirkulärer Muskel** = Parasympathikus (+); Enge Pupille
- Licht (-): **zirkulärer Muskel** = Parasympathikus (-); enge Pupille
- Angst (+): **Radialmuskel _ Sympathikus** (blockiert den Parasympathikus), dadurch weite Pupille
- Nahsicht: Parasympathikus (+) → mACH Agonist (Neostigmin), **zirkulärer und Ziliarmuskel kontrahieren** → Runde Linse, enge Pupille
- Fernsicht: Parasympathikus (-) → mACH-Antagonist (Atropin) → zirkulärer und Ziliarmuskel relaxieren → Flache Linse, weite Pupille
- Fernsicht: Parasympathikus (-) → mACH-Antagonist (Atropin) → zirkulärer und Ziliarmuskel relaxieren → Flache Linse, weite Pupille

Pathophysiologie des Sehens

Myopie: Konkave (innengewölbte) Linse



Hyperopie: Konvexe (außengewölbte) Linse



Retina, Photorezeptoren, Rezeptorpotenzial

Retina besteht aus verschiedenen Zellschichten (Rezeptorzellen liegen auf Augenhintergrund, Licht durchquert davor verschiedene andere Nervenzellen)

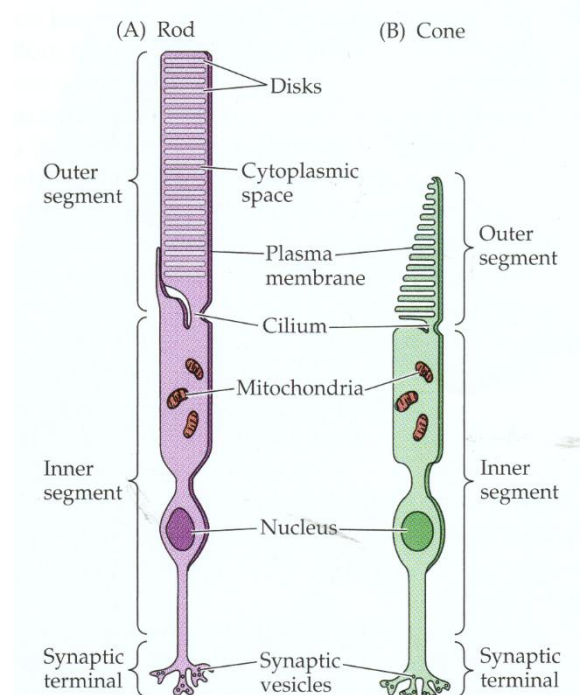
Rezeptorzellen Aufbau

Drei Hauptsegmente

- Äußeres Segment: überträgt Licht
- Inneres Segment: Leitet Licht an äußeres Segment, leitet elektrisches Signal an die Synapse
- Synaptisches Terminal: transmittiert Informationen zur Lichtintensität, die der Photorezeptor aufgenommen hat

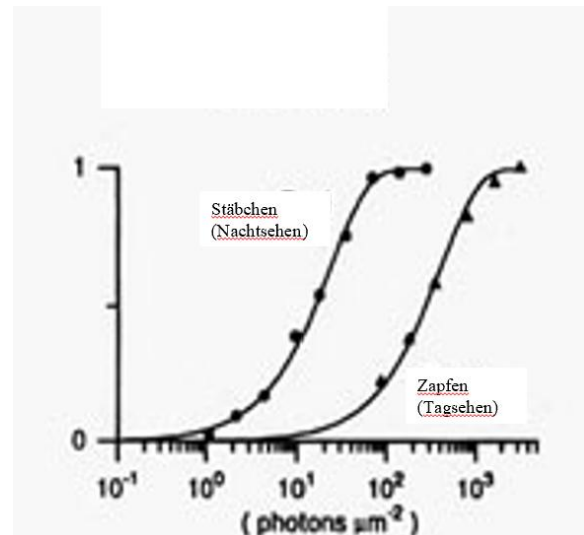
Visuelle Information wird in den Disks/Scheiben der Sinneszellen von darin enthaltenen Pigmenten absorbiert

Stäbchen erkennen Hell und Abwesenheit von Hell (Dunkel), Zapfen erkennen Nuancen von Hell (Farbe)



Wie ist **Nachtsehen** möglich?

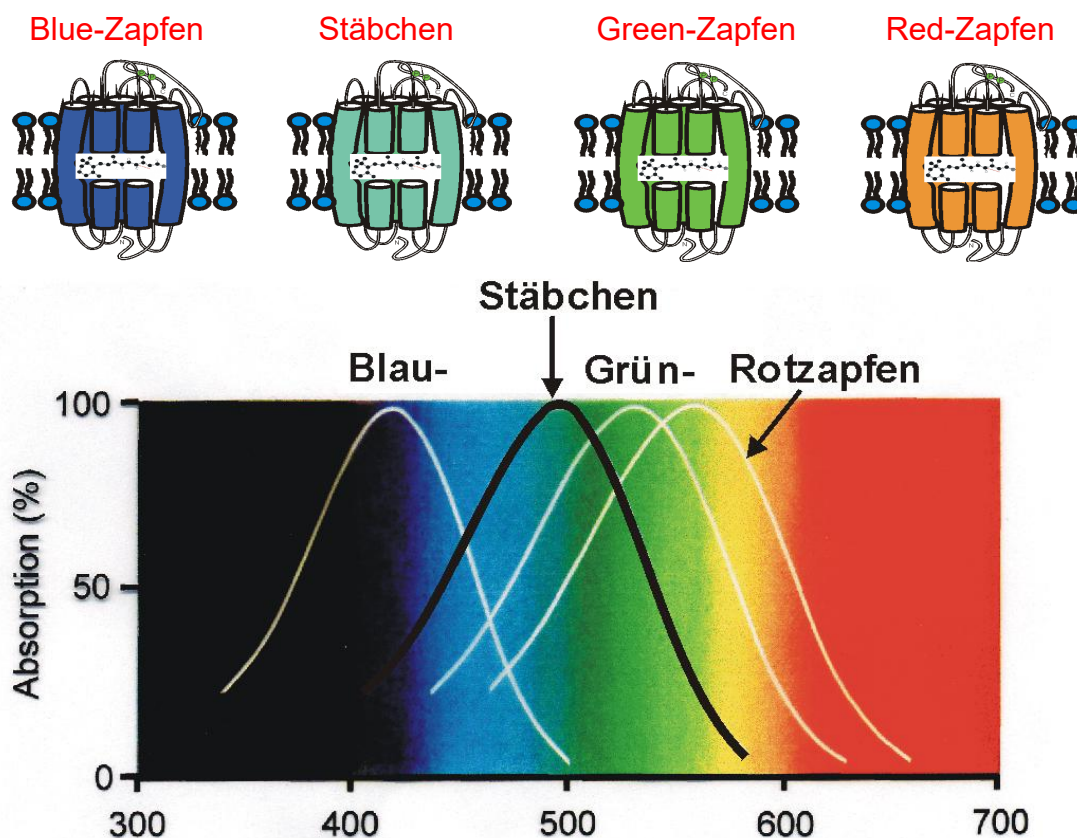
- Stäbchen: „Rauschen“ niedrig, 0,03 pA
→ schon 1 Photon wird detektiert
(Empfindlichkeit für hell/dunkel ist höher)
- Zapfen: „Rauschen“ hoch, 0,12 pA
→ erst bei 8 Photonen wird Signal abgegeben
(Empfindlichkeit für Farbe ist geringer)



Spektrum der Photozellen, Farbsehen:

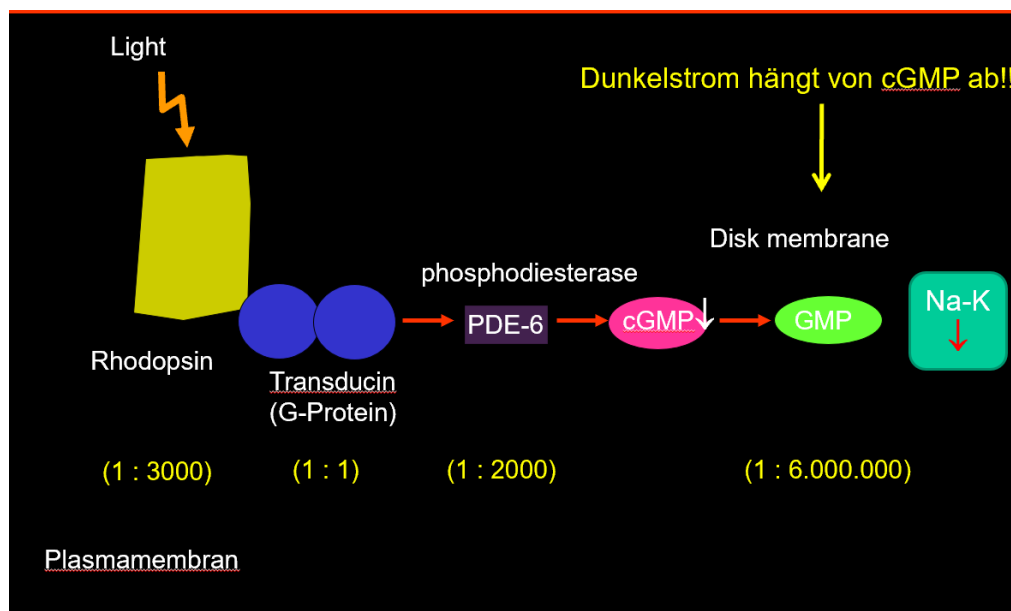
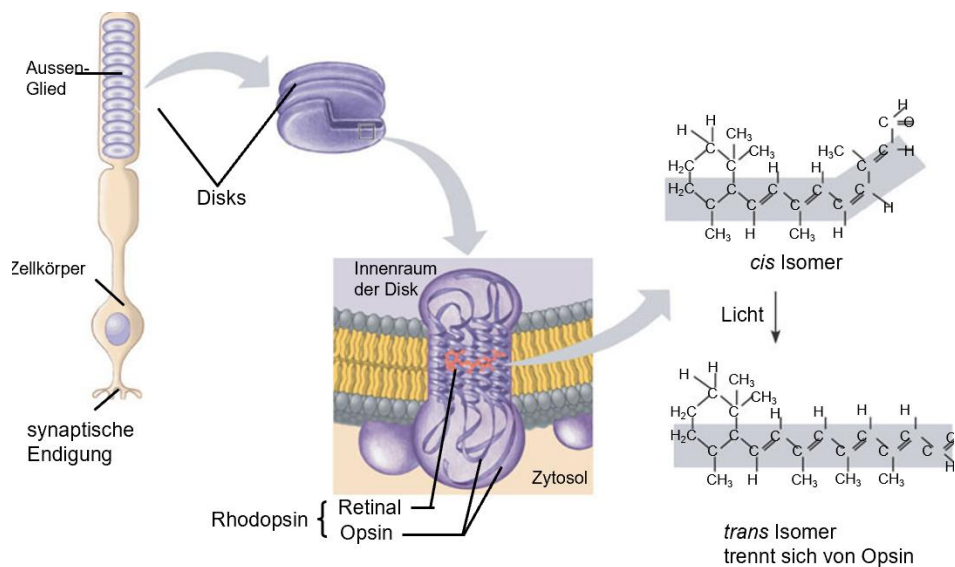
In den Disks der Zapfen befinden sich in der Diskmembran die Pigmentzellen (Rhodopsin), die für das Sehen verantwortlich sind. Die Leitungsbahn durchläuft die Membran sieben Mal bevor ein Signal transmittiert wird.

Es gibt vier Arten der Photorezeptorzellen: Blau-/Grün-/Rot-Zapfen, Stäbchen. Ihre Empfindlichkeit ist bei Photonen der jeweiligen Wellenlänge am höchsten, Stäbchen-Zellen haben ihr Maximum bei ca. 500 nm.



Zum Farbsehen werden die verschiedenen Zapfentypen in unterschiedlicher Intensität angeregt. Das Gehirn bestimmt aus der Kombination der Anregungen die tatsächliche Farbe

Aktivierung des Rhodopsin-Rezeptors durch Licht

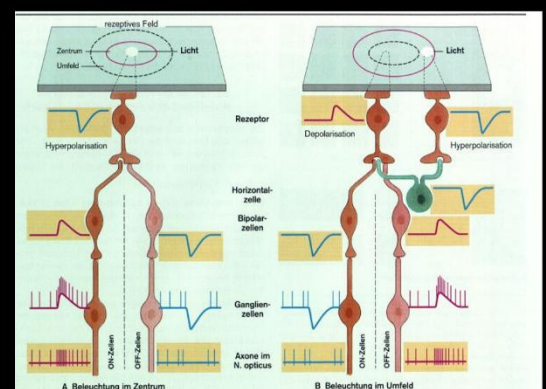


Licht trifft auf Rhodopsin, wird über Transducin an PDE-6 weitergeleitet. Das hemmt dann cGMP, wodurch über GMP Natrium-Kanäle gehemmt werden. Es kommt zu einer Hyperpolarisation, wodurch die Transmitterfreisetzung reduziert wird.

Es handelt sich um einen verstärkenden Prozess, da mit den einzelnen Schritten mehr Sinneszellen aktiviert werden.

Erkennen der Richtung einer Lichtquelle

Bei einem Lichteinfall auf ein Photorezeptor wird das Signal über eine Depolarisation an der Synapse weitergeleitet. Hierbei gibt es zwei Typen der Synapsen für die Weiterleitung (On-, Off-Zellen). Sie verhalten sich konträr zueinander: On-Zellen führen bei einem Lichteinfall zu einer Depolarisation und damit zu einer Erregung der folgenden Ganglien-Zellen. Off-Zellen



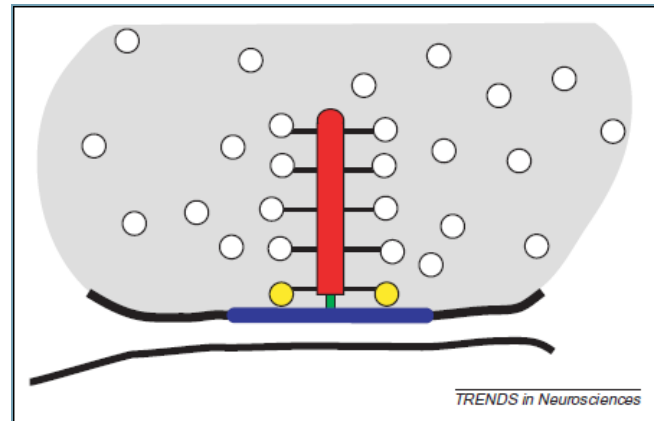
Licht vom Zentrum (Erregend = Off ↓, Inhibit = On ↓)
Licht von Seiten (Erregend = Off ↑, Inhibit = On ↑)

reagieren mit einer Hyperpolarisation und hemmen damit die Ganglienzellen. Bei Dunkelheit ist das Verhalten dementsprechend konträr und die On-Zellen hemmen, während Off-Zellen exzitatorisch wirken.

Durch das Muster an aktivierten und inhibierten Ganglienzellen kann also ein Muster ausgemacht und darüber die Richtung des einfallenden Lichts interpretiert werden.

Ribbons als Vesikel für Transmitterfreisetzung (Ribbonsynapse)

Konventionelle Synapsen setzen Neurotransmitter aus Vesikeln als Ergebnis eines AP frei -> geeignet für episodische Übermittlung von Signalen. Die Vesikel mit den Neurotransmittern hierfür werden aus den synaptischen Knoten an die Oberfläche transportiert. Im Auge findet aber **dauerhaft** eine Signaltransmission statt. Hierfür werden ständig Neurotransmitter benötigt, die von einer konventionellen Synapse nicht in angemessener Zeit bereitgestellt werden können. Die Lösung ist der Einsatz von Ribbon-Synapsen. Bei **Ribbonsynapsen** befinden sich auf der Innenseite der Synapse sogenannte Ribbons, welche die sich frei bewegenden Vesikel binden und so schneller und dauerhaft für die Synapse verfügbar machen. Zudem sind Ribbonsynapsen **analoge Transducer**, ihre Freisetzung beziehungsweise Hemmung von Glutamat geschieht also stets kontinuierlich und proportional zum sich verändernden Membranpotenzial.



Zusammenfassung II

- Stäbchen 8x empfindlicher gegenüber Dunkelstrom (0,03 pA) als Zapfen (,12 pA)
- 10^8 rhodopsin-molecules/outer segments $\rightarrow$ 30.000 per μm^2 , in Abstand von 5 nm
- Lichtinduzierte Konformationsänderung des Retinals vom Cis- zum Transisomer
- Licht führt zu Hyperpolarisation und reduziert damit die Glutamatfreisetzung
- Duales Antwortverhalten von Bipolarzellen kodiert die Rauminformation von Licht
- Dunkel $\rightarrow$ PDE (-) $\rightarrow$ cGMP (+) $\rightarrow$ Na-Strom (+)
- Licht $\rightarrow$ PDE (+) $\rightarrow$ cGMP (-) $\rightarrow$ Na-Strom (-)
- Ribbons in Synapsen ermöglichen kontinuierliche Transmitterfreisetzung und agieren als analoge Transducer
- Die Entwicklung von Retina-Elektroden liegt in den Händen der Medizintechnik