

Medizinische Biophysik

Licht in der Medizin. Medizinische Optik

I. Geometrische Optik

4. Linsen

- a) Brechkraft einer Linse, Linsenschleiferformel
- b) Abbildung durch eine Linse, Linsengleichung
- c) Linsenfehler

5. Lichtmikroskop

II. Das Auge und das Sehen

1. Entwicklung des Sehorgans

2. Aufbau des menschlichen Auges

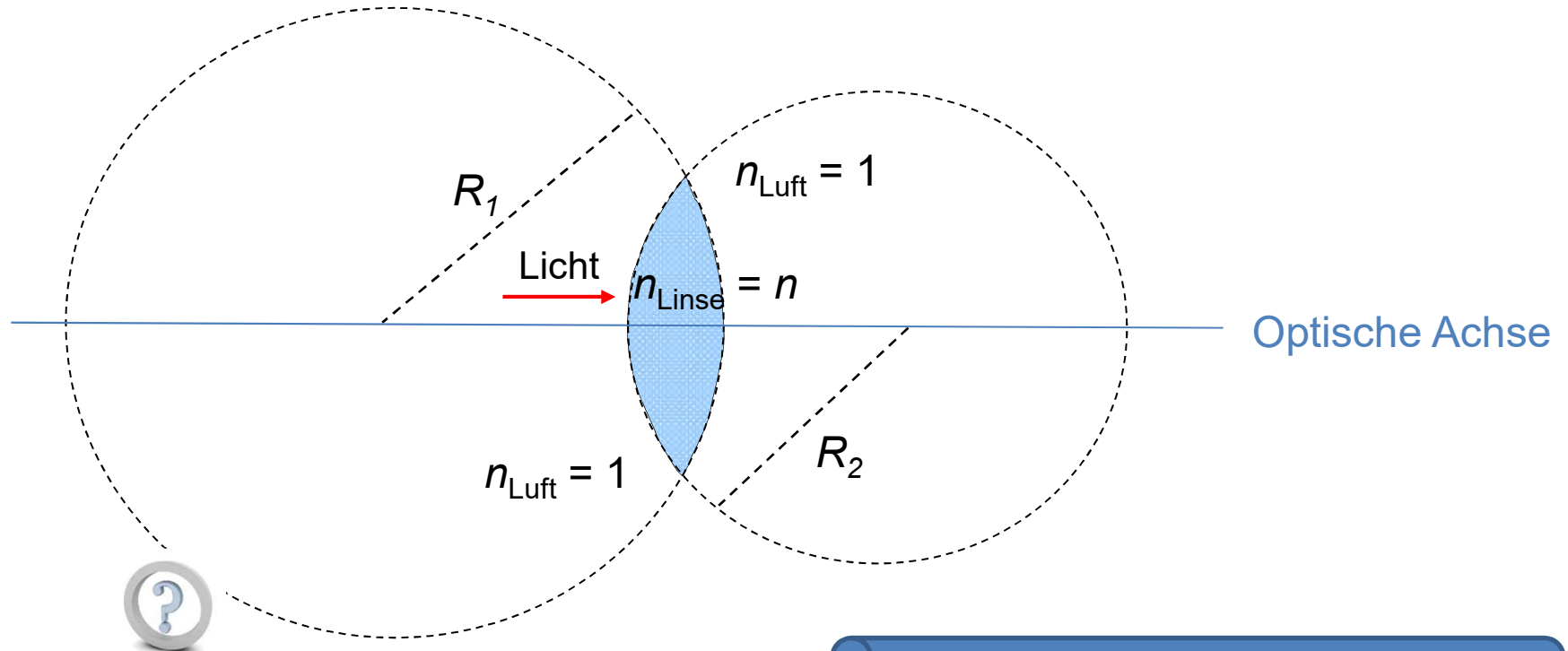
3. Optik des menschlichen Auges

- a) Brechkraft des Auges
- b) Akkomodation (Brechkraftänderung)
- c) Augenfehler (Myopie, Hyperopie, Presbyopie, sphärische und chromatische Aberration)
- d) Bildentstehung im Auge (reduziertes Auge)
- e) (räumliche) Auflösung des Auges

4. Linsen

a) Brechkraft einer Linse, Linsenschleiferformel

Sphärische bikonvexe Linsen:



$$D_{\text{gesamt}} = D_1 + D_2 + D_3 + \dots$$

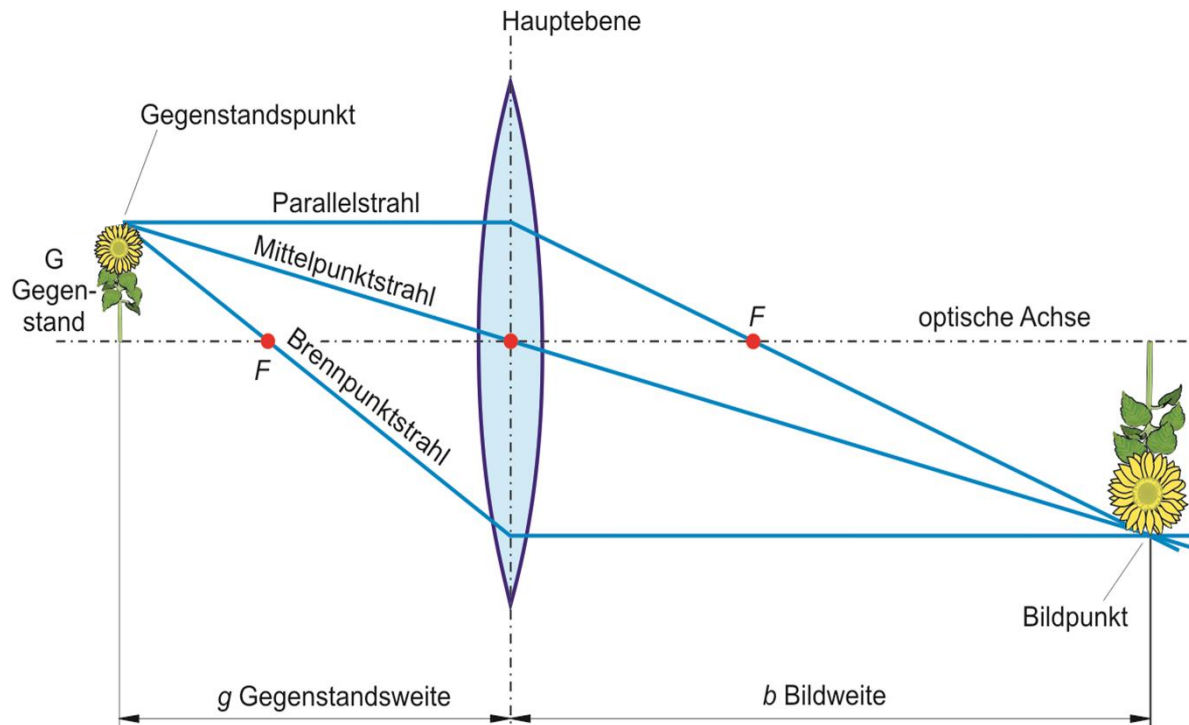
$$D = \frac{n_2}{f_2} \left(= \frac{n_1}{f_1} \right) = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

▪ Linsenschleiferformel:

$$D_{\text{Linse}} =$$

Sphärische Linse ist ein durch Kugelflächen umgrenzte Brechungsmedium

b) Abbildung durch eine Linse, Linsengleichung

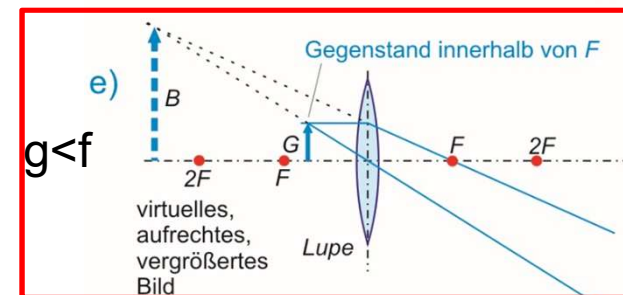
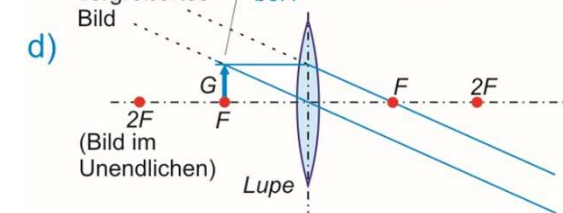
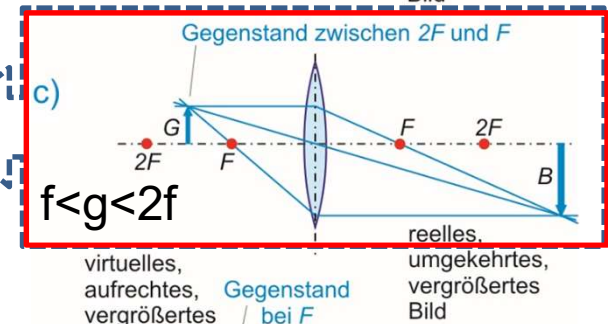
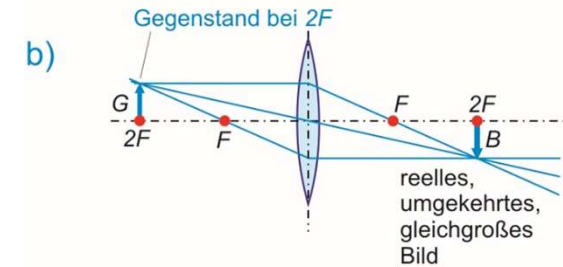
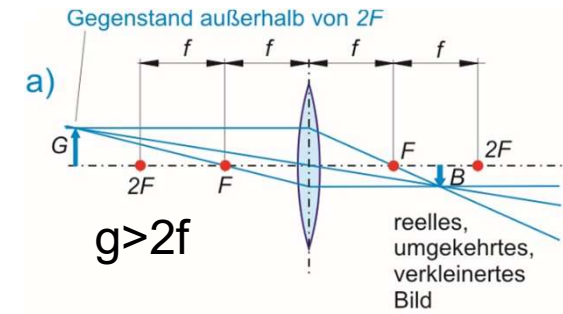


Vergrößerung



Mikroskop
s. später!

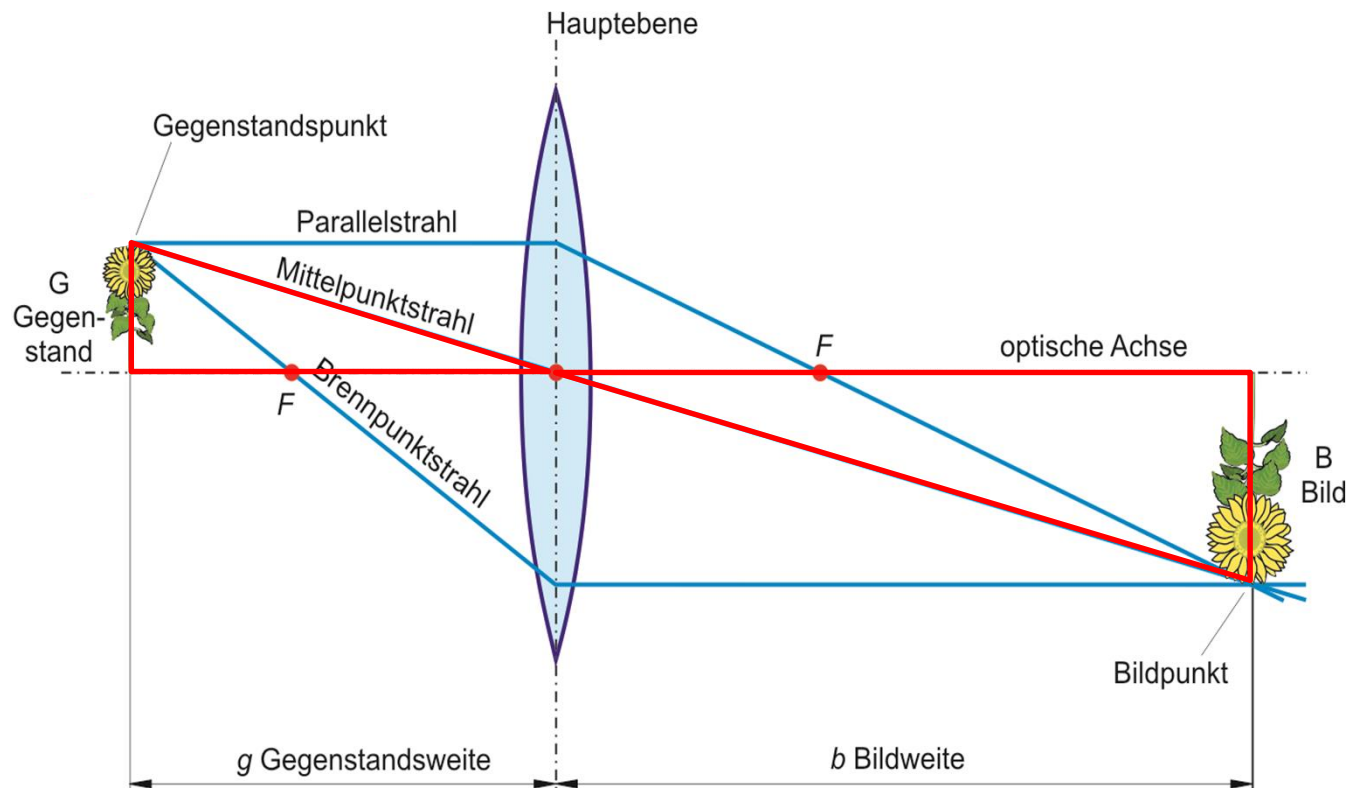
(s. Abbildung 2.7 im
Praktikumsbuch!)



- **Linsengleichung (Abbildungsgesetz):**

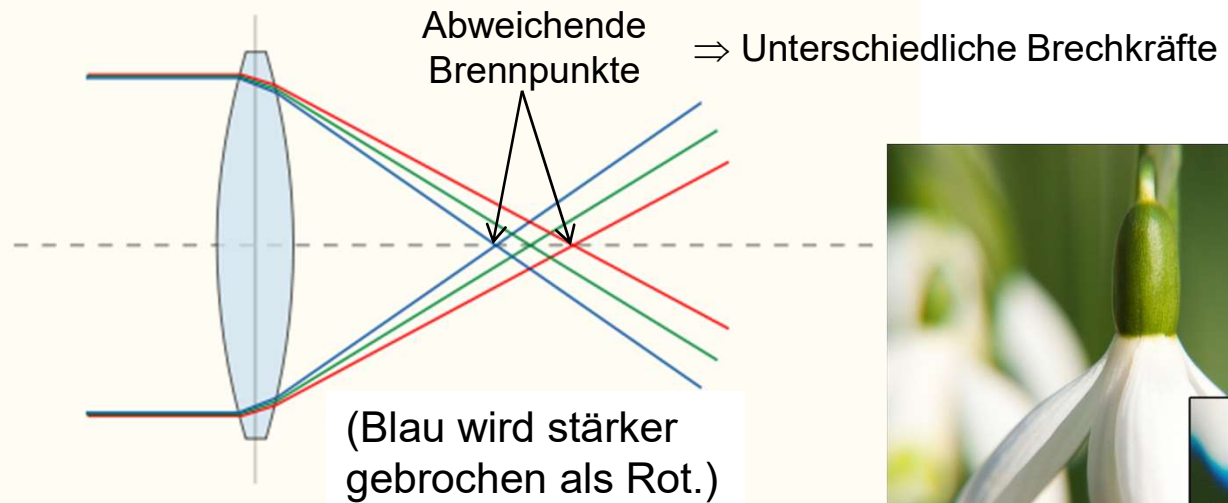
$$\left. \begin{array}{l} \text{Luft:} \\ n_g = n_b = 1 \\ f_g = f_b = f \end{array} \right\} \frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b} \quad \text{(Bei einem virtuellen Bild ist } b \text{ negativ.)}$$

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

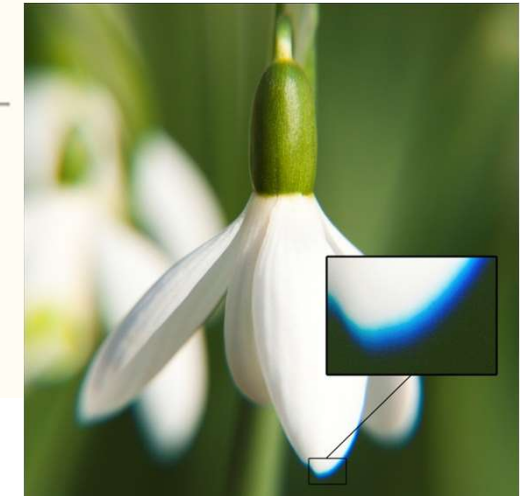
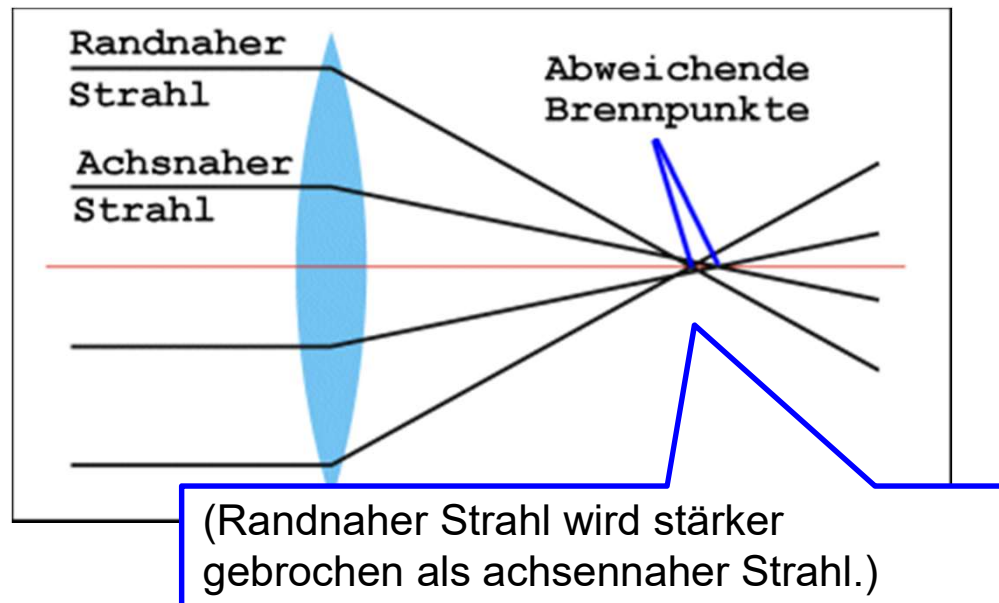


c) Linsenfehler

Chromatische
Aberration

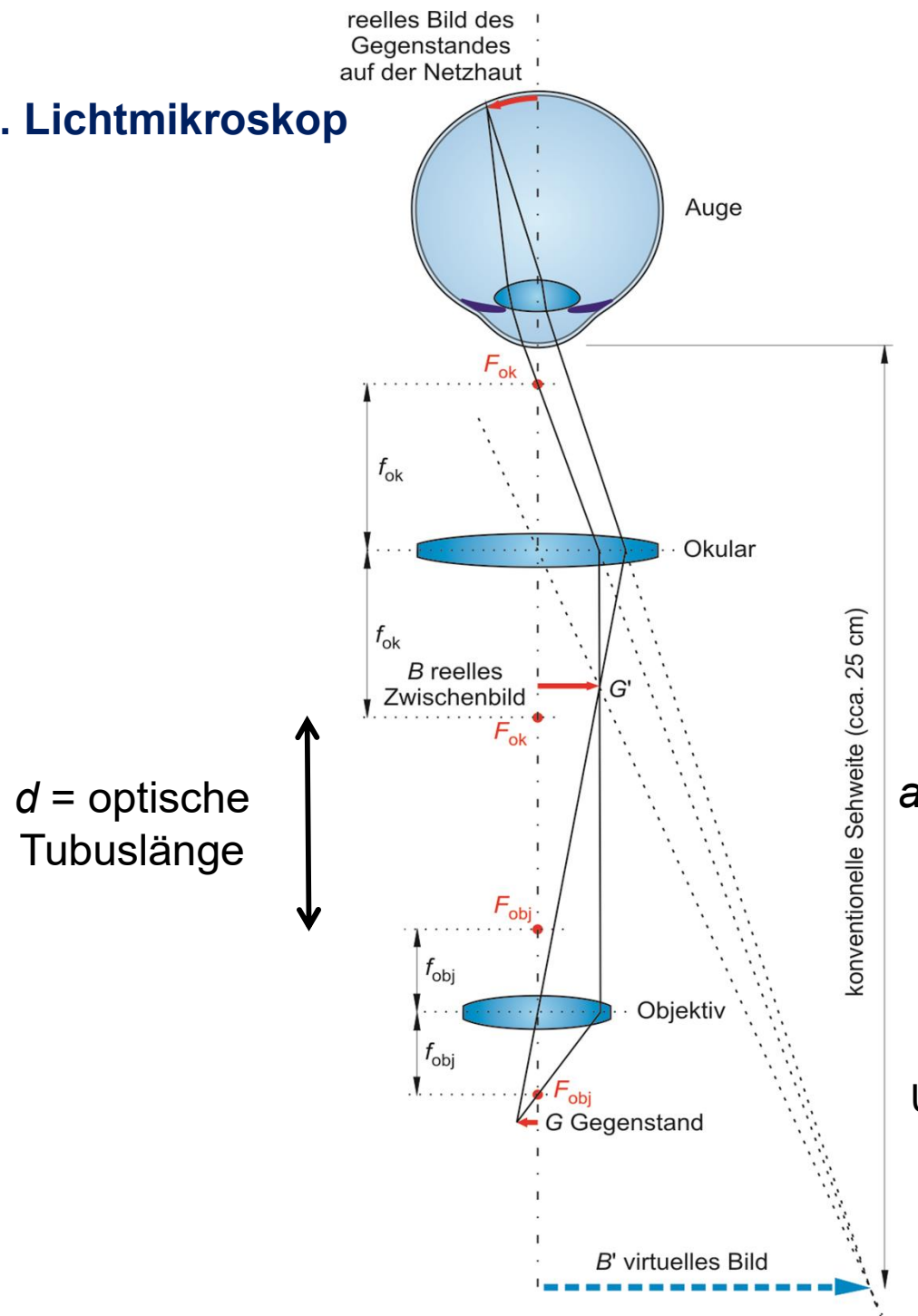


Sphärische
Aberration



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

5. Lichtmikroskop



- Vergrößerung des Mikroskops:

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

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

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

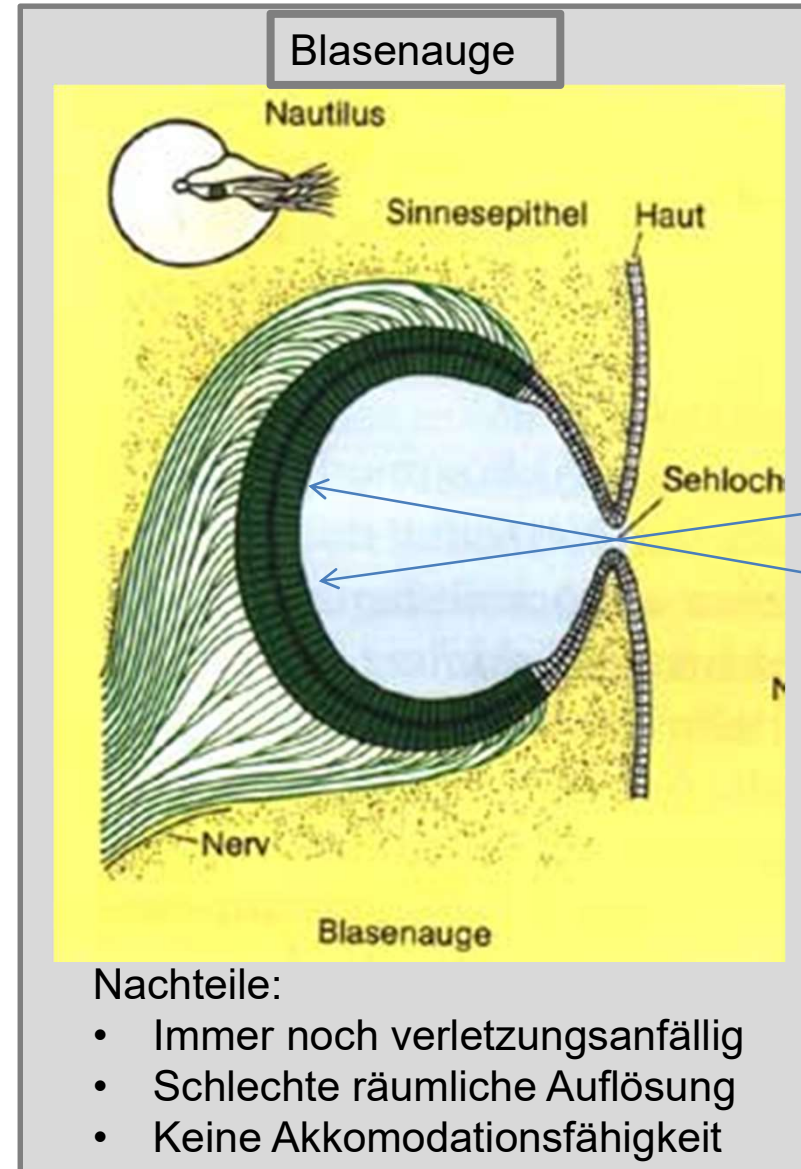
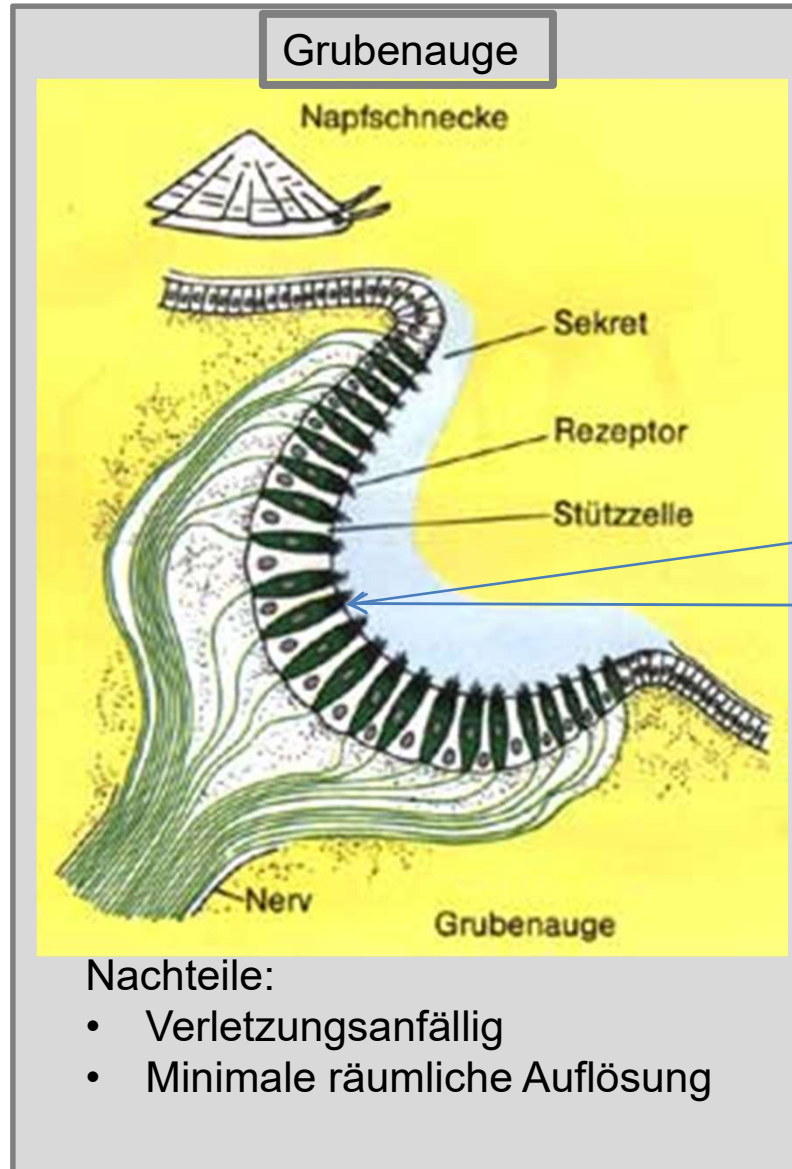
Über $V \approx 500$ nur leere Vergrößerung!!

→ siehe Wellenoptik

II. Das Auge und das Sehen

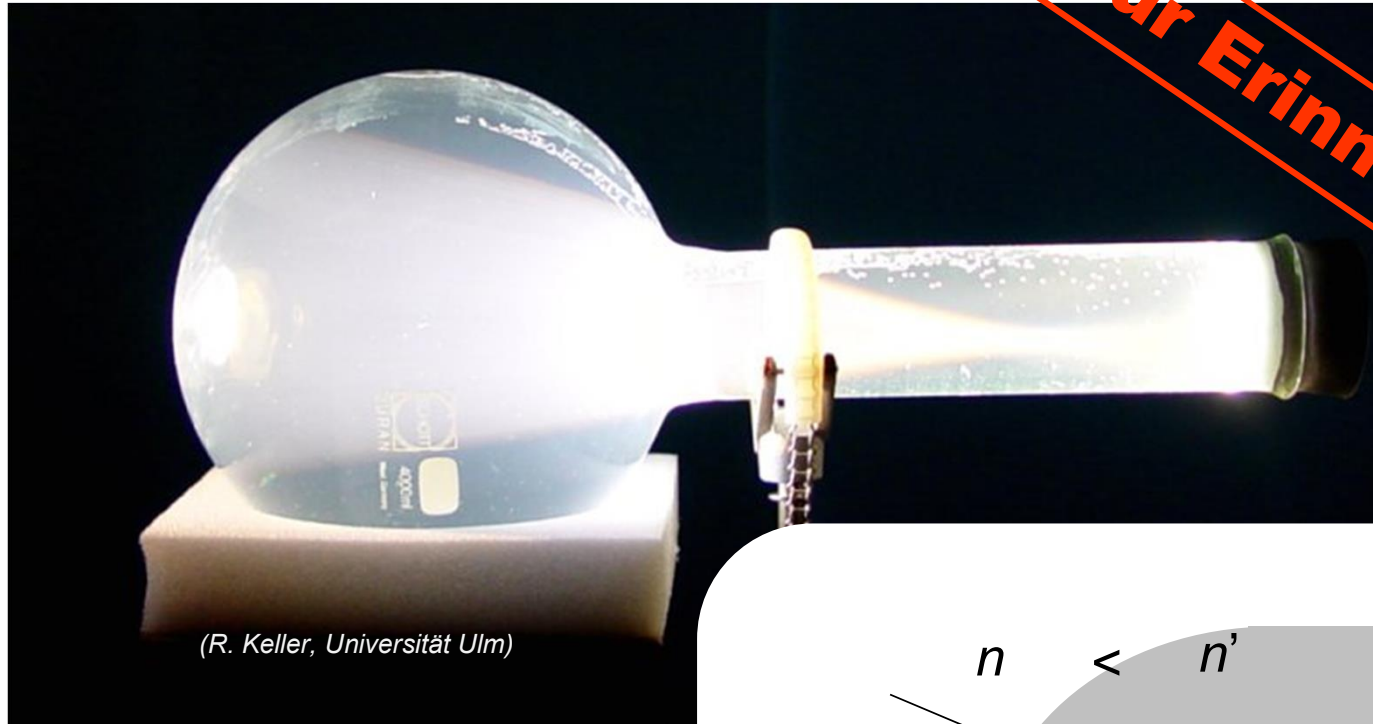


1. Entwicklung des Sehorgans



Optische Abbildung ist notwendig!

Brechung durch eine sphärische Grenzfläche:

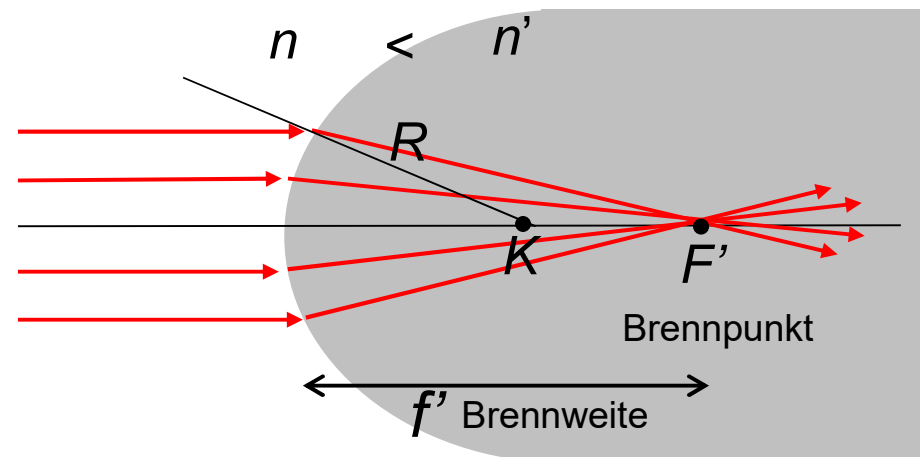


(R. Keller, Universität Ulm)

Zur Erinnerung

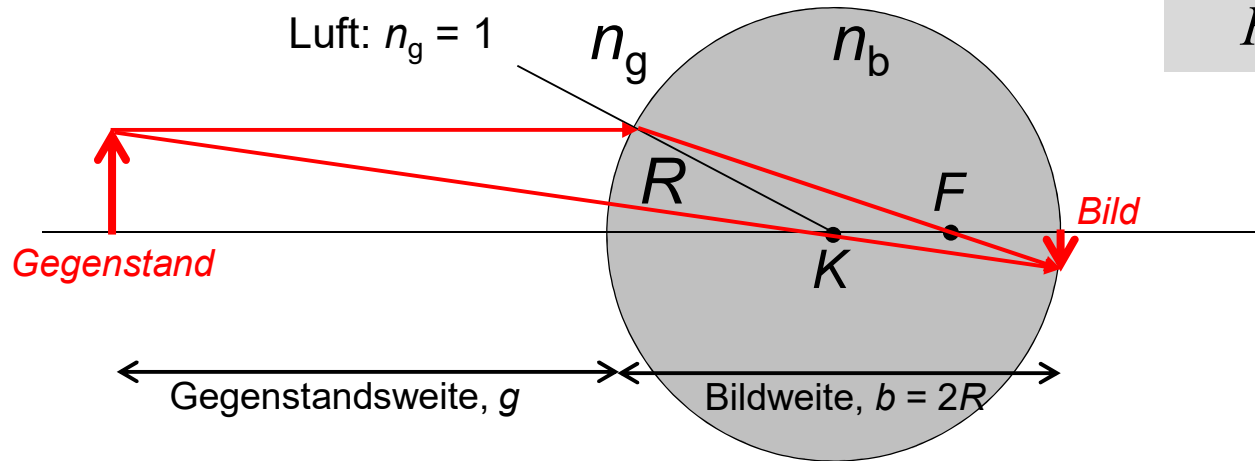
Brechkraft (D):
$$D = \frac{n'}{f'} = \frac{n' - n}{R}$$

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



Einfache Kugel als Auge?

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



$n_b =$



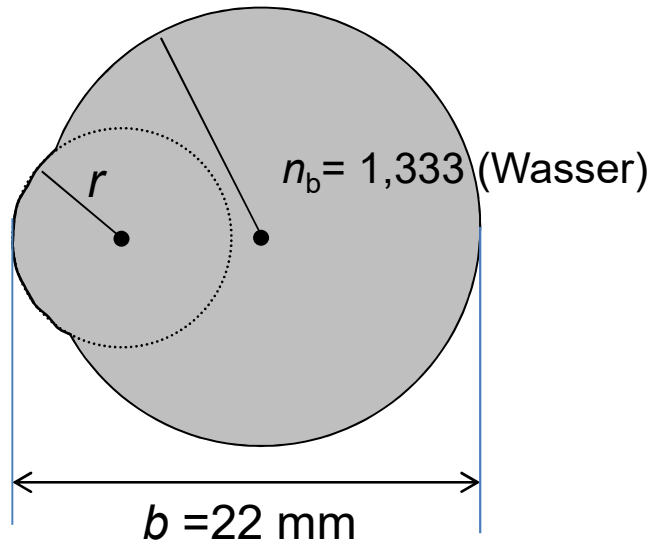
n_b müsste größer sein als 2! Diamant vielleicht?



2 Kugeln!

$r =$ 

$n_g = 1$ (Luft)



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

Vorteile:

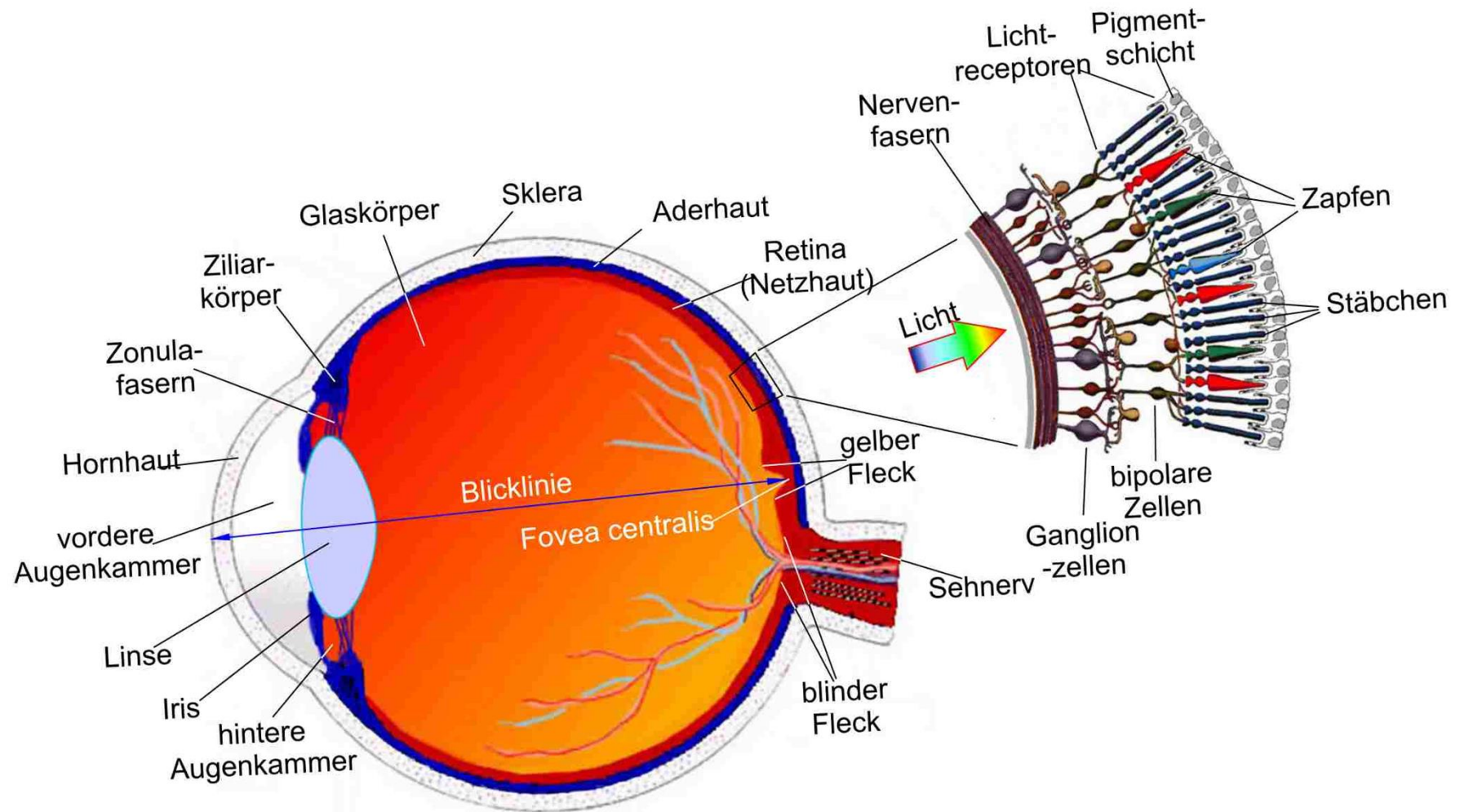
- Geschlossen \Rightarrow weniger verletzungsanfällig
- Gute räumliche Auflösung
- Bild entsteht innerhalb der Kugel

Nachteile:

- Keine Akkomodationsfähigkeit



2. Aufbau des menschlichen Auges



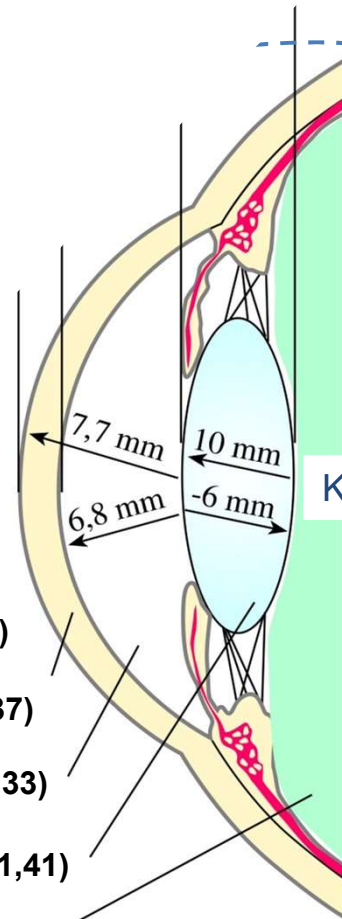
3. Optik des menschlichen Auges

a) Brechkraft des Auges

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

Brechzahlwerte:

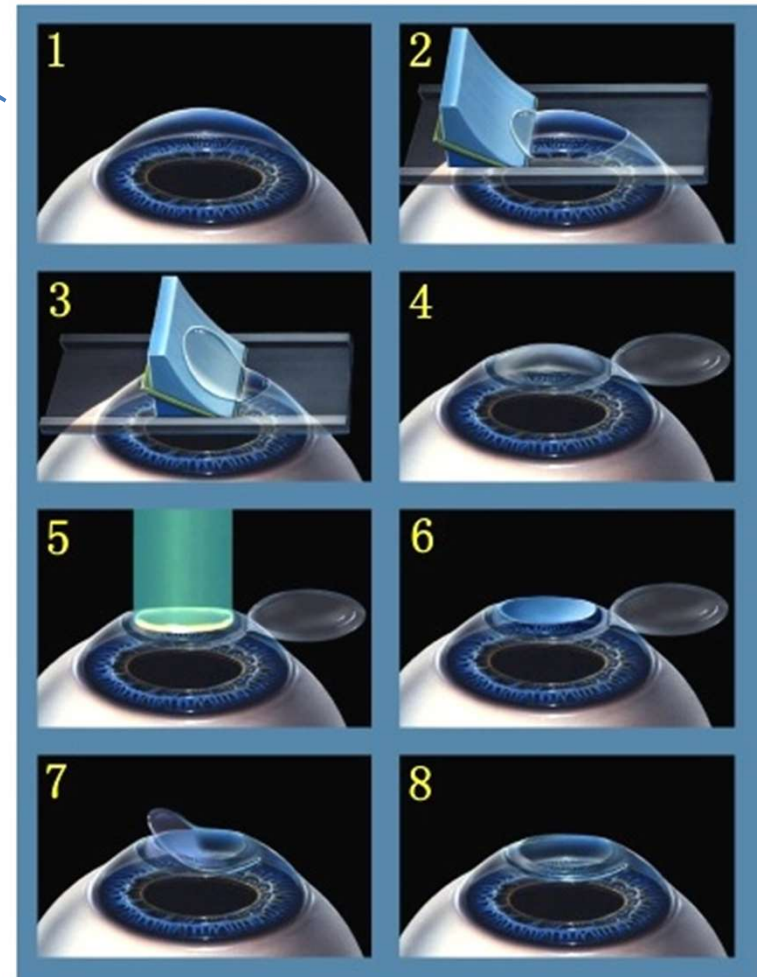
Luft (1,00)
Hornhaut (1,37)
Kammerwasser (1,33)
Linse (1,41)
Glaskörper (1,34)



ohne Akkomodation

Krümmungsradien

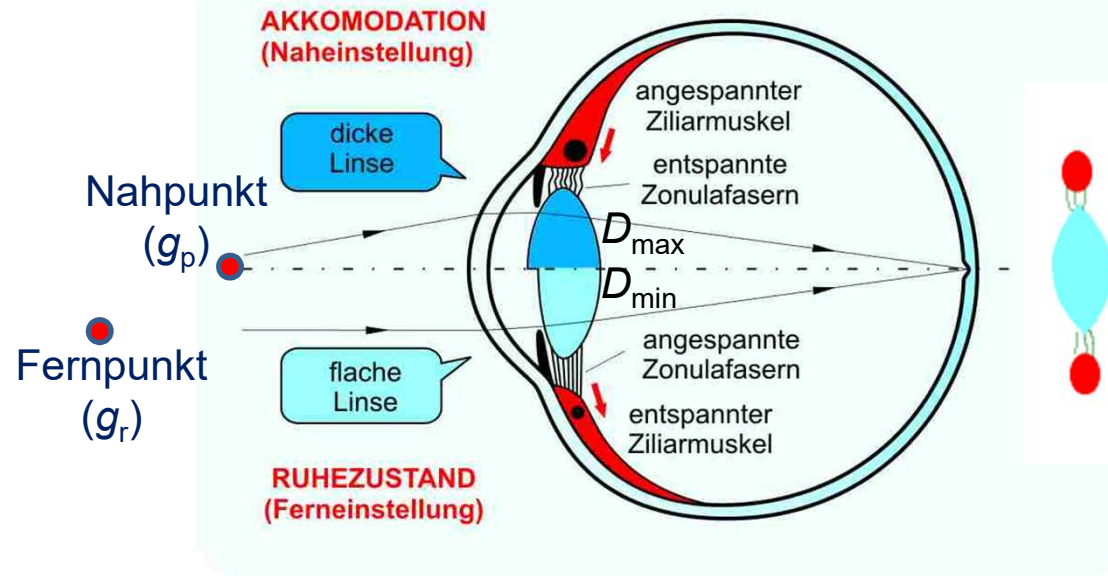
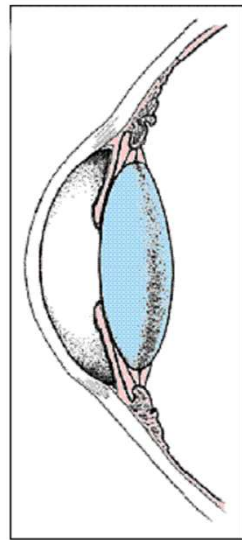
LASIK:



b) Akkomodation (Brechkraftänderung)

Zur Erinnerung:

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

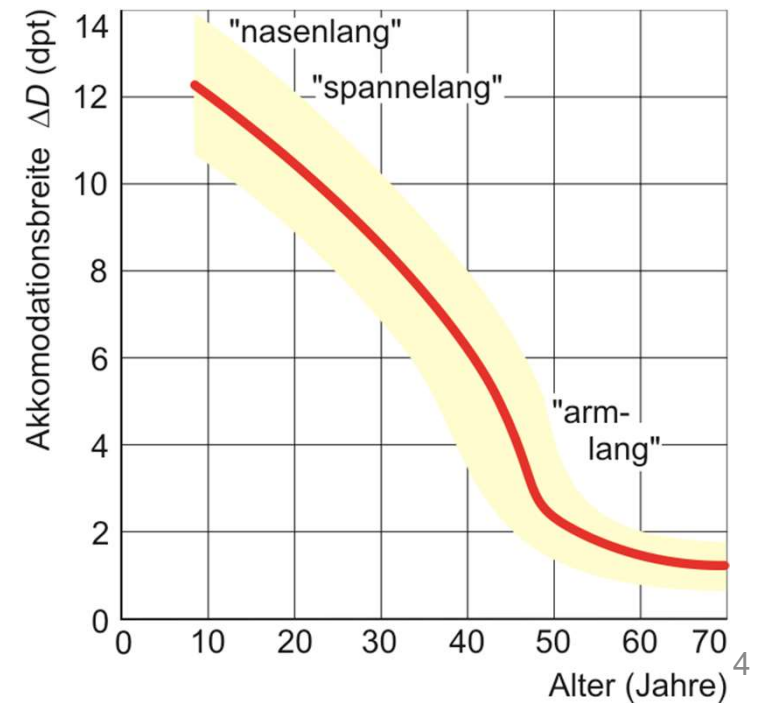


- Akkommodationsbreite (ΔD): $\Delta D = D_{\max} - D_{\min}$

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

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

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

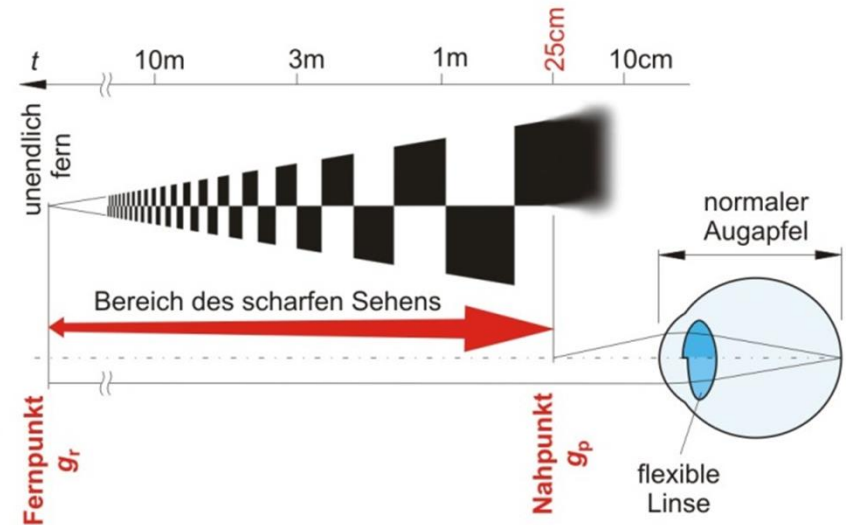


c) Augenfehler :

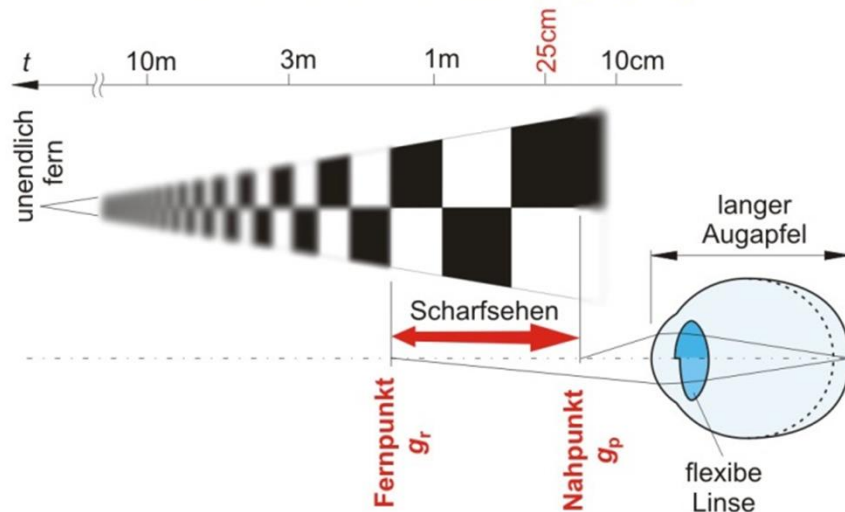
Zur Erinnerung:

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

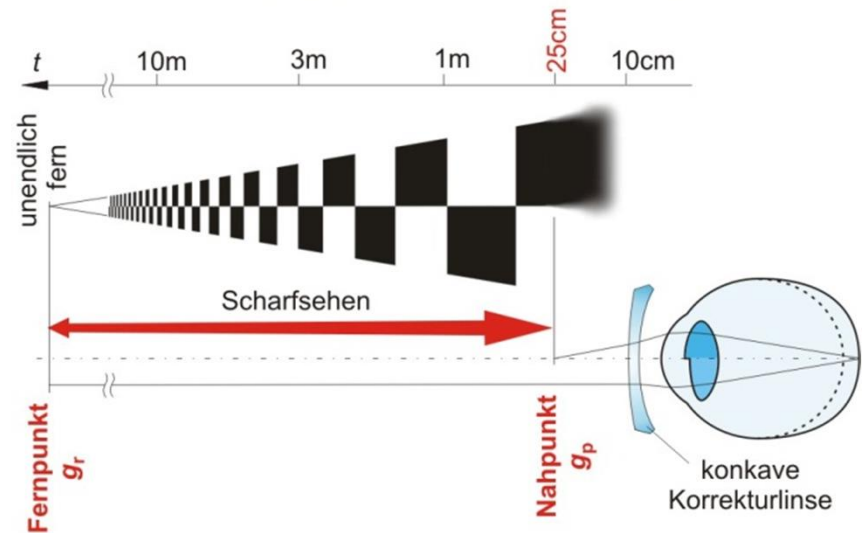
NORMALSICHTIGES AUGE (Emmetropie)



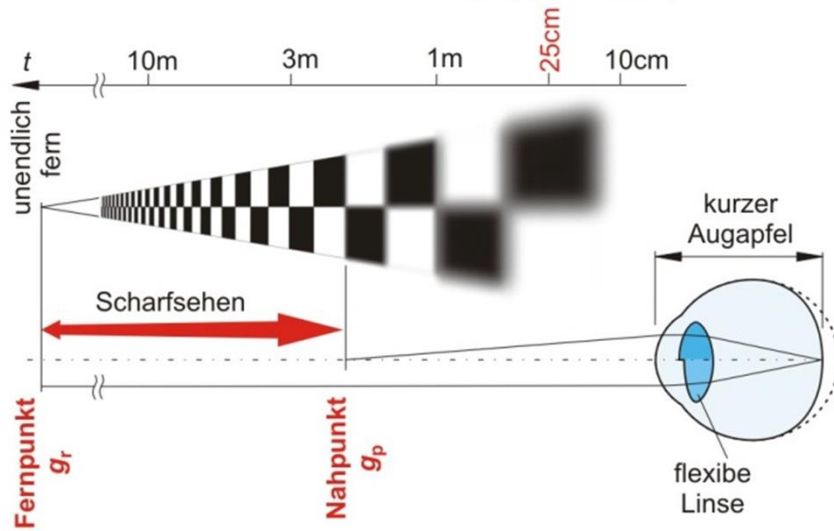
KURZSICHTIGKEIT (Myopie)



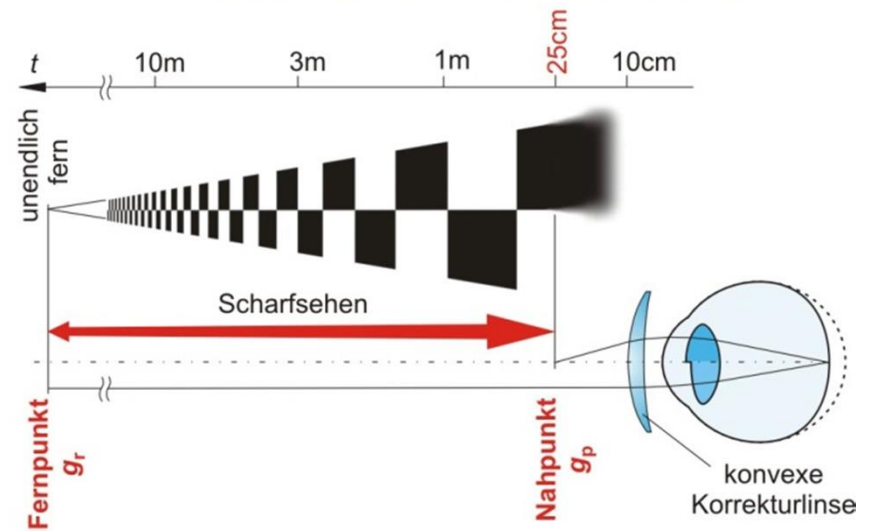
KORRIGIERTE KURZSICHTIGKEIT



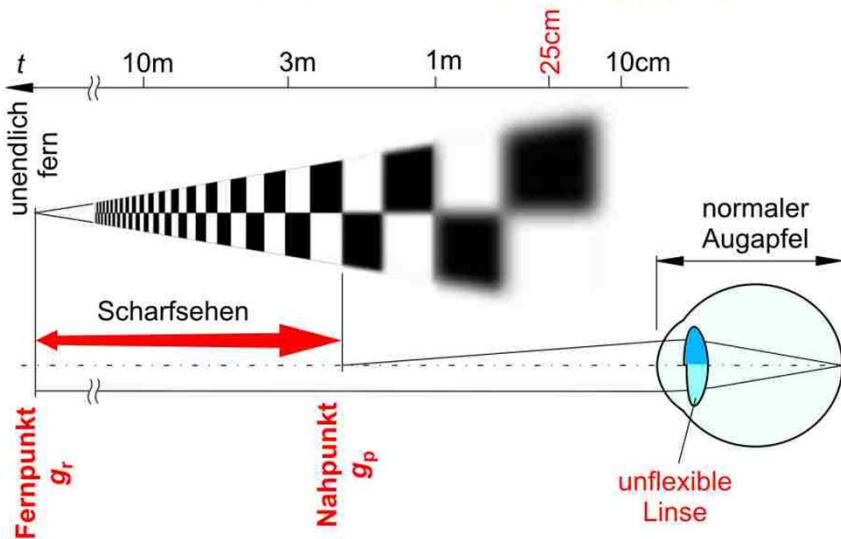
WEITSICHTIGKEIT (Hyperopie)



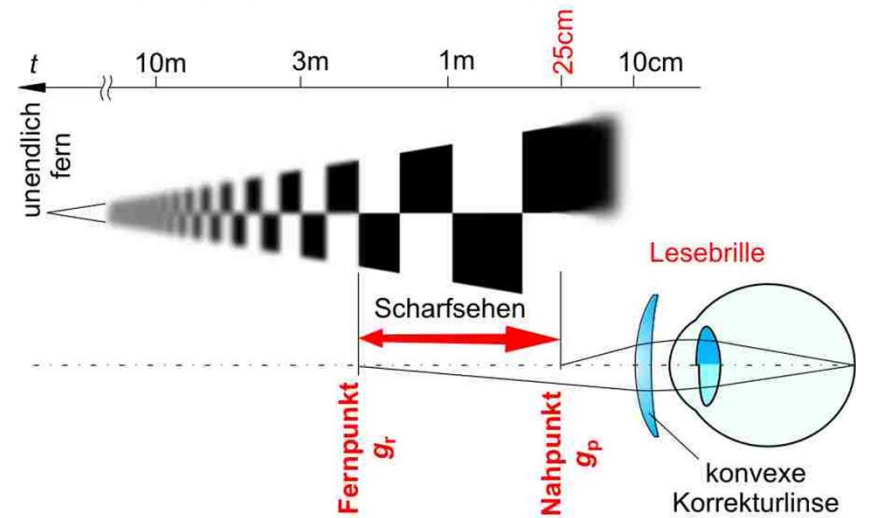
KORRIGIERTE WEITSICHTIGKEIT



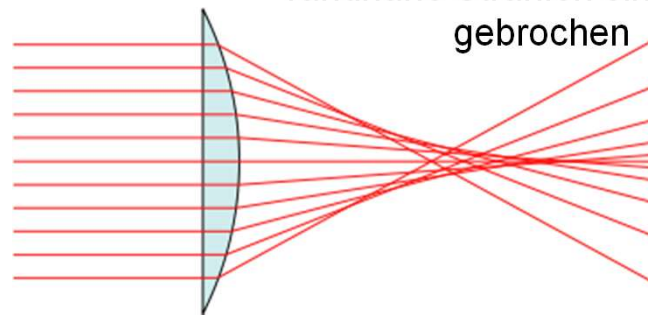
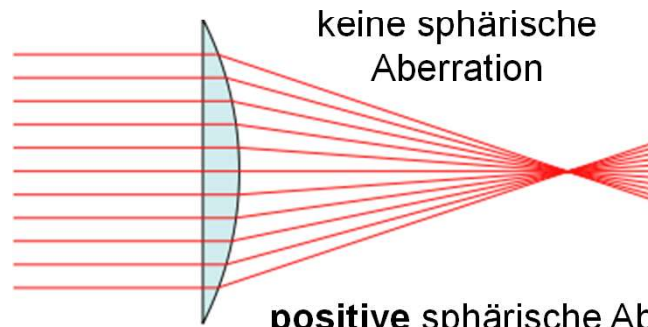
ALTERSSICHTIGKEIT (Presbyopie)



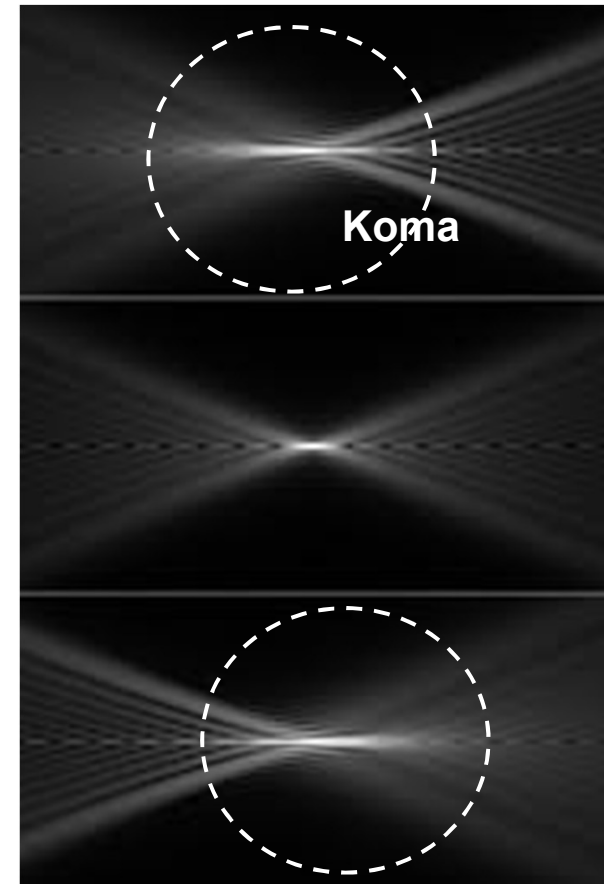
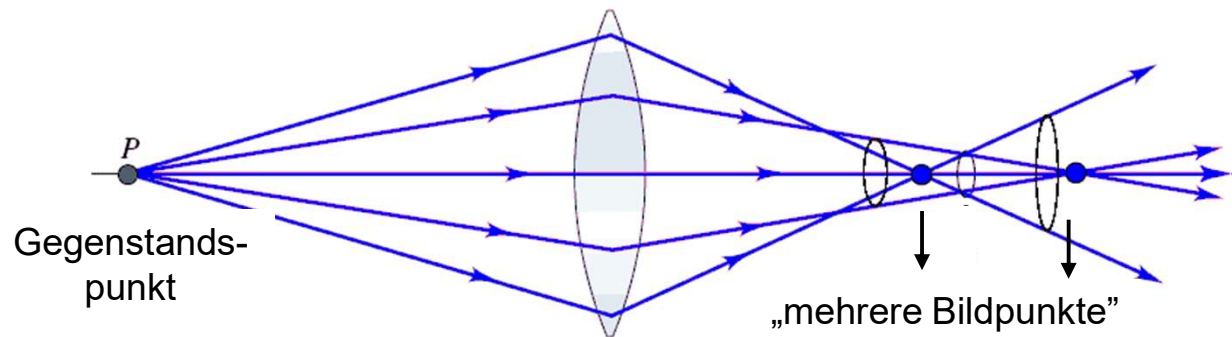
KORRIGIERTE ALTERSSICHTIGKEIT

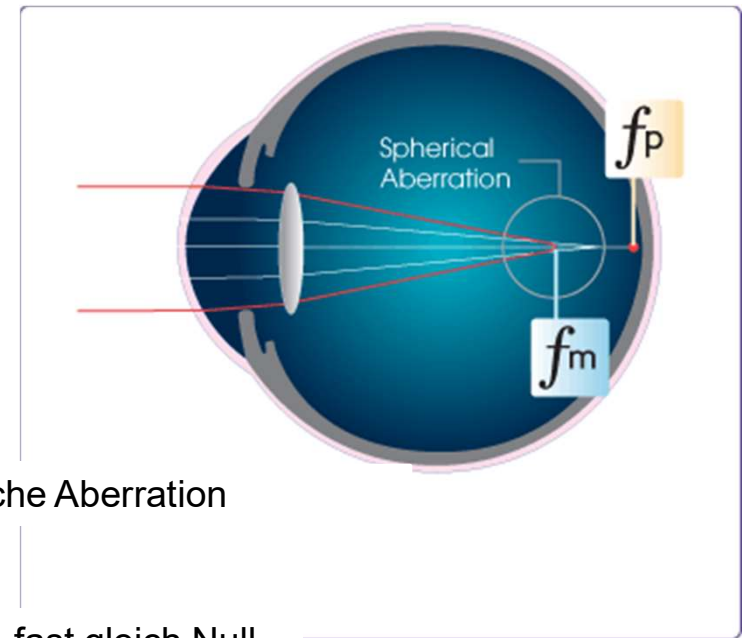
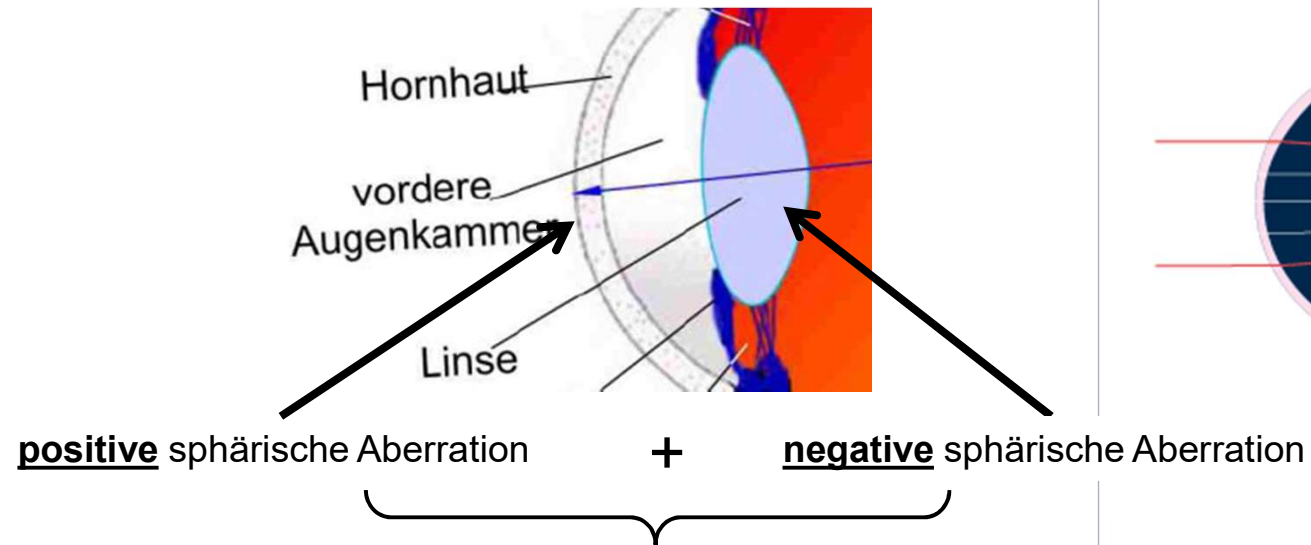


Sphärische Aberration (Öffnungsfehler)



negative sphärische Aberration =
randnahe Strahlen sind weniger
gebrochen





Bei engeren Pupillen ist die Gesamtaberration leicht positiv, fast gleich Null.

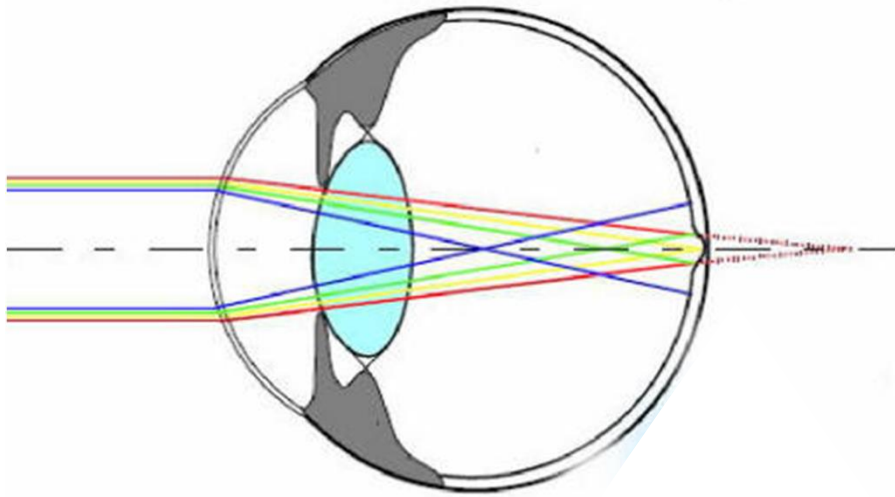
Bei weiten Pupillen ist die Gesamtaberration stärker positiv.



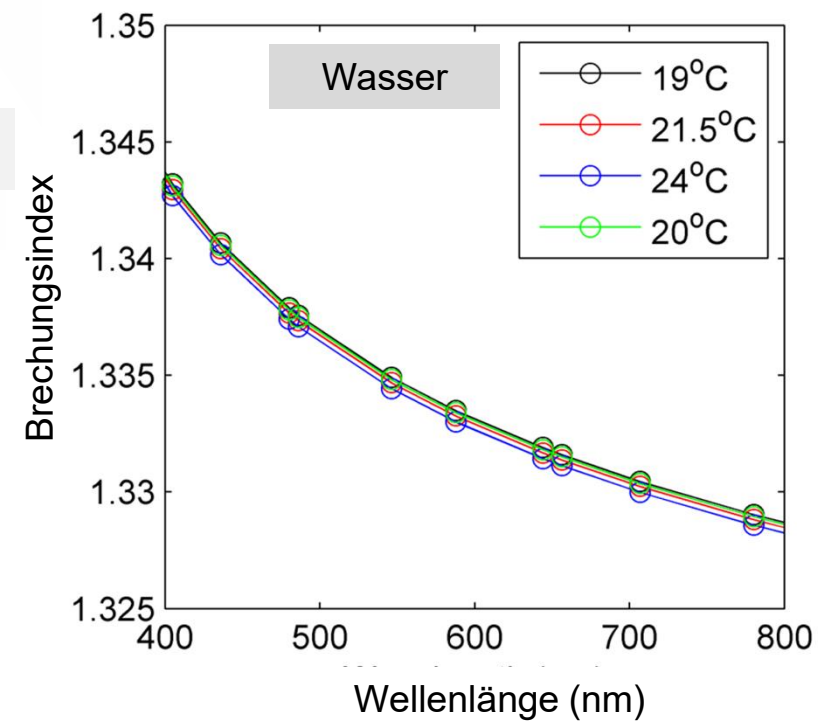
Nachtmyopie
(Nachtkurzsichtigkeit)



Chromatische Aberration (Farbfehler)

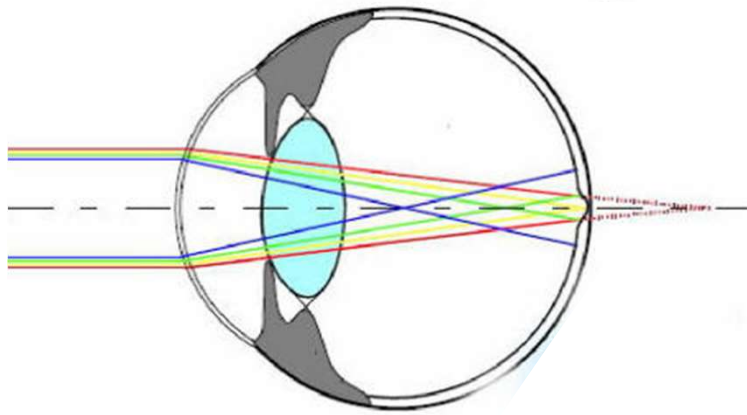


Chromatische Aberration: ● ● ● ●

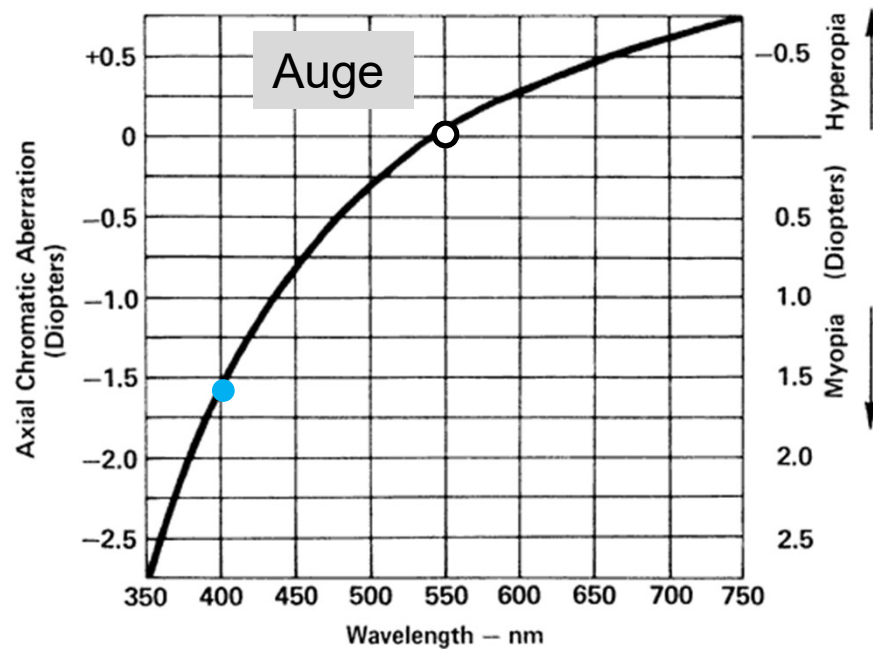
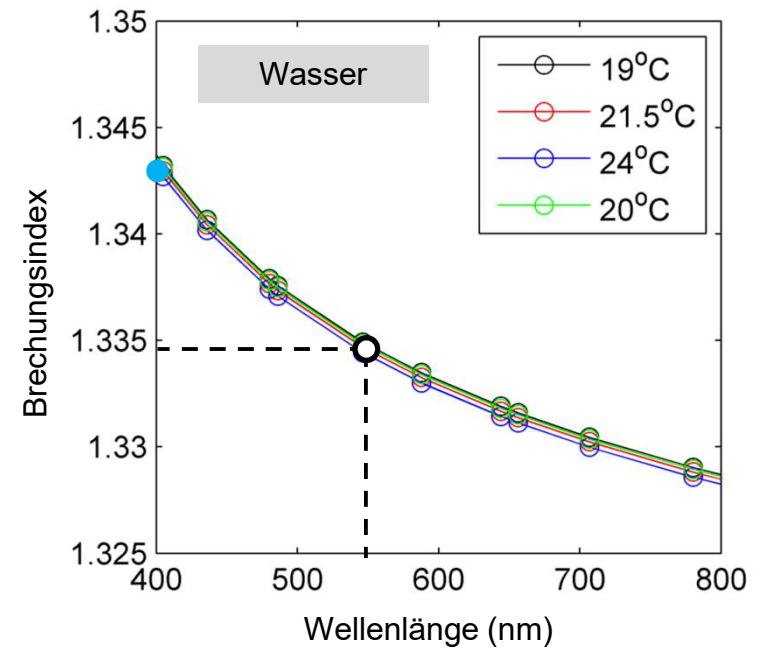


Wie viel Dioptrie ist die Brechkraftdifferenz zwischen Blau und Rot?

Chromatische Aberration (Fortsetzung)

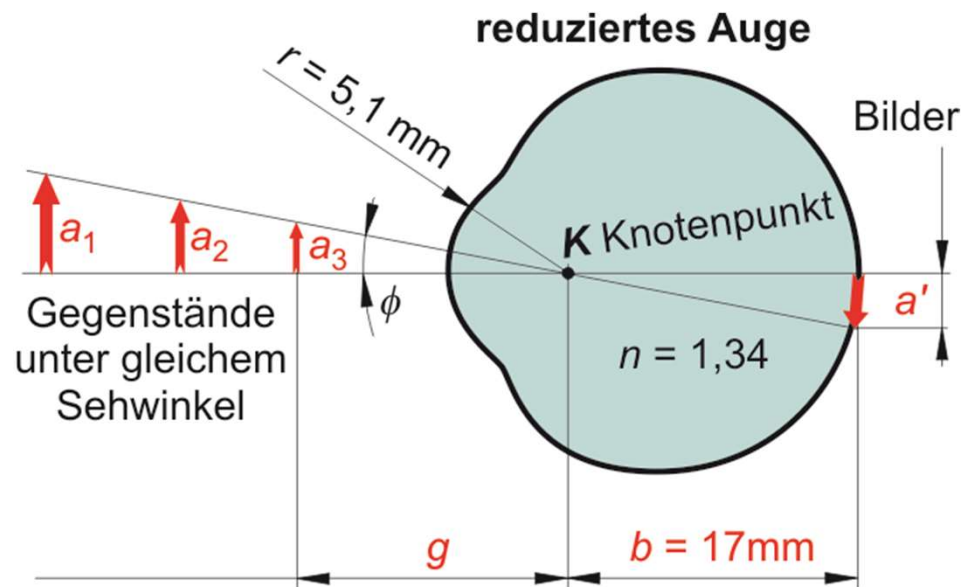
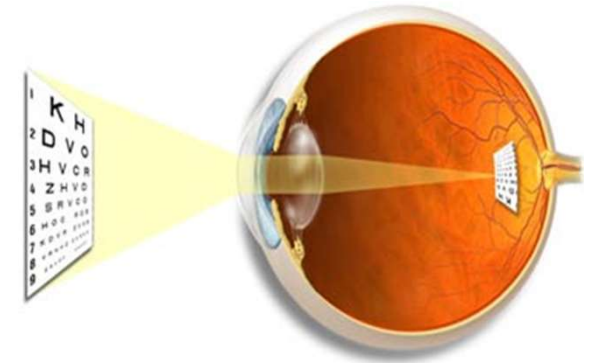


Chromatische Aberration: ● ● ● ●



d) Bildentstehung im Auge

▪ Reduziertes Auge



➤ Brechkraft des reduzierten Auges:

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

➤ Bild: — verkleinert (a')
— reell
— umgekehrt



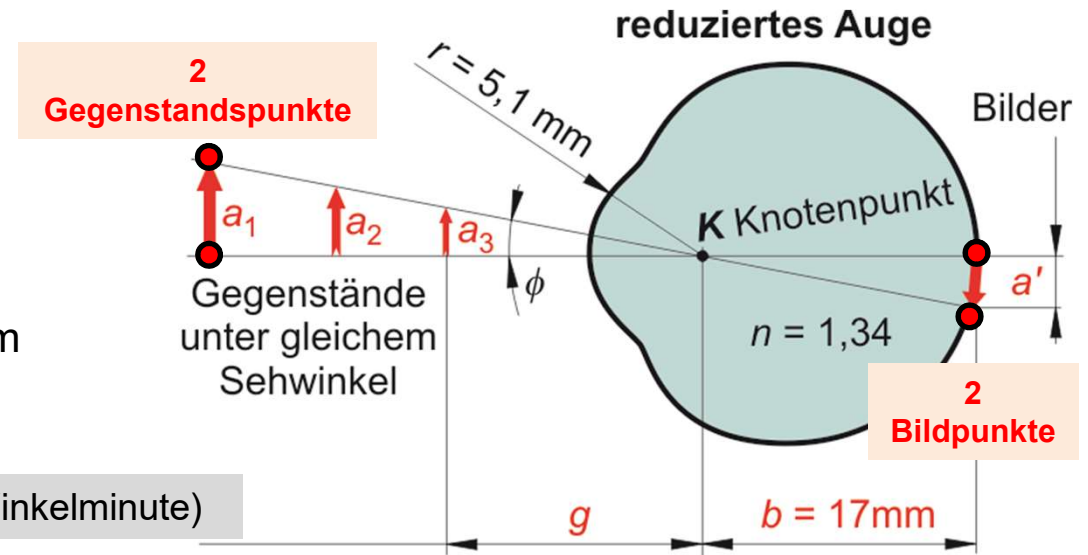
Sehwinkel ϕ : ϕ (rad) =

e) (räumliche) Auflösung des Auges

■ Sehwinkelgrenze (α):

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

Referenzwert der Sehwinkelgrenze: 1' (1 Winkelminute)



■ Auflösungsvermögen: $= \frac{1}{\alpha} \left(\frac{1}{r} \right)$

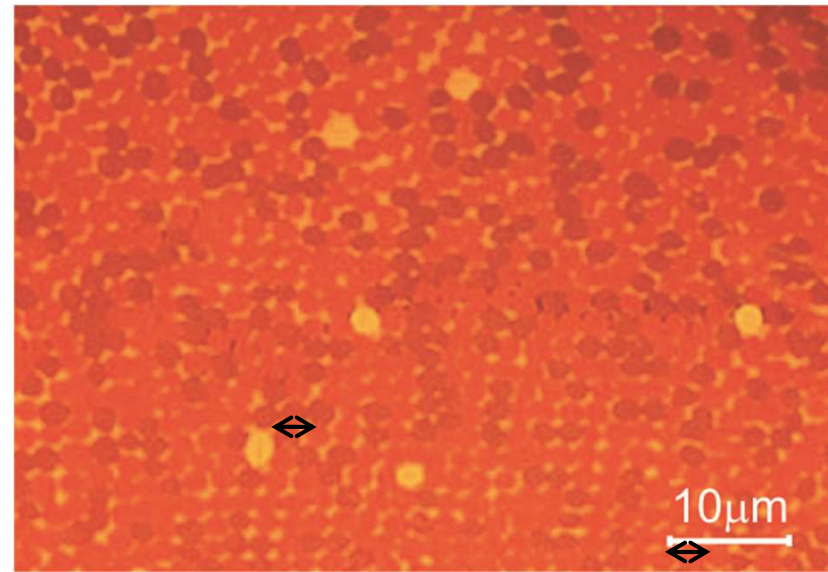
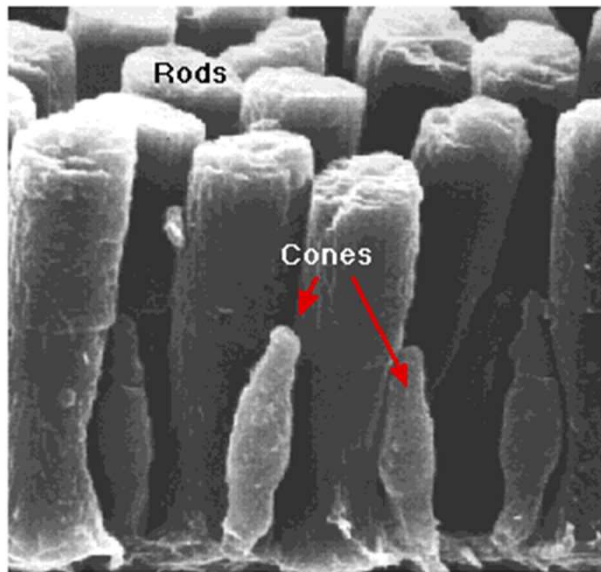
Referenzwert des Auflösungsvermögens: $= \frac{1}{1'}$

■ Sehschärfe (Visus): $= \frac{\text{Auflösungsvermögen des Patienten}}{\text{Referenzwert des Auflösungsvermögens}} = \frac{\frac{1}{\alpha(')}}{\frac{1}{1'}} = \frac{1'}{\alpha(')} (\cdot 100\%)$

Erklärung:

- physikalisch
- biologisch

➤ Biologische Erklärung

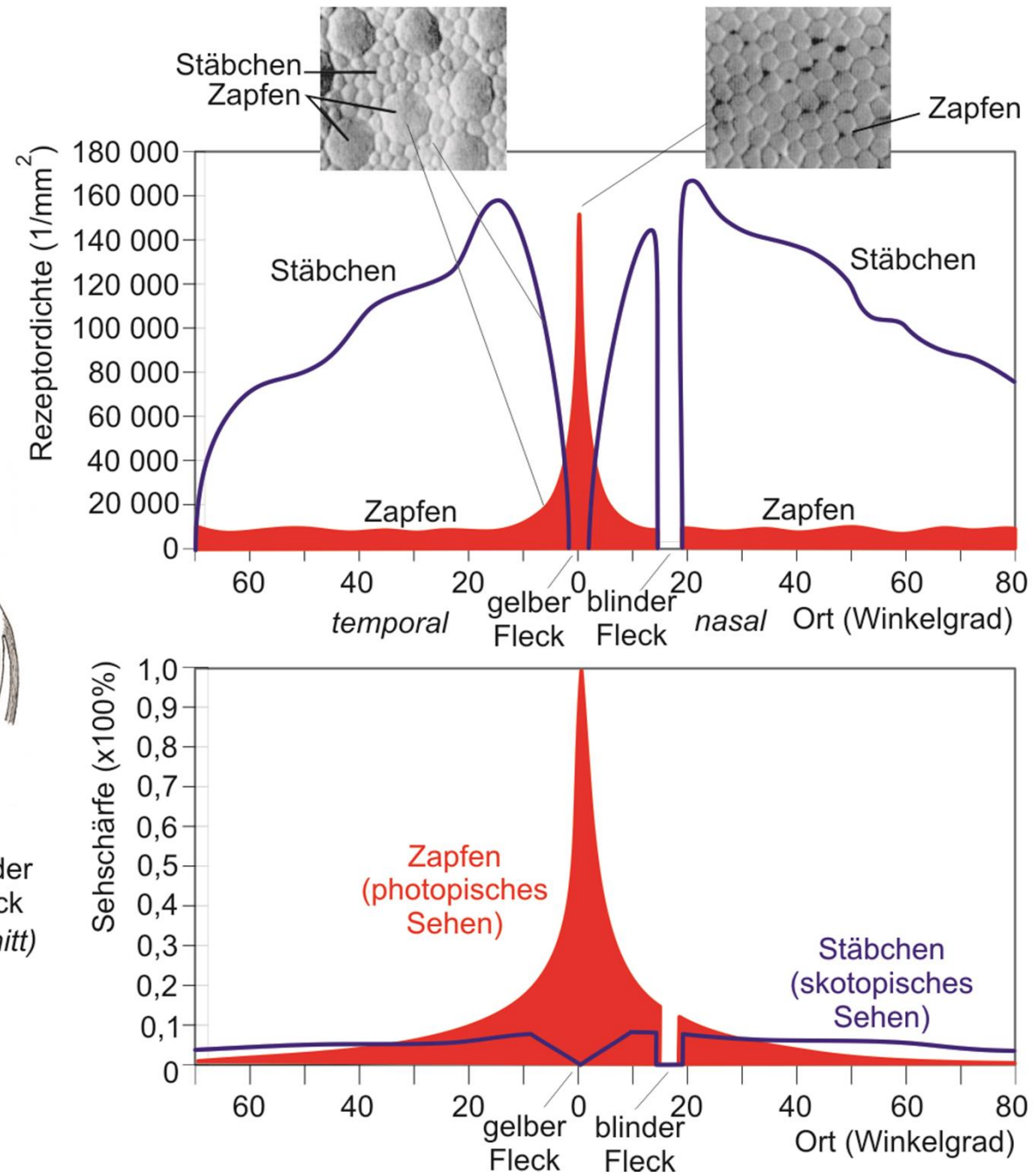
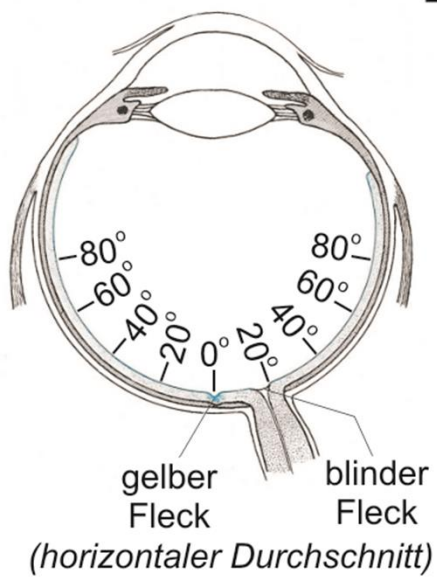


Gegenstandspunkte **Bildpunkte** **Empfindung**

Sehwinkelgrenze infolge Rezeptorendichte (α):

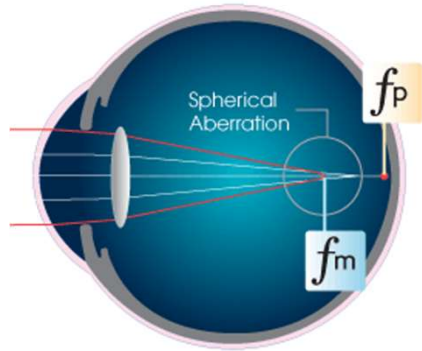
$\alpha =$



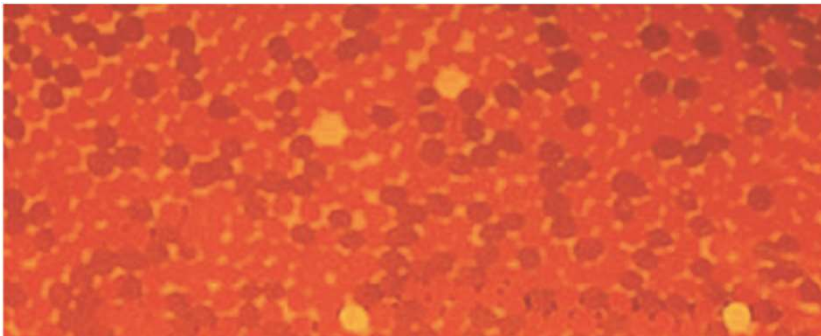


Faktoren die die Auflösung des Auges begrenzen:

1. Fehler in der optischen Abbildung (z.B.: Linsenfehlern)

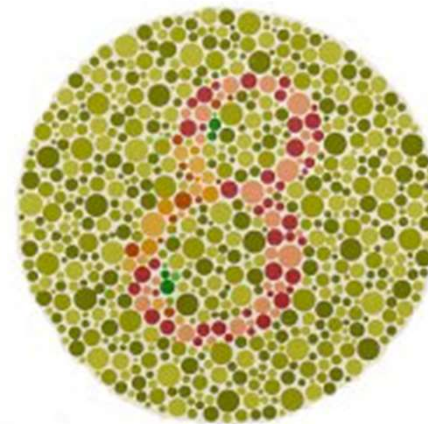
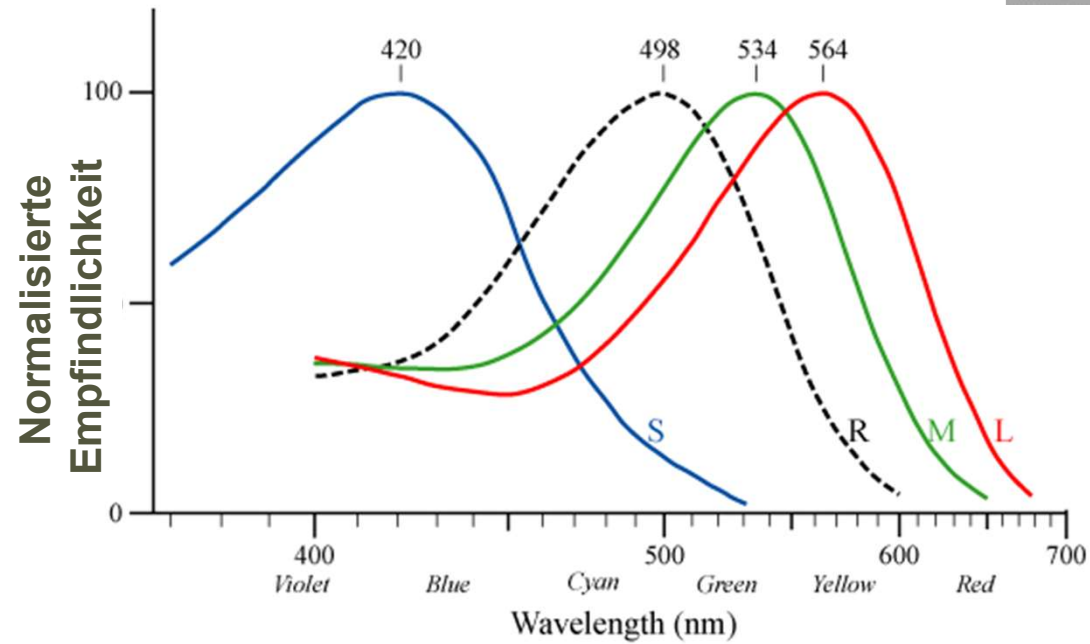
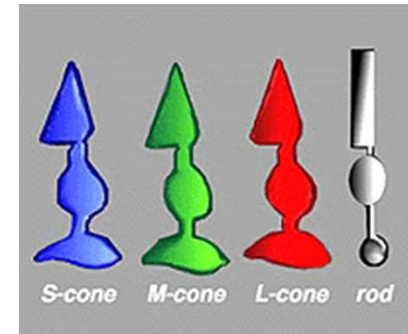


2. Grösse und Dichte der Rezeptoren

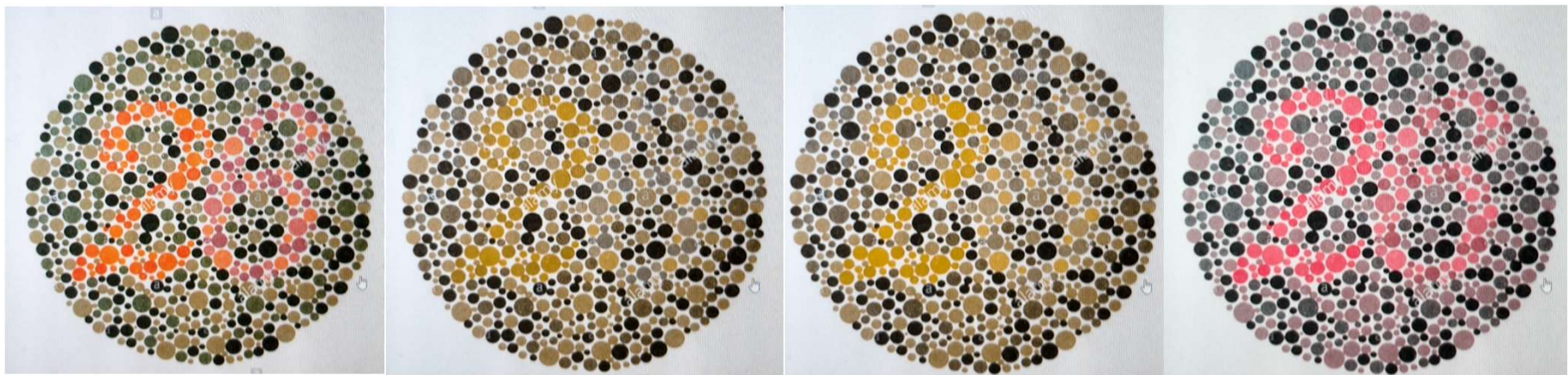


3. Wellenoptische Effekte, Beugung
(siehe nächste Woche)

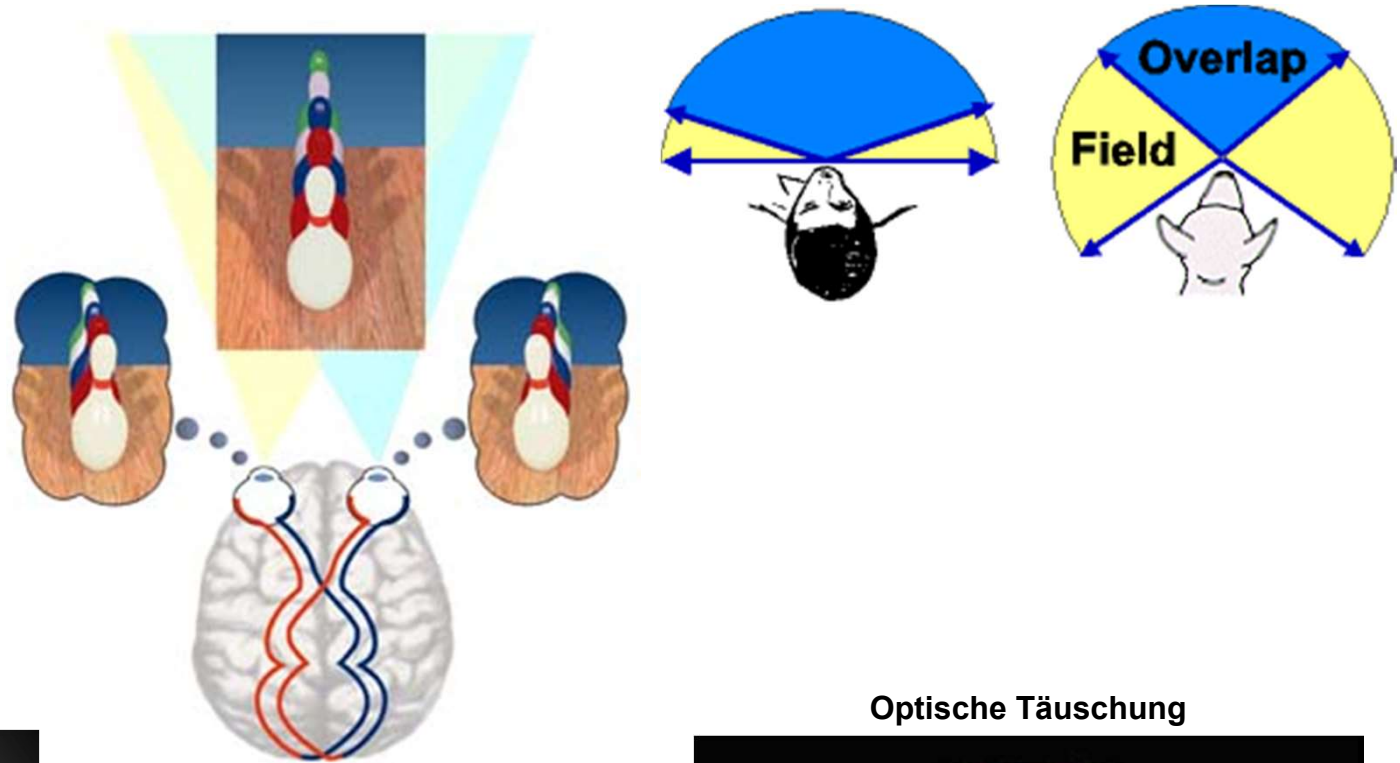
5. Spektrale Empfindlichkeit des Auges - Farbsehen



Farbenfehlsichtigkeit



6. Raumsehen



Optische Täuschung



Optische Täuschung



Hausaufgaben: Aufgabensammlung

4.5-8, 14

