

Medizinische Biophysik

9. Vorlesung
04.11. 2020.

Licht in der Medizin

X. Überblick der Optik aus dem Gesichtspunkt des Auges und des Sehens

1. Aufbau des menschlichen Auges

2. Wechselwirkungen des Lichts bis zum Augenfundus

a) Reflexion

b) Brechung

- Brechung an gekrümmten Grenzflächen, Brechkraft
- Brechkraft des Auges
- Akkomodation (Brechkraftänderung)
- Augenfehler (Myopie, Hyperopie, Presbyopie)
- Reduziertes Auge

c) (räumliche) Auflösung des Auges. Bestimmende Faktoren:

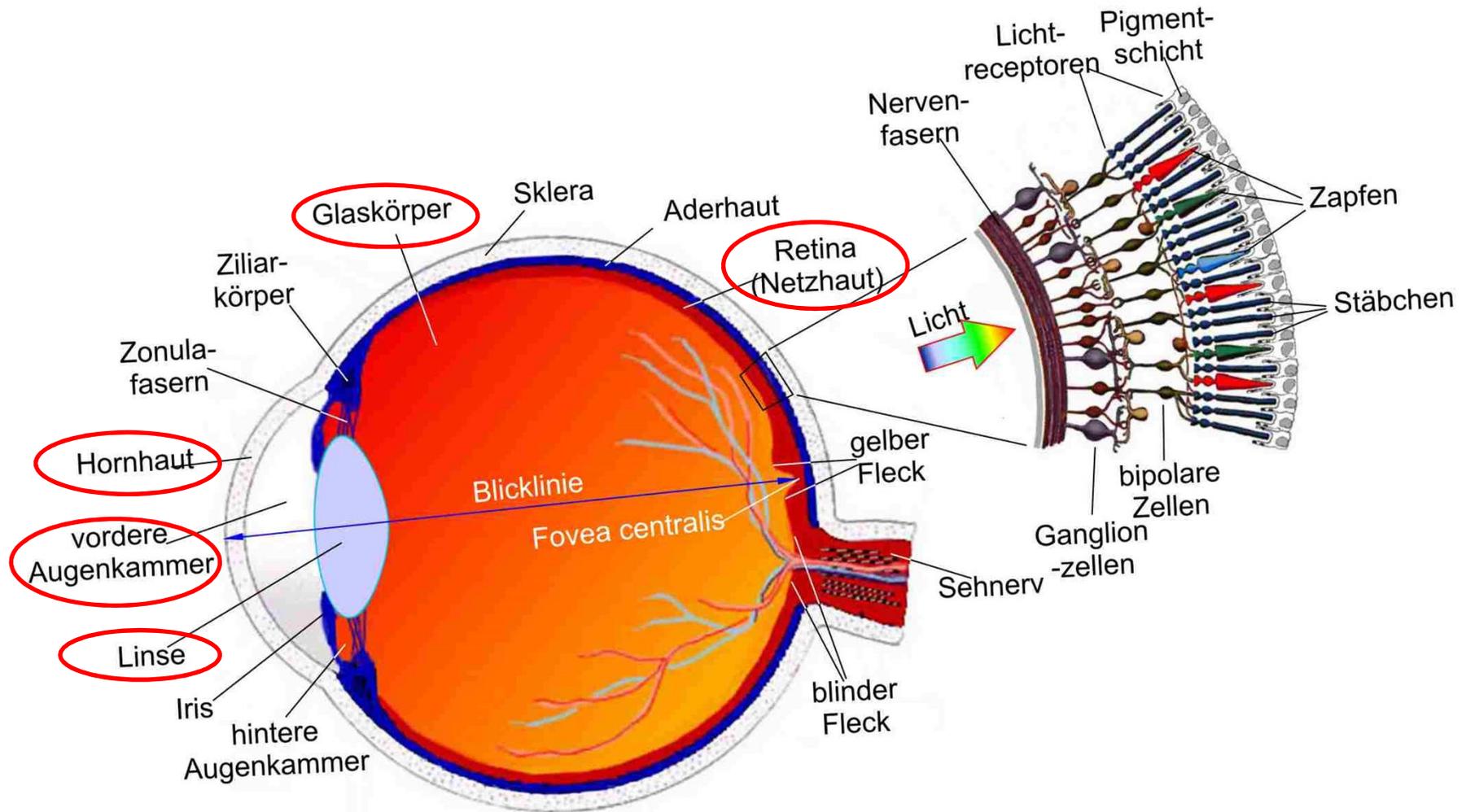
- Fehler in der optischen Abbildung. Linsenfehler: sphärische und chromatische Aberration
- Größe und Dichte der Rezeptoren
- Wellenoptische Effekte, Beugung

d) Streuung in dem Auge (Graustar)

e) Absorption in dem Auge

f) Raumsehen

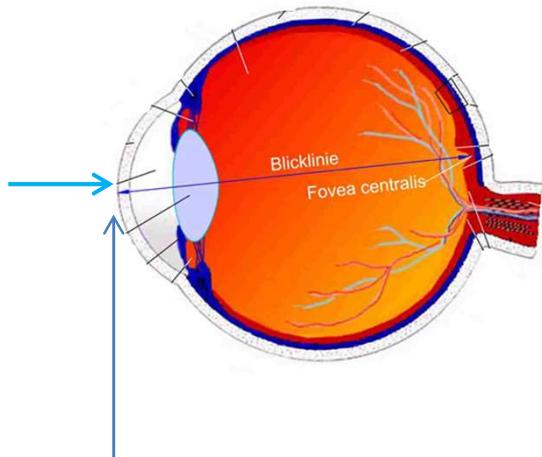
1. Aufbau des menschlichen Auges



2. Wechselwirkungen des Lichts bis zum Augenfundus:

Reflektion Brechung (Abbildung) Absorption Detektierung
Diffraction, Streuung

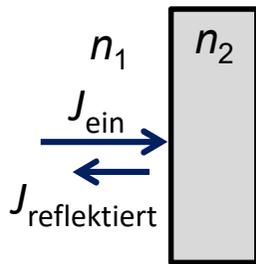
2. Wechselwirkungen des Lichts bis zum Augenfundus



$$n_{\text{Hornhaut}} = 1,37$$

a. Reflektion (Hornhautoberfläche)

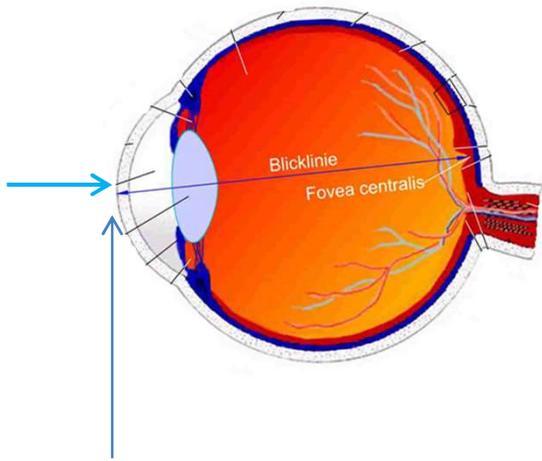
- Beim senkrechten Einfall und für durchsichtige Stoffe:



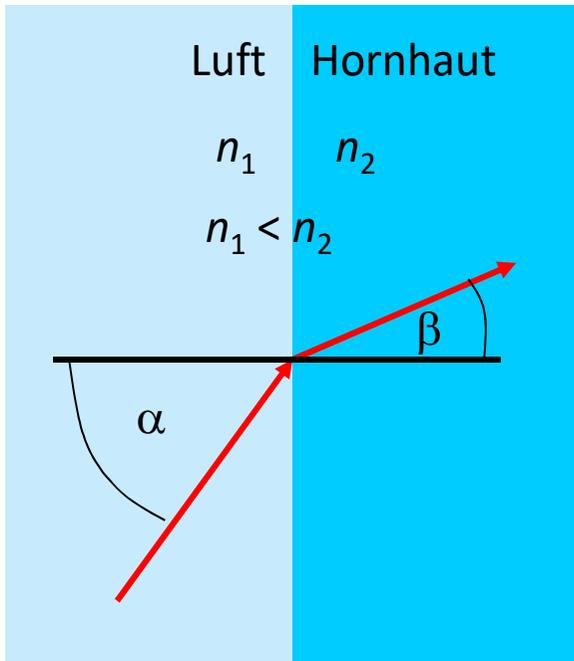
$$\rho = \frac{J_{\text{reflektiert}}}{J_{\text{ein}}} = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2$$

Im Fall der Hornhautoberfläche (Luft – Hornhaut):

$$\rho =$$



b) Brechung (z.B. Luft – Hornhaut Grenzfläche)



Brechungsgesetz
(Snellius-Descartes-Gesetz):

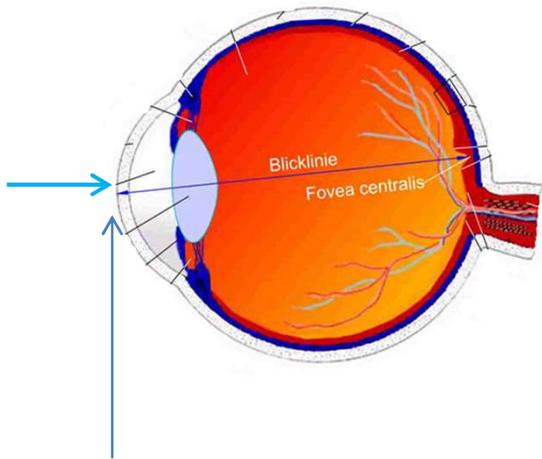
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}$$

diffuse Brechung?

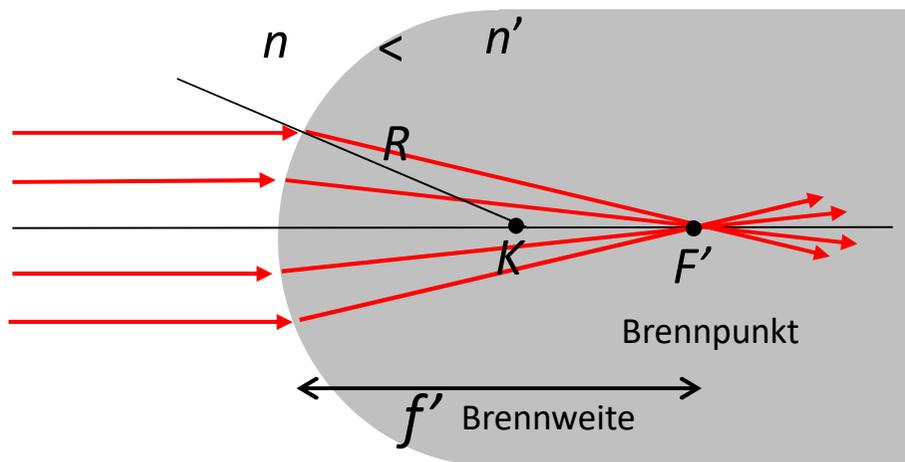
Tränenfilm

$n_{\text{Träne}} = 1,336 \dots 1,337$

Oberflächenspannung

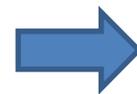


Brechung an einer gekrümmten Grenzfläche
 (z. B. Luft – Hornhaut Grenzfläche)



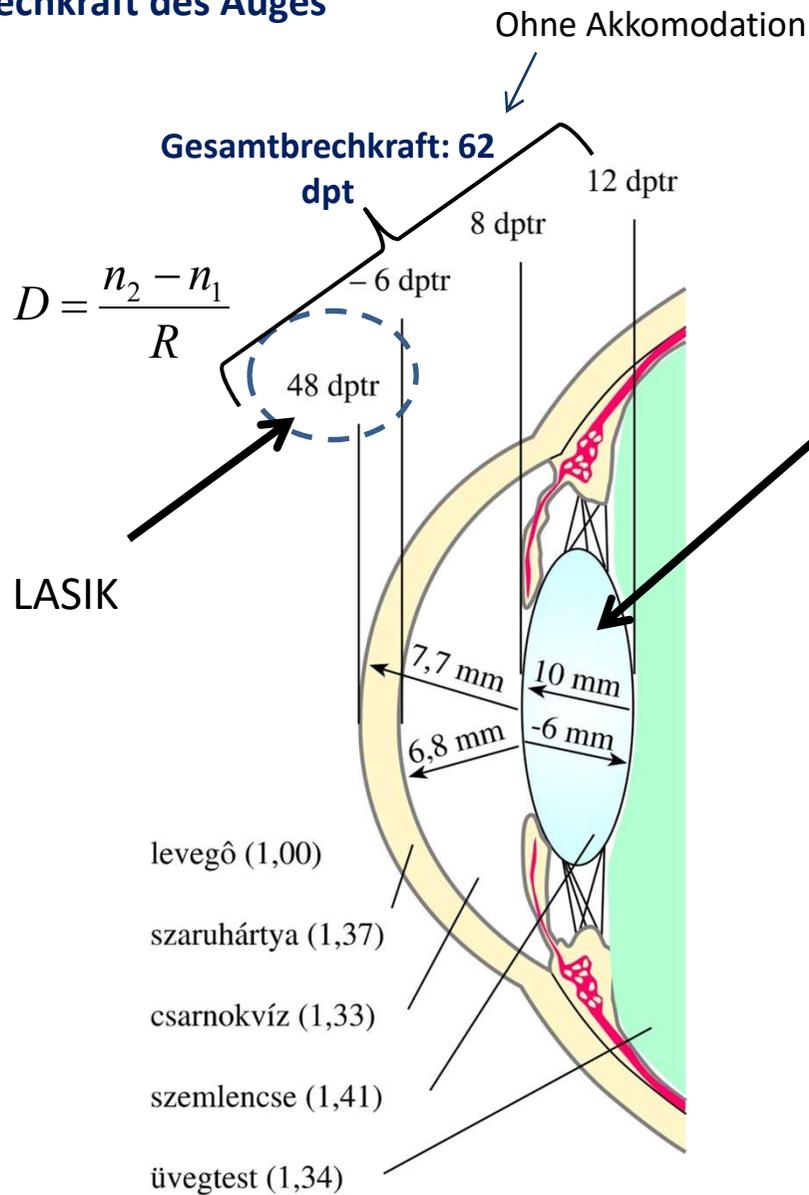
Brechkraft:

$$D = \frac{n'}{f'} = \frac{n}{f} = \frac{n' - n}{R} \quad \left(\frac{1}{\text{m}} = \text{dpt (Dioptrie)} \right)$$



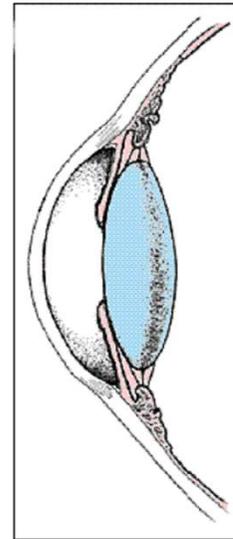
Fokussierung, Abbildung

Brechkraft des Auges



Akkomodation

Akkomodationsbreite:
 Änderung der
 Brechkraft zw.
 Fokussierung auf
 den Fernpunkt
 und Nahpunkt.



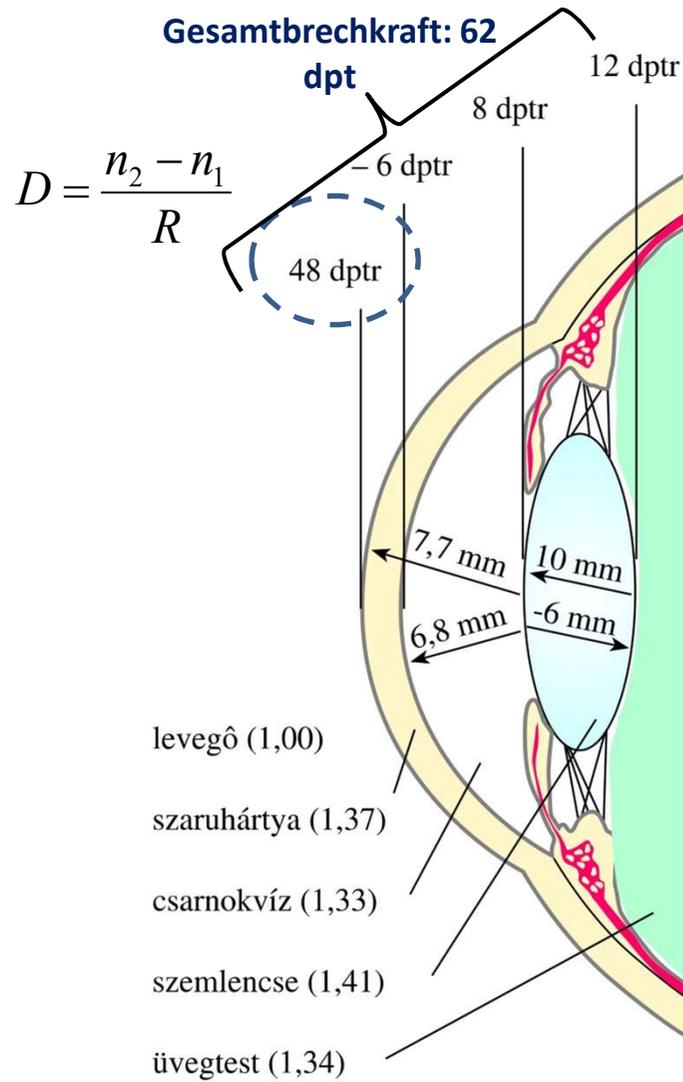
Augenfehler (Abbildungsfehler)

- Kurzsichtigkeit (Myopie)
 - Weitsichtigkeit (Hyperopie)
 - Altersichtigkeit (Presbyopie)
- } Länge des Augenapfels (Bildweite)
 } Akkomodation

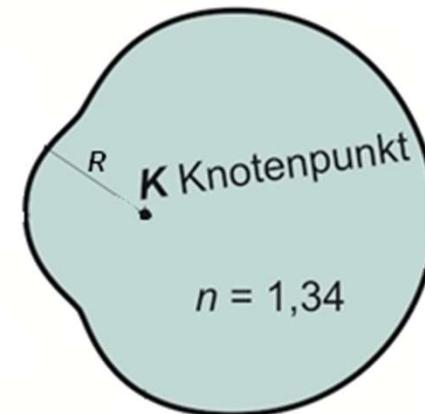
Linsenfehler:

- spherische Aberration
- chromatische Aberration

Brechkraft des Auges



Das reduzierte Auge



Auflösung des Auges:

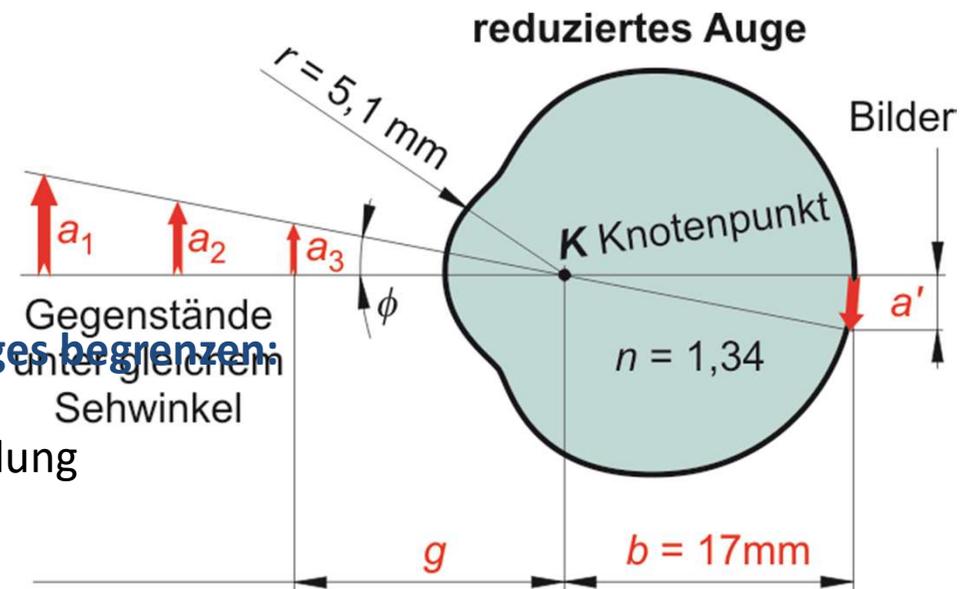
Minimaler Sehwinkel (α)

$$\text{Visus} = \frac{1'}{\alpha}$$

α

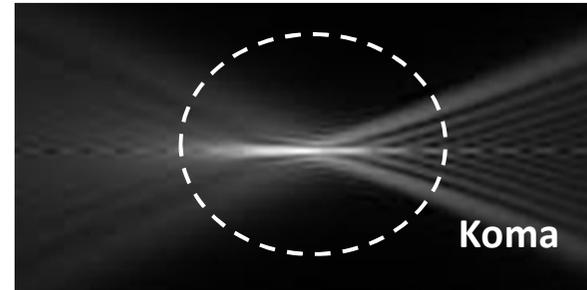
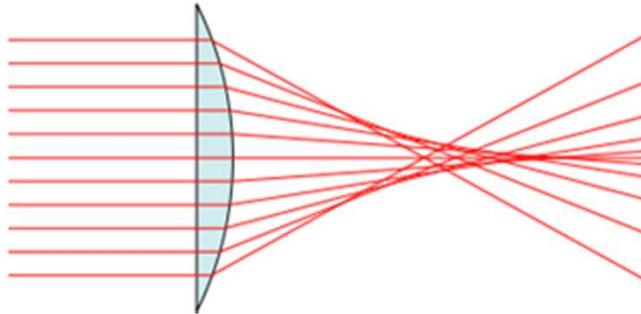
Faktoren die die Auflösung des Auges begrenzen:

1. Fehler in der optischen Abbildung (z.B.: Linsenfehlern)
2. Größe und Dichte der Rezeptoren
3. Wellenoptische Effekte, Beugung



1. Fehler in der optischen Abbildung: Linsenfehler

Sphärische Aberration (Öffnungsfehler)



Steigt mit geöffneter Pupille (d.h. im Dunkel)



Nachtmyopie
(Nachtkurzsichtigkeit)



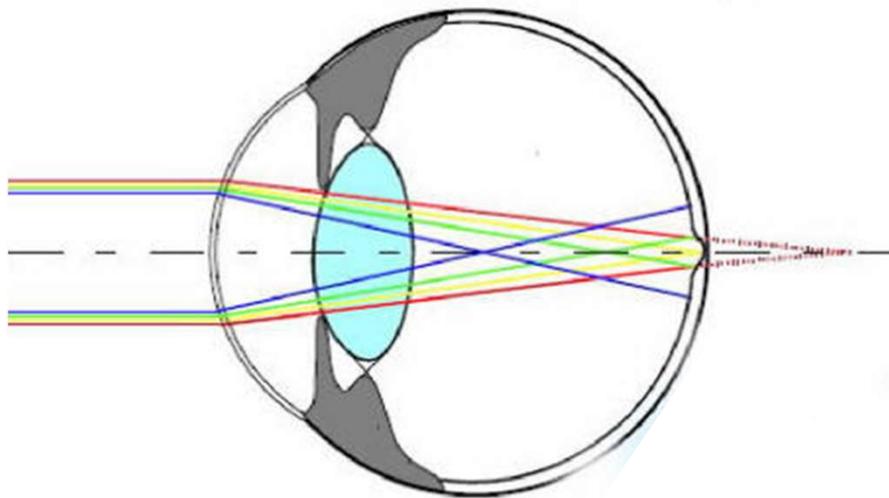
Chromatische Aberration

Ursache: Dispersion (Wellenlängeabhängigkeit der Brechzahl)

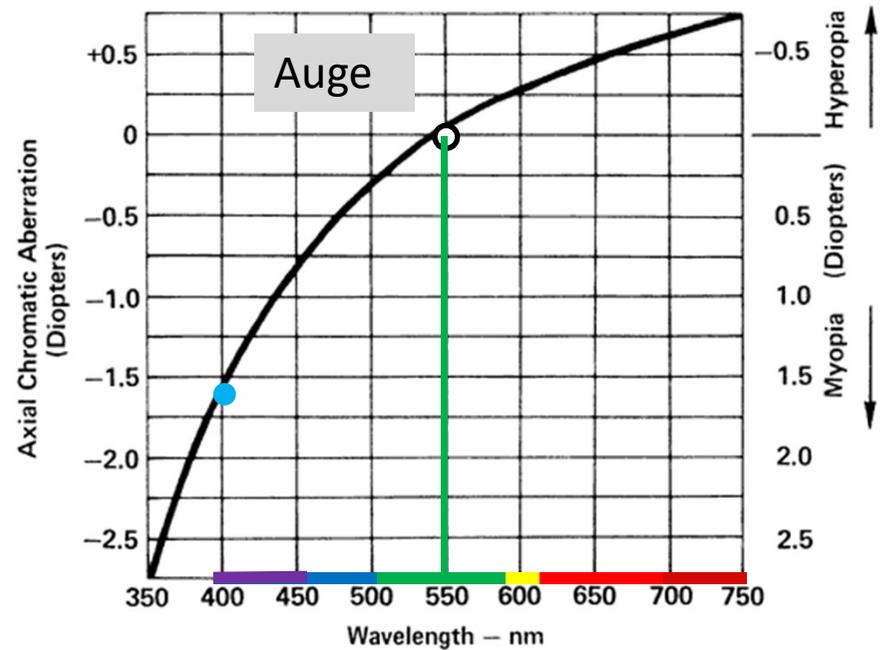
$$D = \frac{n' - n}{R}$$



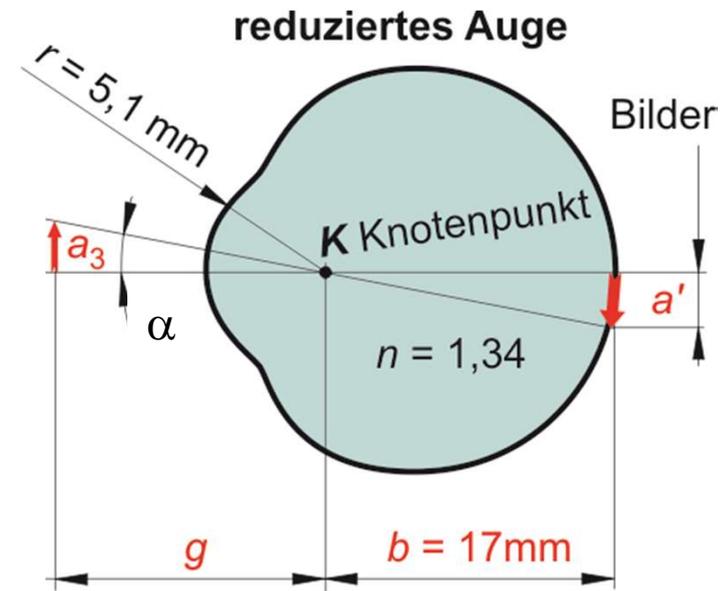
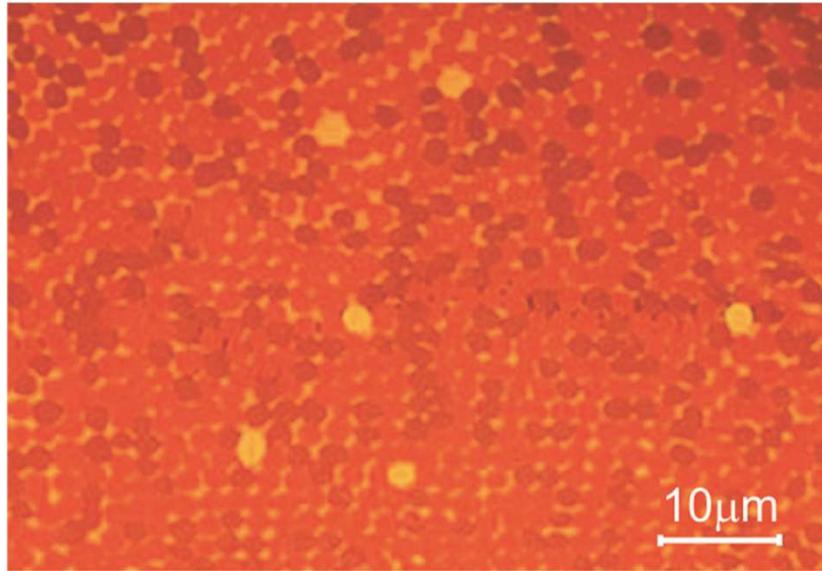
D (Brechkraft) ist Wellenlängeabhängig,
 f (Brennweite) ist Wellenlängeabhängig
 b (Bildweite) ist Wellenlängeabhängig



Chromatische Aberration:



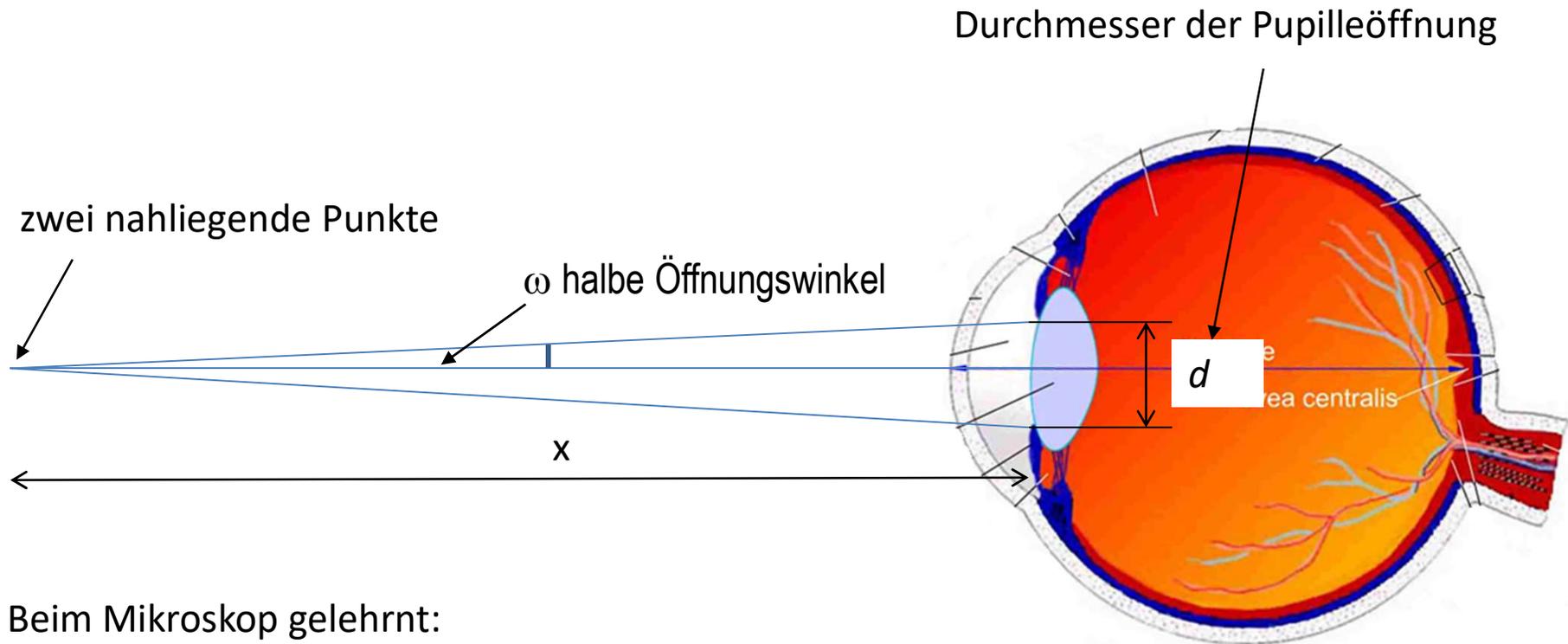
2. Größe und Dichte der Rezeptoren



Rezeptoren größe $\approx 3\ \mu\text{m}$

Minimaler Sehwinkel:
(Aufgrund der
Rezeptorendichte)

3. Wellenoptische Effekte, Beugung



Beim Mikroskop gelehrt:

$$\delta = 0,61 \frac{\lambda}{n \sin \omega} \quad \omega \approx \frac{d/2}{x} \quad \sin \omega \approx \omega \quad n=1$$

Minimaler Sehwinkel:

$$\alpha = \frac{\delta}{x} = 0,61 \frac{\lambda x}{x d/2} = 1,22 \frac{\lambda}{d}$$

Erhöht sich bei
größerer
Pupillenöffnung



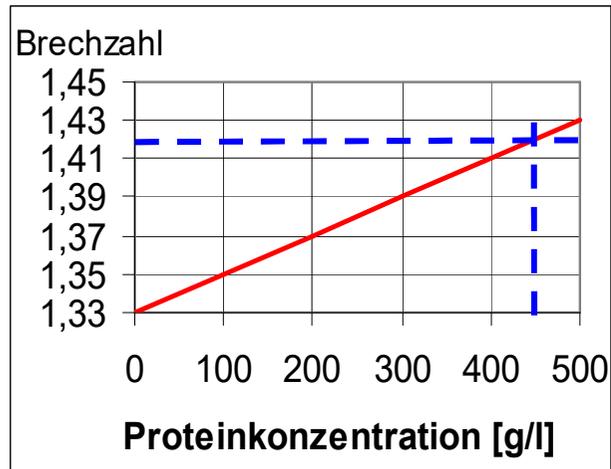
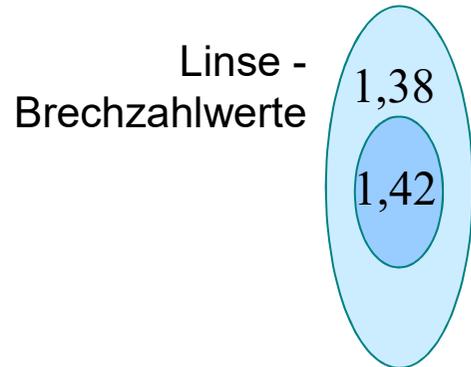
d) Streuung in dem Auge

Wo ist die Brechzahl am höchsten?

Wie wird diese hohe Brechzahl erreicht?



Brechzahlwerte:	
Luft	(1,00)
Hornhaut	(1,37)
Kammerwasser	(1,33)
Linse	(1,41)
Glaskörper	(1,34)



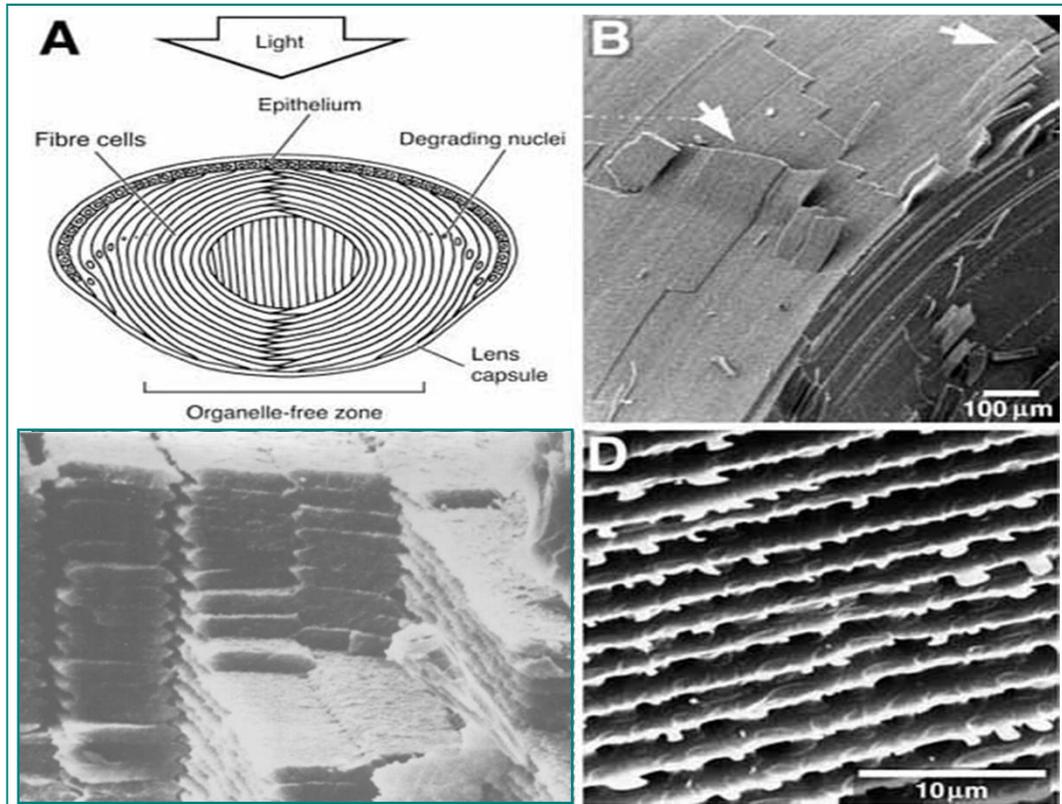
(s. Praktikum „Refraktometer“)

400-500 g/l !!!

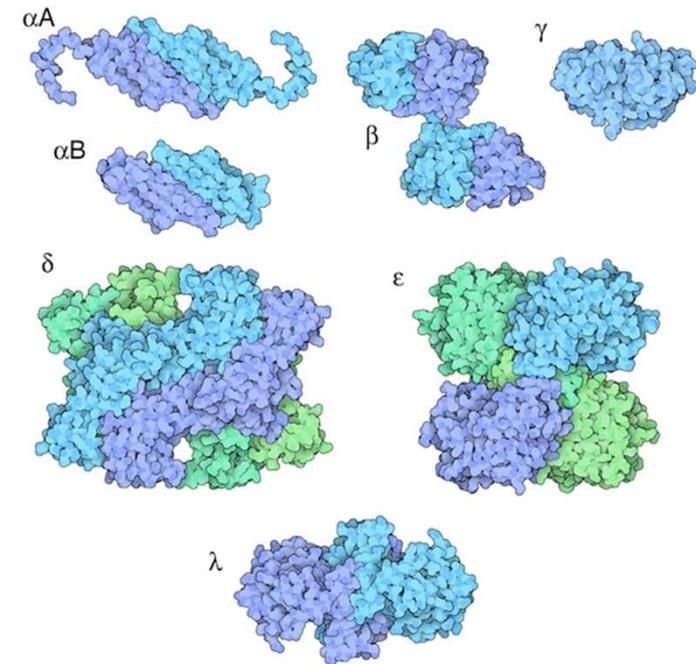


Wie wird die Linse trotz dieser hohen Proteinkonzentration durchsichtig sein?

Aufbau der Linse:



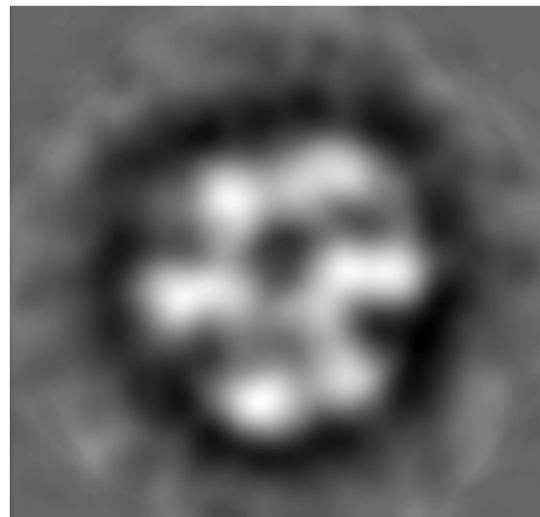
Spezielle Linsenproteine: Kristalline



Alpha-Kristallin

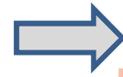
--- hat den größten Anteil

--- besitzt eine Chaperone-Funktion



(elektronenmikroskopische Aufnahme von Alpha-Kristallin) 14

Und wenn die Linsenproteine doch koagulieren und sich ausscheiden würden?



Linse -Graustar



Sicht ohne Linsentrübung (Computersimulation).



Dies ist ein Textbeispiel

Wie man sieht, ist die Schriftgröße ein wichtiges und entscheidendes Kriterium, wenn es um die Erkennbarkeit bzw. Lesbarkeit von Text bei verschiedenen Sehbehinderungen geht.



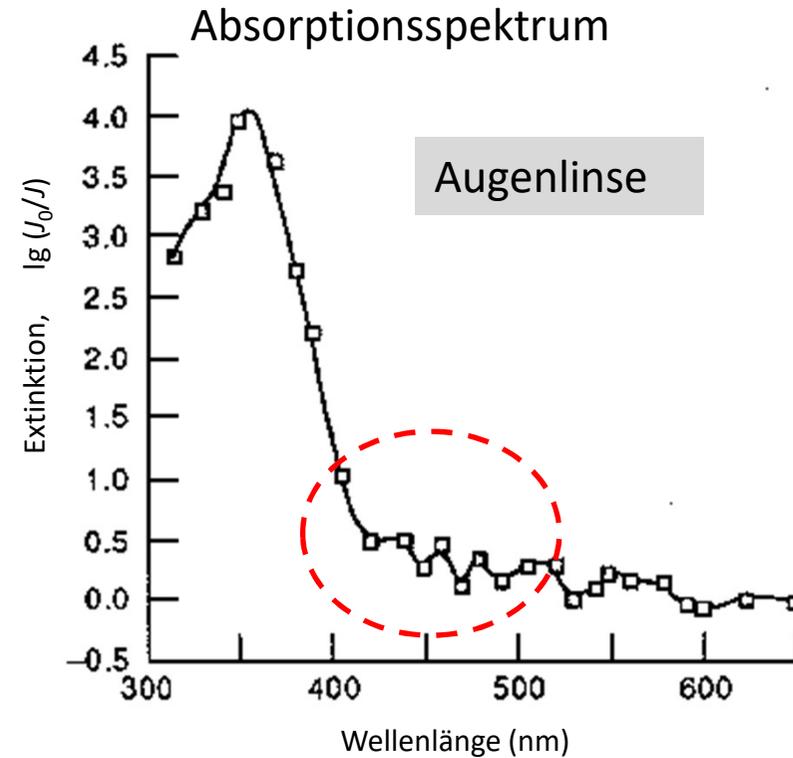
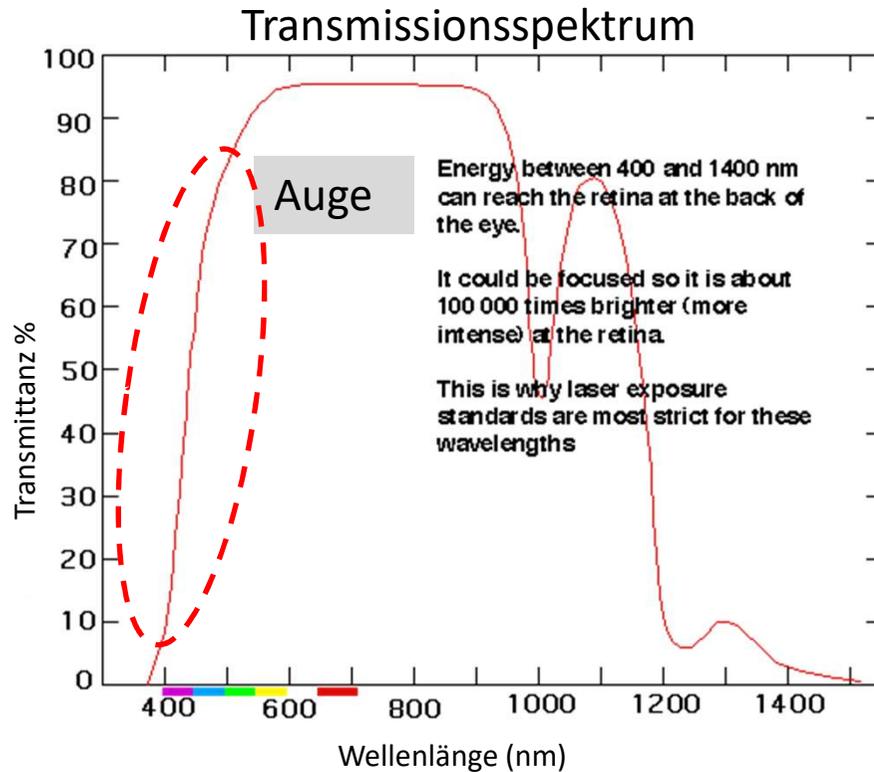
Sicht mit Linsentrübung (Computersimulation).



Dies ist ein Textbeispiel

Wie man sieht, ist die Schriftgröße ein wichtiges und entscheidendes Kriterium, wenn es um die Erkennbarkeit bzw. Lesbarkeit von Text bei verschiedenen Sehbehinderungen geht.

e) Absorption in dem Auge



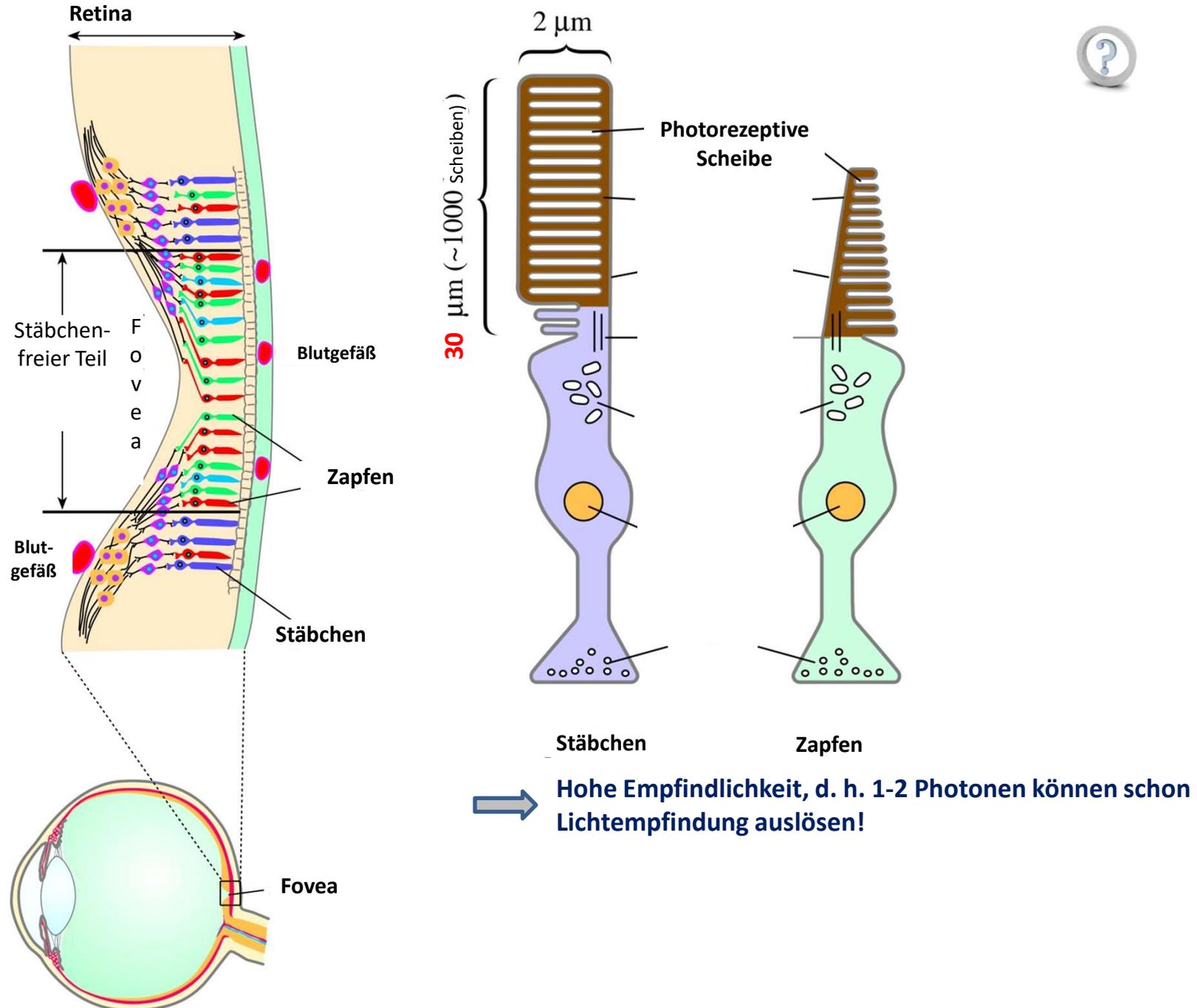
➡ keine starke Absorption in dem sichtbaren Bereich

➡ mittelmäßige Absorption in dem blauen/violetten Bereich

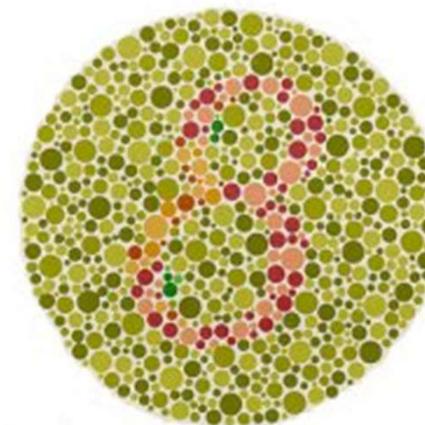
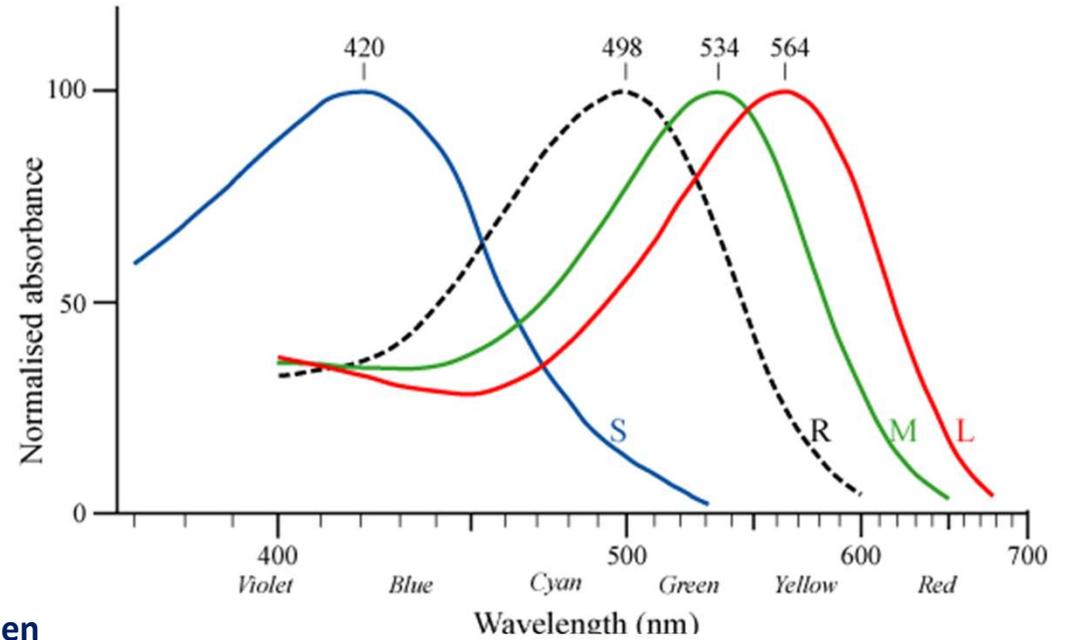
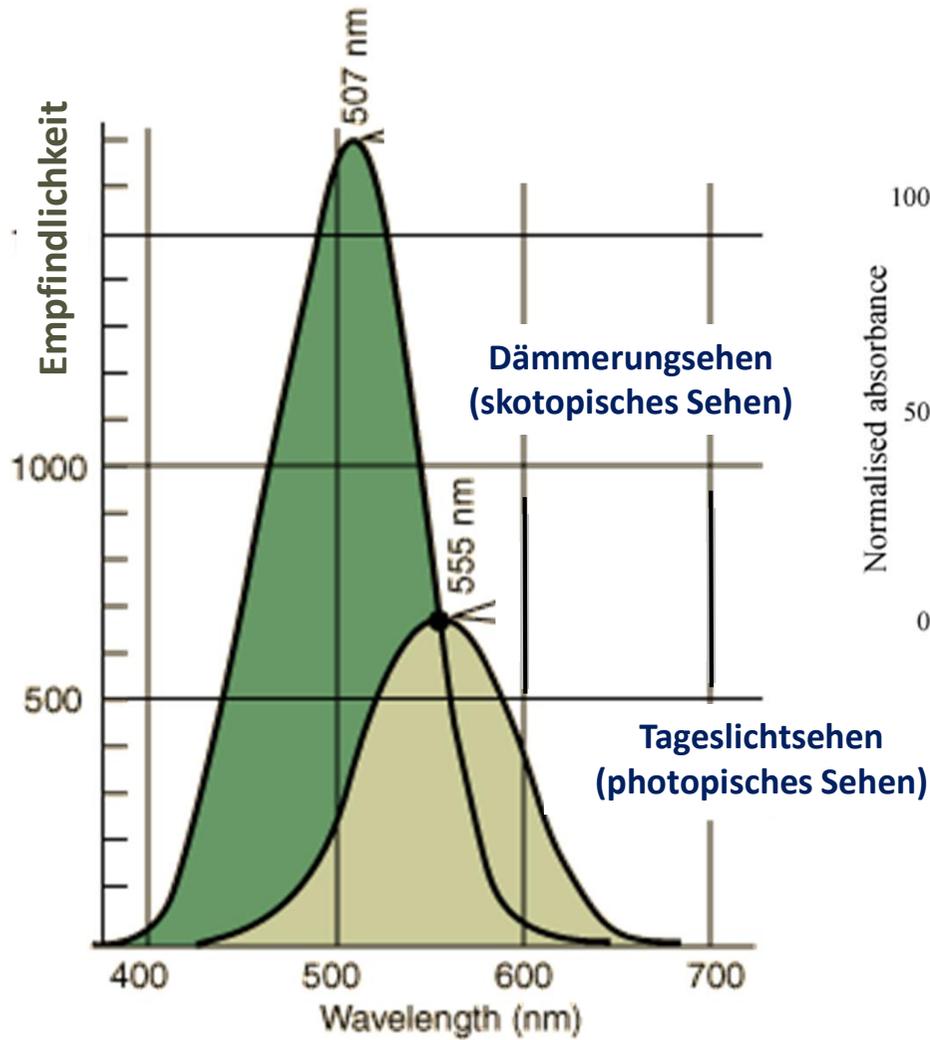
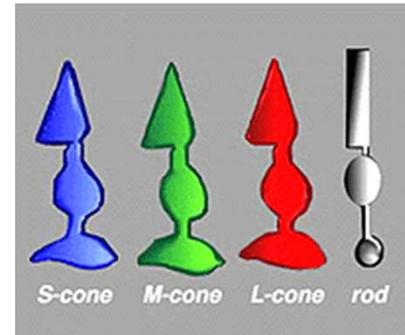


Verminderung der Auswirkungen der chromatischen Aberration

- Absorption in den Rezeptorzellen der Netzhaut - Empfindlichkeit



- Spektrale Empfindlichkeit des Auges - Farbsehen



f) Raumsehen

