

# Das Lichtmikroskop. Biophysik des Auges.

**Balázs Kiss**

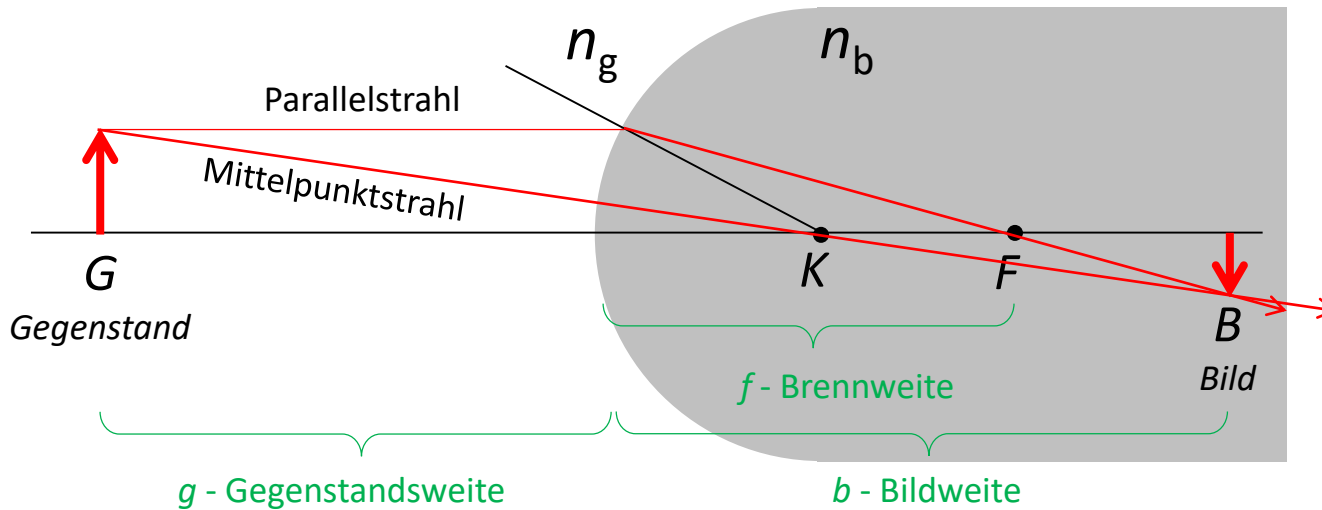
kissb3@gmail.com



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

*11. September 2024.*

# Optische Abbildung durch eine sphärische Grenzfläche



## Eigenschaften des Bildes:

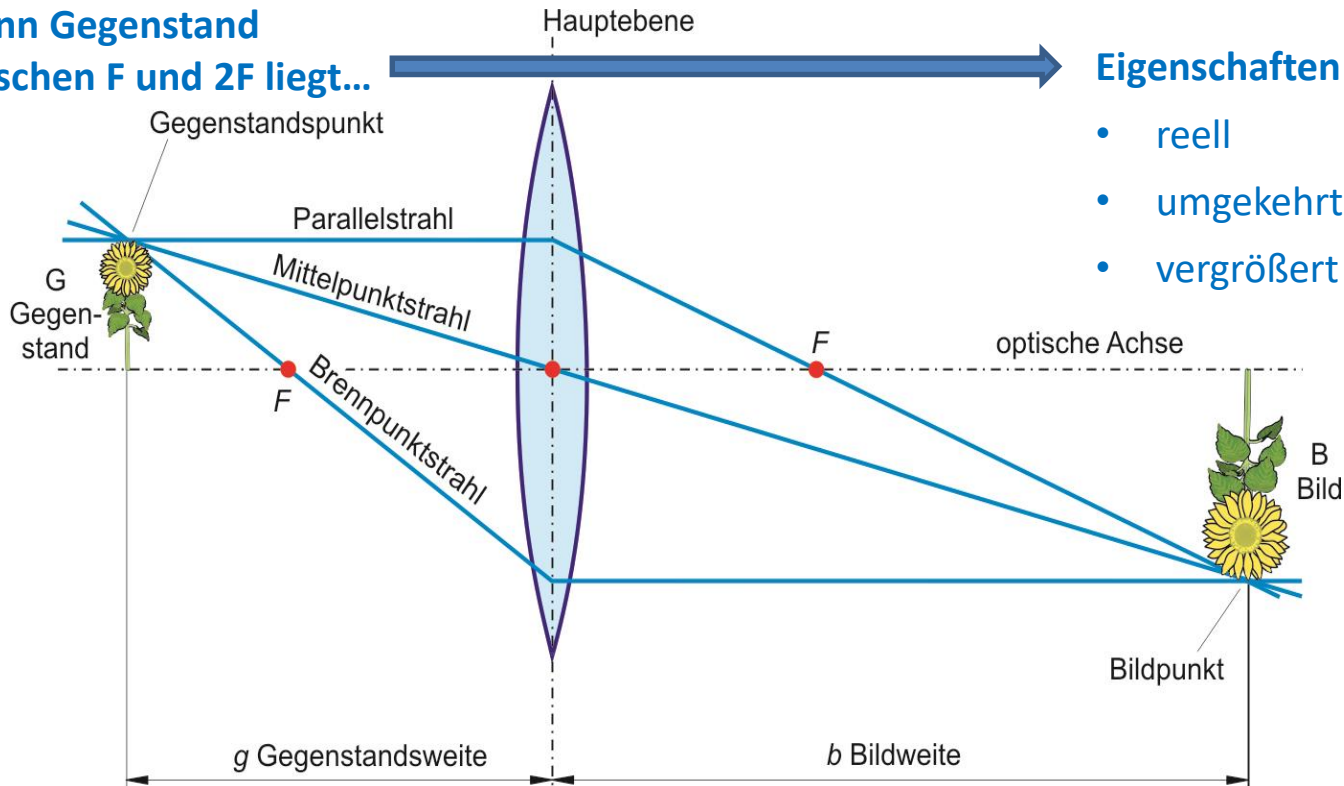
- virtuell
- umgekehrt
- verkleinert

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

Gilt nur für  
achsennahe  
Strahlen!

# Abbildung durch eine Linse

Wenn Gegenstand  
zwischen F und 2F liegt...



Eigenschaften des Bildes:

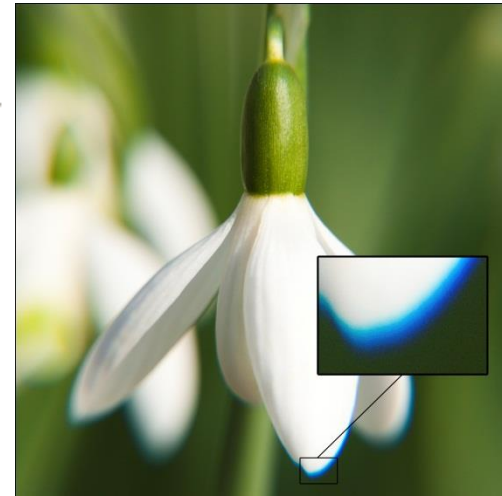
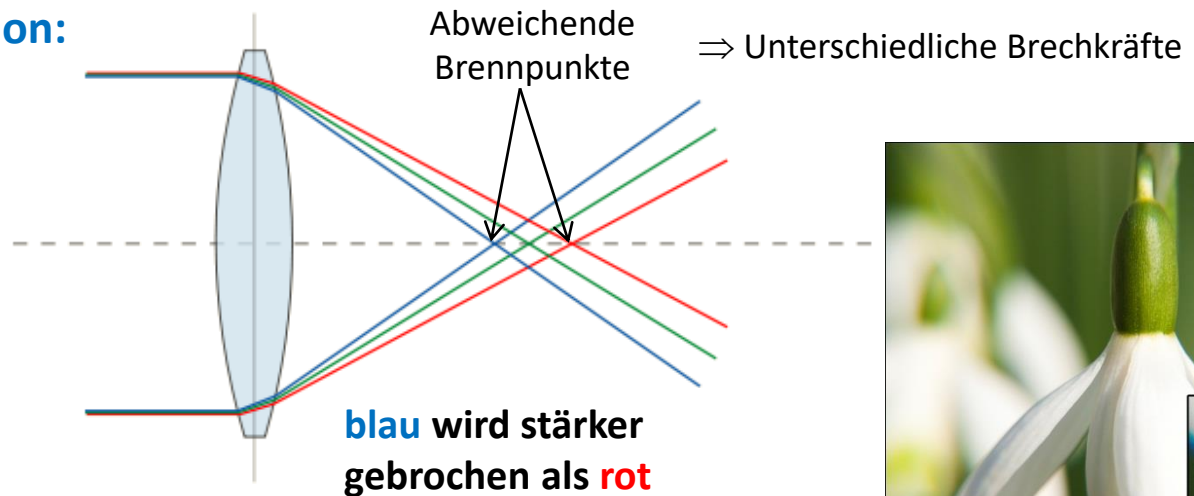
- reell
- umgekehrt
- vergrößert

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

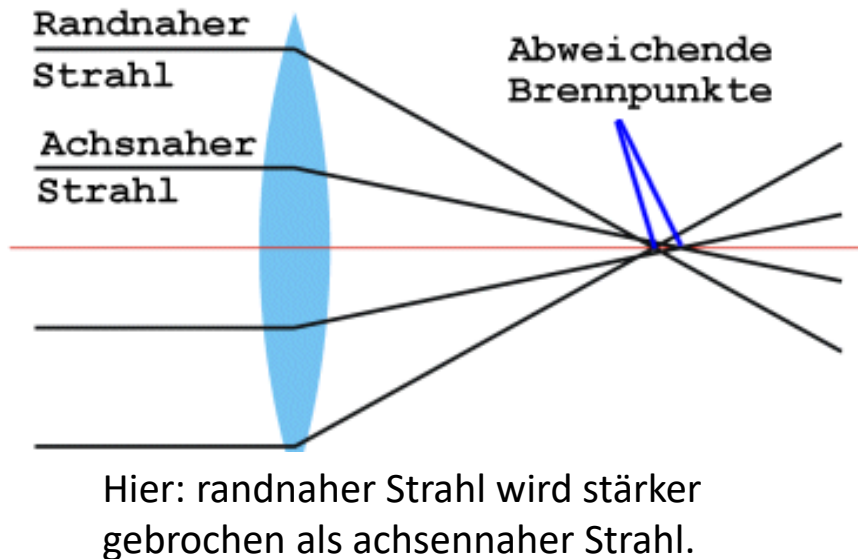
Vergrößerung (V):  $V = \frac{B}{G} = \frac{b}{g}$  (Bei einem virtuellen Bild ist  $B$  und  $b$  und dadurch auch  $V$  negativ.)

# Linsefehler

## Chromatische Aberration:



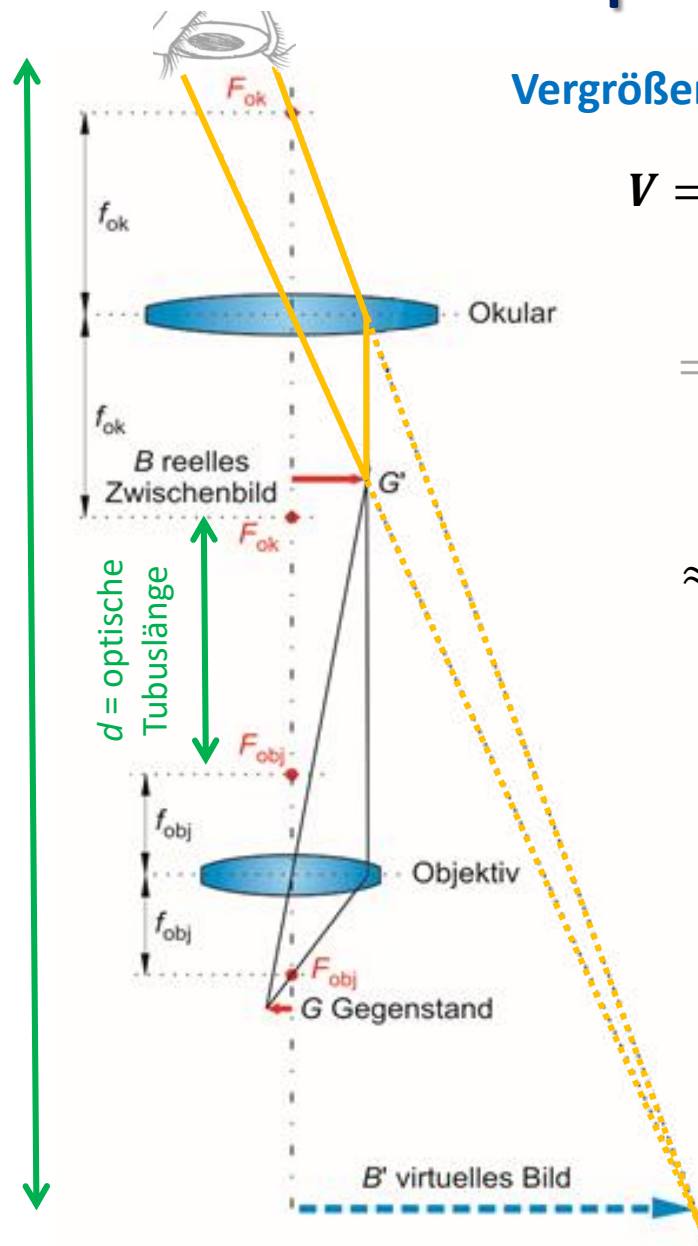
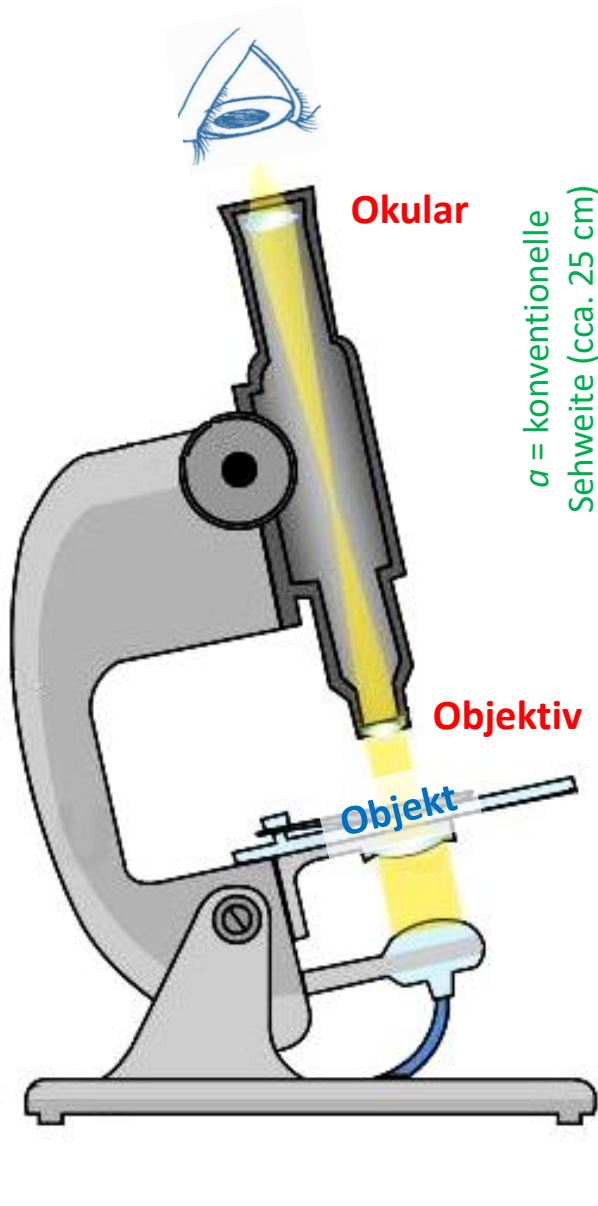
## Sphärische Aberration:



## 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

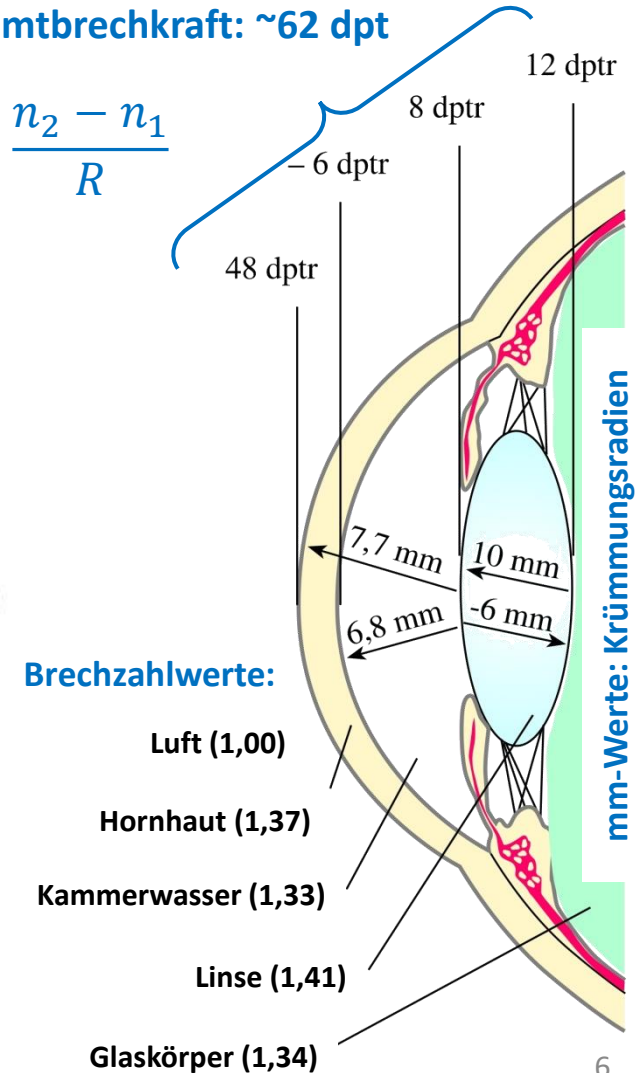
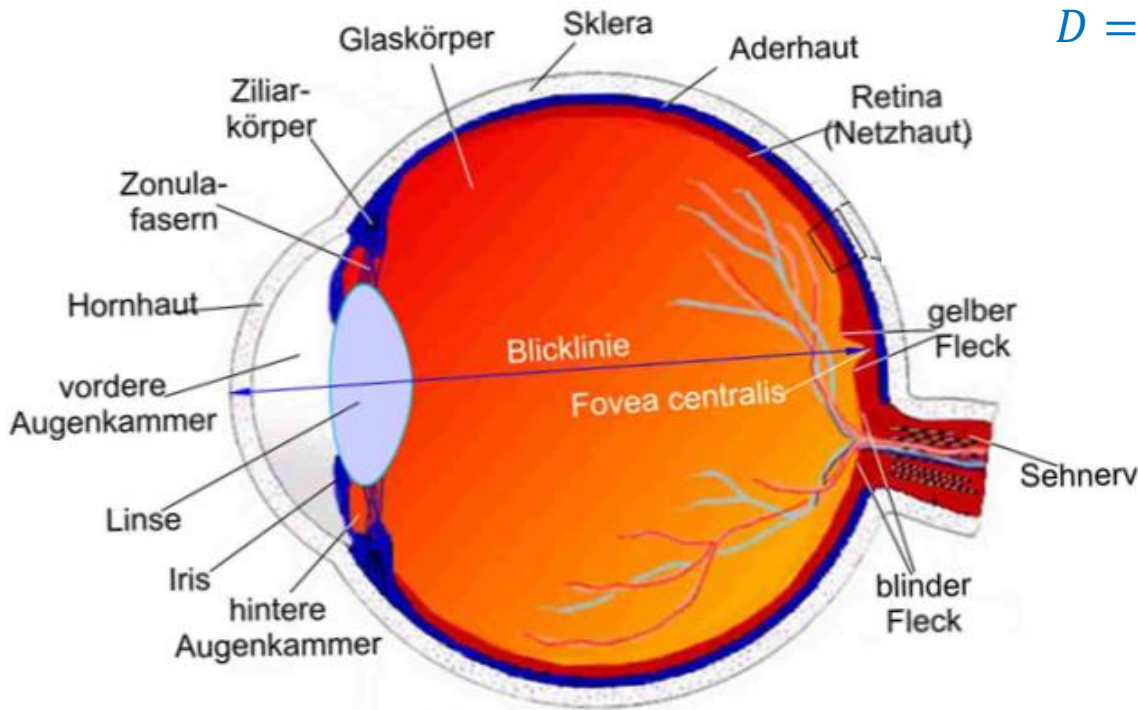
# Aufbau des menschlichen Auges

Lichtbrechende Medien des menschlichen Auges:

ohne  
Akkommodation

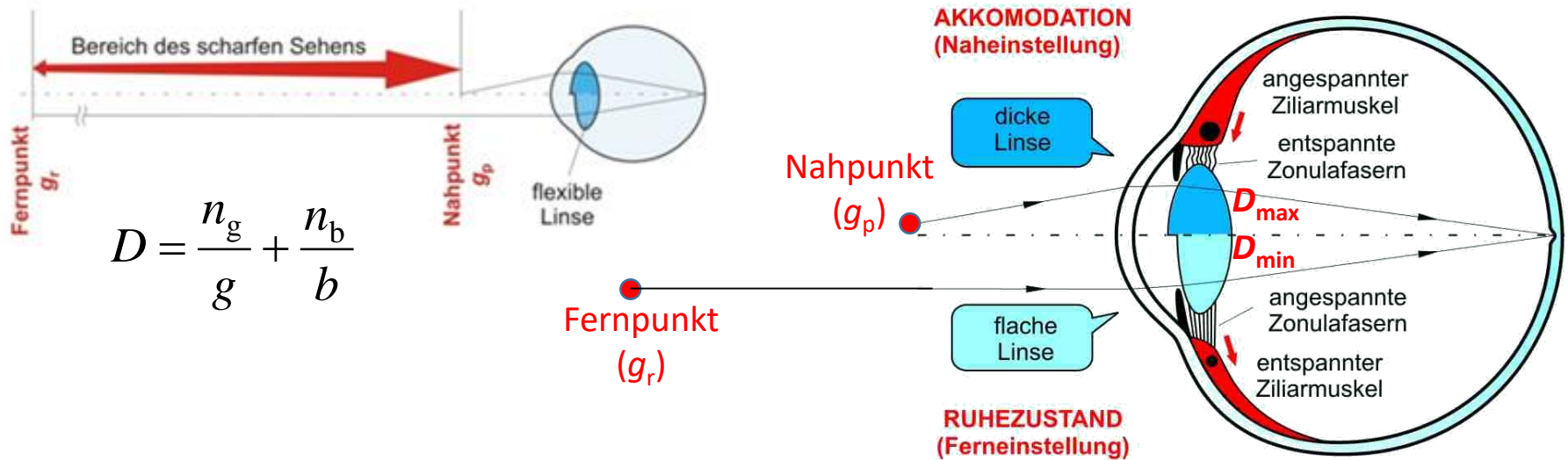
Gesamtbrechkraft: ~62 dpt

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

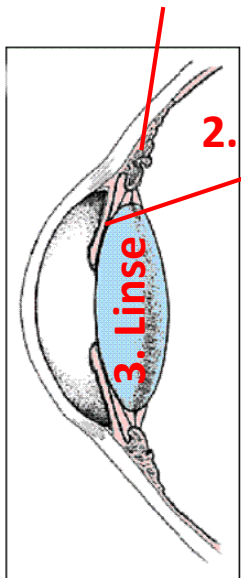




# Akkommodation (Brechkraftänderung)



## 1. Ziliarmuskel



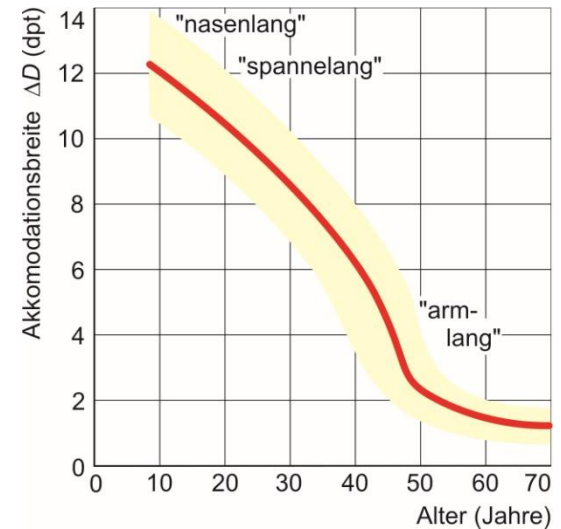
## Akkommodationsbreite ( $\Delta D$ ):

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

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

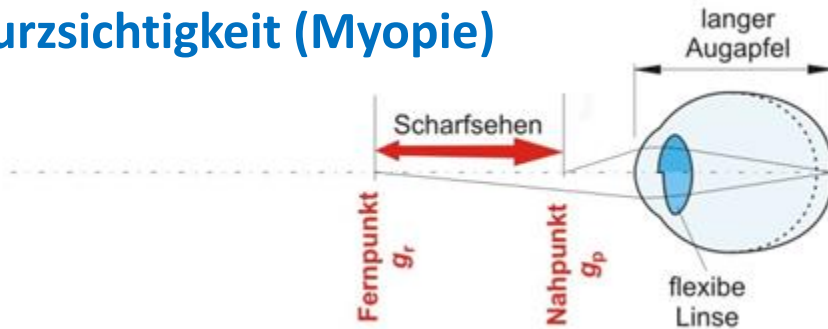
$$D_{min} = \frac{n_g}{g_r} + \frac{n_b}{b}$$

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

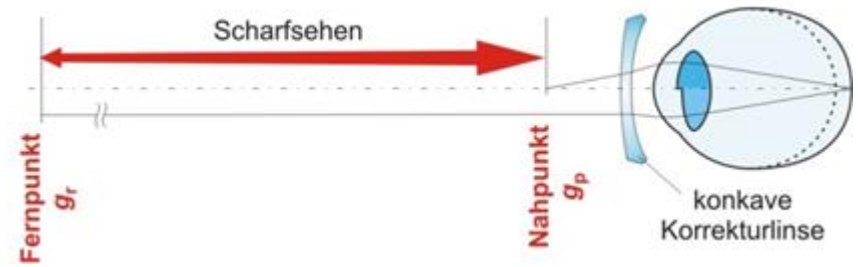


# Augenfehler

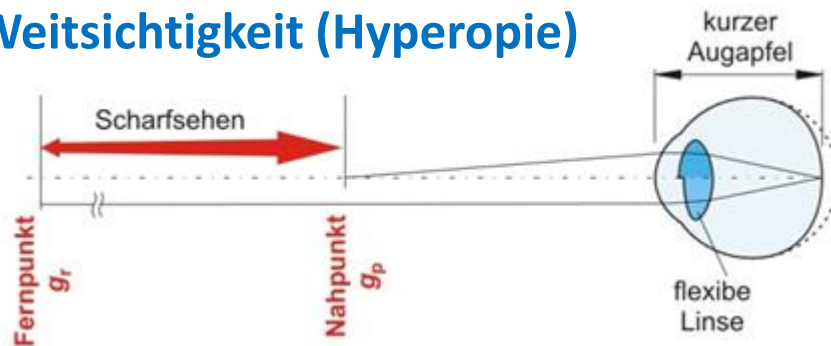
## Kurzsichtigkeit (Myopie)



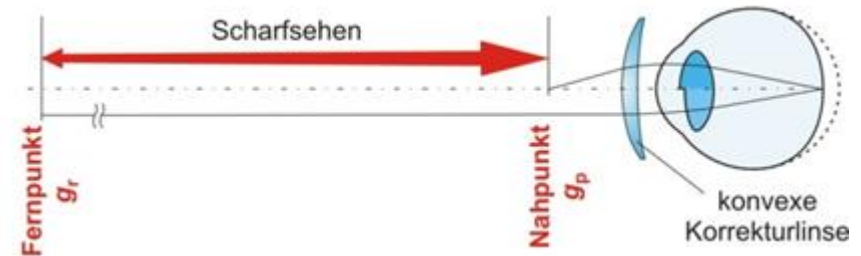
## korrigierte Kurzsichtigkeit



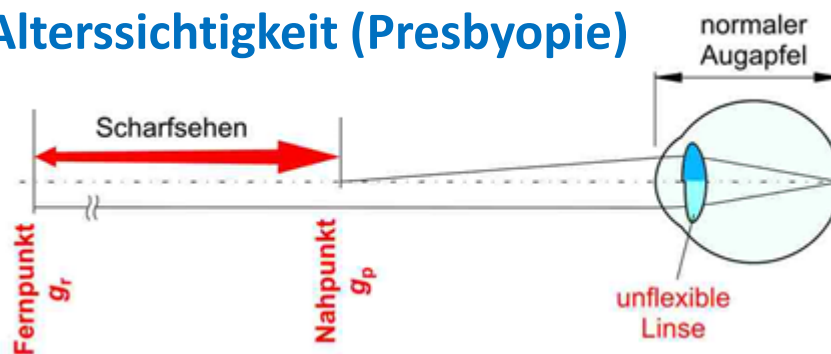
## Weitsichtigkeit (Hyperopie)



## korrigierte Weitsichtigkeit



## Alterssichtigkeit (Presbyopie)

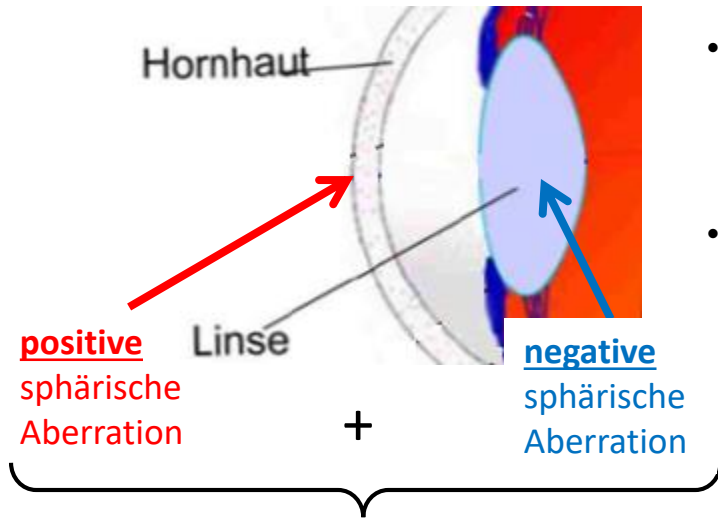


## korrigierte Alterssichtigkeit

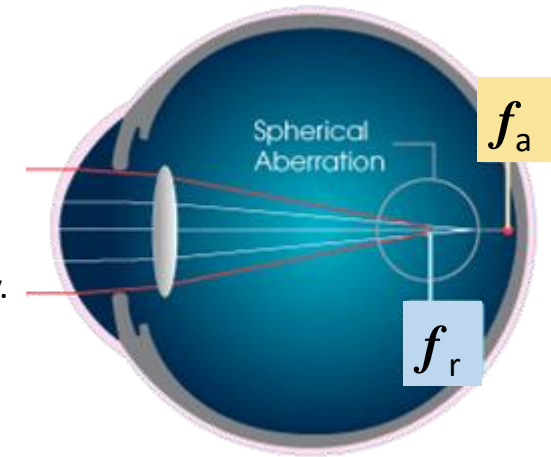




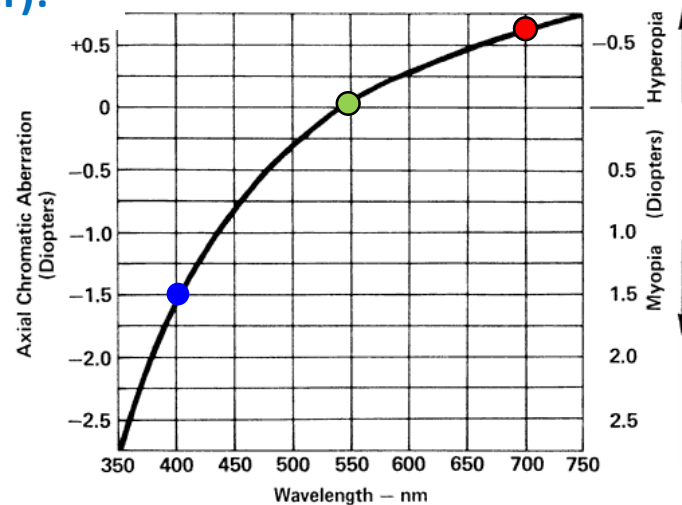
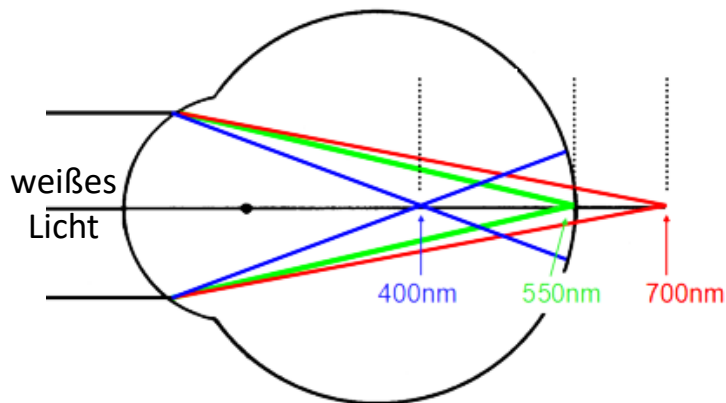
# Abbildungsfehler



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

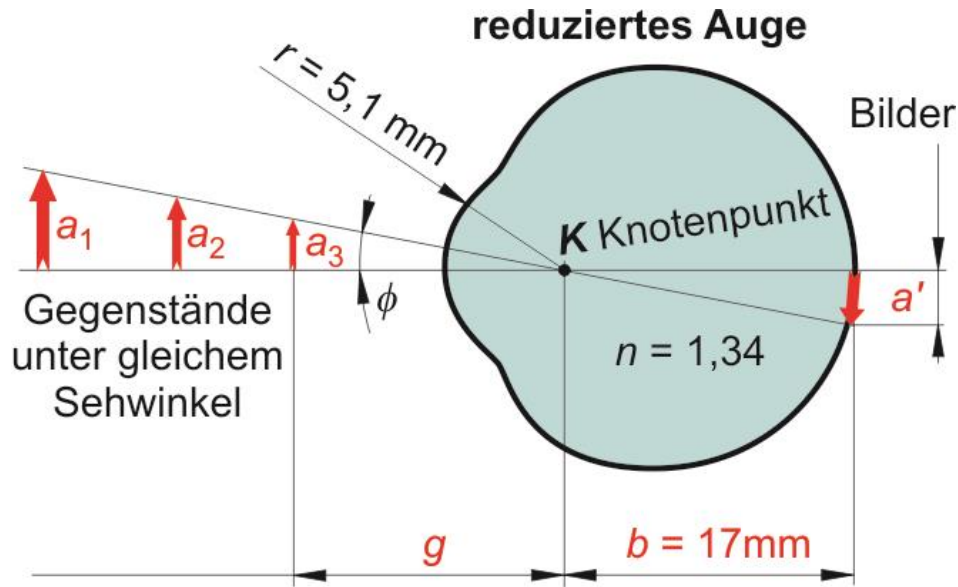


## Chromatische Aberration (Farbfehler):



# 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 ( $\alpha$ ):

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

Referenzwert:  $1'$  (1 Winkelminute)

### Auflösungsvermögen (salopper „Auflösung“):

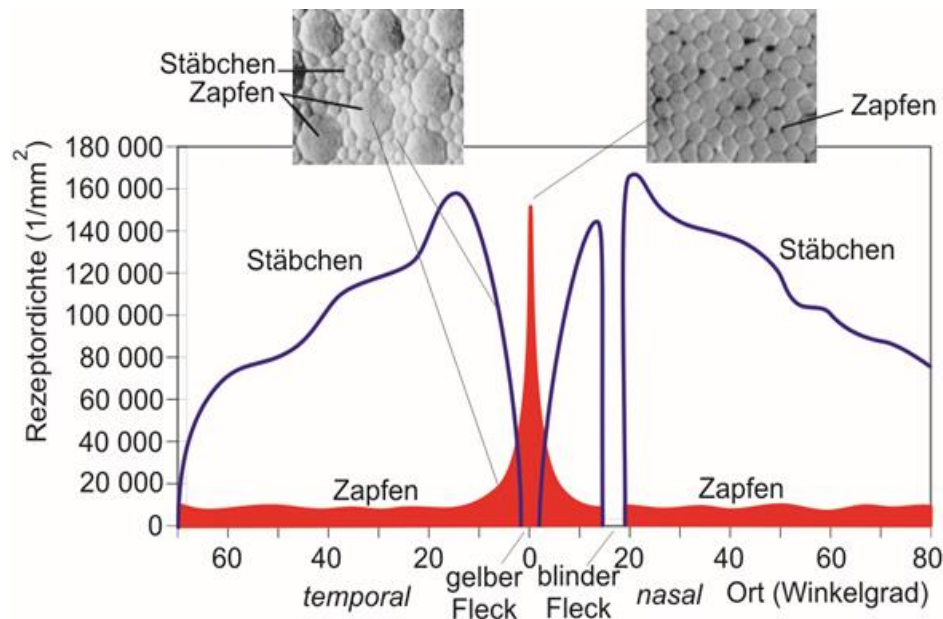
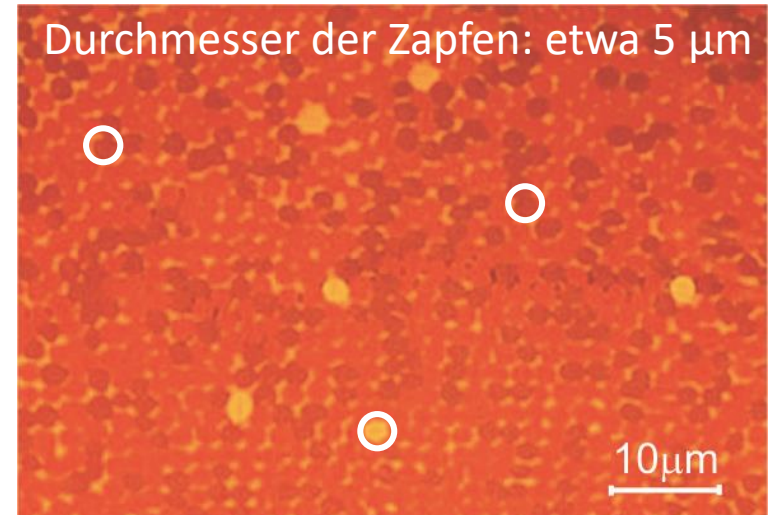
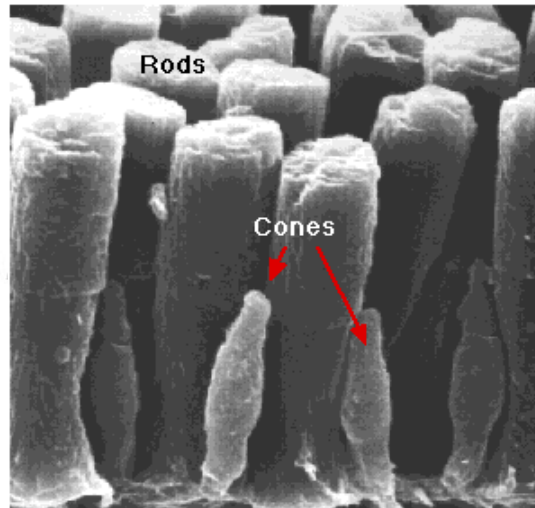
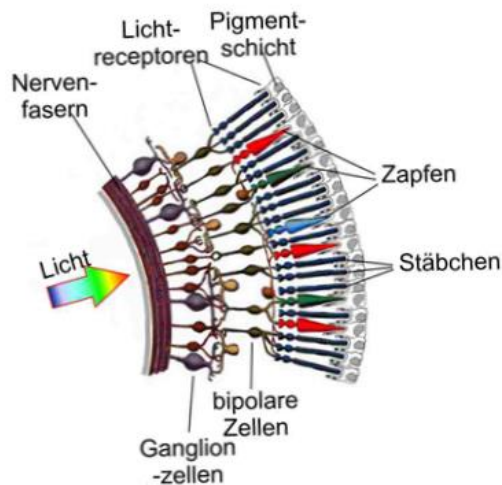
$$= \frac{1}{\alpha} \left( \frac{1}{'} \right)$$

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

### Sehschärfe (Visus):

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

# Photorezeptoren im Auge



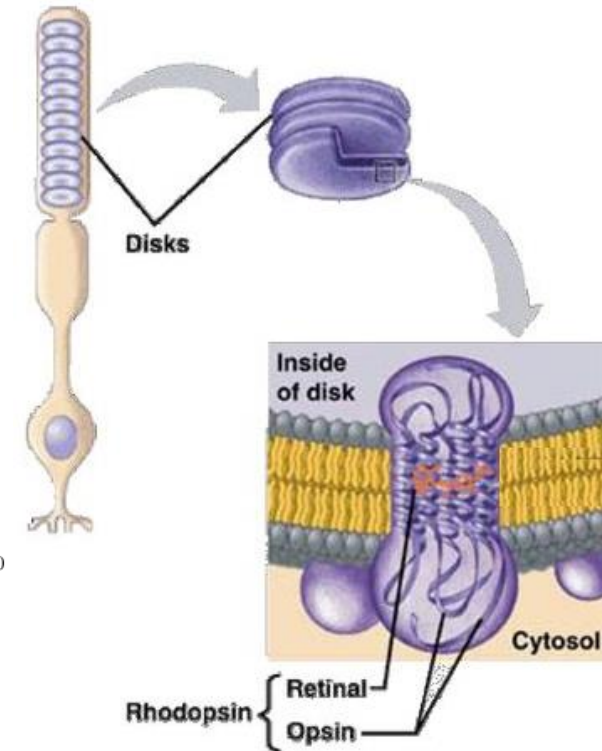
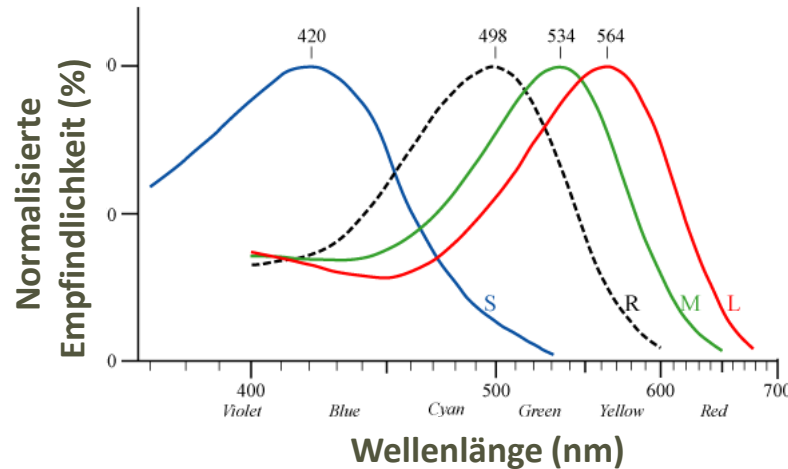
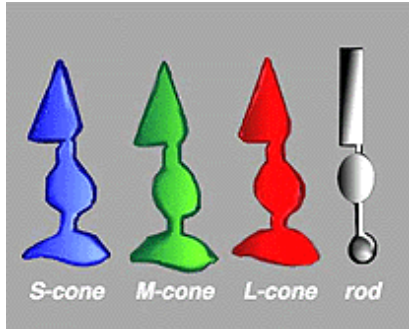
Gegenstands- punkte	Bildpunkte auf dem Retina	Empfindung

Schwinkel-  
grenze  
infolge der  
Rezeptoren-  
dichte ( $\alpha$ ):

$$\alpha =$$

# Farbsehen

## Spektrale Empfindlichkeit des menschlichen Auges:



## Farbblindheit:

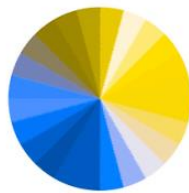
Mutationen der **Opsin** Proteine → Strukturänderung von **Rhodopsin**



Normal colour vision



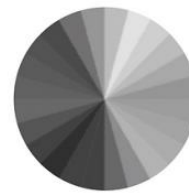
Deuteranopia



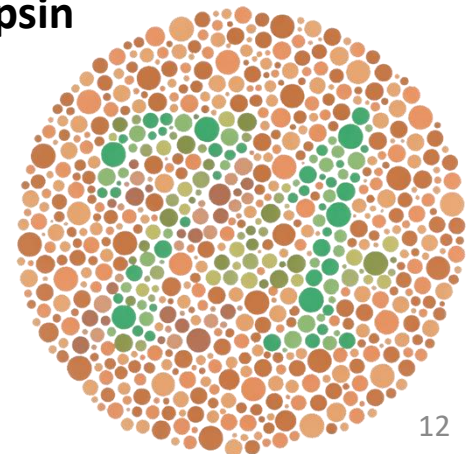
Protanopia



Tritanopia

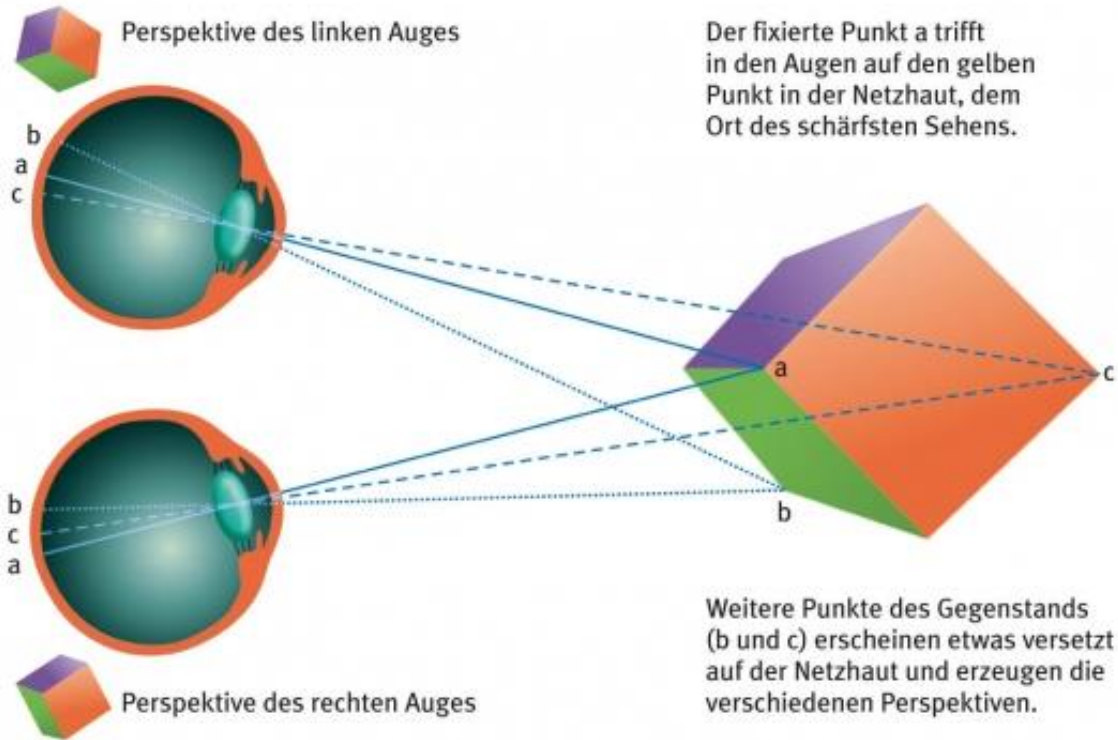


Monochromacy

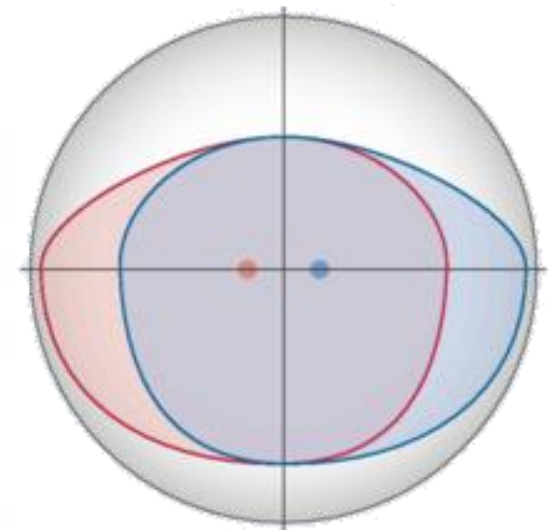




# Räumliches Sehen



## überlappende Gesichtsfelder



# Hausaufgaben

## Aufgabensammlung

2. 10-17, 20, 22, 24

4.5-8, 14

## Feedback