

Das Lichtmikroskop. Biophysik des Auges.

Dr. Balázs Kiss

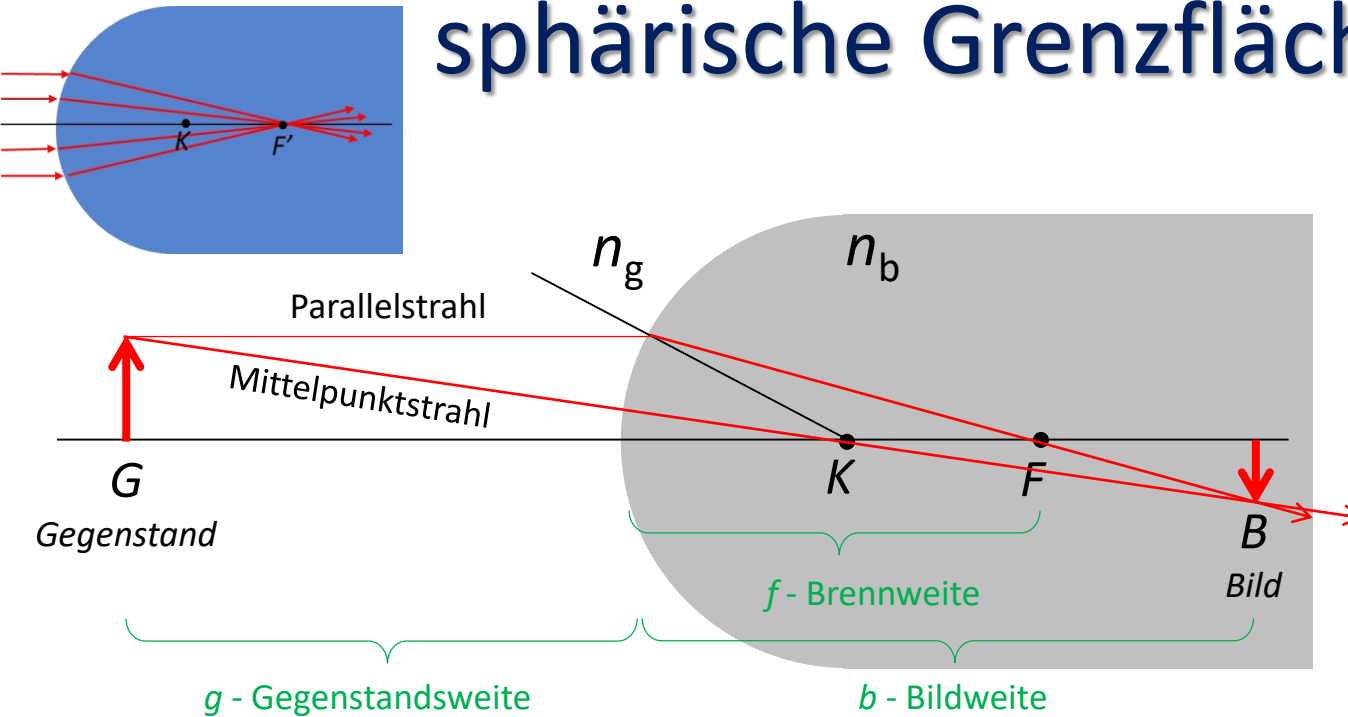
Myofilament-Mechanobiophysik Forschungsgruppe,
Institut für Biophysik und Strahlenbiologie.

16. September 2026.



SEMMELWEIS
UNIVERSITY 1769

Optische Abbildung durch eine sphärische Grenzfläche



Eigenschaften des Bildes:

- reell
- umgekehrt
- verkleinert

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

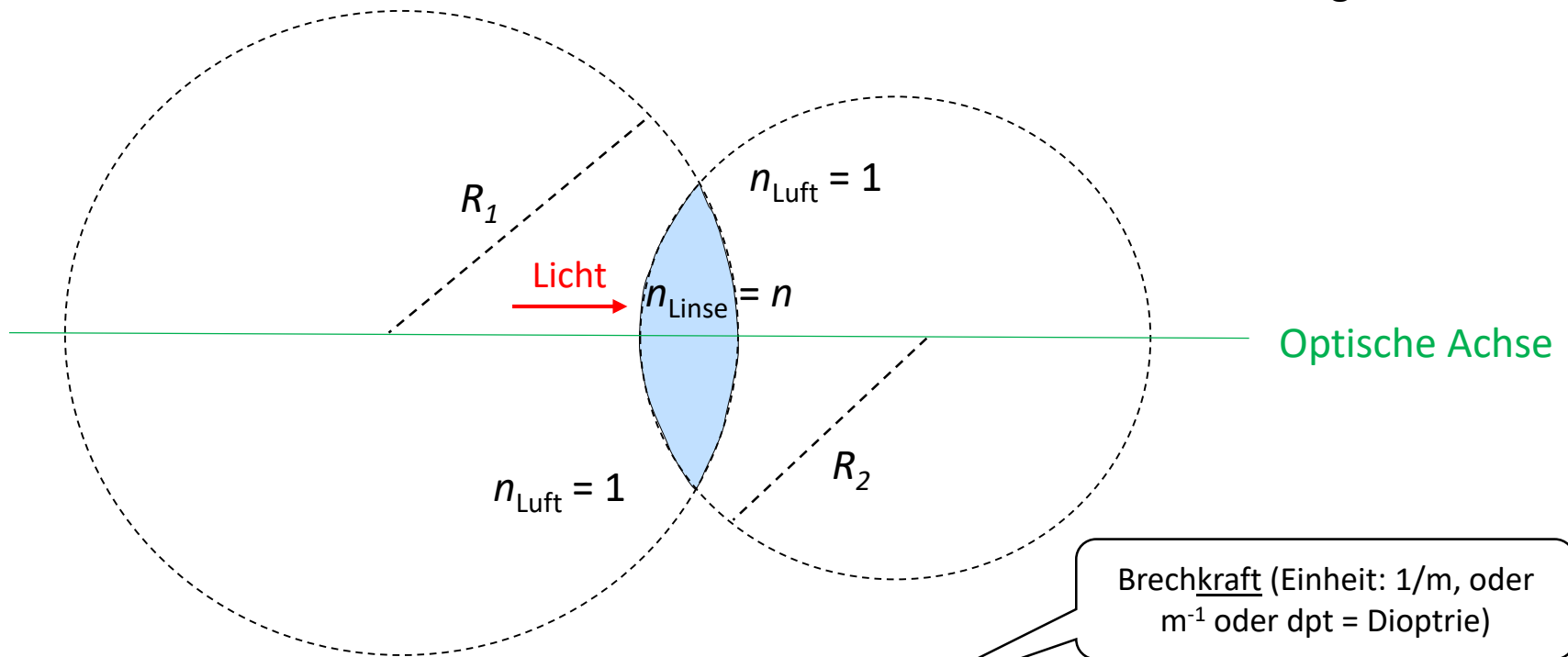
Gilt nur für
achsennahe
Strahlen!

Sphärische Linsen

Sphärische Linse

ist ein durch Kugelflächen
umgrenzte
Brechungsmedium

Sphärische bikonvexe Linsen:



Linsenschleiferformel, Brechkraft einer Linse:

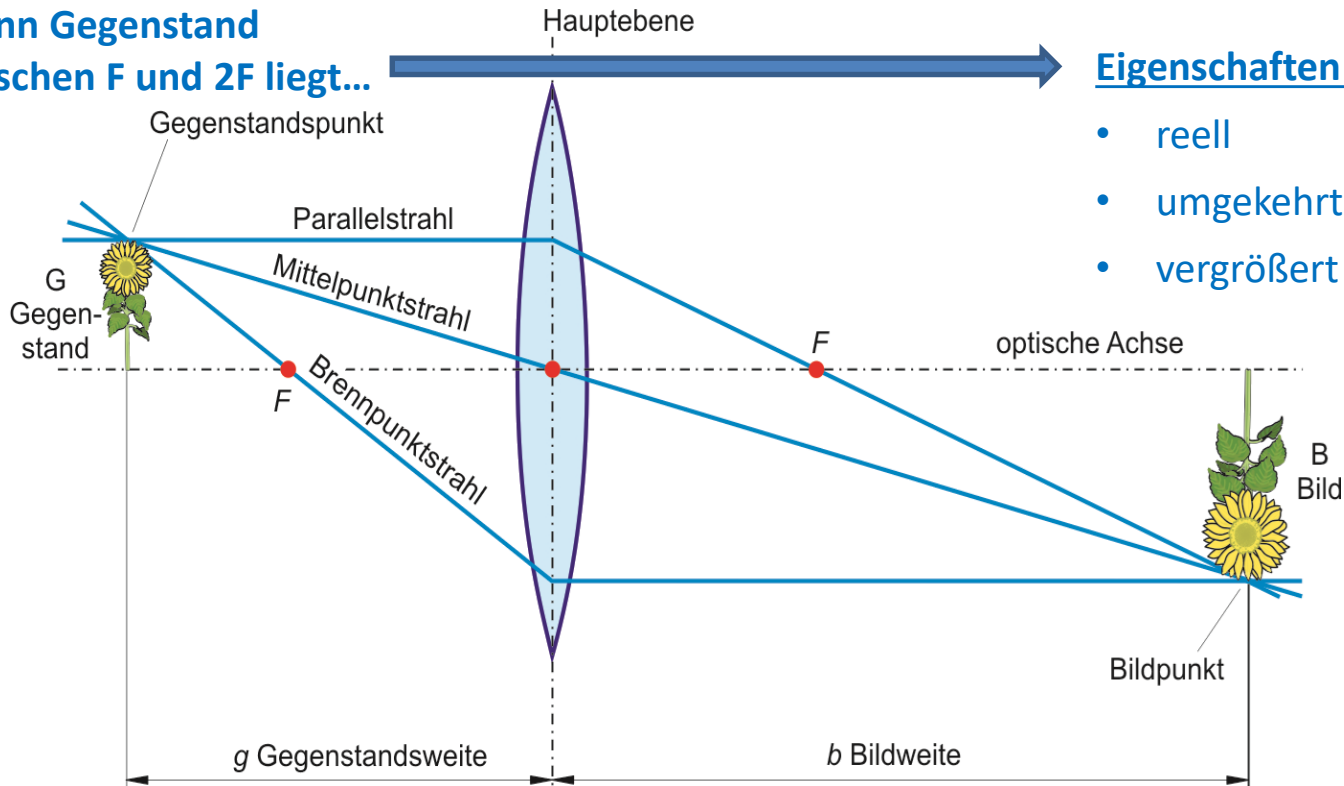
$$D = \frac{1}{f} = (n_{21} - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right),$$

R_1 , bzw. R_2 : Krümmungsradius

Brechkraft (Einheit: 1/m, oder
 m^{-1} oder dpt = Dioptrie)

Abbildung durch eine Linse

Wenn Gegenstand
zwischen F und 2F liegt...



Eigenschaften des Bildes:

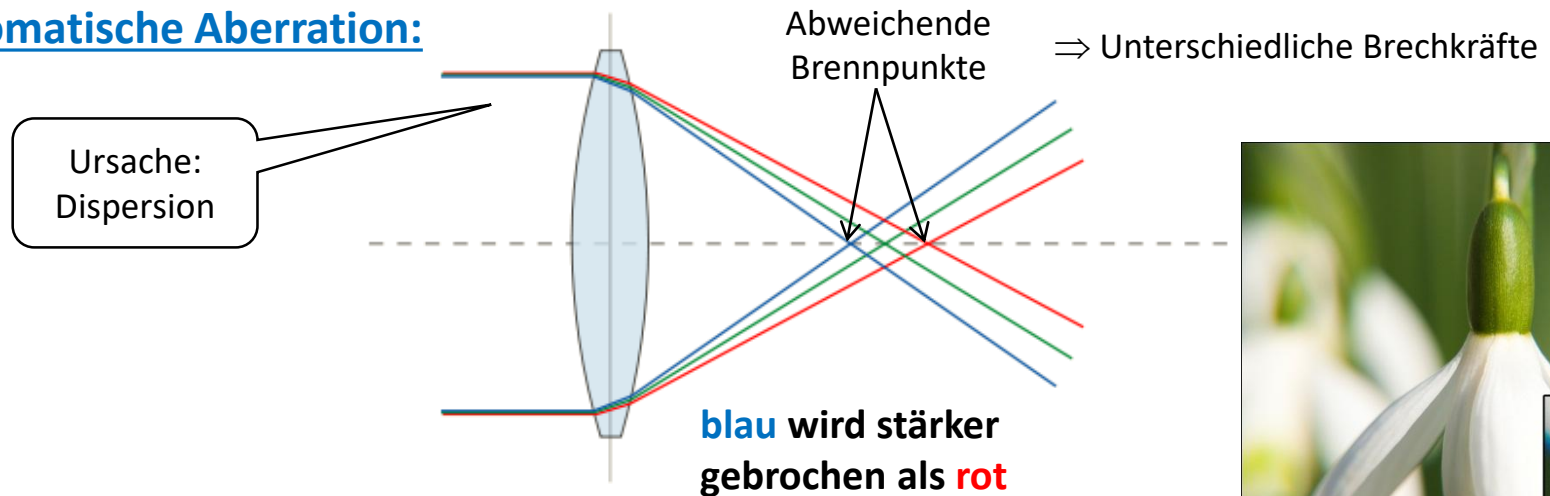
- reell
- umgekehrt
- vergrößert

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

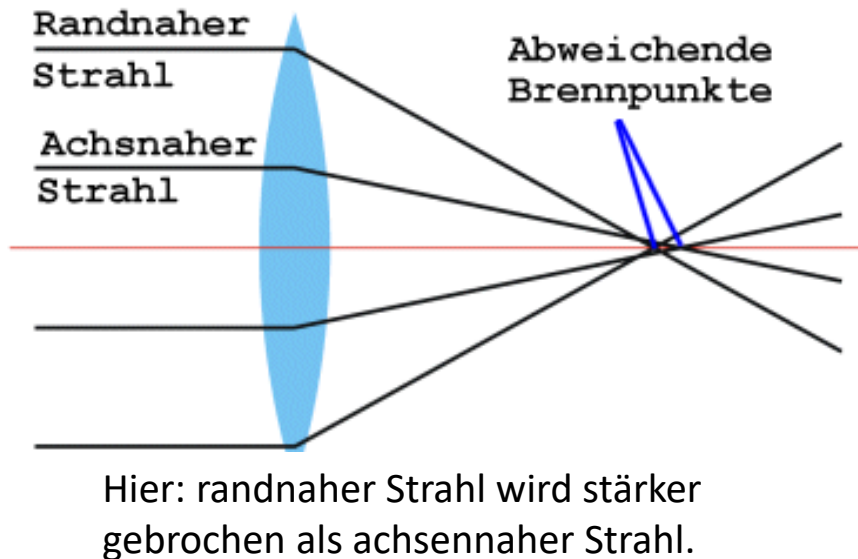
Vergrößerung (V): $V = \frac{B}{G} = \frac{b}{g}$ (Bei einem virtuellen Bild ist B und b und dadurch auch V negativ.)

Linsefehler

Chromatische Aberration:



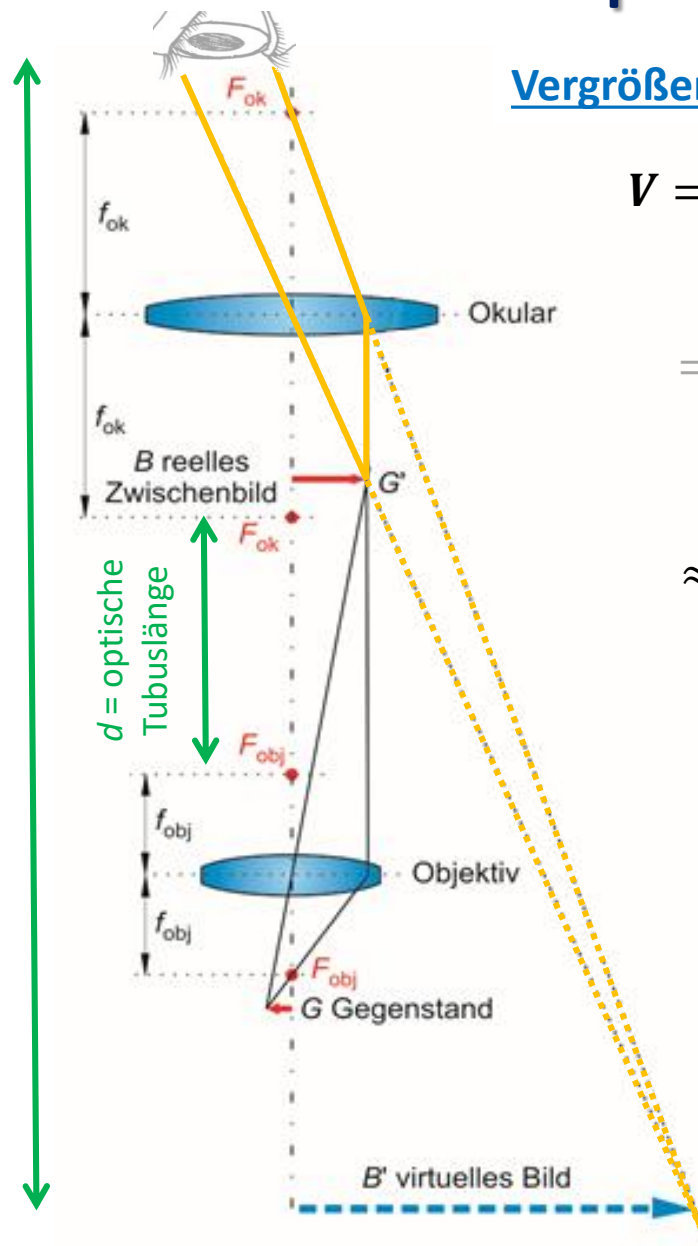
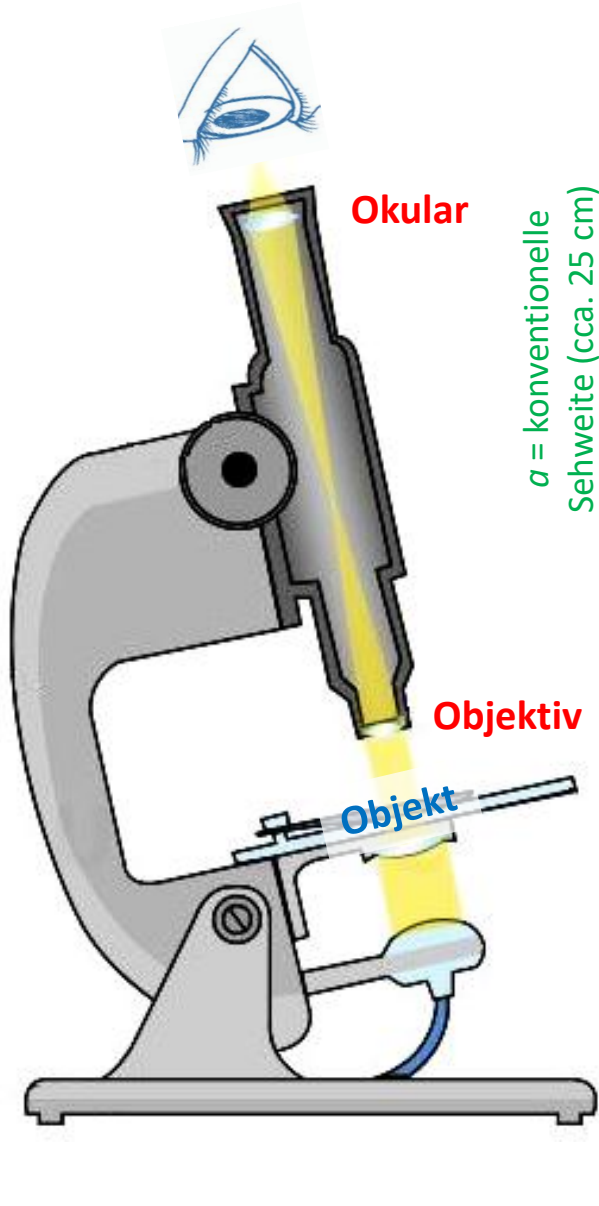
Sphärische Aberration:



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

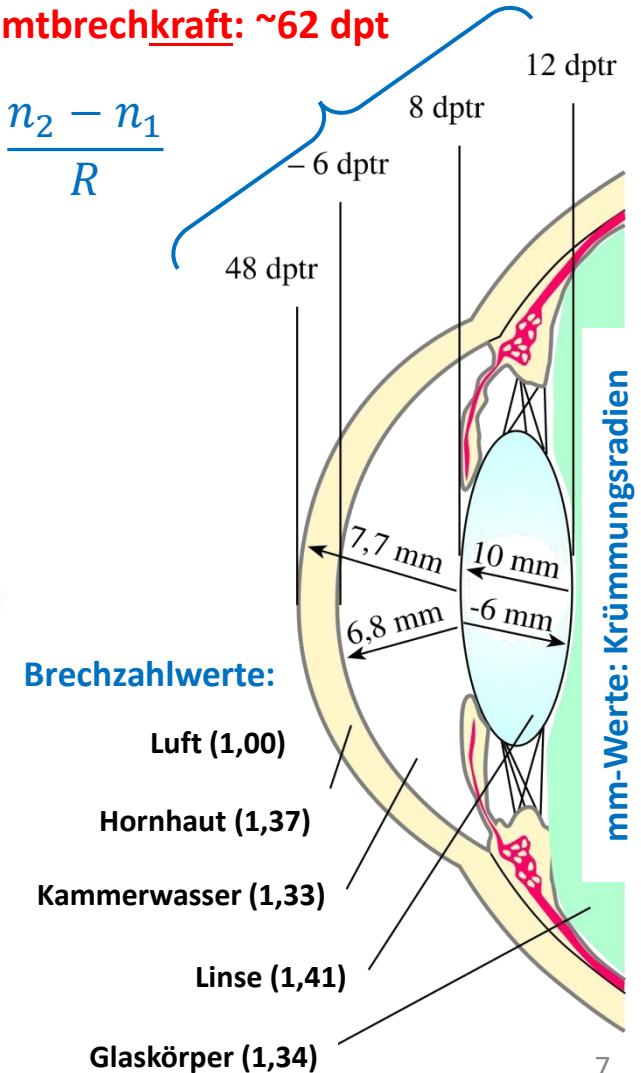
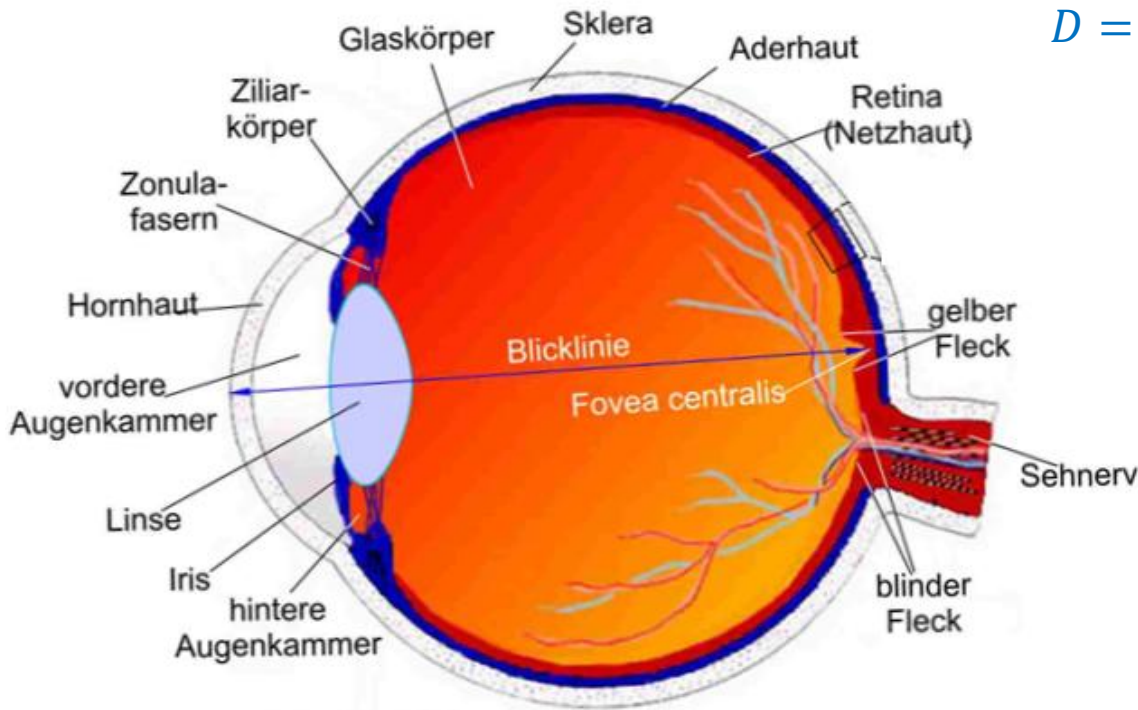
Aufbau des menschlichen Auges

Lichtbrechende Medien des menschlichen Auges:

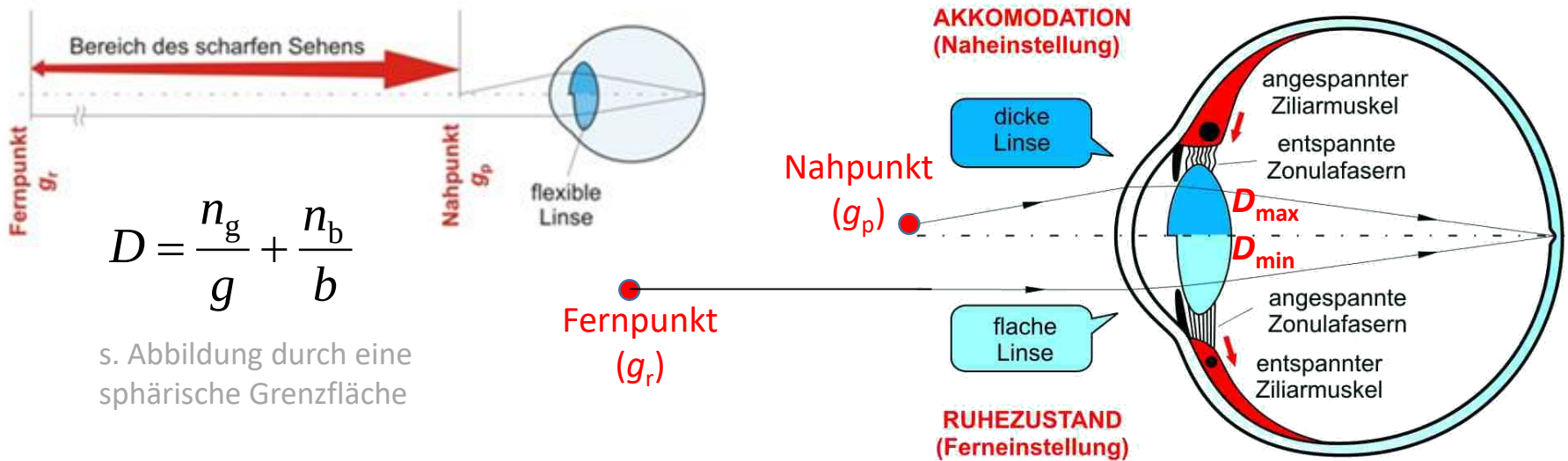
ohne
Akkommodation

Gesamtbrechkraft: ~62 dpt

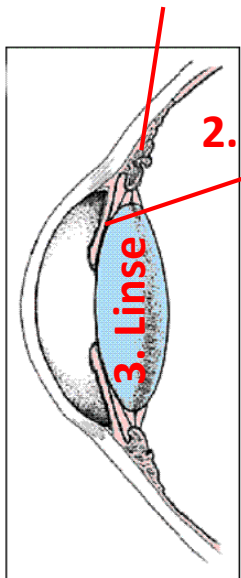
$$D = \frac{n_2 - n_1}{R}$$



Akkommodation (Brechkraftänderung)



1. Ziliarmuskel



Akkommodationsbreite (ΔD):

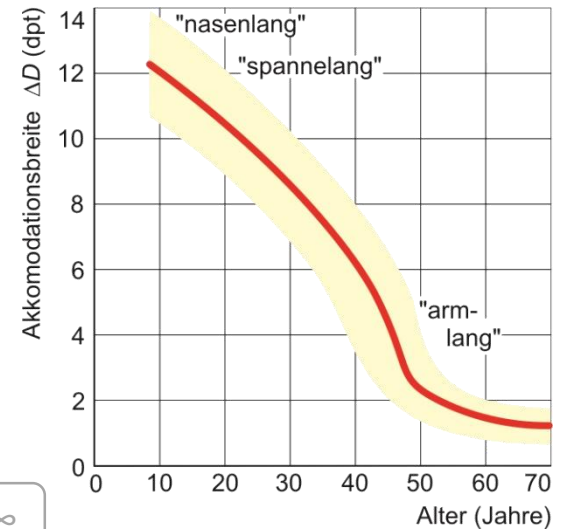
$$\Delta D = D_{max} - D_{min}$$

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

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

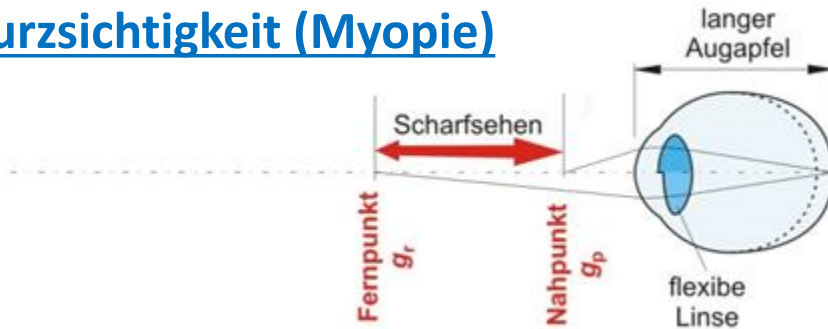
$$\Delta D = \frac{1}{g_p} - \frac{1}{g_r}$$

bei gesundem Auge: $g_r \approx \infty$

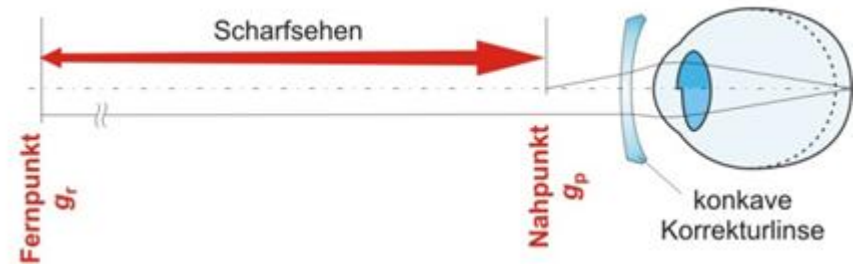


Augenfehler

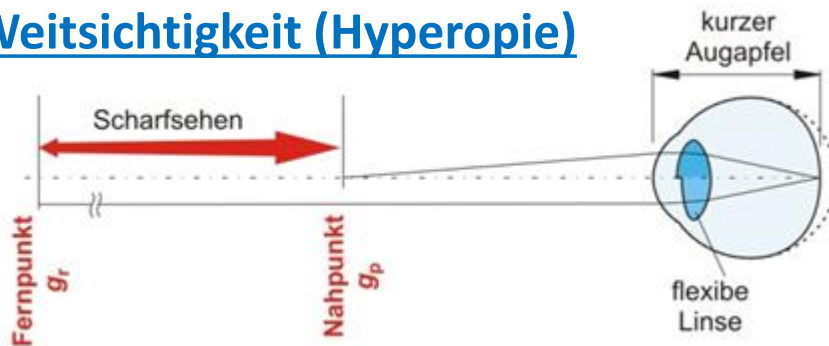
Kurzsichtigkeit (Myopie)



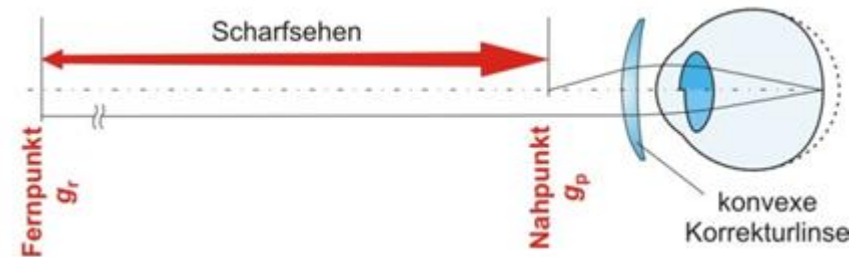
korrigierte Kurzsichtigkeit



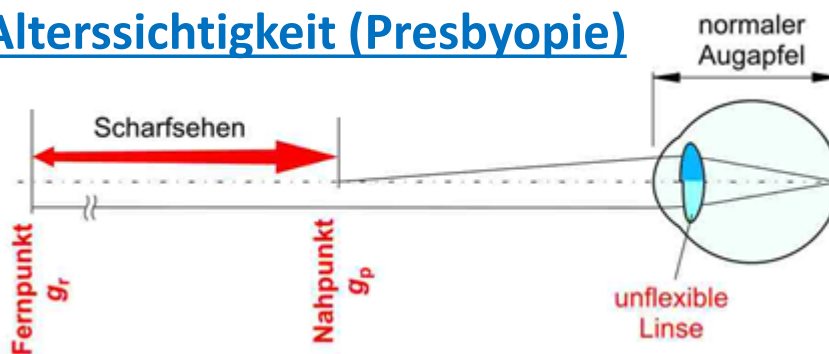
Weitsichtigkeit (Hyperopie)



korrigierte Weitsichtigkeit



Alterssichtigkeit (Presbyopie)

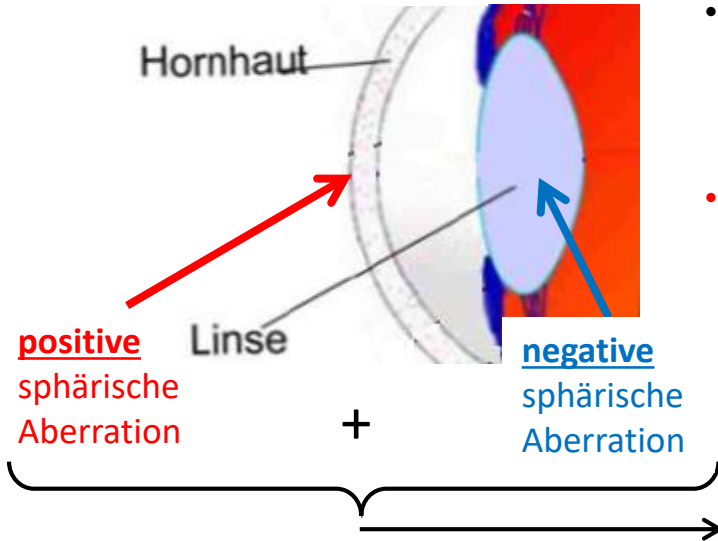


korrigierte Alterssichtigkeit

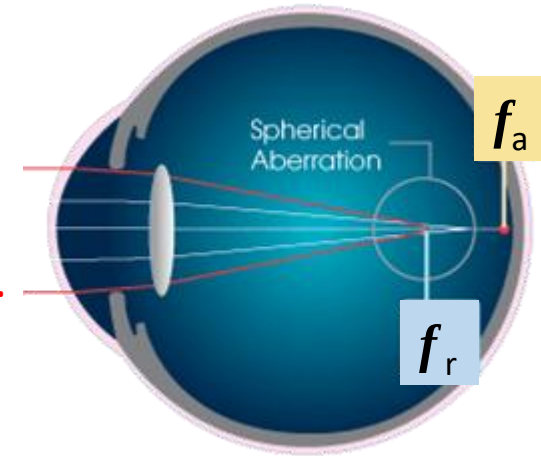


Abbildungsfehler im Auge

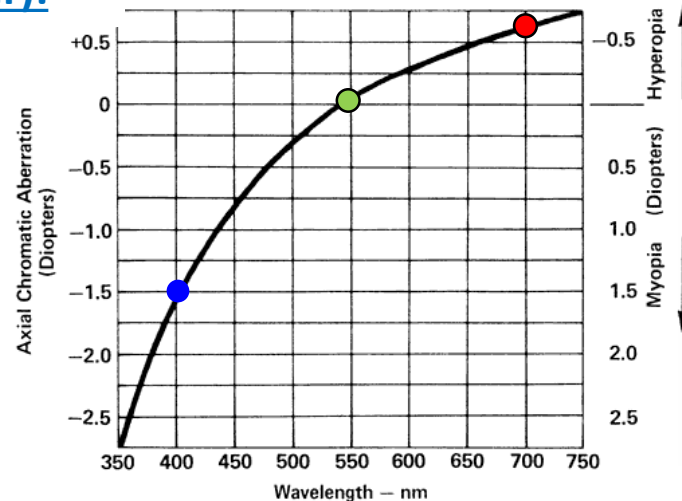
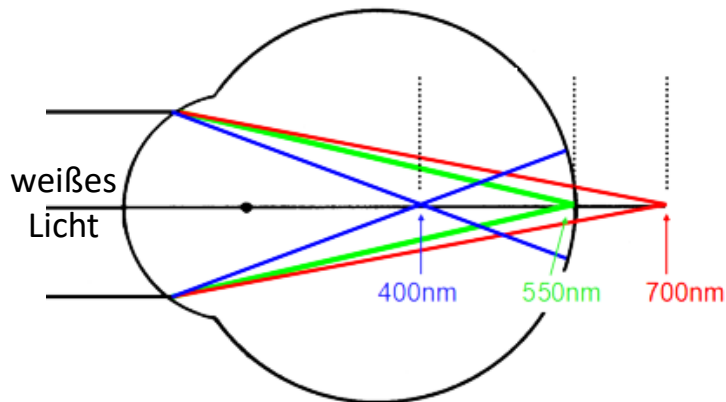
Sphärische Aberration:



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

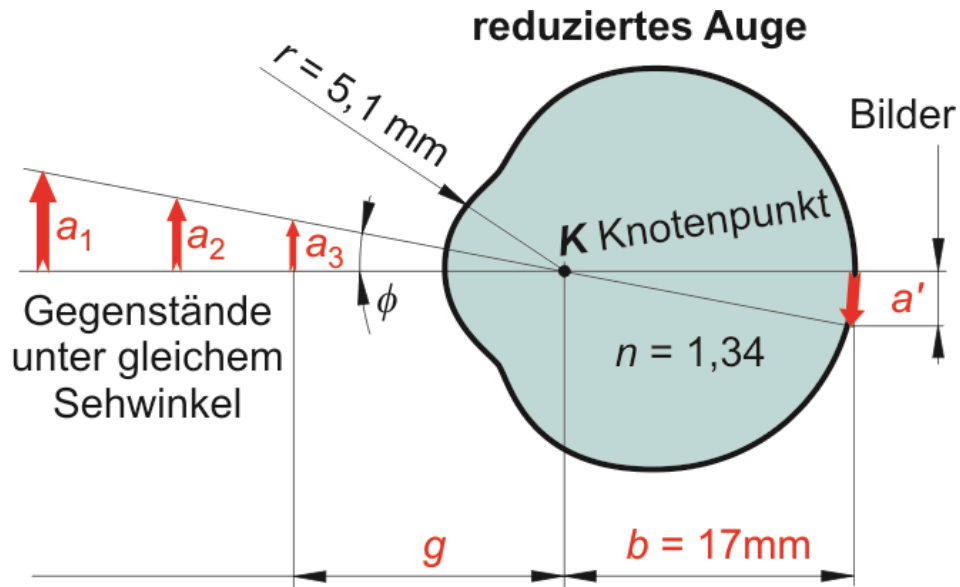


Chromatische Aberration (Farbfehler):



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“):

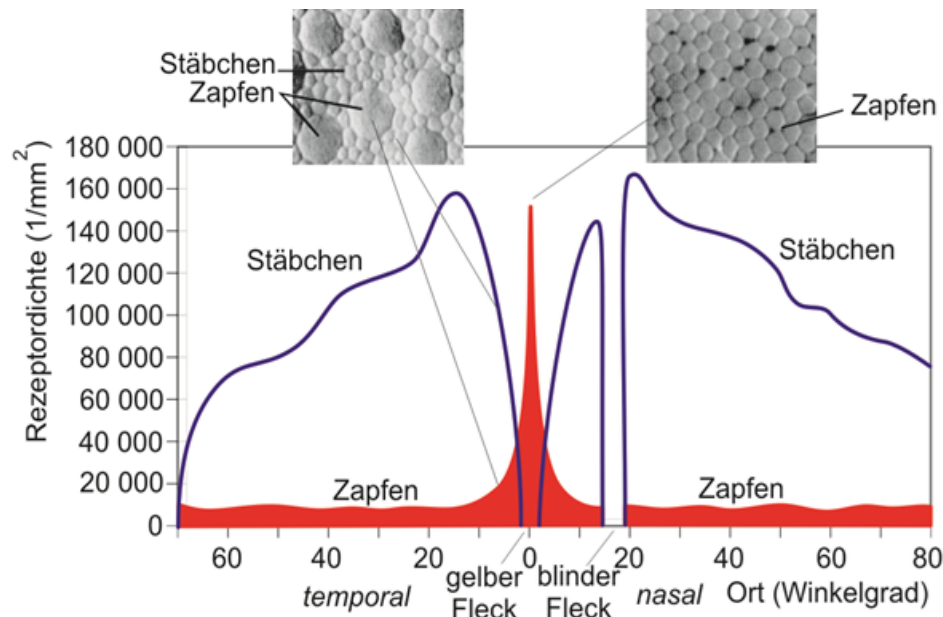
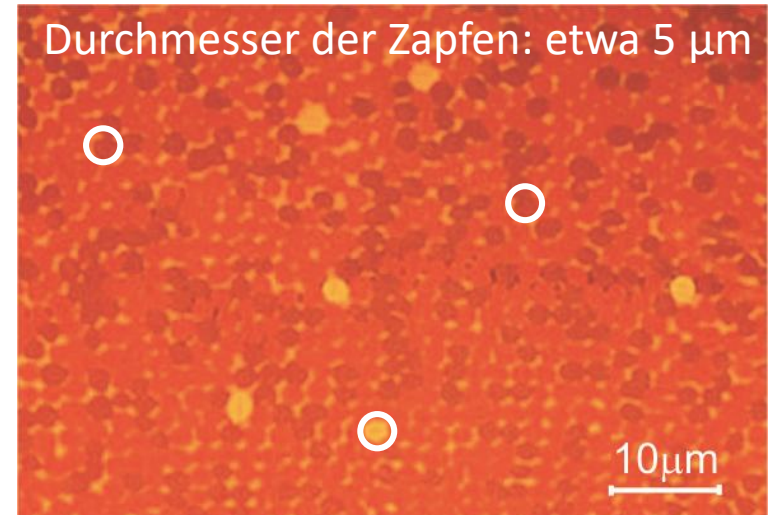
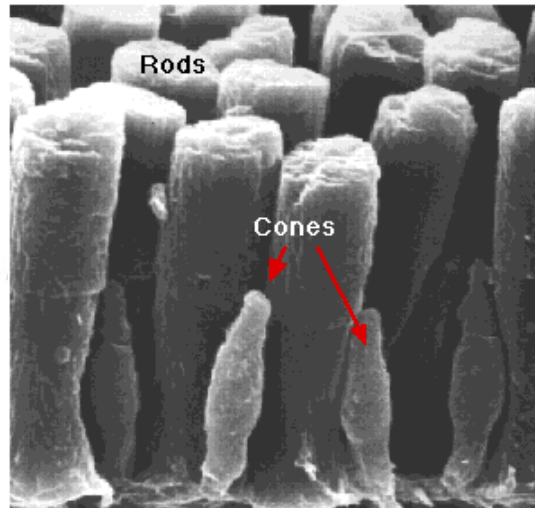
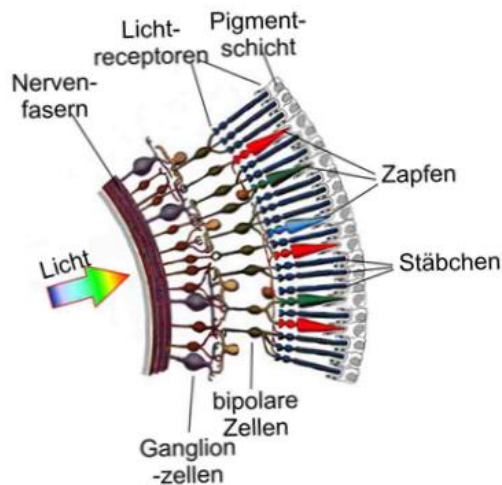
$$= \frac{1}{\alpha} \left(\frac{1}{'} \right)$$

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

▪ Sehschärfe (Visus):

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

Photorezeptoren im Auge



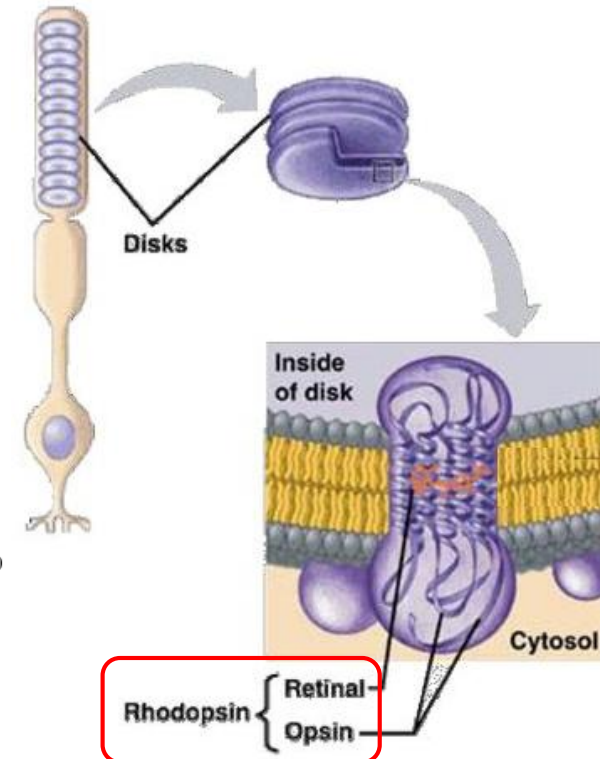
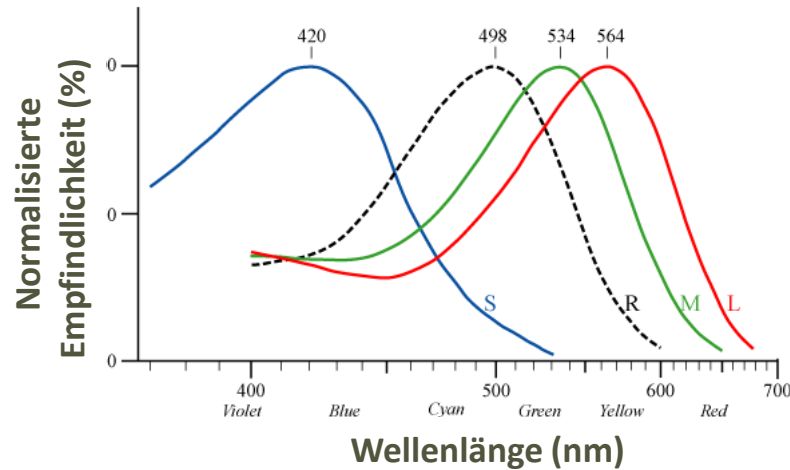
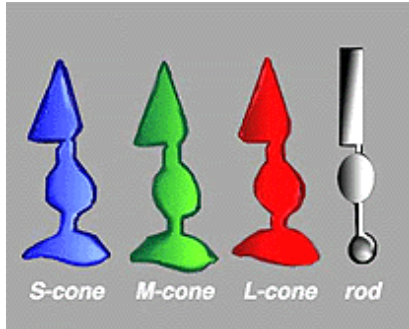
Gegenstands- punkte	Bildpunkte auf dem Retina	Empfindung

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

$$\alpha =$$

Farbsehen

Spektrale Empfindlichkeit des menschlichen Auges:



Farbblindheit:

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



normales
Farbsehen



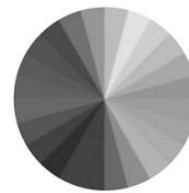
Deutanop



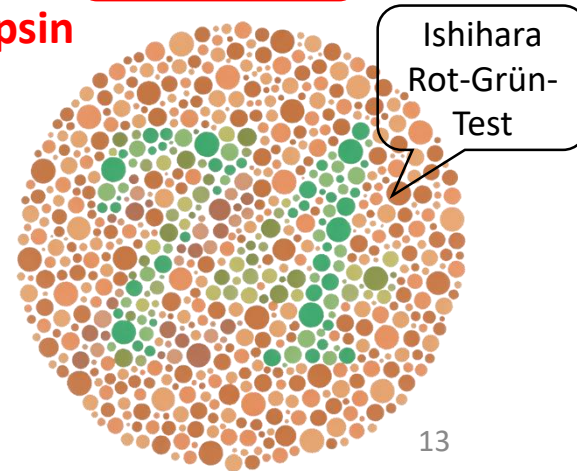
Protanop



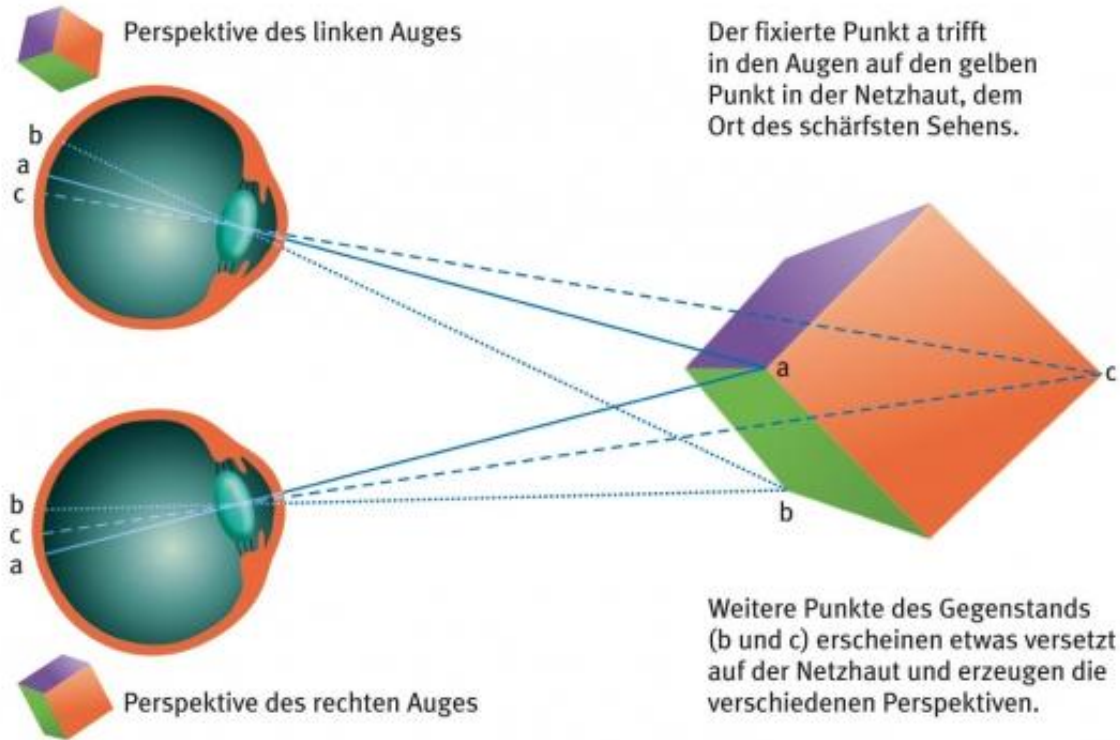
Tritanop



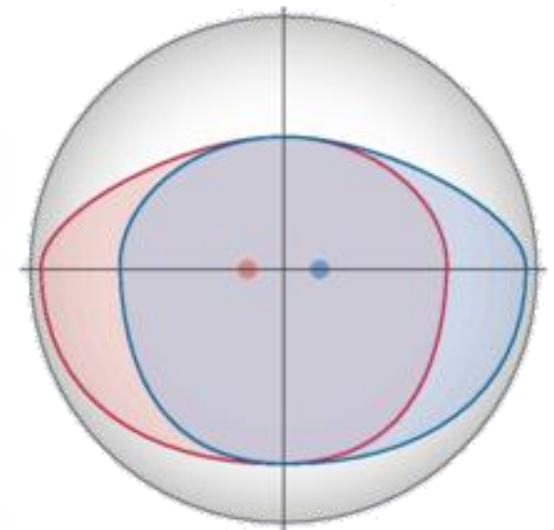
Monochromat



Räumliches Sehen



überlappende Gesichtsfelder



Hausaufgaben

Aufgabensammlung

2. 10-17, 20, 22, 24

4.5-8, 14

Feedback