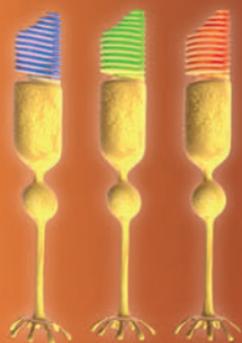


# Auge & optischer Sinn II



Sekundarstufe II

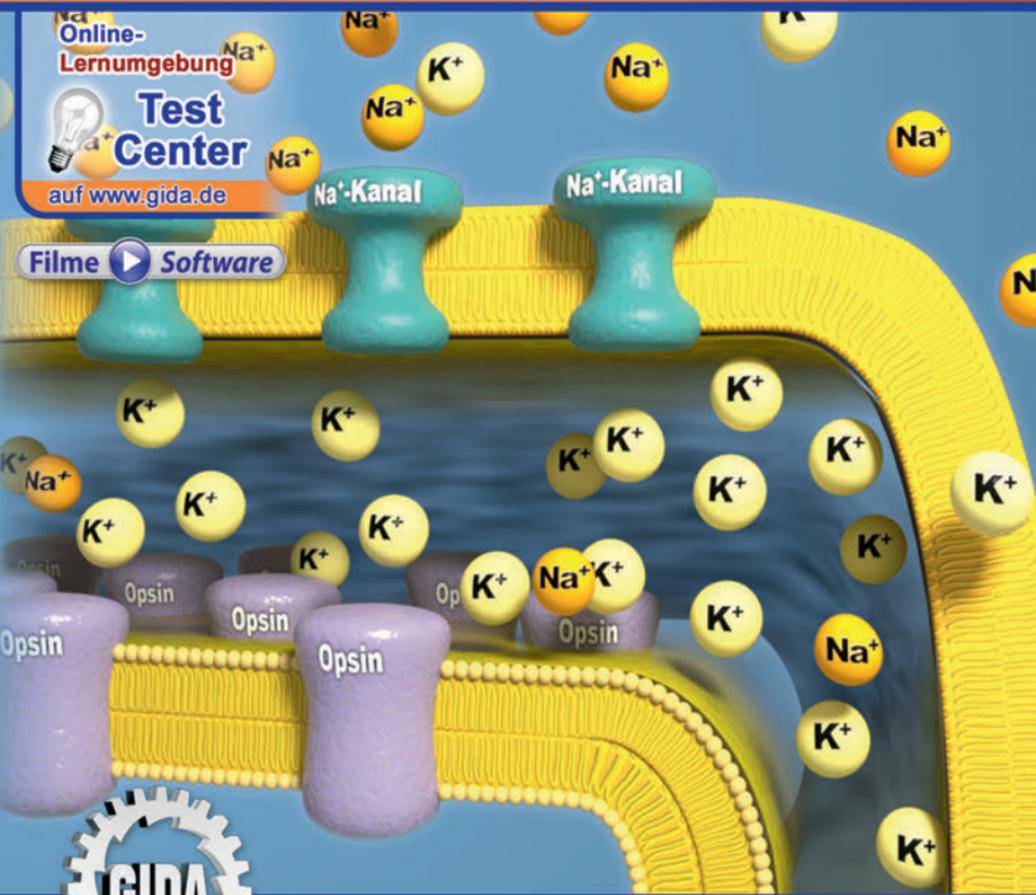
Online-  
Lernumgebung



Test  
Center

auf [www.gida.de](http://www.gida.de)

Filme  Software



Biologie



# Inhalt und Einsatz im Unterricht

## "Auge & optischer Sinn II"

(Biologie Sek. II)

Dieses Film-Lernpaket behandelt das Unterrichtsthema „Auge und optischer Sinn“ für die Sekundarstufe II.

Im Hauptmenü finden Sie insgesamt 6 Filme:

Feinbau der Netzhaut	8:40 min
Feinbau und Funktion der Stäbchen	8:20 min
Farbsehen	8:30 min
Laterale Inhibition	5:10 min
Adaptation	6:30 min
Vom Reiz zum Sinneseindruck	3:50 min

(+ Grafikmenü mit 12 Farbgrafiken)

Die Filme vermitteln mithilfe von aufwändigen und beeindruckenden 3D-Computeranimationen alle wesentlichen Informationen rund um das Thema Aufbau und Leistung von Auge, Netzhaut und den nachgeschalteten Instanzen des optischen Sinns (inkl. der Verrechnungsleistung des Gehirns).

Die 3D-Computeranimationen sind filmisch eingebettet in kleine, unterhaltsame Rahmenhandlungen: Die Filme begleiten den Architekturstudenten Moritz in vielfältigen Situationen des täglichen Lebens und vermitteln einen sehr umfassenden Eindruck von der Leistungsfähigkeit des Sinnesorgans Auge und des optischen Sinns.

Es empfiehlt sich, die Filme 1 und 2 zuerst und in dieser Reihenfolge einzusetzen. Die übrigen 4 Filme sind eigenständig und in beliebiger Reihenfolge einsetzbar.

**Ergänzend zu den o.g. 6 Filmen** stehen Ihnen zur Verfügung:

- **12 Farbgrafiken**, die das Unterrichtsgespräch illustrieren (in den Grafik-Menüs)
- **18 ausdruckbare PDF-Arbeitsblätter**, jeweils in Schüler- und Lehrerfassung

**Im GIDA-Testcenter** (auf [www.gida.de](http://www.gida.de)) finden Sie auch zu diesem Film-Lernpaket interaktive und selbstauswertende Tests zur Bearbeitung am PC. Diese Tests können Sie online bearbeiten oder auch lokal auf Ihren Rechner downloaden, abspeichern und offline bearbeiten, ausdrucken etc.

## Begleitmaterial (PDF) auf DVD

Über den „Windows-Explorer“ Ihres Windows-Betriebssystems können Sie die Dateistruktur einsehen. Sie finden dort u.a. den Ordner „DVD-ROM“. In diesem Ordner befindet sich u.a. die Datei

### index.html

Wenn Sie diese Datei doppelklicken, öffnet Ihr Standard-Browser mit einem Menü, das Ihnen noch einmal alle Filme und auch das gesamte Begleitmaterial zur Auswahl anbietet (PDF-Dateien von Arbeitsblättern, Grafiken und Begleitheft, Internetlink zum GIDA-TEST-CENTER etc.).

Durch einfaches Anklicken der gewünschten Begleitmaterial-Datei öffnet sich automatisch der Adobe Reader mit dem entsprechenden Inhalt (sofern Sie den Adobe Reader auf Ihrem Rechner installiert haben).

Die Arbeitsblätter ermöglichen Lernerfolgskontrollen bezüglich der Kerninhalte der Filme. Einige Arbeitsblätter sind am PC elektronisch ausfüllbar, soweit die Arbeitsblattstruktur und die Aufgabenstellung dies erlauben. Über die Druckfunktion des Adobe Reader können Sie auch einzelne oder alle Arbeitsblätter für Ihren Unterricht vervielfältigen.

---

**Fachberatung** bei der inhaltlichen Konzeption und Gestaltung:

Frau Erika Doenhardt-Klein, Studiendirektorin  
(Biologie, Chemie und Physik, Lehrbefähigung Sek. I + II)

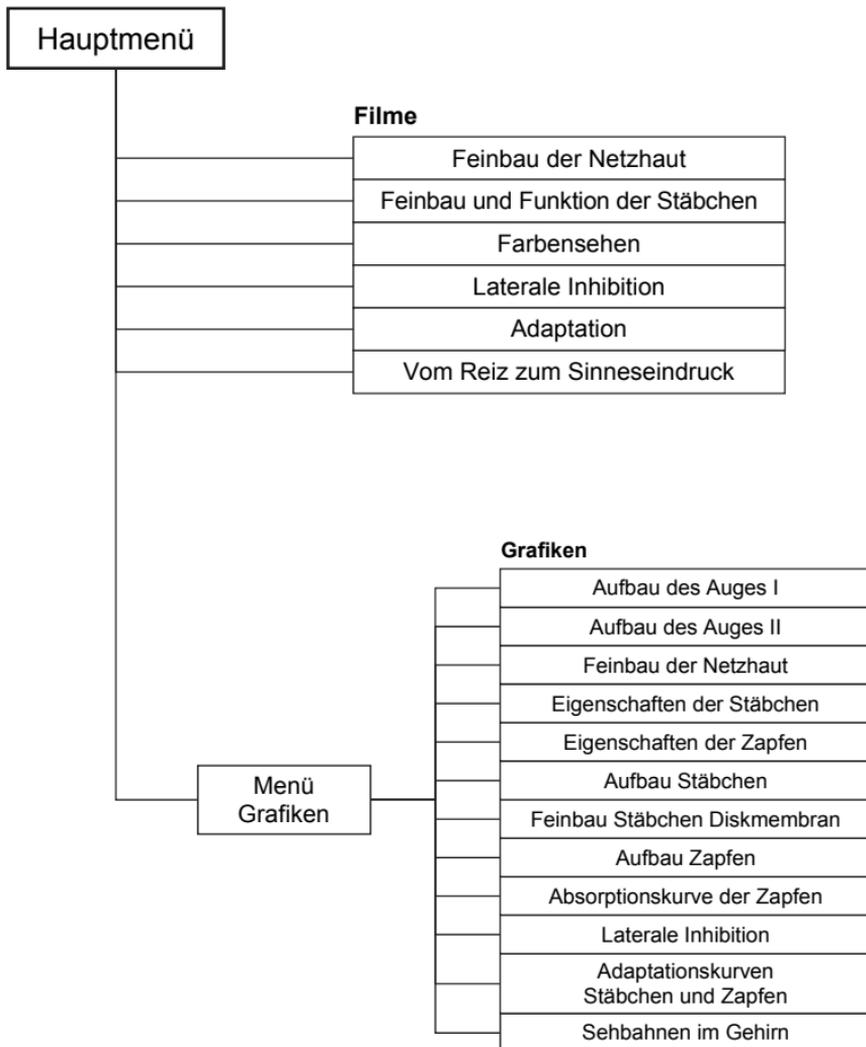
---

## Inhaltsverzeichnis

Seite:

Inhalt – Strukturdiagramm	4
<b>Die Filme</b>	
Feinbau der Netzhaut	5
Feinbau und Funktion der Stäbchen	7
Farbsehen	9
Laterale Inhibition	11
Adaptation	12
Vom Reiz zum Sinneseindruck	14

# Inhalt – Strukturdiagramm



# Feinbau der Netzhaut

Laufzeit: 8:40 min, 2019

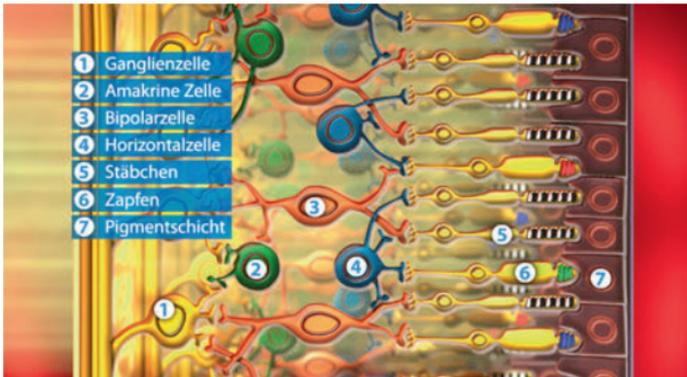
## Lernziele:

- Den Aufbau der Netzhaut und die Funktion der einzelnen Zelltypen im Detail kennenlernen und verstehen.

## Inhalt:

Der Film begleitet den Studenten Moritz auf seinem Gang über den Wochenmarkt, der in unterschiedlicher Weise die Eigenschaften und Leistungsfähigkeit der Netzhautzellen beansprucht.

Zunächst zeigt eine detaillierte 3D-Computeranimation den Aufbau der Netzhaut mit ihren ca. 120 Mio. Stäbchen, 6 Mio. Zapfen, 2 Mio. Schaltzellen und 1 Mio. Ganglienzellen. Die Verteilung und Verschaltung der Sehzellen in den verschiedenen Netzhautregionen wird geschildert.



Die speziellen Eigenschaften der beiden Sehzellentypen werden zusammenfassend gegenübergestellt:

### Zapfen

- 2 Mio. Farbtöne unterscheiden
- hohe zeitliche Auflösung
- geringe Empfindlichkeit
- Nachtblind

### Stäbchen

- nur Schwarz-Weiß-Sehen
- niedrige zeitliche Auflösung
- hohe Empfindlichkeit
- Tagblind

Es werden dann die wesentlichen Aufgaben der verschiedenen Schaltzellentypen an Beispielen erläutert:

### **Bipolarzellen**

fassen die Signale von mehreren Sehzellen zusammen und ermöglichen so sehr lichtempfindliches Sehen in der Netzhautperipherie; sind an der Verrechnung von Bildinhalten beteiligt.

### **Horizontalzellen**

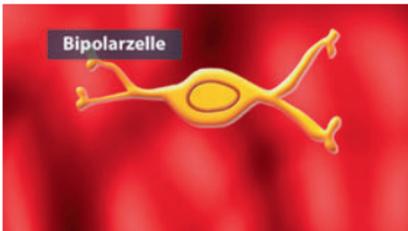
stellen fördernde und hemmende Querverbindungen zwischen den Sehzellen/Bipolarzellen her und leisten u.a. die laterale Inhibition (s. spezieller Film in diesem Film-Lernpaket) und damit eine Kontrastverstärkung.

### **Amakrine Zellen**

stellen fördernde und hemmende Querverbindungen zwischen den Bipolarzellen/Ganglienzellen her und leisten eine weitere Vorverrechnung der Sehreize.

### **Ganglienzellen**

leiten die verrechneten Reize bzw. Signale zum Sehnerv ab.



Abschließend resümiert der Film die Aufgabe der vielen Schaltzellen: Die vielfältigen Bildinformationen, die die Sehzellen erzeugen, werden in drei „Datenpaketen“ zum Gehirn geschickt – Form, Farbe und Bewegung (die vierte Informationskategorie „räumliche Tiefe“ entsteht durch Zusammenfassung der Information beider Auge).

# Feinbau und Funktion der Stäbchen

Laufzeit: 8:20 min, 2019

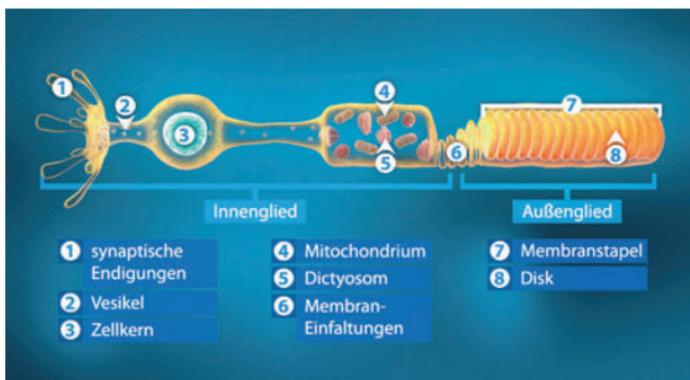
## Lernziele:

- Den detaillierten Aufbau eines Netzhaut-Stäbchens kennenlernen;
- Die biochemischen Abläufe des Sehvorgangs an der Disk- und der Zellmembran der Stäbchen verstehen.

## Inhalt:

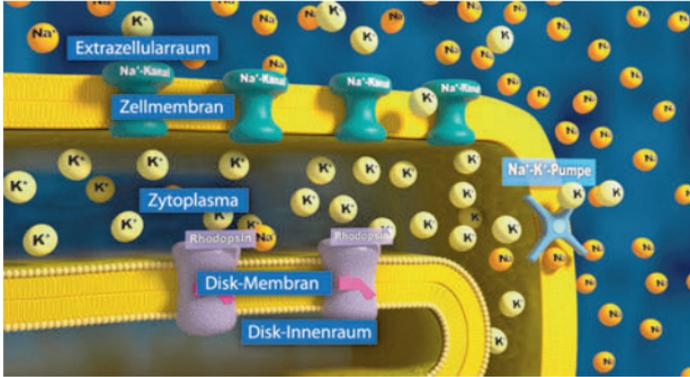
Der Film begleitet den Moritz auf einem seiner frühmorgendlichen Waldläufe, die ausreichend Gelegenheit bieten, um die beeindruckende Dämmerungssehfähigkeit der Stäbchen zu erläutern.

Zunächst schildert der Film aber anhand einer 3D-Computeranimation den Aufbau einer Stäbchenzelle:

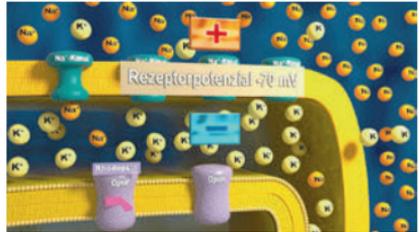
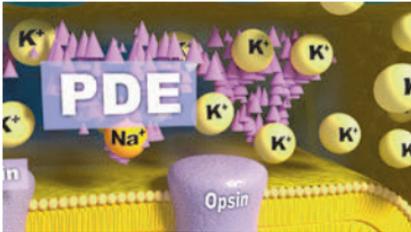


Im Umfeld der Disk-Membranstapel im Außenglied des Stäbchens finden alle Vorgänge statt, die wir mit „Sehen“ bezeichnen. Diese durch Einfangen von Lichtquanten in Gang gesetzte biochemische Erzeugung eines elektrischen Spannungspulses wird nun ausführlich beschrieben.

Diese Computergrafik zeigt die Ausgangssituation der Darstellung:



Es folgt dann eine ausführliche Darstellung des Sehvorgangs: Zerfall des Rhodopsin-Komplexes durch Lichteinwirkung, Ionenwanderung durch die Zellmembran, Sehkaskade, Wandel von Ruhepotenzial zu Rezeptorpotenzial, Weiterleitung an die Bipolarzelle über synaptische Verbindungen.



# Farbsehen

Laufzeit: 8:30 min, 2019

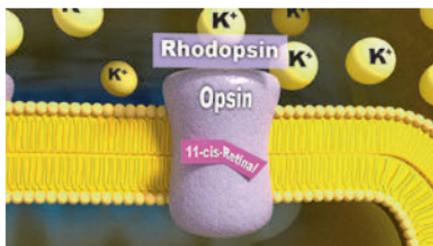
## Lernziele:

- Das Prinzip der Farbwahrnehmung über die Zapfen verstehen;
- Die wesentlichen Unterschiede des biochemischen Sehvorgangs in den Zapfen gegenüber den Stäbchen erkennen;
- Das Farbsehen im sichtbaren Wellenlängenspektrum des Lichts verstehen.

## Inhalt:

Dieser Film erläutert kurz die drei verschiedenen Zapfentypen: Sie absorbieren jeweils begrenzte Wellenlängenbereiche des sichtbaren Lichts. Nach ihren Absorptionsmaxima nennt man sie Blau-Zapfen (max. bei 430 nm), Grün-Zapfen (max. bei 535 nm) und Rot-Zapfen (max. bei 570 nm). Mischfarben werden durch gleichzeitiges Ansprechen von 2 oder 3 Zapfentypen wahrgenommen.

Zunächst greift der Film zurück auf die Darstellung des Membranbereichs eines Stäbchen-Außengliedes und zeigt noch einmal den in die Disk-Membran eingelagerten Rhodopsin-Komplex:



Das Stäbchen-Rhodopsin besteht aus einem Opsinmolekül, das ein 11-cis-Retinal-Molekül eingelagert hat.



Die Zapfen-Photopsine bestehen jeweils aus einem leicht veränderten Opsinmolekül. In allen drei Photopsinen ist aber stets wieder 11-cis-Retinal eingelagert. Die leicht unterschiedliche Opsinstruktur ist für die unterschiedliche Lichtabsorptionsfähigkeit der Zapfen verantwortlich.

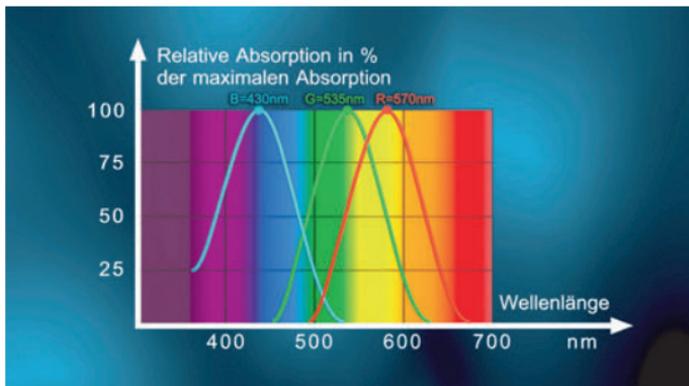
Der Ablauf des Zapfensehervorgangs ist dem der Stäbchen ähnlich: Lichteinfall bewirkt im Endeffekt die Wandlung des Ruhepotenzials zum Rezeptorpotenzial, das dann über Synapsen wieder auf die nachfolgende Bipolarzelle übertragen wird.

Der Film arbeitet kurz die wesentlichen Unterschiede heraus:

### Zapfen

- haben eine etwa 100mal geringere Lichtempfindlichkeit als Stäbchen;
- haben deutlich kürzere Außenglieder;
- der biochemische Verstärkungseffekt in der Sehkaskade ist geringer als bei den Stäbchen;
- eingeschränkte Wahrnehmung im Lichtspektrum;
- deshalb aber die Möglichkeit des Farbsehens mithilfe der drei Zapfentypen;
- 2 Mio. Farbtöne können wir mit den Zapfen unterscheiden.

Anhand eines Koordinatensystems, das über ein Lichtspektrum gelegt ist, demonstriert der Film das Prinzip der Farbwahrnehmung und der additiven Lichtmischung, nach deren Prinzip wir Farben wahrnehmen. Der Film weist in diesem Zusammenhang ausdrücklich darauf hin, dass unsere Farbwahrnehmung durch die Relation der Signalstärken der drei Zapfentypen ausgelöst wird. Dieses Farbwahrnehmungsprinzip ist nicht immer physikalisch erklärbar (z.B. die Existenz von „Komplementärfarben“, deren Mischung für uns „Weiß“ ergibt – etwa rot + grün, gelb + blau).



Abschließend erläutert der Film noch den häufigsten Typ der Farbenblindheit: Rot-Grün-Blinde haben einen funktionsunfähigen Rotrezeptor. Sie nehmen alle Rottöne als Abstufungen von Gelbgrün wahr, was im Alltag manche Gefahr birgt (Moritz an der Fußgängerampe!).

# Laterale Inhibition

Laufzeit: 5:10 min, 2019

## Lernziele:

- Das Prinzip der lateralen Inhibition („Gegenseitige Hemmung“) verstehen.

## Inhalt:

Der Film leitet ein mit Reprisen auf einige Moritz-Alltagsszenen, um das Grundprinzip der Verrechnung am Beispiel von Sehinformationen zu erläutern. Dieses Prinzip der Verschaltung von Sinnes- und Nervenzellen ist im menschlichen Nervensystem universell eingesetzt.

Am Beispiel der Kontrastverstärkung in der Wahrnehmung optischer Reize erklärt der Film dies am Beispiel von Moritz' morgendlichem Waldlauf. Es ist schon erstaunlich, was unsere Augen sehen, und was die Netzhaut auf dem Wege der lateralen Inhibition daraus macht.

Am Beispiel einer animierten 2D-Computergrafik wird ein einfaches Beispiel für die Kontrastverstärkung des gesehenen Bildes ausführlich durchexerziert:



Es ist nun schon weniger erstaunlich, wie sicher der Moritz seinen Lauf durch den düsteren Wald bei Morgendämmerung zirkelt!

# Adaptation

Laufzeit: 6:30 min, 2019

## Lernziele:

- Die unterschiedlichen Leistungen der Netzhaut bei Dunkel- und Hell-Adaptation verstehen.

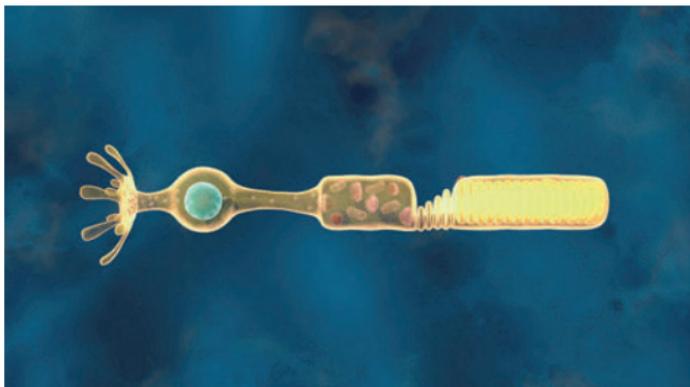
## Inhalt:

Der Film greift kurz auf die Adaptationsleistung der Pupille (1:16) zurück, die ja Lernstoff in der Sekundarstufe I war: Moritz' Spaziergang über einen sonnigen Marktplatz mit seinen hohen Beleuchtungskontrasten – pralle Sonne und Markisenschatten – macht noch einmal klar, dass die Adaptation nicht alleine von der Pupille geleistet werden kann. Da müssen noch weitere Anpassungsmöglichkeiten auf Ebene der Sehzellen mitspielen.

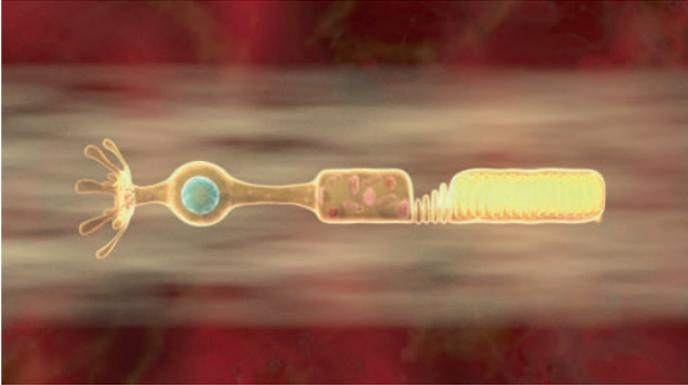
Zu Beginn wird noch einmal der enorme „Kontrastumfang“ der Netzhaut verdeutlicht: Vollmondlicht liegt bei ca. 0,25 Lux, praller Sommersonnenschein bei ca. 100.000 Lux. Innerhalb dieses enormen Beleuchtungskontrastes kommt das menschliche Auge ohne Hilfsmittel zu „normalen“ Seheindrücken – durch die faszinierende Hand-in-Hand-Arbeit der Stäbchen und der Zapfen.

Probleme bereitet allerdings der direkte Wechsel von einer Beleuchtungssituation zur anderen. Der Film konstatiert zunächst: Die Schnelligkeit einer Adaptation hängt davon ab, in welche Richtung sie geleistet werden muss!

Zunächst der einfachere Fall, die **Hell-Adaptation**: Die Stäbchen werden schnell gebleicht, aber die Zapfen übernehmen das Sehen innerhalb weniger Sekunden.

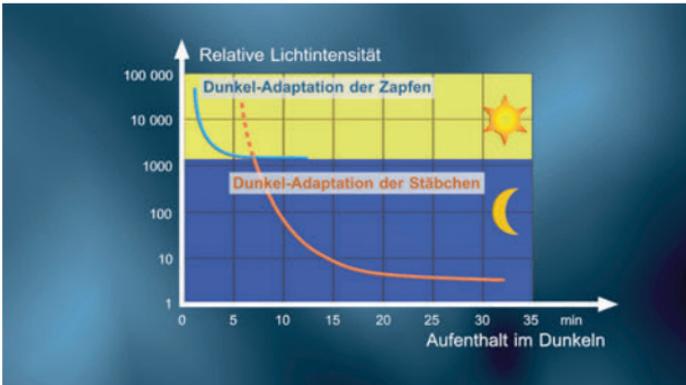


Dann der schwierigere und langwierigere Fall, die **Dunkel-Adaptation**:



Wenn man vom hellen Tageslicht in den dunklen Keller geht, sieht man erst einmal gar (oder fast) nichts. Und es dauert bis zu einigen Minuten, bis sich die Augen an die Dunkelheit gewöhnt haben. Die dunkelblinden Zapfen sehen schlagartig nichts mehr. Und die vom hellen Tageslicht völlig ausgebleichten Stäbchen sind zunächst ebenso sehunfähig, weil kein Rhodopsin vorhanden ist. Es baut sich langsam auf, dann kommt die Sehfähigkeit der Stäbchen zurück.

Der Film erläutert diese Adaptationszeiten anhand einer Grafik:



# Vom Reiz zum Sinneseindruck

Laufzeit: 3:50 min, 2019

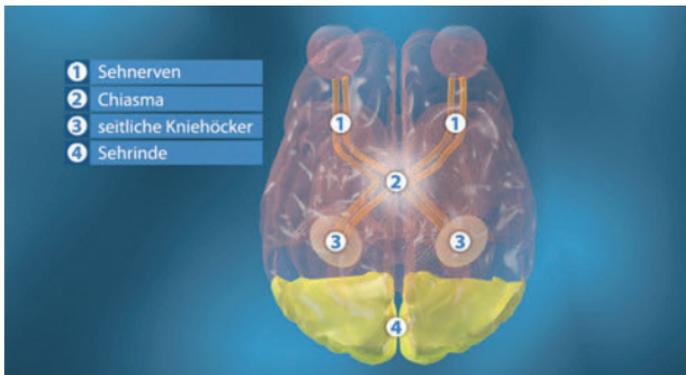
## Lernziele:

- Den Weg der optischen Informationen durch die Sehnerven ins Gehirn kennenlernen;
- Die enorme Verrechnungsleistung ermessen können, mit der das Gehirn am „Sehvorgang“ beteiligt ist.

## Inhalt:

Der Film beobachtet den Moritz beim frühmorgendlichen Verzehr seiner frischen Obst- und Gemüsebeute vom Marktgang. Das Stichwort „Augenschmaus“ fällt angesichts der appetitlichen Vielfalt. Der Film stellt daraufhin die Frage, ob man nicht besser vom „Gehirnschmaus“ sprechen sollte, wenn man sich einmal verdeutlicht, wie stark das Gehirn an der optischen Wahrnehmung unserer Umwelt beteiligt ist.

Zu diesem Zweck der Verdeutlichung zeichnet eine 3D-Computeranimation den Weg der Sehinformationen nach, - vom Gegenstand durch die Augen über die Sehnerven bis in die Sehrinde des Gehirns.



Zentrale Feststellung: Das Gegenstands-Bild erreicht die Sehrinde beider Gehirnhälften aufgeteilt in zwei „Hälften“ und wird dort wieder zu einem „Bild“ zusammengesetzt wahrgenommen.

Die Wege der Sehnerven bzw. der jeweils linken und rechten Netzhauthälften über Chiasma und seitliche Kniehöcker bis schließlich in die linke und rechte Gehirnhälfte werden exakt nachgezeichnet.

Nach allem, was die moderne Gehirnforschung heute weiß, erreichen die Sehinformationen eines Auges das Gehirn aufgeteilt in drei Datenkategorien:

### **Form – Farbe – Bewegung**

Die vierte Kategorie „**räumliche Tiefe**“ errechnet das Gehirn aus den Sehinformationen beider Augen, die ja alle Dinge aus leicht versetzter Perspektive sehen. Diese Wahrnehmung von räumlicher Tiefe bestimmter Gegenstände – u.a. deren dreidimensionale Form – funktioniert aber nur bis auf eine Distanz von max. 100 Meter. Darüber hinaus „konstruiert“ das Gehirn „Tiefe“ aufgrund von Größenvergleichen und Erfahrung.



GIDA Gesellschaft für Information  
und Darstellung mbH  
Feld 25  
51519 Odenthal

Tel. +49-(0) 2174-7846-0  
Fax +49-(0) 2174-7846-25  
info@gida.de  
www.gida.de

- Feinbau der Netzhaut
- Feinbau und Funktion der Stäbchen
- Farbsehen
- Laterale Inhibition
- Adaptation
- Vom Reiz zum Sinneseindruck

