

# Medizinische Biophysik

## Licht in der Medizin

9. Vorlesung  
04.11. 2020.

### 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:

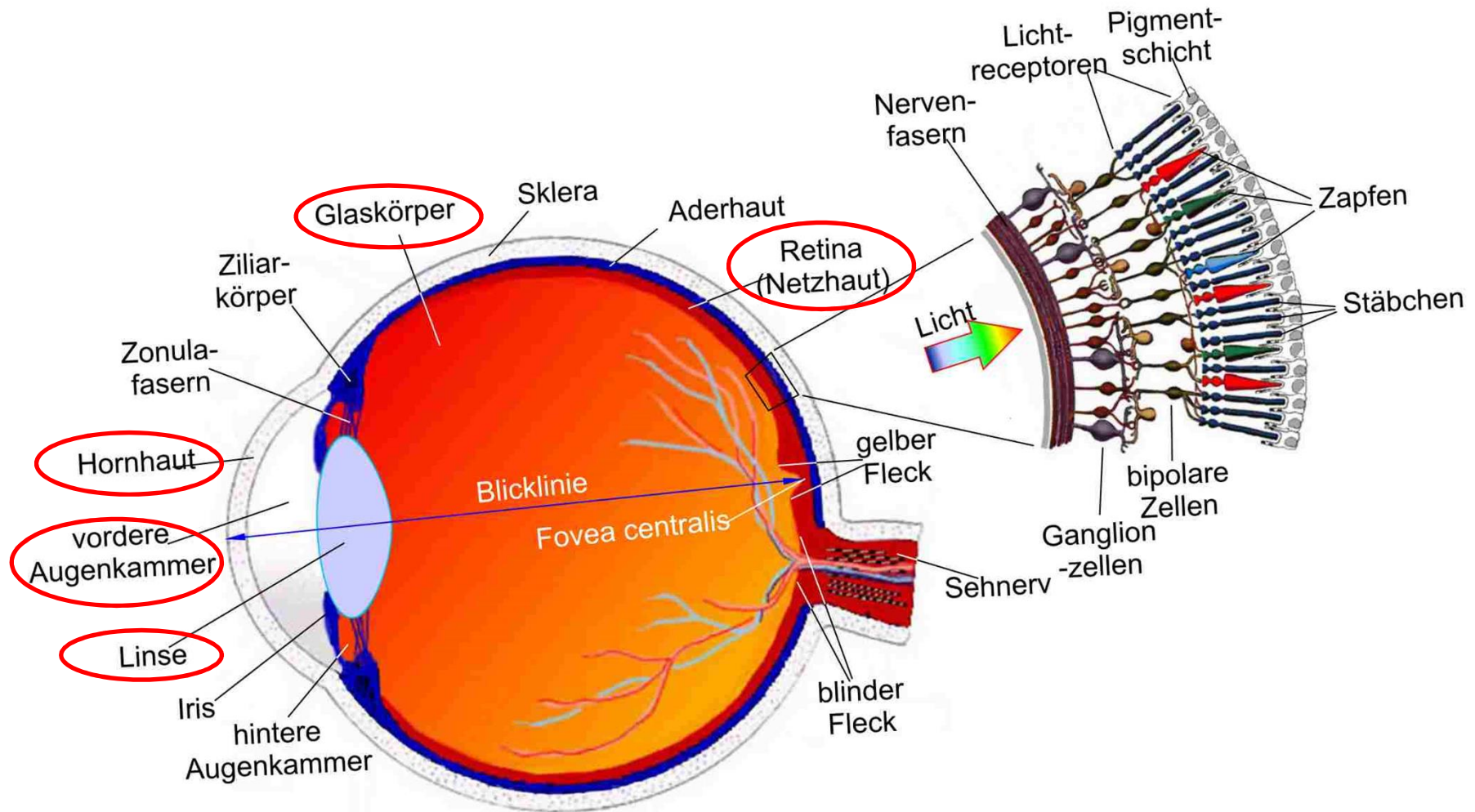
- Fehler in der optischen Abbildung. Linsenfehler: sphärische und chromatische Aberration
- Größe und Dichte der Rezeptoren
- Wellenoptische Effekte, Beugung

d) Streuung in dem Auge (Graustar)

e) Absorption in dem Auge

f) Raumsehen

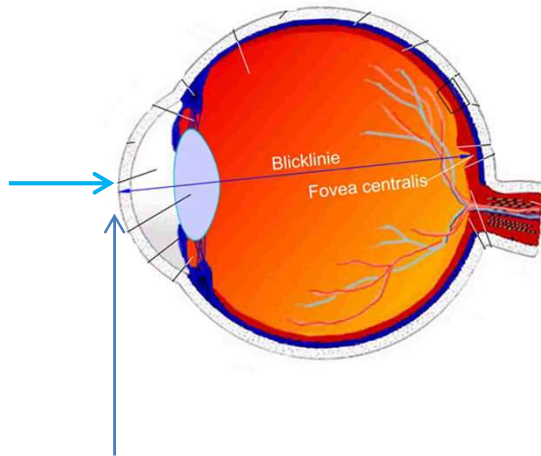
## 1. Aufbau des menschlichen Auges



## 2. Wechselwirkungen des Lichts bis zum Augenfundus:

Reflektion Brechung (Abbildung) Absorption Detektierung  
Diffraction, Streuung

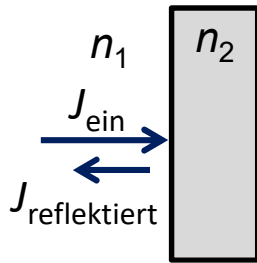
## 2. Wechselwirkungen des Lichts bis zum Augenfundus



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

### a. Reflektion (Hornhautoberfläche)

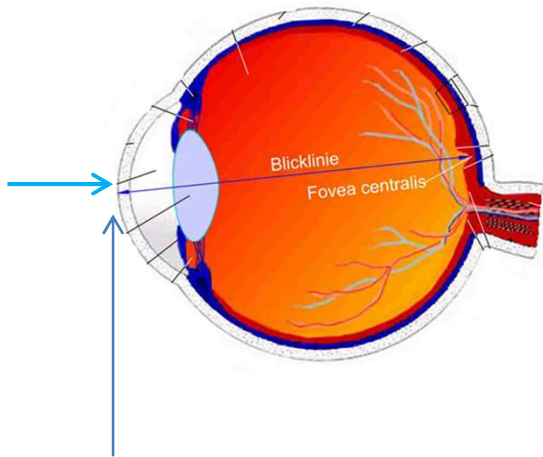
- Beim senkrechten Einfall und für durchsichtige Stoffe:



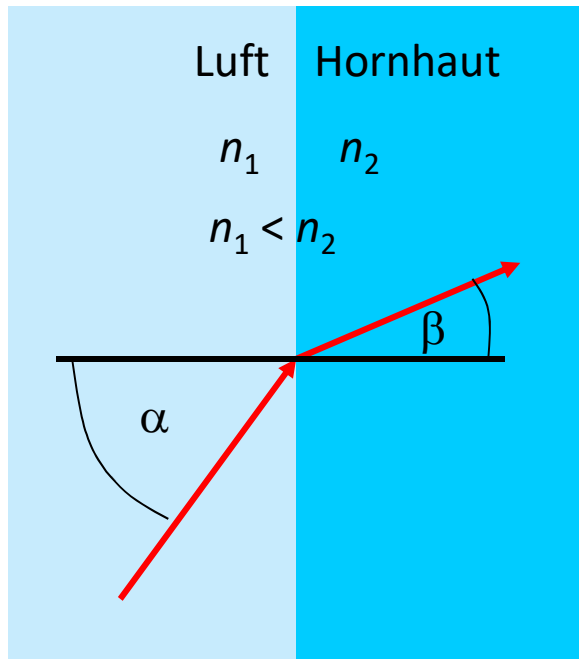
$$\rho = \frac{J_{\text{reflektiert}}}{J_{\text{ein}}} = \left( \frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2$$

Im Fall der Hornhautoberfläche (Luft – Hornhaut):

$$\rho =$$



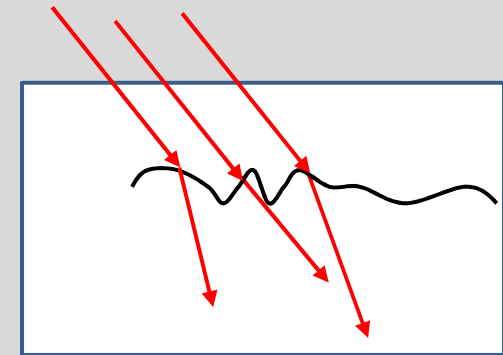
**b) Brechung** (z.B. Luft – Hornhaut Grenzfläche)



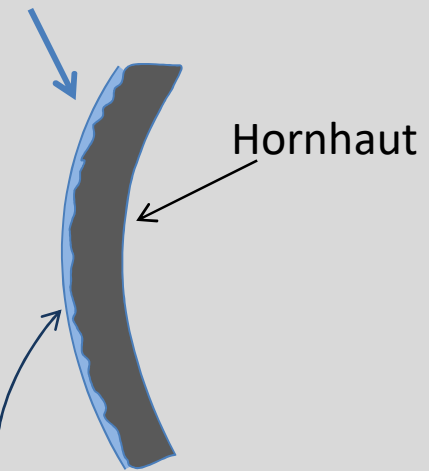
**Brechungsgesetz**  
(Snellius-Descartes-Gesetz):

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

diffuse Brechung?

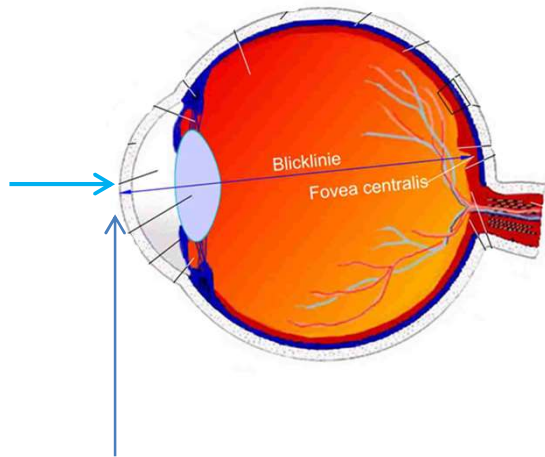


Tränenfilm

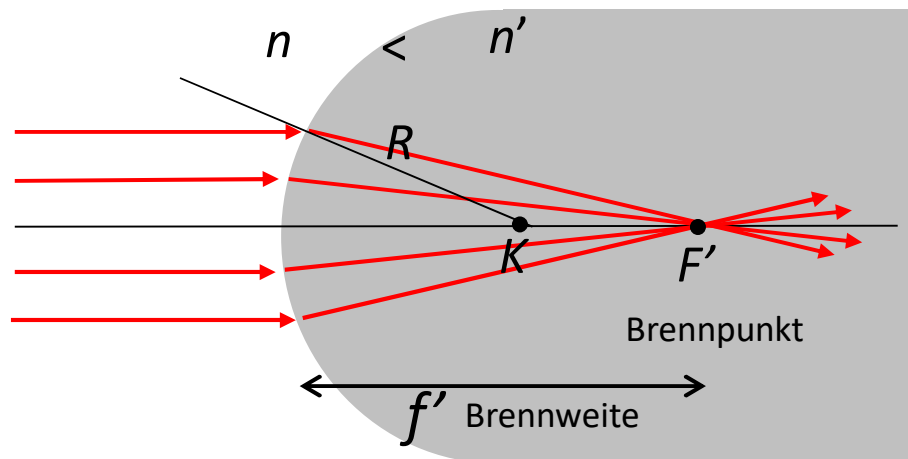


$n_{\text{Träne}} = 1,336 \dots 1,337$

Oberflächenspannung

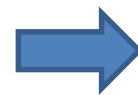


**Brechung** an einer **gekrümmten Grenzfläche**  
(z. B. Luft – Hornhaut Grenzfläche)



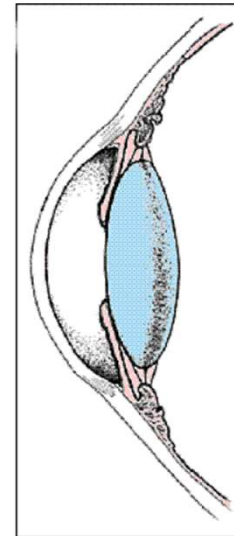
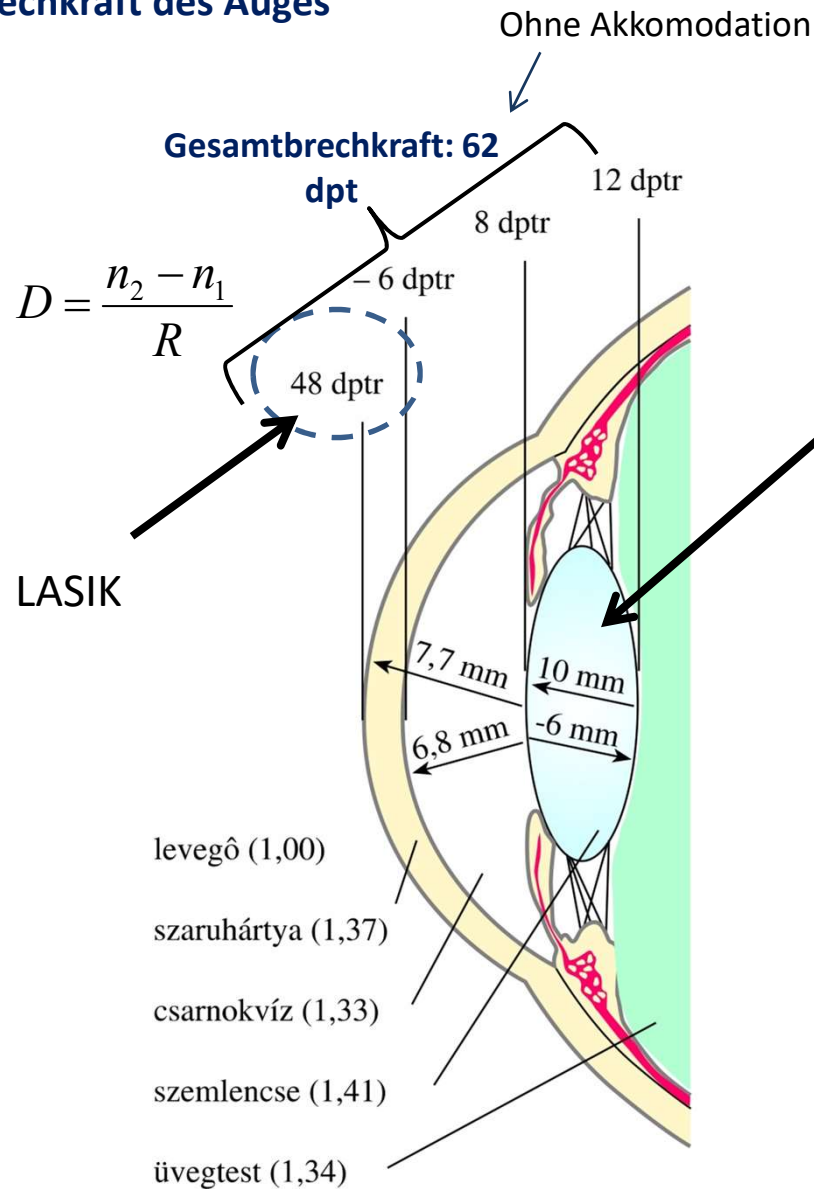
Brechkraft:

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



Fokussierung, Abbildung

## Brechkraft des Auges



## Akkomodation

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

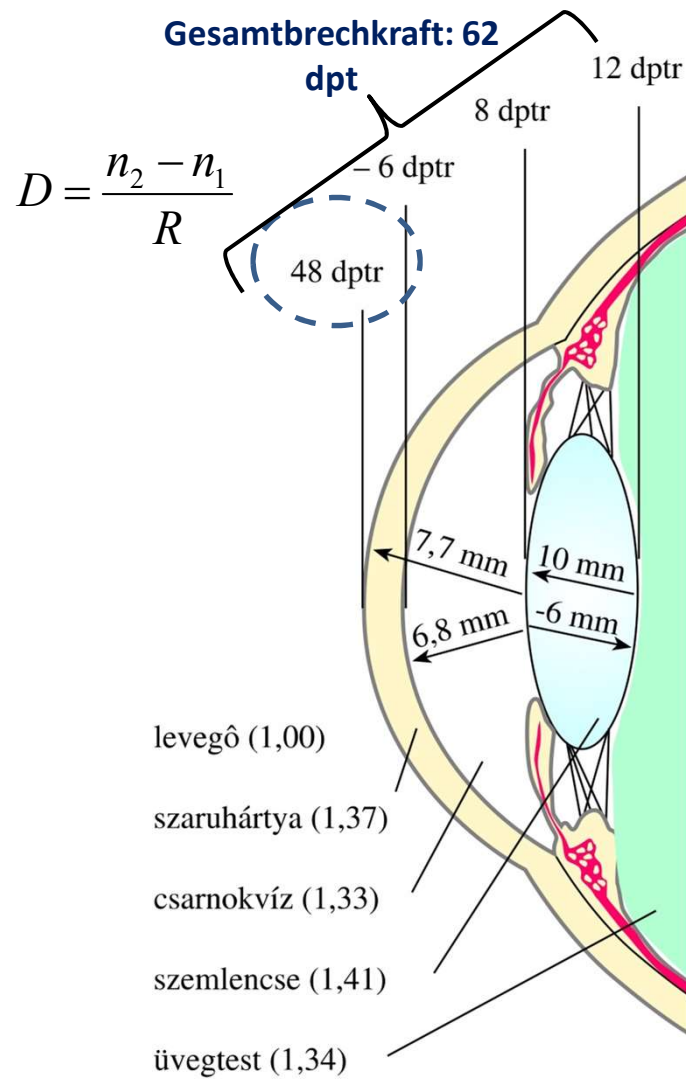
## Augenfehler (Abbildungsfehler)

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

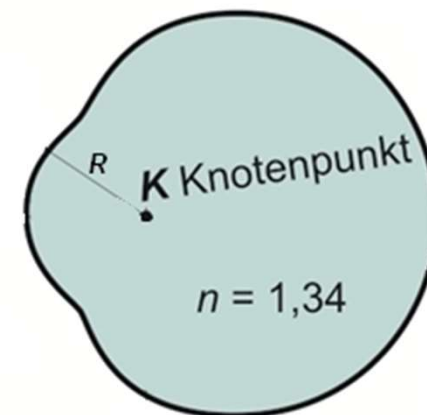
## Linsenfehler:

- spherische Aberration
- chromatische Aberration

## Brechkraft des Auges



Das reduzierte Auge



## Auflösung des Auges:

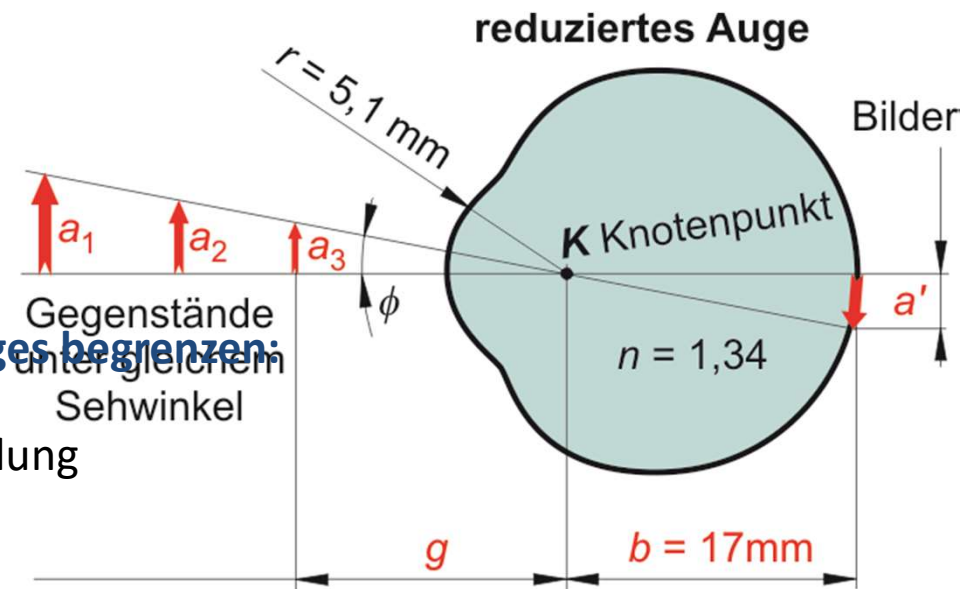
Minimaler Sehwinkel ( $\alpha$ )

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

$\alpha$

### Faktoren die die Auflösung des Auges begrenzen:

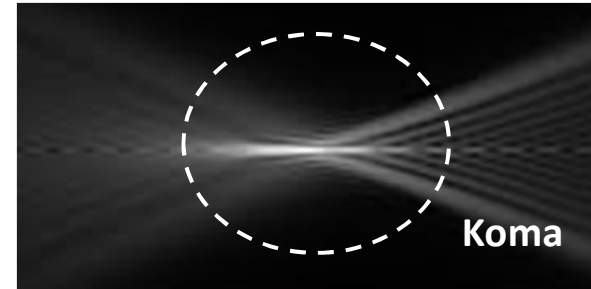
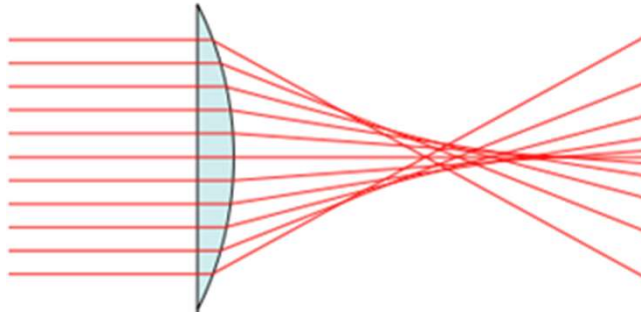
1. Fehler in der optischen Abbildung  
(z.B.: Linsenfehlern)
2. Größe und Dichte der Rezeptoren
3. Wellenoptische Effekte, Beugung





# 1. Fehler in der optischen Abbildung: Linsenfehler

## Sphärische Aberration (Öffnungsfehler)



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



Nachtmyopie  
(Nachtkurzsichtigkeit)



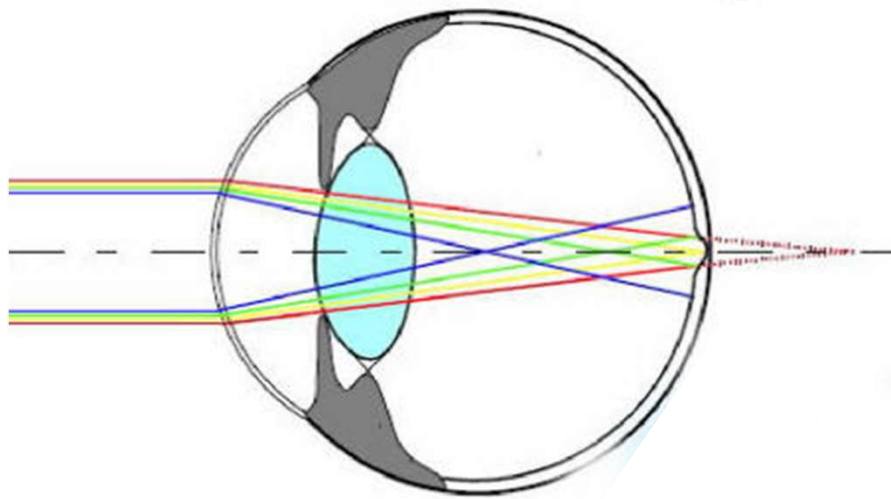
## Chromatische Aberration

Ursache: Dispersion (Wellenlängeabhängigkeit der Brechzahl)

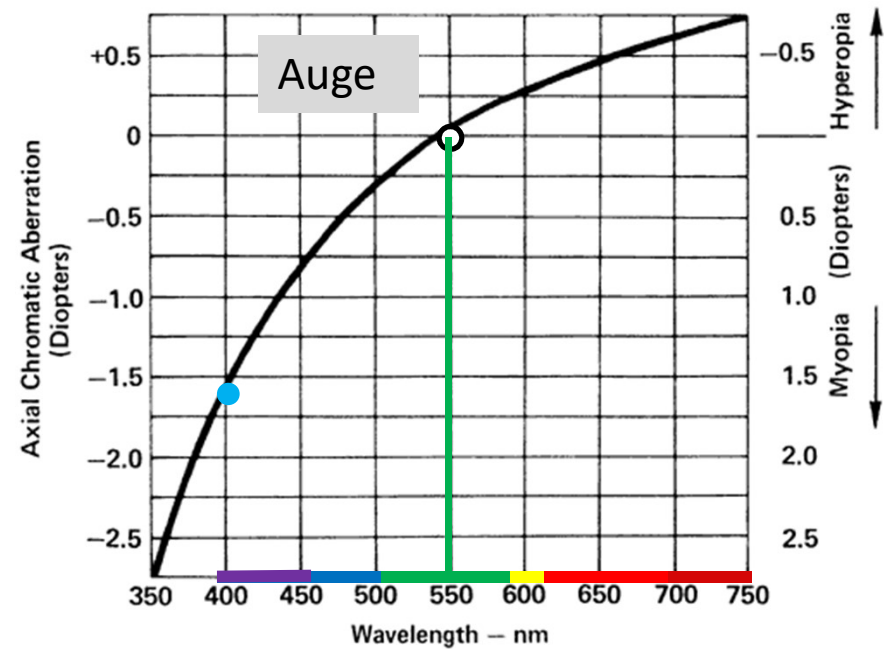
$$D = \frac{n' - n}{R}$$



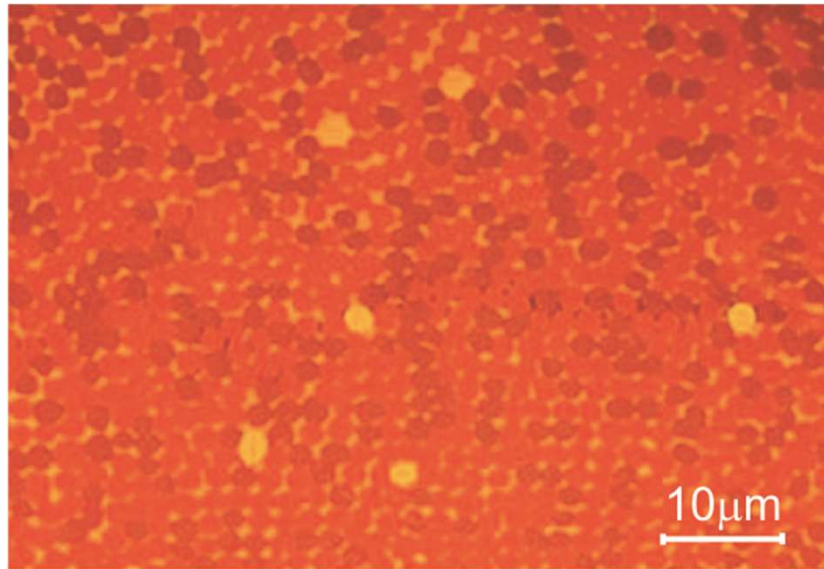
$D$  (Brechkraft) ist Wellenlängeabhängig,  
 $f$  (Brennweite) ist Wellenlängeabhängig  
 $b$  (Bildweite) ist Wellenlängeabhängig



Chromatische Aberration:

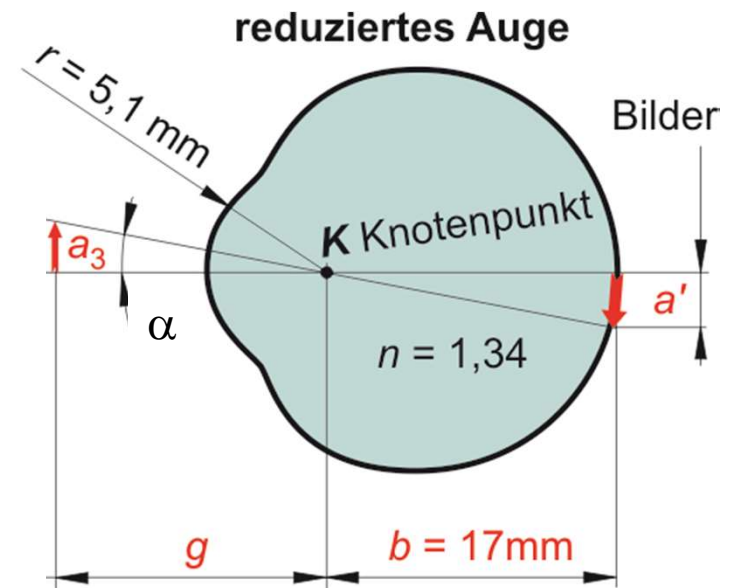


## 2. Größe und Dichte der Rezeptoren

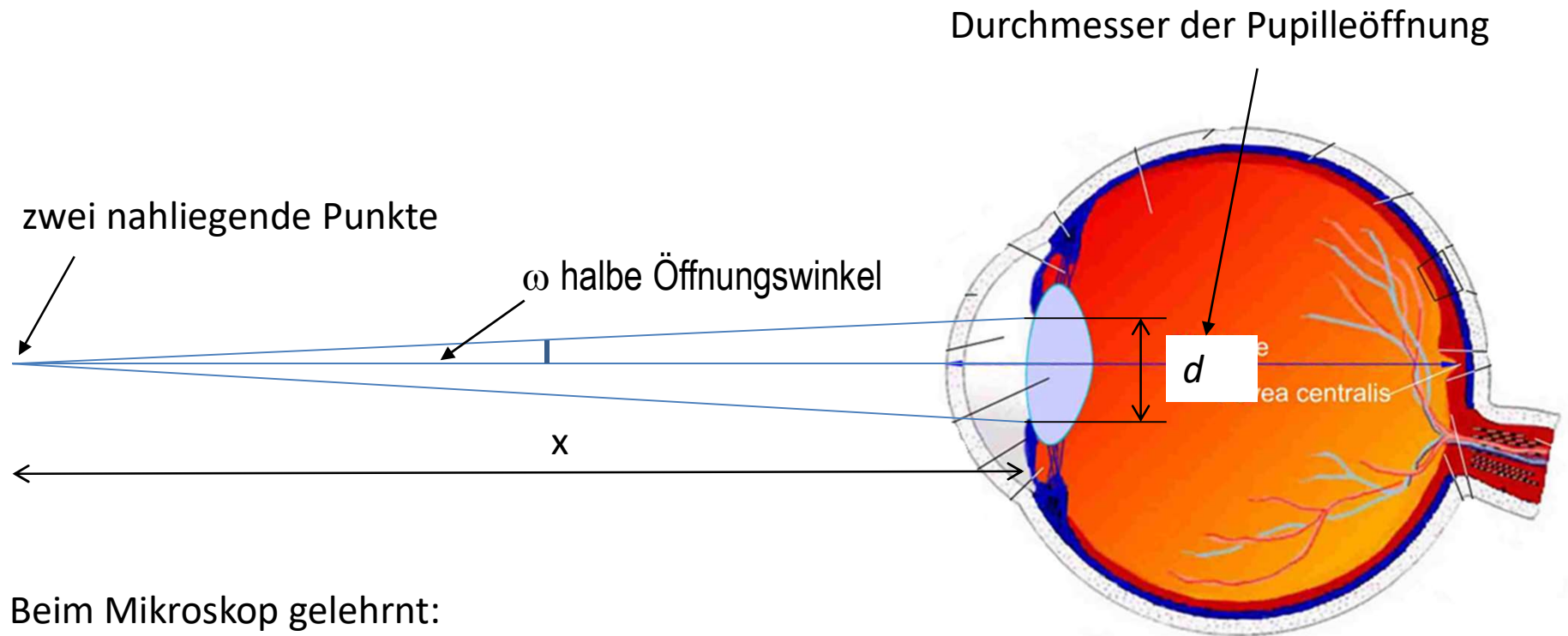


Rezeptoren größe  $\approx 3\mu\text{m}$

Minimaler Sehwinkel:  
(Aufgrund der  
Rezeptorendichte)



### 3. Wellenoptische Effekte, Beugung



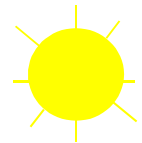
Beim Mikroskop gelehrt:

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

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)

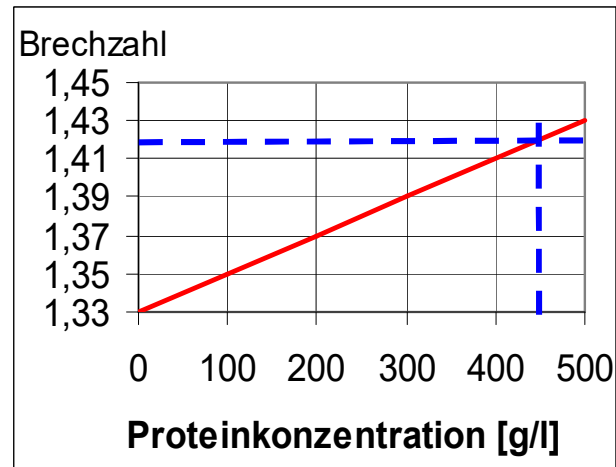
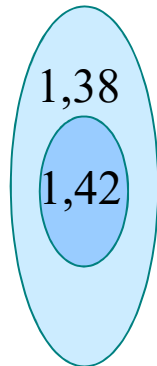
Hornhaut (1,37)

Kammerwasser (1,33)

Linse (1,41)

Glaskörper (1,34)

Linse -  
Brechzahlwerte



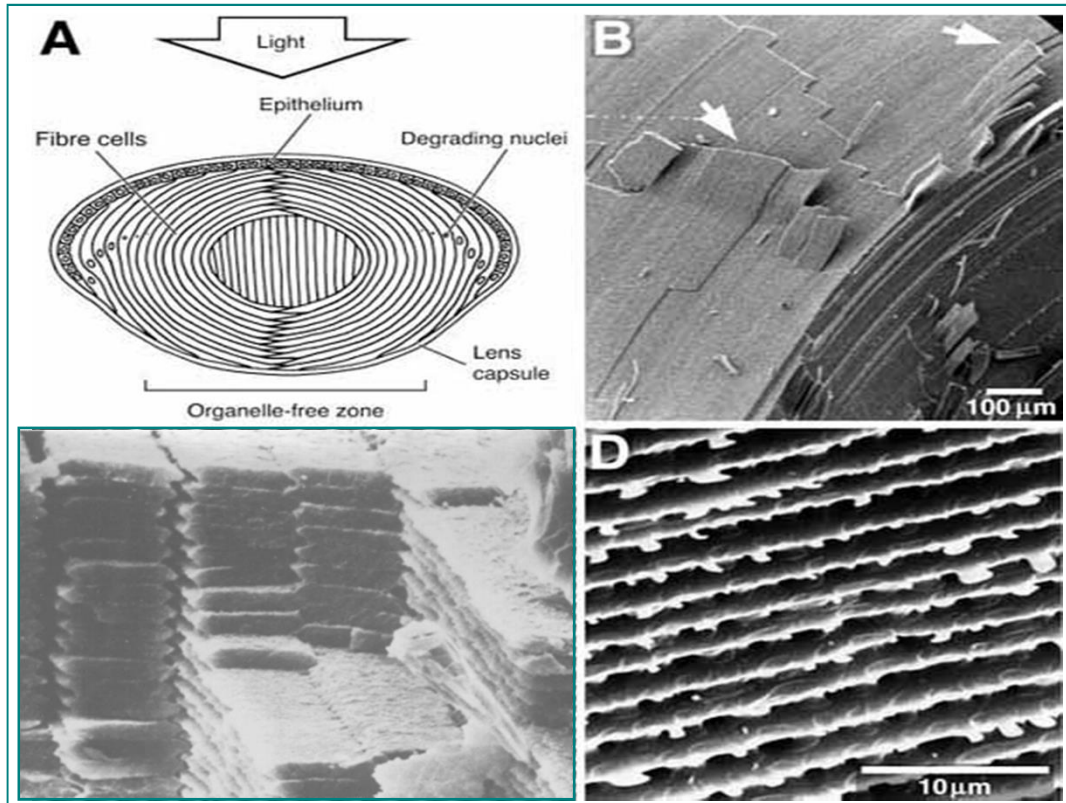
(s. Praktikum  
„Refraktometer“)

400-500 g/l !!!

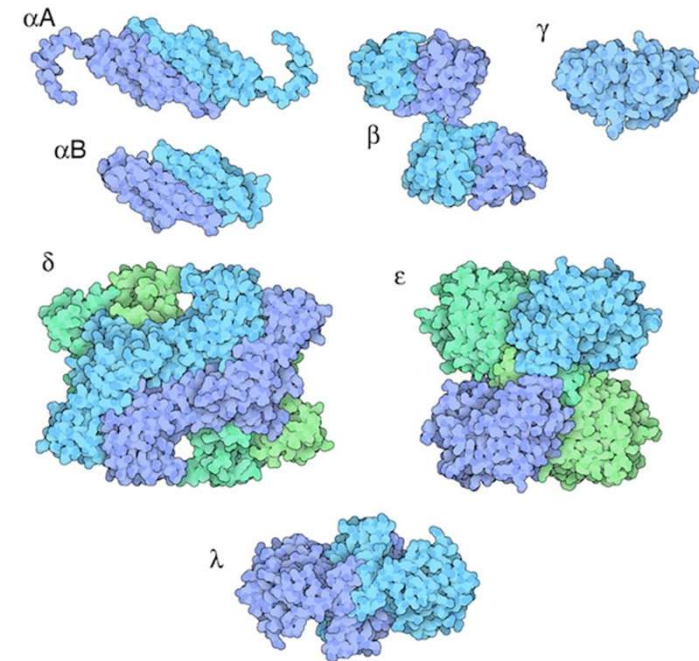


Wie wird die Linse trotz dieser hohen Proteinkonzentration durchsichtig sein?

## Aufbau der Linse:



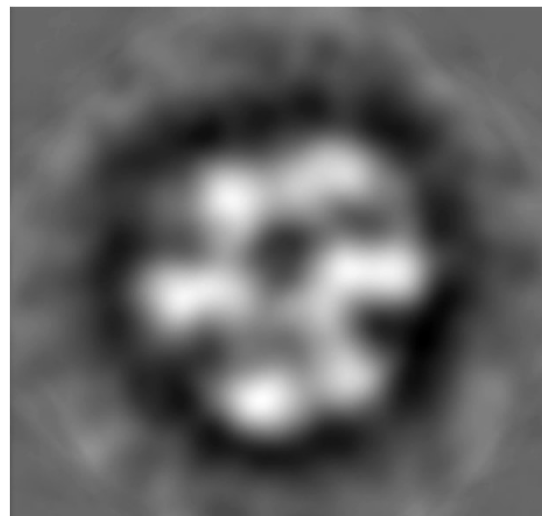
## Spezielle Linsenproteine: Kristalline



### 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).*

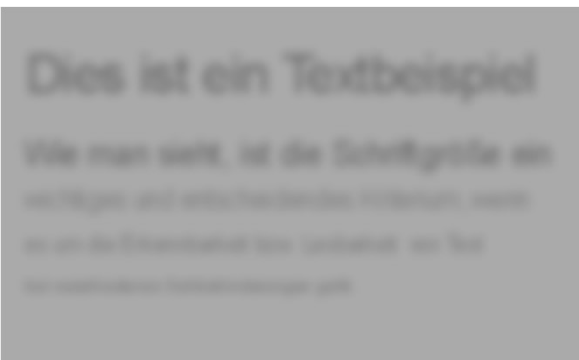
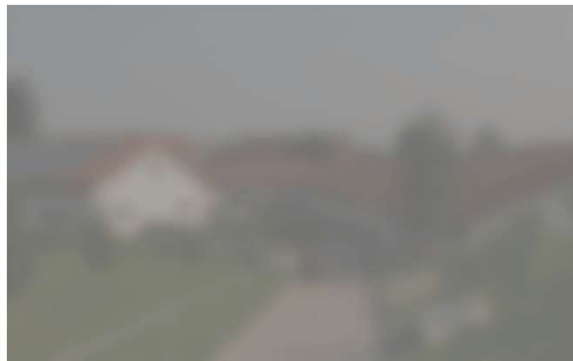


**Dies ist ein Textbeispiel**

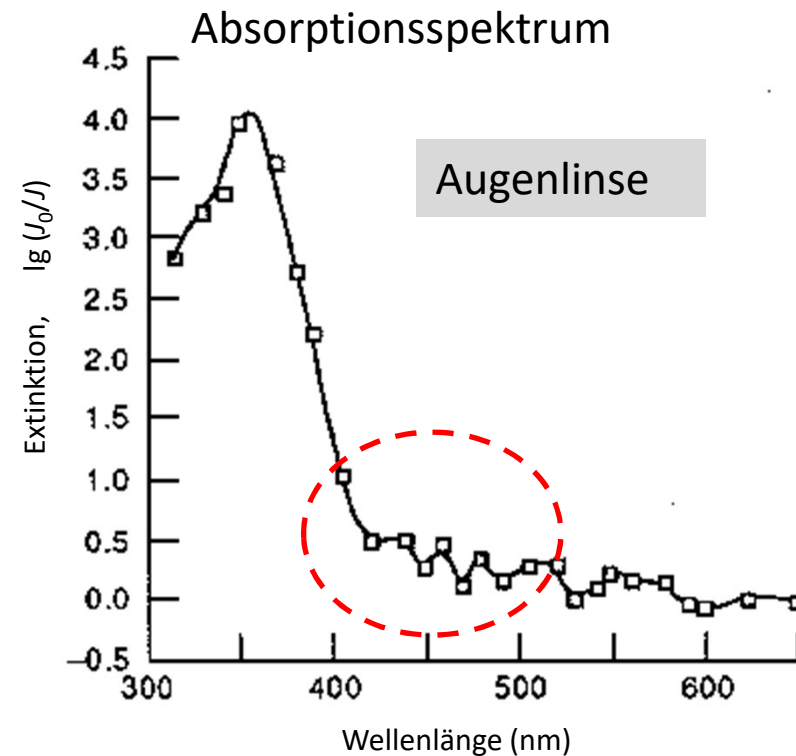
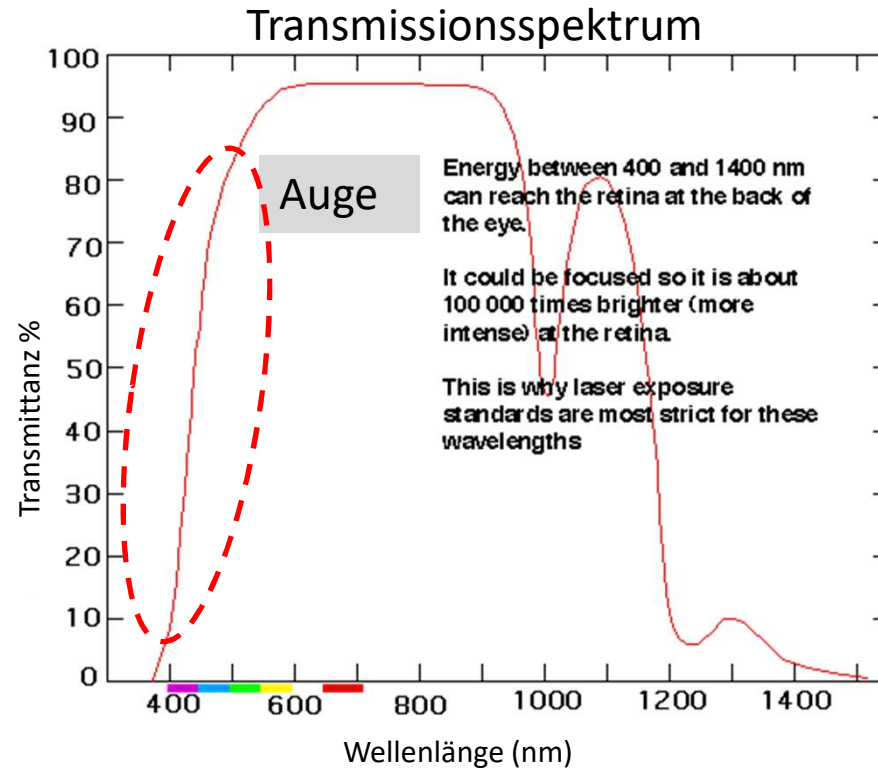
Wie man sieht, ist die Schriftgröße ein wichtiges und entscheidendes Kriterium, wenn es um die Erkennbarkeit bzw. Lesbarkeit von Text bei verschiedenen Sehbehinderungen geht.



*Sicht mit Linsentrübung (Computersimulation).*



## e) Absorption in dem Auge



➡ keine starke Absorption in dem sichtbaren Bereich

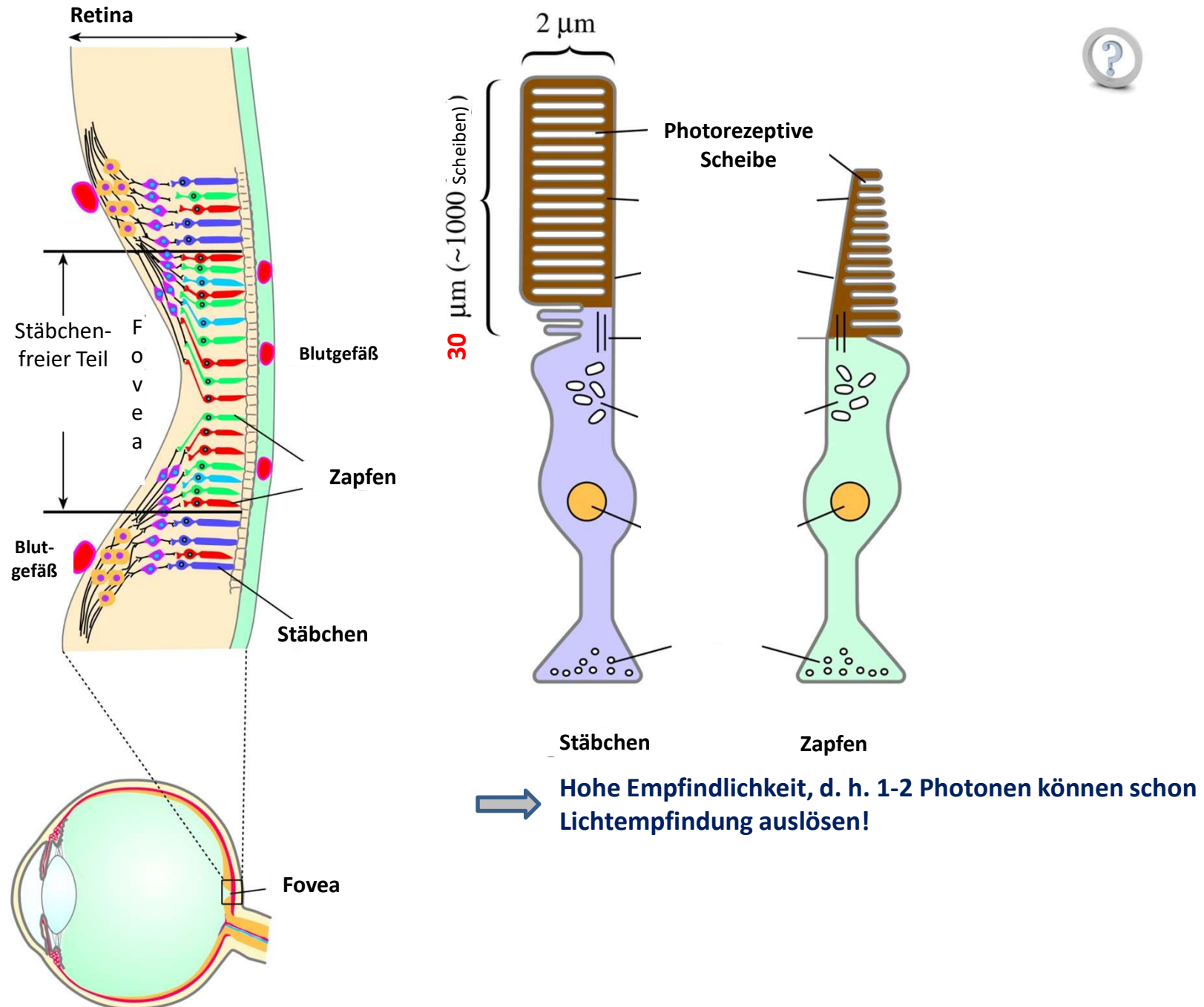
➡ mittelmäßige Absorption in dem blauen/violetten Bereich



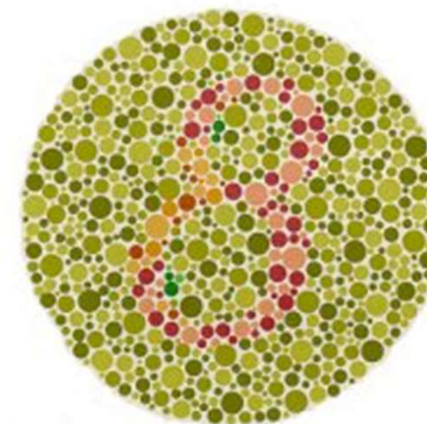
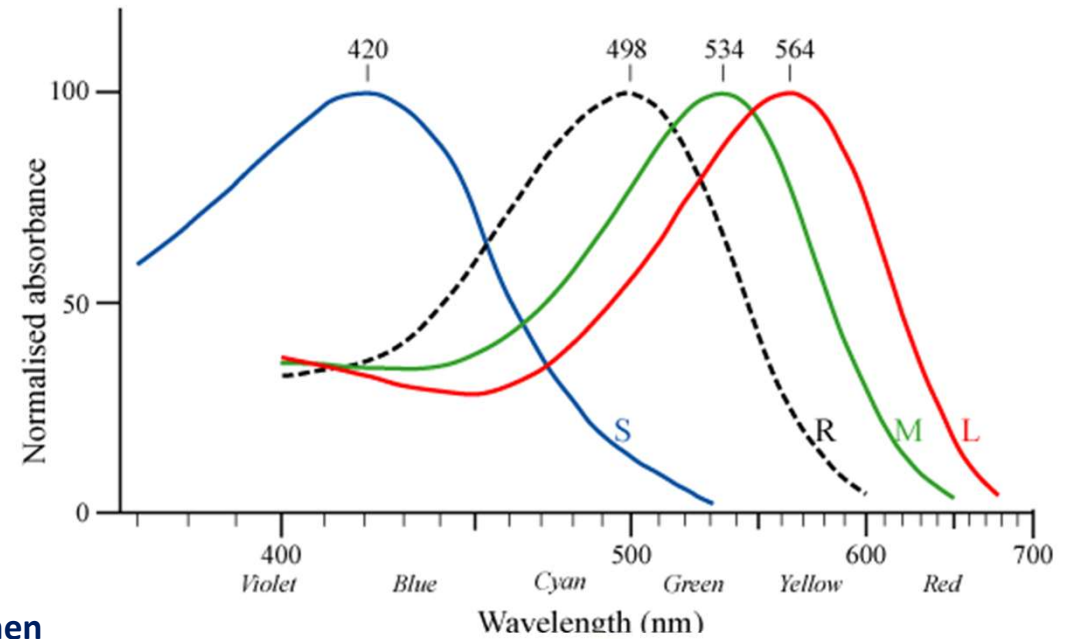
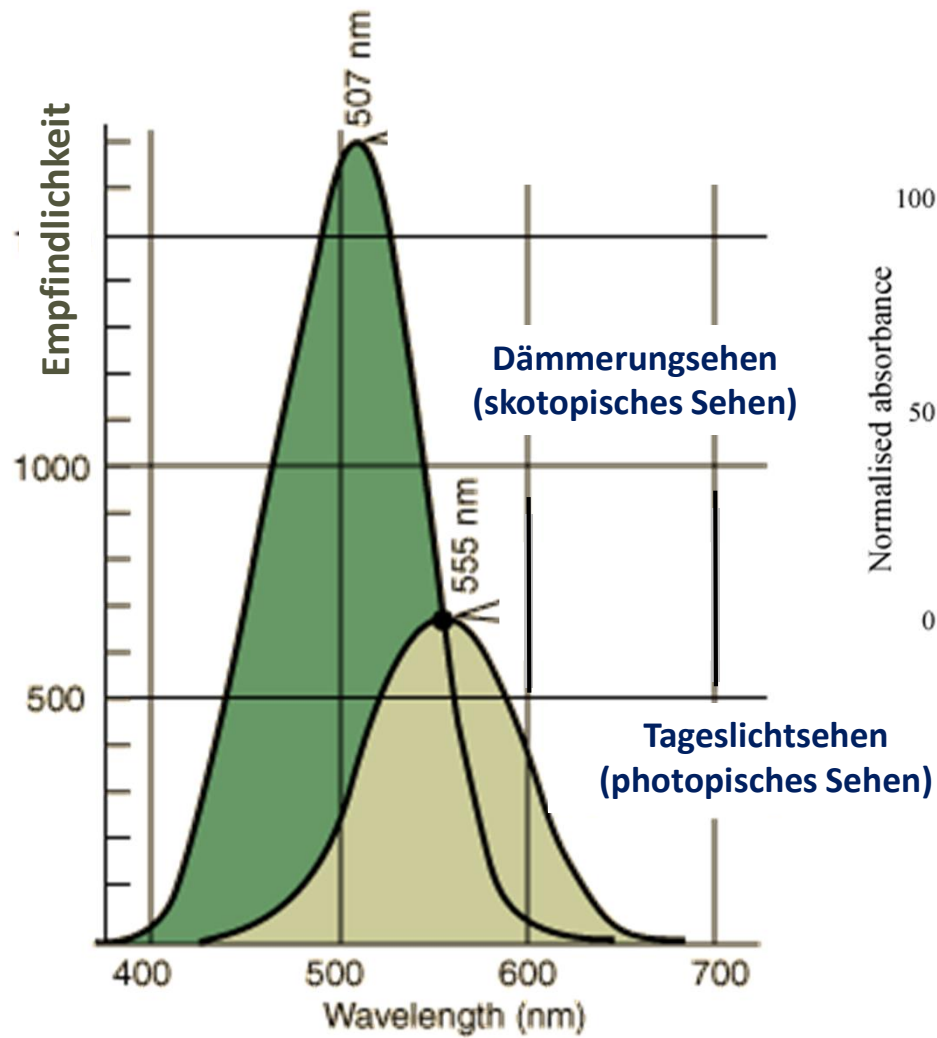
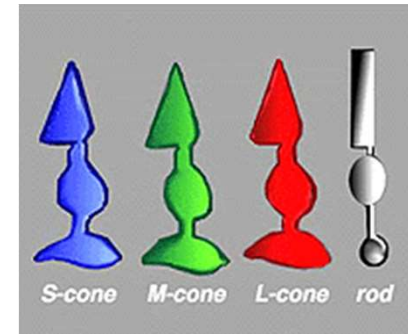
Verminderung der Auswirkungen der chromatischen Aberration



- Absorption in den Rezeptorzellen der Netzhaut - Empfindlichkeit



- Spektrale Empfindlichkeit des Auges - Farbsehen



## f) Raumsehen

