

Das Lichtmikroskop. Biophysik des Auges.

Balázs Kiss

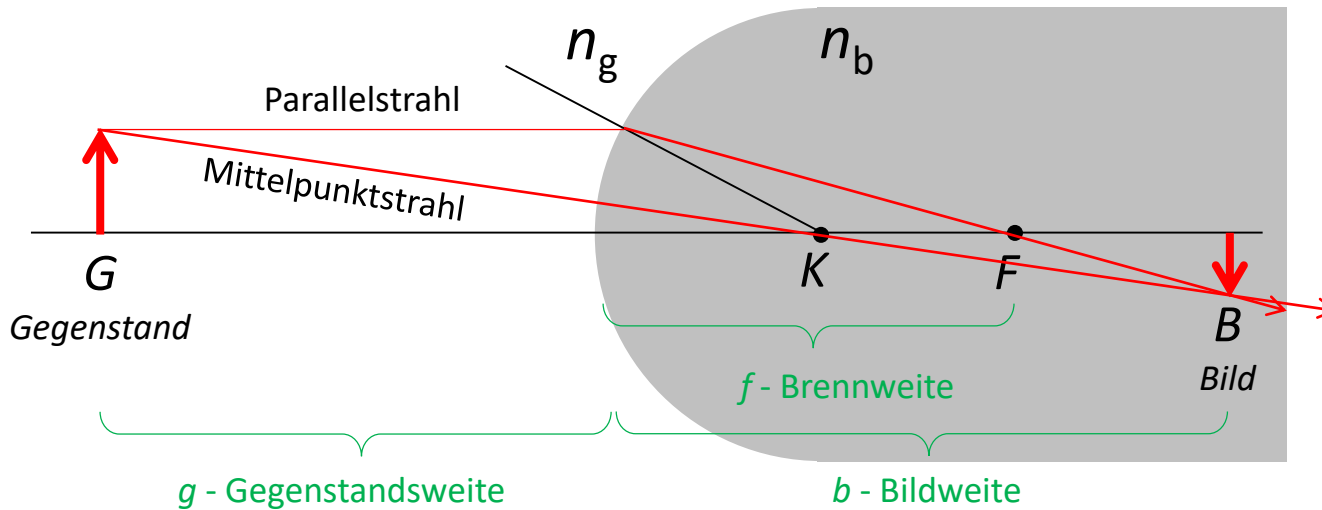
kissb3@gmail.com



**Institut für Biophysik und Strahlenbiologie,
Myofilament-Mechanobiophysik Forschungsgruppe,
Semmelweis Universität**

17. September 2025.

Optische Abbildung durch eine sphärische Grenzfläche



Eigenschaften des Bildes:

- reell
- umgekehrt
- verkleinert

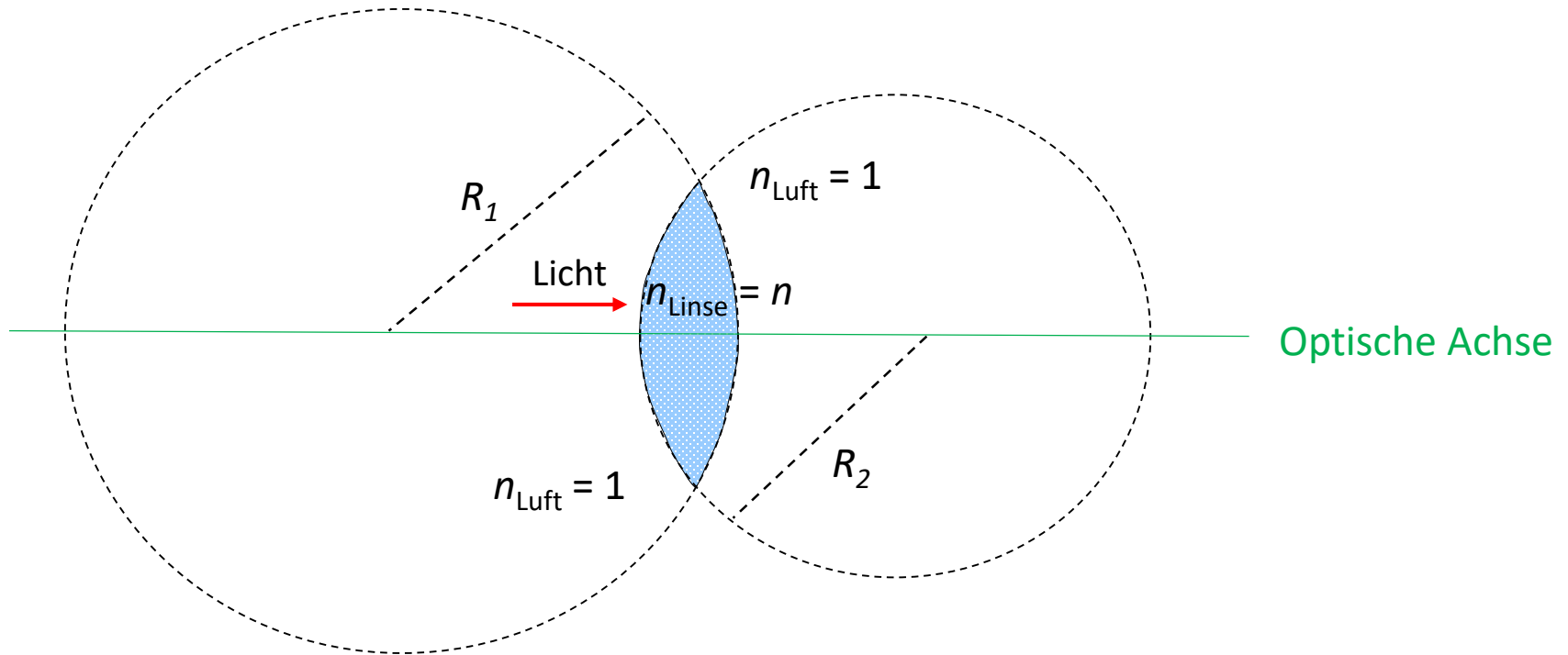
Abbildungsgesetz:
$$D = \frac{1}{f} = \frac{n_g}{g} + \frac{n_b}{b}$$

Gilt nur für
achsennahe
Strahlen!

Sphärische Linsen

Sphärische Linse
ist ein durch Kugelflächen
umgrenzte
Brechungsmedium

Sphärische bikonvexe Linsen:



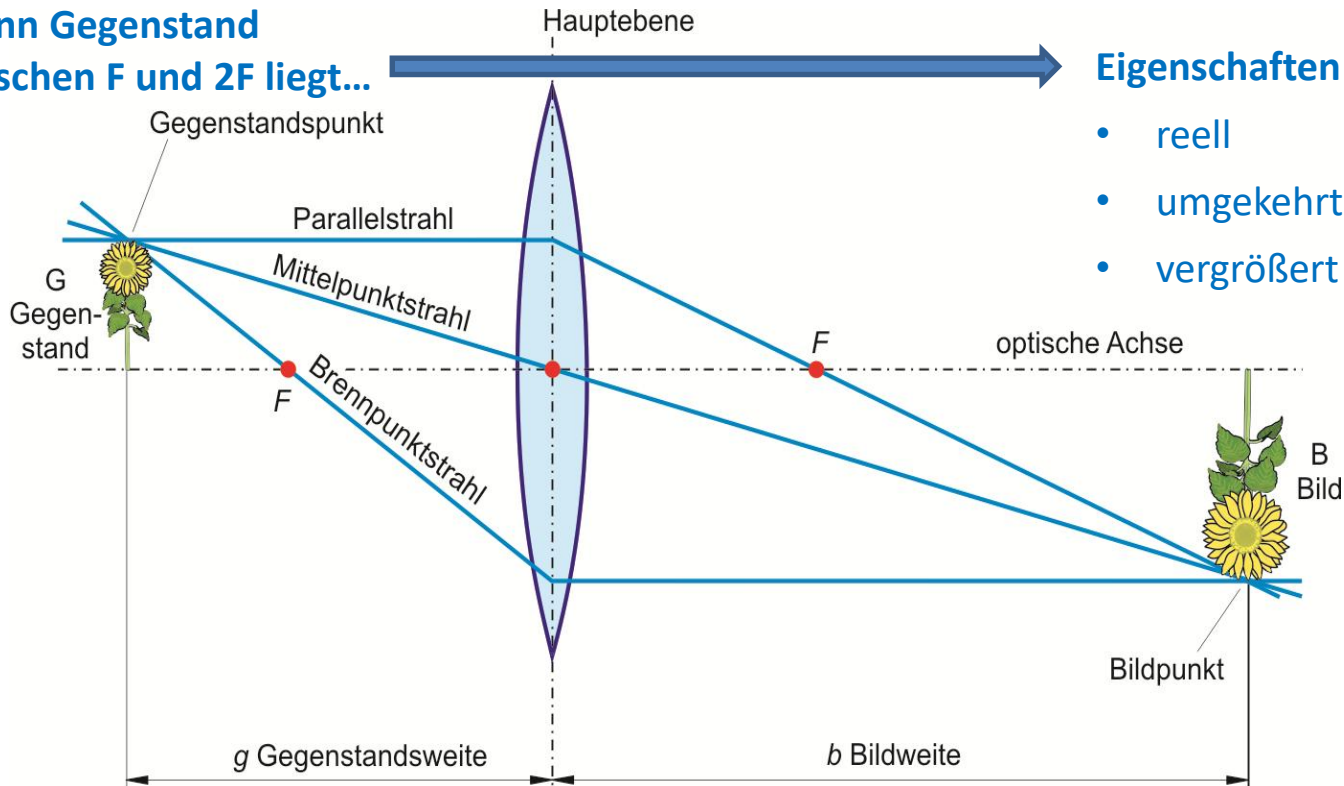
Linenschleiferformel, Brechkraft einer Linse:

$$D = \frac{1}{f} = (n_{21} - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right),$$

R_1 , bzw. R_2 : Krümmungsradius

Abbildung durch eine Linse

Wenn Gegenstand
zwischen F und $2F$ liegt...



Eigenschaften des Bildes:

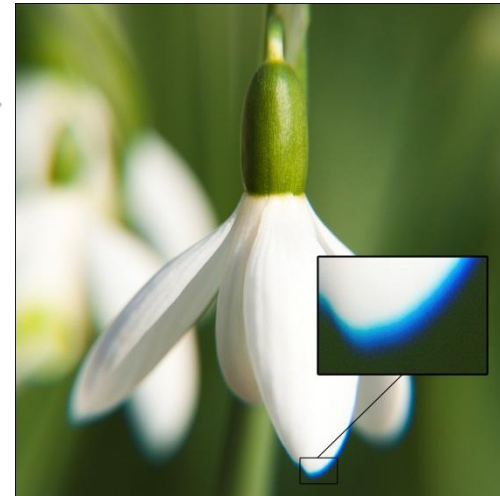
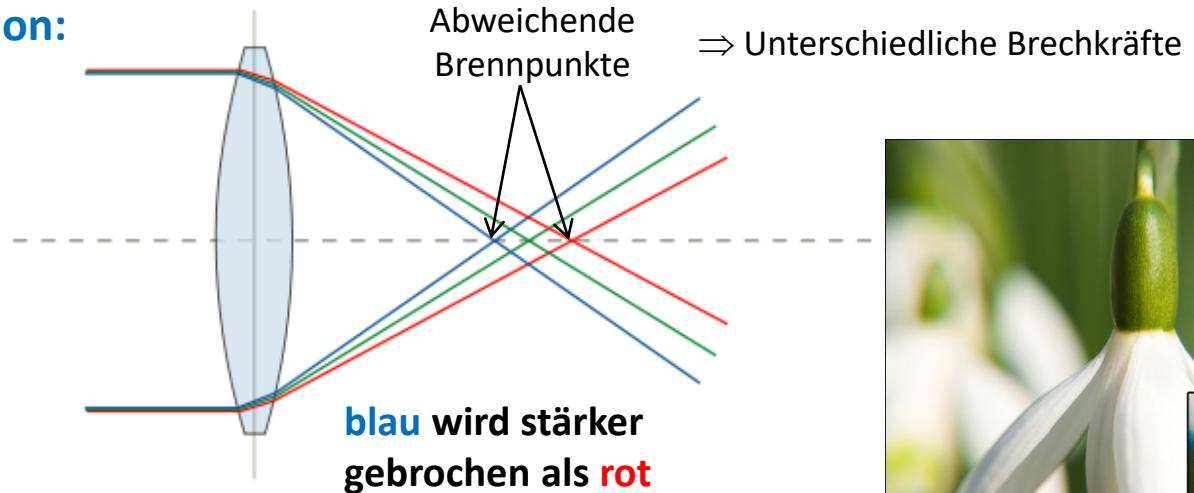
- reell
- umgekehrt
- vergrößert

Linsengleichung: $\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$ (Bei einem virtuellen Bild ist b negativ.)

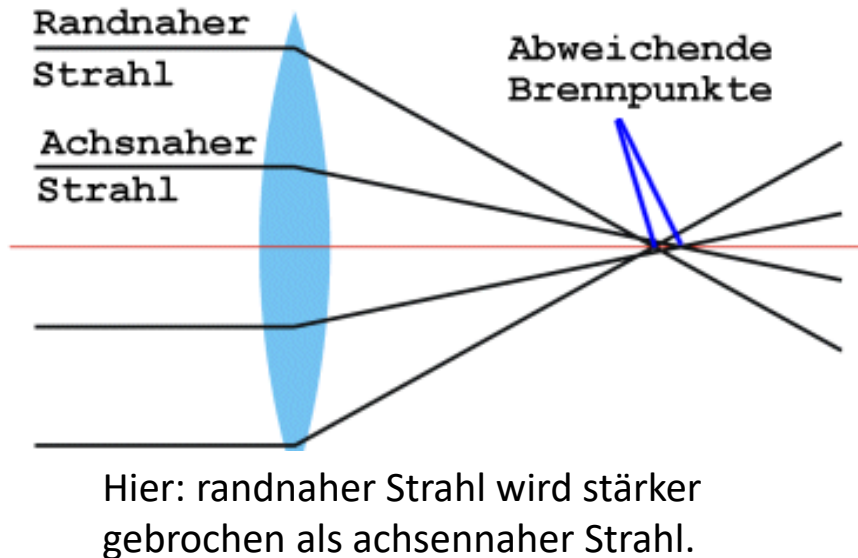
Vergrößerung (V): $V = \frac{B}{G} = \frac{b}{g}$ (Bei einem virtuellen Bild ist B und b und dadurch auch V negativ.)

Linsefehler

Chromatische Aberration:



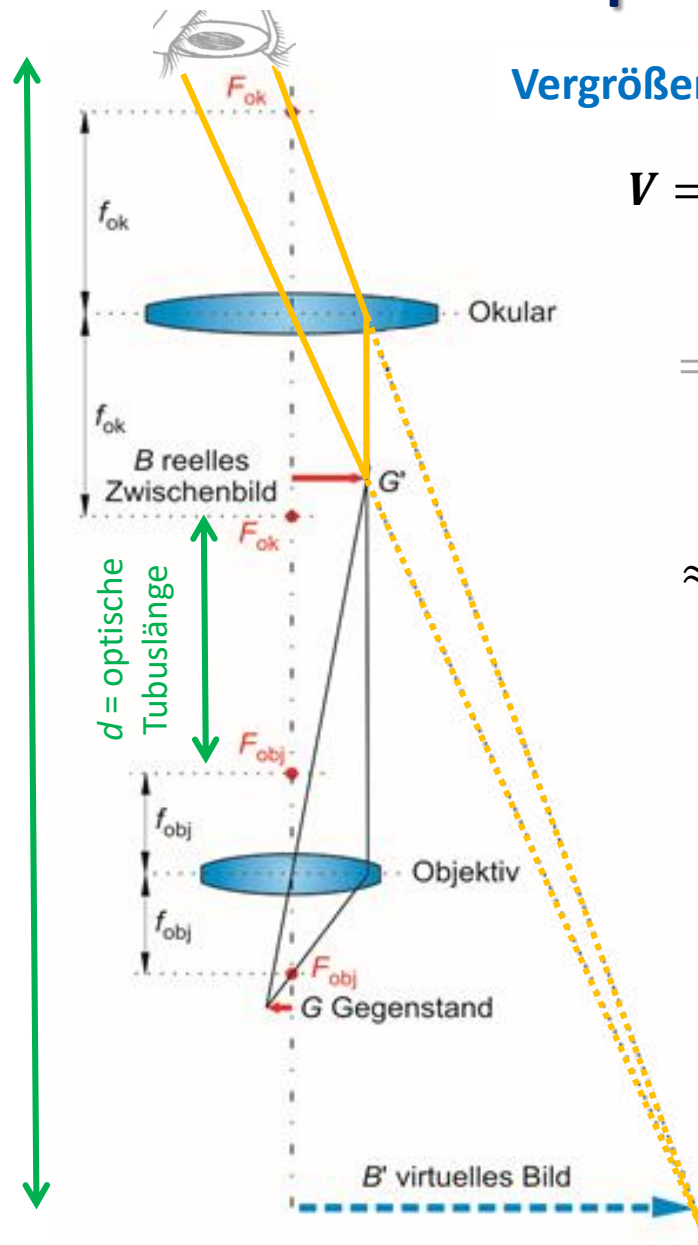
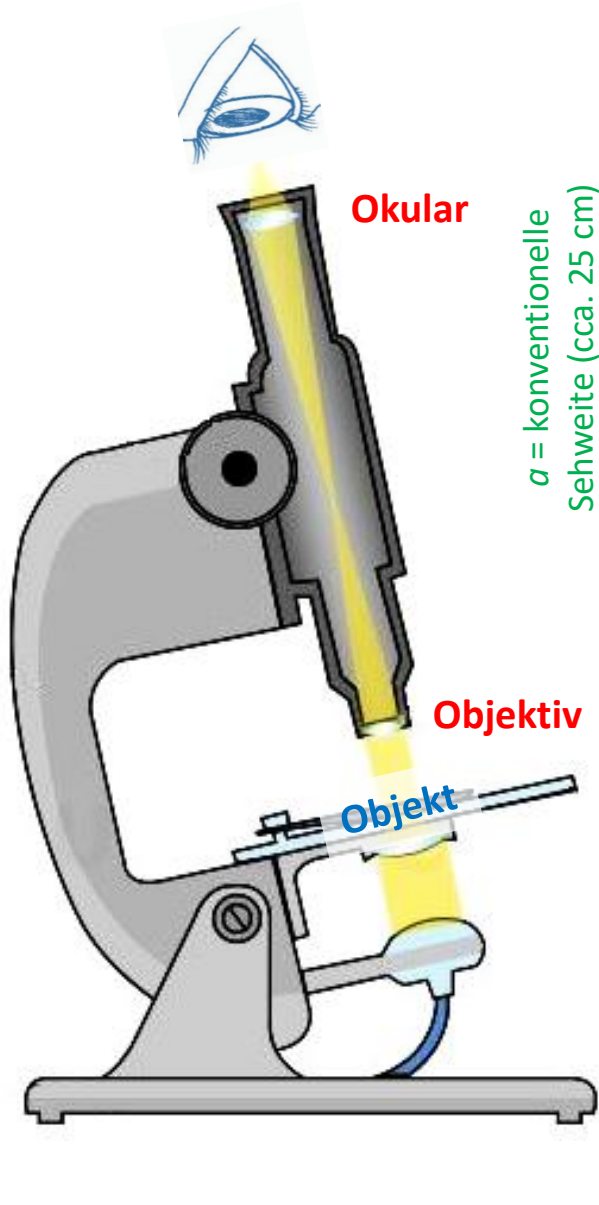
Sphärische Aberration:



Verallgemeinerung:

- Positive sphärische Aberration, wenn randnahe Strahlen stärker gebrochen werden.
- Negative sphärische Aberration, wenn achsennahe Strahlen stärker gebrochen werden.

Das Lichtmikroskop



Vergrößerung des Mikroskops:

$$V = V_{\text{Objektiv}} \cdot V_{\text{Okular}}$$

$$= \frac{b_{\text{Objektiv}}}{g_{\text{Objektiv}}} \cdot \frac{b_{\text{Okular}}}{g_{\text{Okular}}}$$

$$\approx \frac{d}{f_{\text{Objektiv}}} \cdot \frac{-a}{f_{\text{Okular}}}$$

Eigenschaften des Bildes:

- virtuell
- umgekehrt zum Verhältnis von Gegenstand
- vergrößert

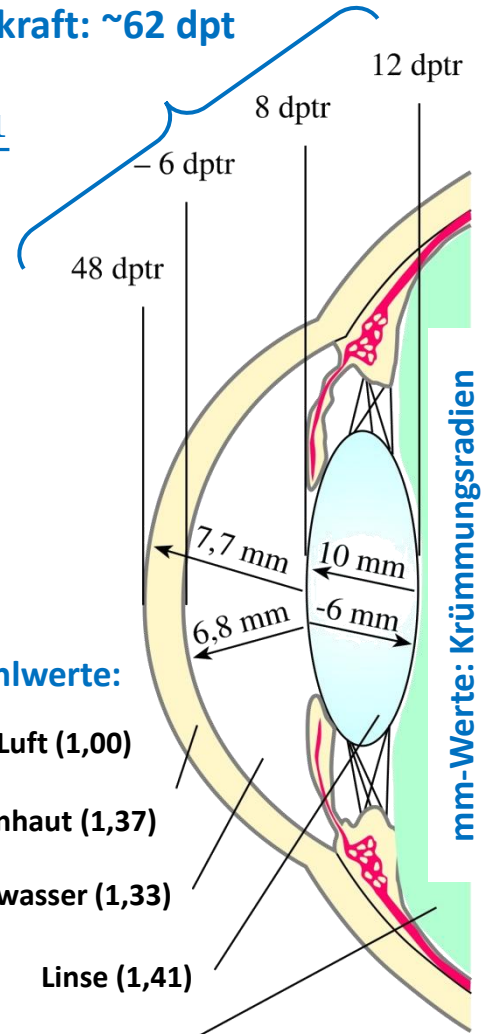
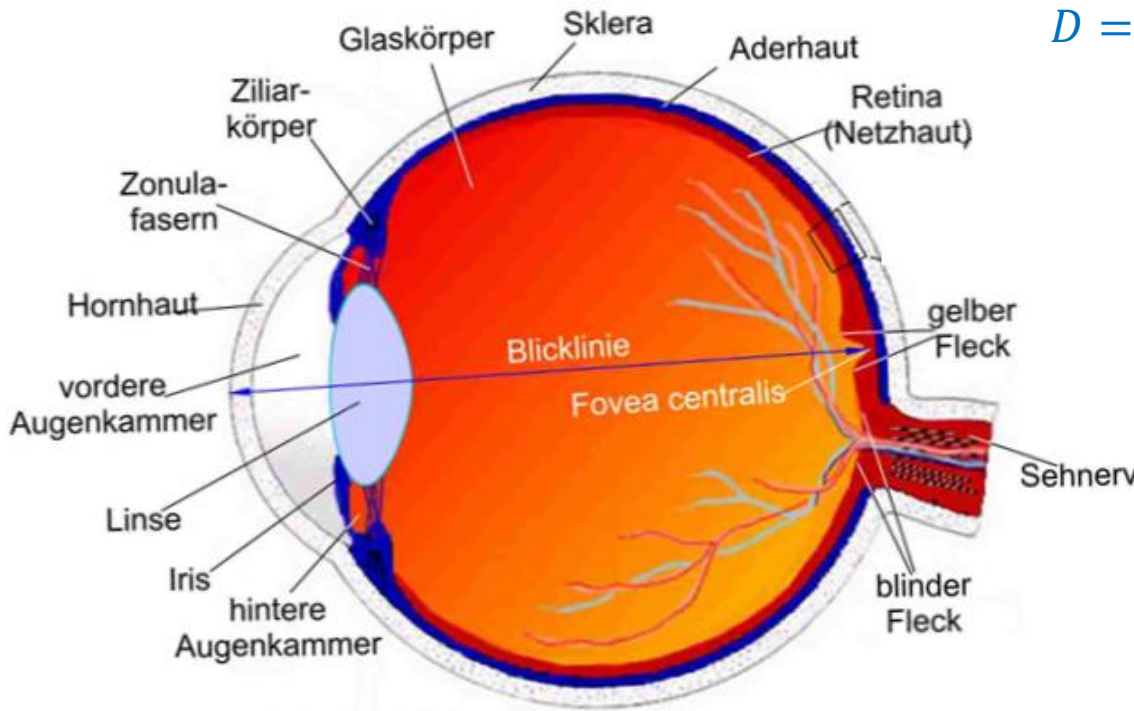
Aufbau des menschlichen Auges

Lichtbrechende Medien des menschlichen Auges:

ohne Akkomodation

Gesamtbrechkraft: ~62 dpt

$$D = \frac{n_2 - n_1}{R}$$



Brechzahlwerte:

Luft (1,00)

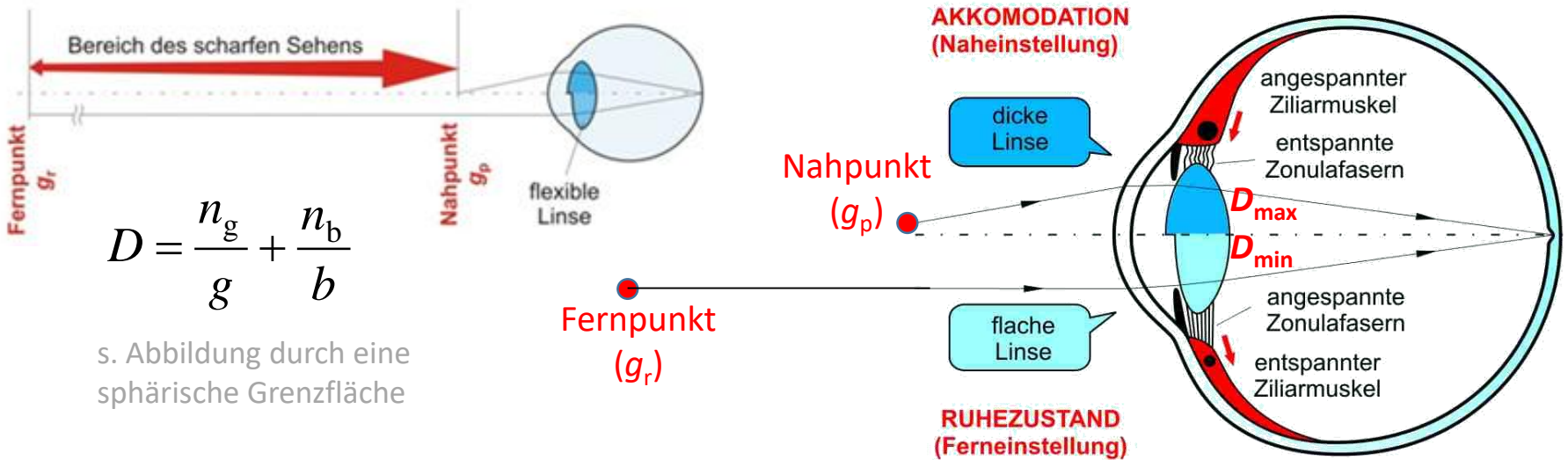
Hornhaut (1,37)

Kammerwasser (1,33)

Linse (1,41)

Glaskörper (1,34)

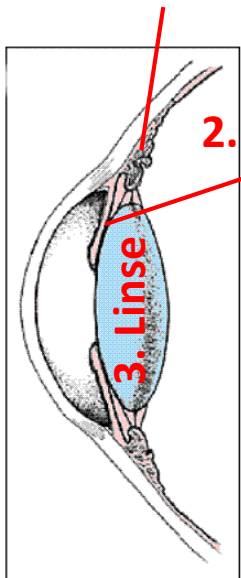
Akkommodation (Brechkraftänderung)



$$D = \frac{n_g}{g} + \frac{n_b}{b}$$

s. Abbildung durch eine sphärische Grenzfläche

1. Ziliarmuskel



2. Zonulafaser

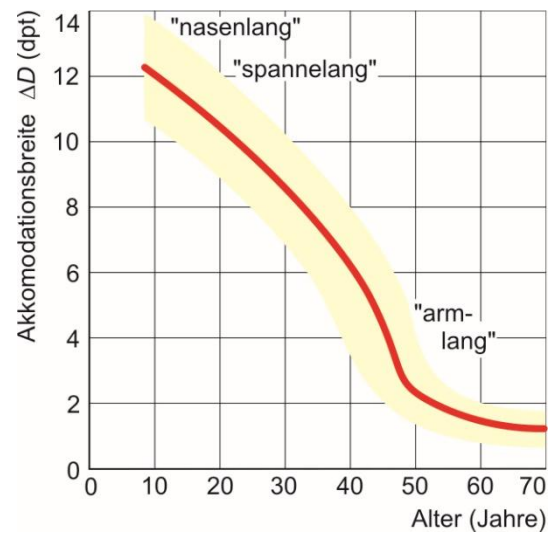
$$D_{max} = \frac{n_g = 1}{g_p} + \frac{n_b}{b}$$

$$D_{min} = \frac{n_g = 1}{g_r} + \frac{n_b}{b}$$

Akkommodationsbreite (ΔD):

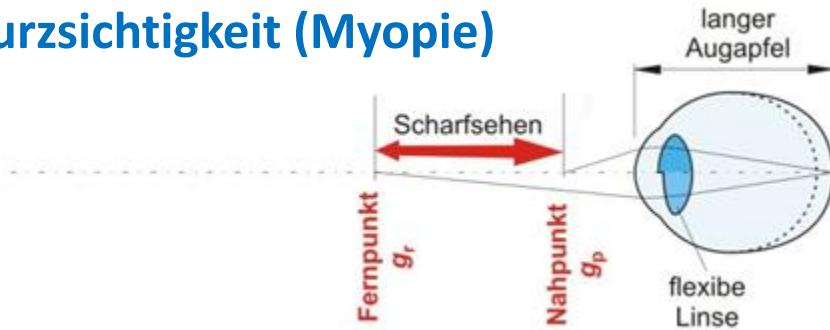
$$\Delta D = D_{max} - D_{min}$$

$$\Delta D = \frac{1}{g_p} - \frac{1}{g_r}$$

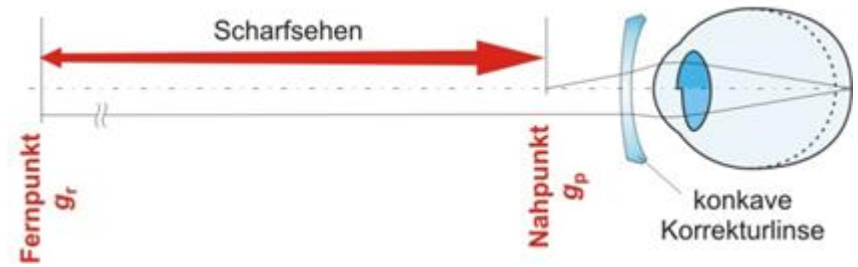


Augenfehler

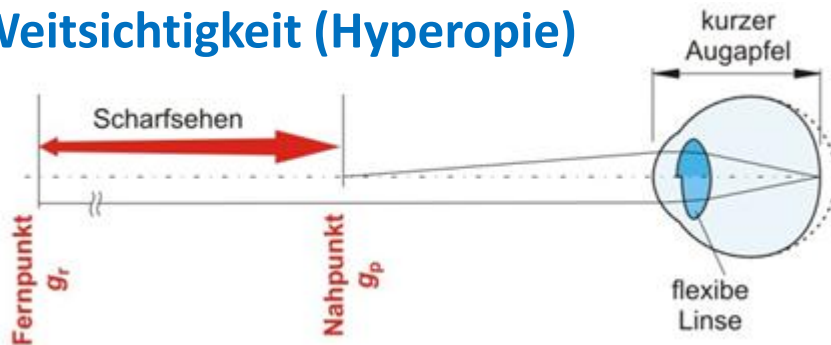
Kurzsichtigkeit (Myopie)



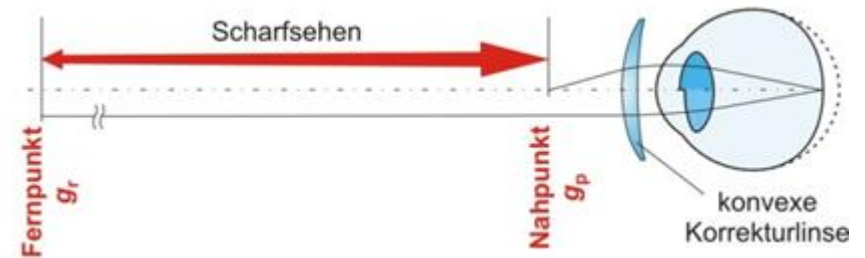
korrigierte Kurzsichtigkeit



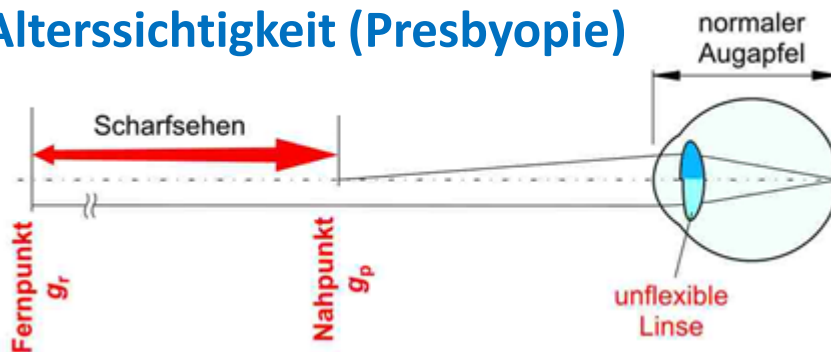
Weitsichtigkeit (Hyperopie)



korrigierte Weitsichtigkeit



Alterssichtigkeit (Presbyopie)

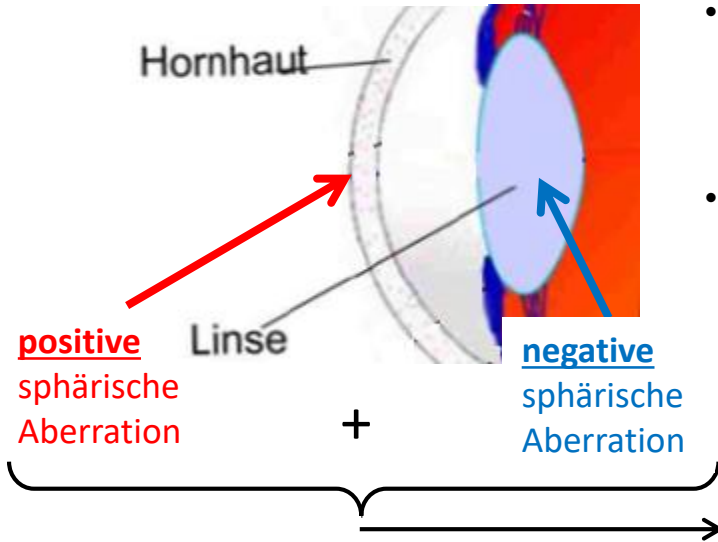


korrigierte Alterssichtigkeit

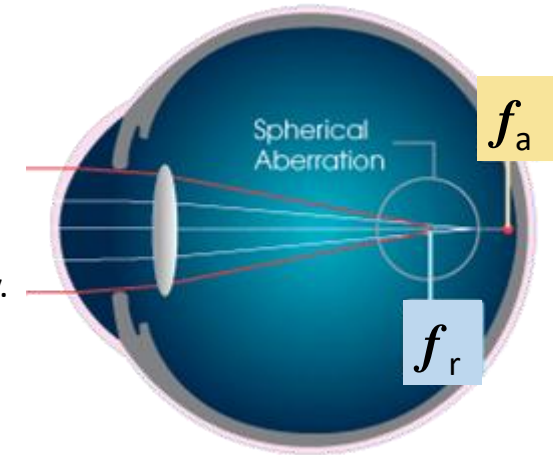


Abbildungsfehler im Auge

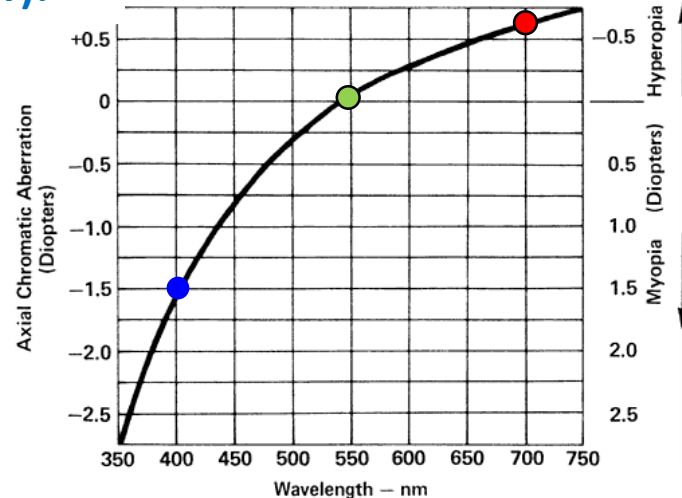
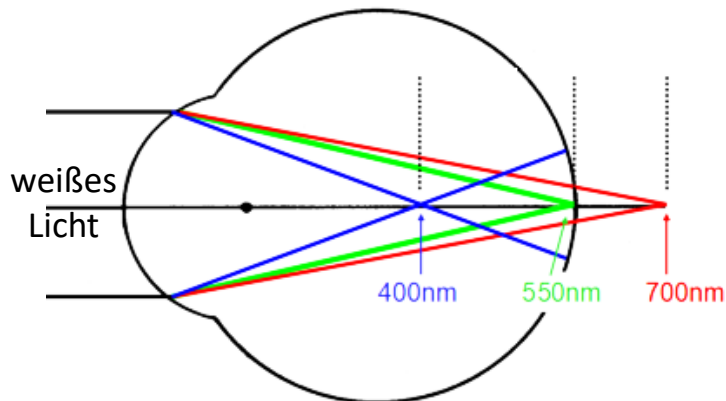
Sphärische Aberration:



- Bei engeren Pupillen: Gesamtaberration leicht positiv, fast gleich Null.
- Bei weiten Pupillen: Gesamtaberration stärker positiv.

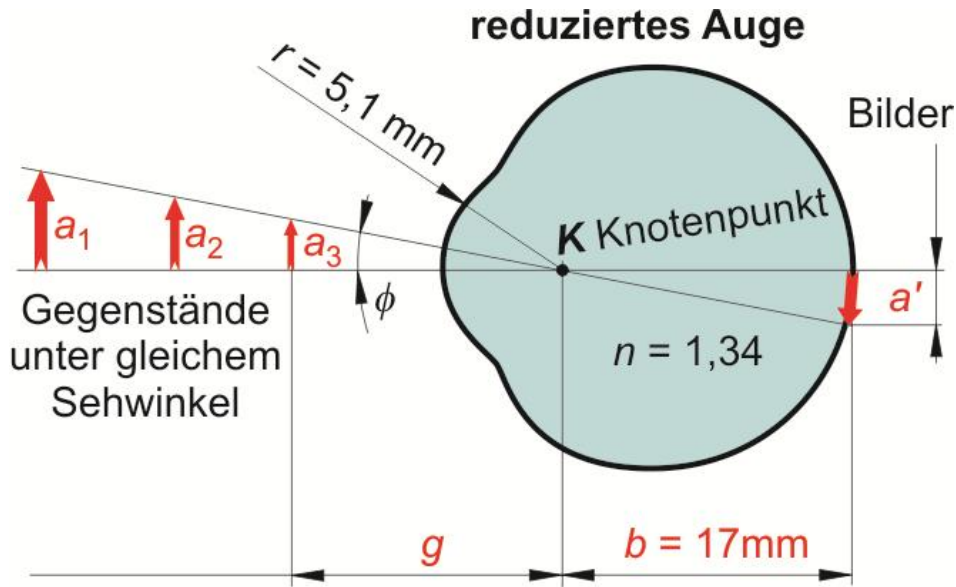


Chromatische Aberration (Farbfehler):



Bildentstehung im Auge

Modellkörper: das reduzierte Auge



Brechkraft des reduzierten Auges:

$$D = \frac{n_2 - n_1}{r} =$$

Eigenschaften des Bildes:

- reell
- umgekehrt
- verkleinert

Sehwinkelgrenze (α):

Der minimale Sehwinkel unter welchem man zwei Gegenstandspunkte noch gerade getrennt sieht.

Referenzwert: $1'$ (1 Winkelminute)

Auflösungsvermögen (salopper „Auflösung“):

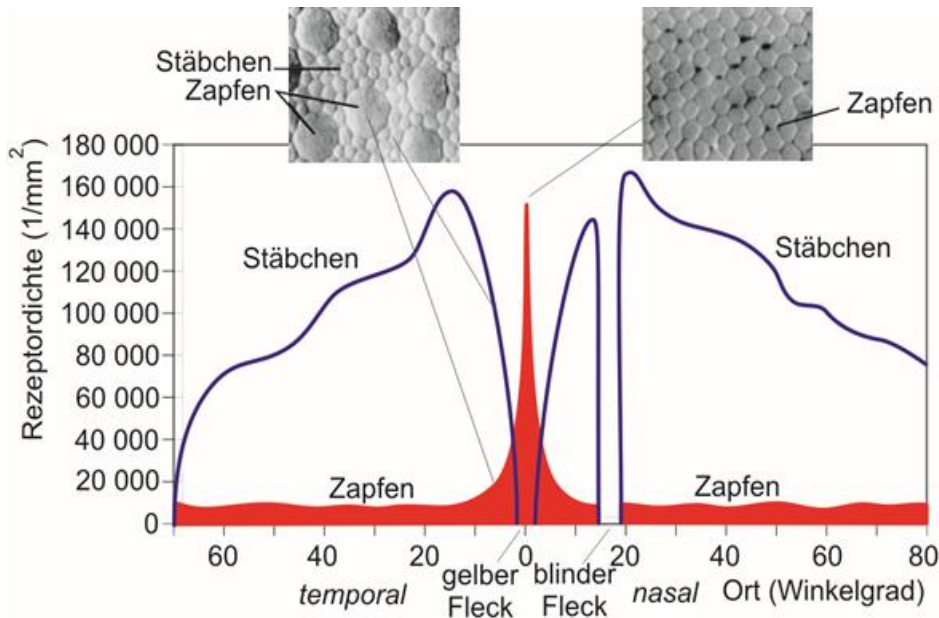
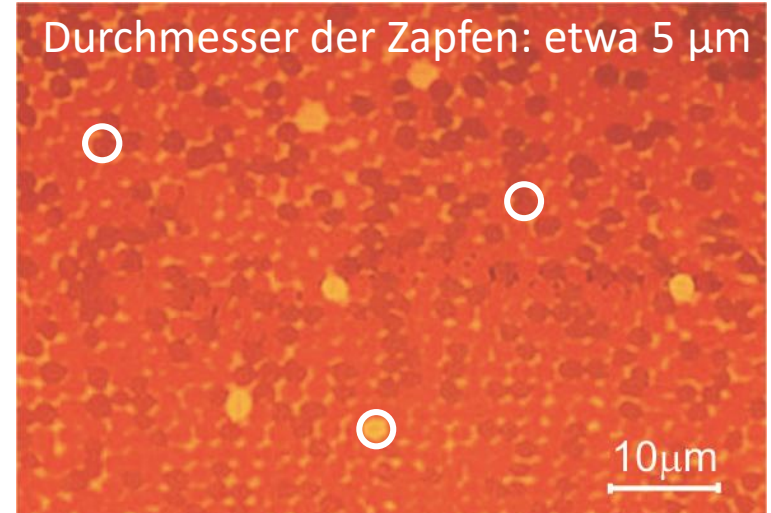
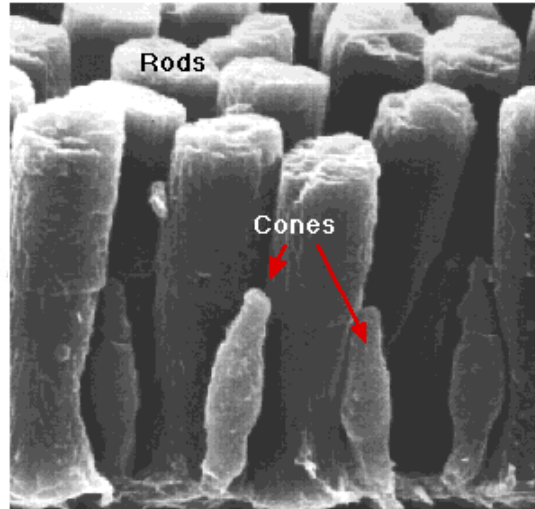
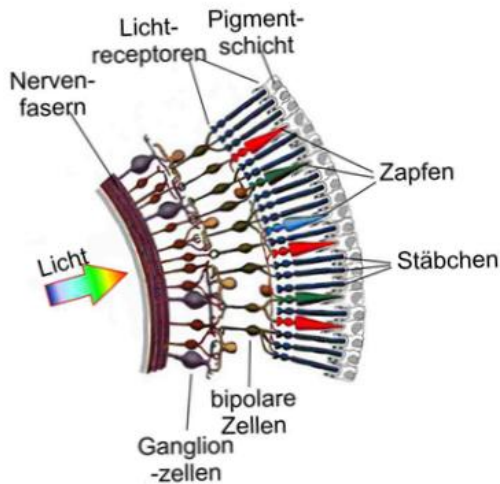
$$= \frac{1}{\alpha} \left(\frac{1}{1'} \right)$$

Referenzwert: $= \frac{1}{1'}$

Sehschärfe (Visus):

$$= \frac{1'}{\alpha(')} \quad (\cdot 100\%)$$

Photorezeptoren im Auge



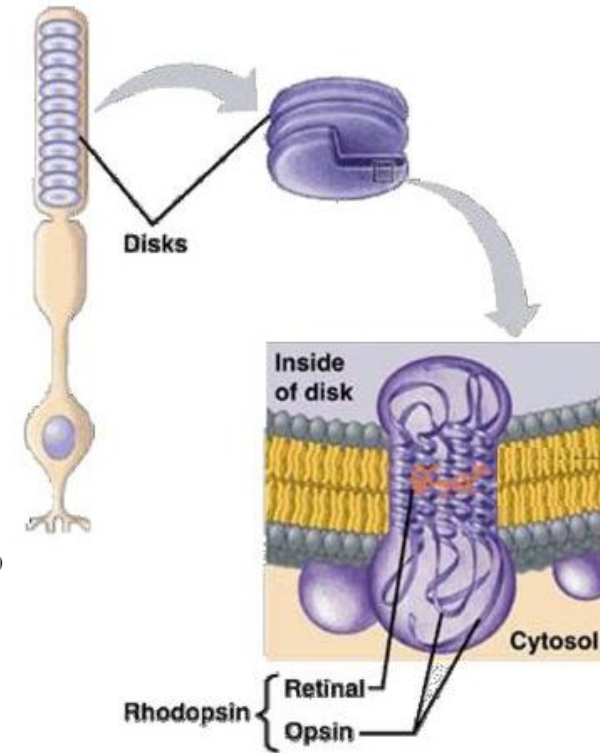
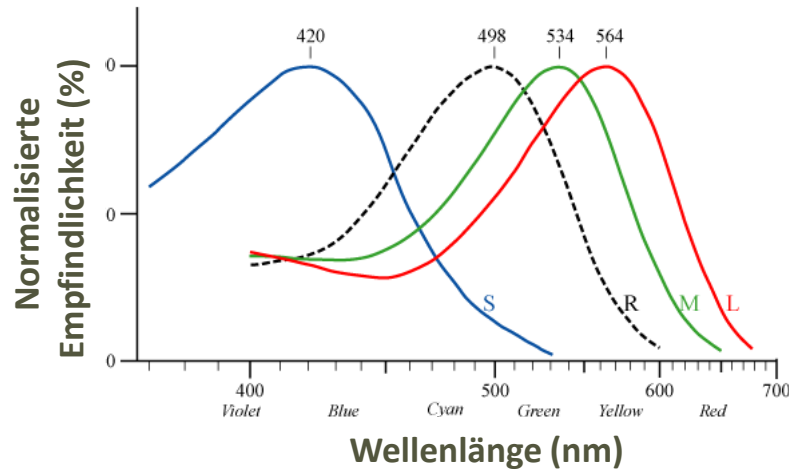
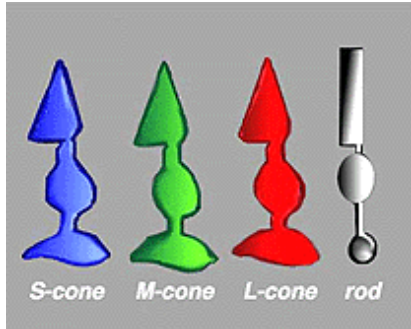
Gegenstands-punkte	Bildpunkte auf dem Retina	Empfindung

Schwinkel-grenze infolge der Rezeptoren-dichte (α):

$$\alpha =$$

Farbsehen

Spektrale Empfindlichkeit des menschlichen Auges:



Farbblindheit:

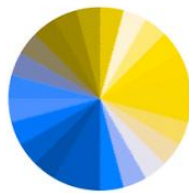
Mutationen der **Opsin** Proteine → Strukturänderung von **Rhodopsin**



Normal colour vision



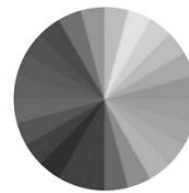
Deuteranopia



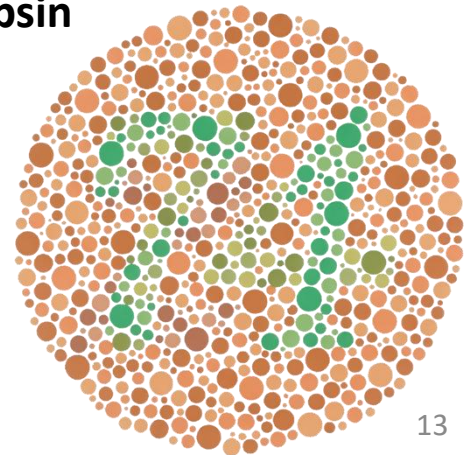
Protanopia



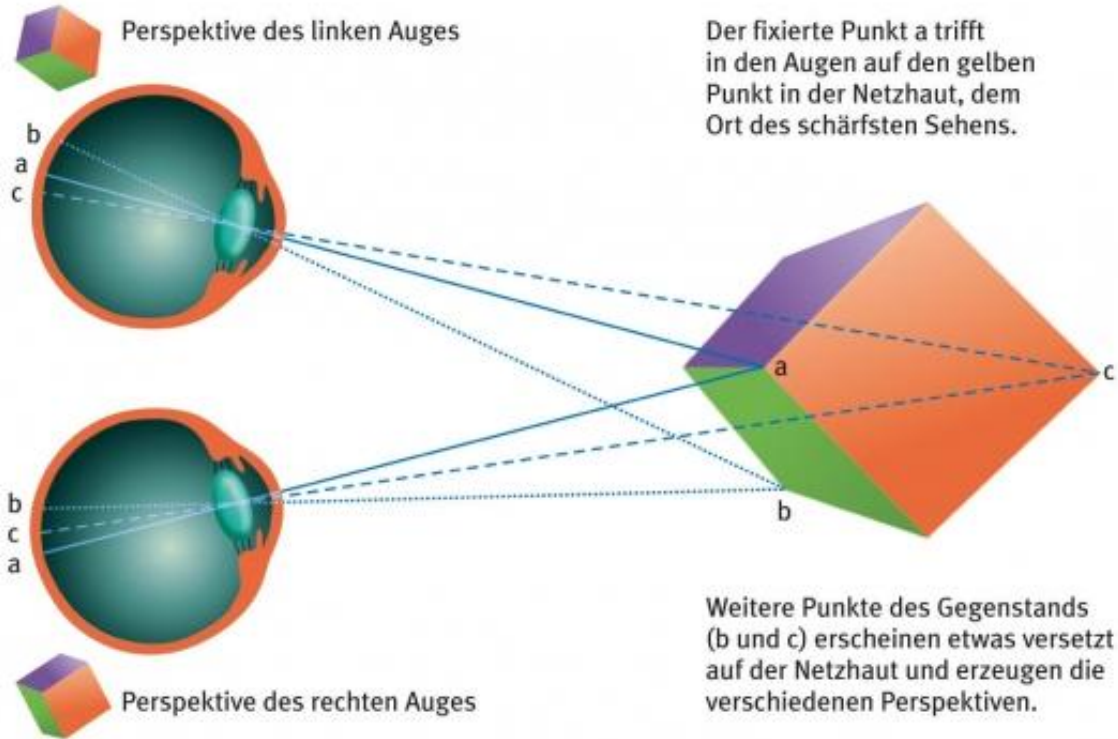
Tritanopia



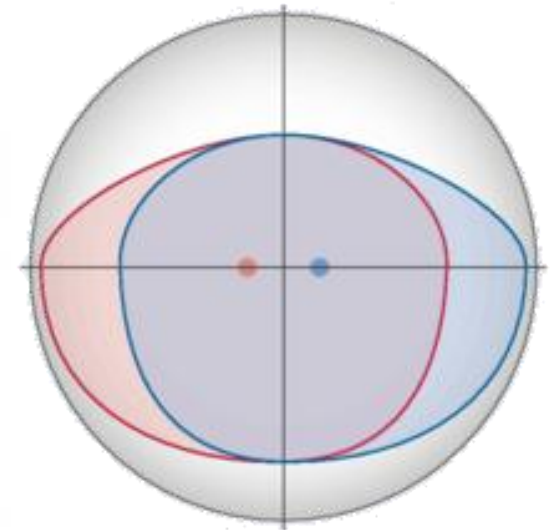
Monochromacy



Räumliches Sehen



überlappende Gesichtsfelder



Hausaufgaben

Aufgabensammlung

2. 10-17, 20, 22, 24

4.5-8, 14

Feedback