

Medizinische Biophysik

Licht in der Medizin. Medizinische Optik

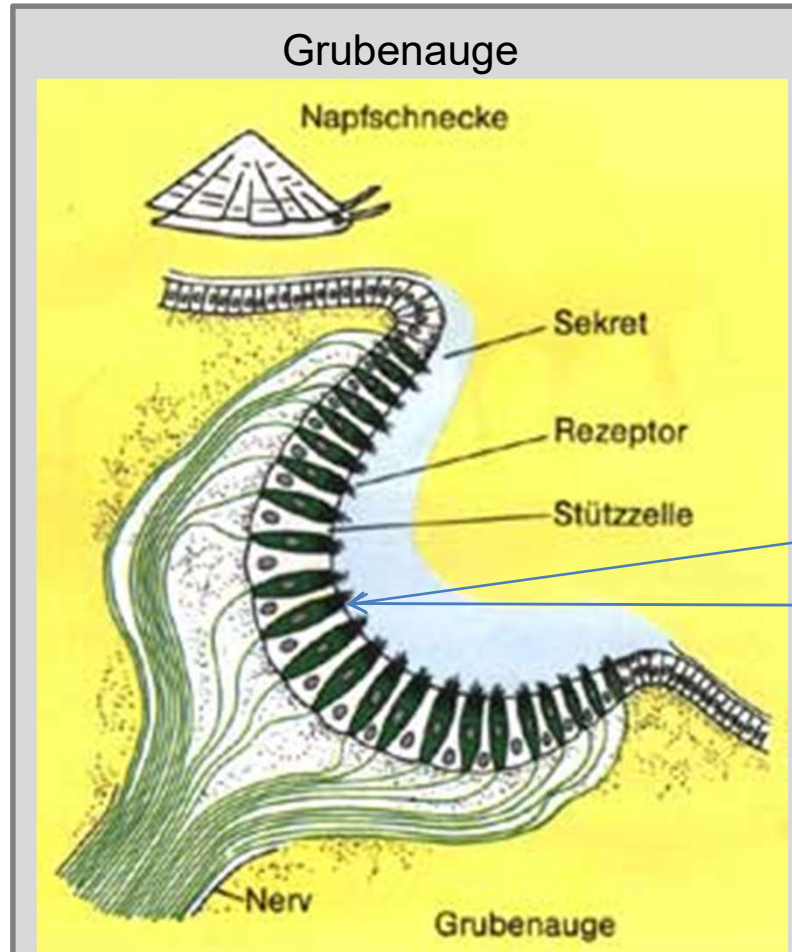
II. Das Auge und das Sehen

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
 - f) Faktoren die die Auflösung des Auges begrenzen:
4. Spektrale Empfindlichkeit des Auges - Farbensehen
5. Raumsehen

II. Das Auge und das Sehen

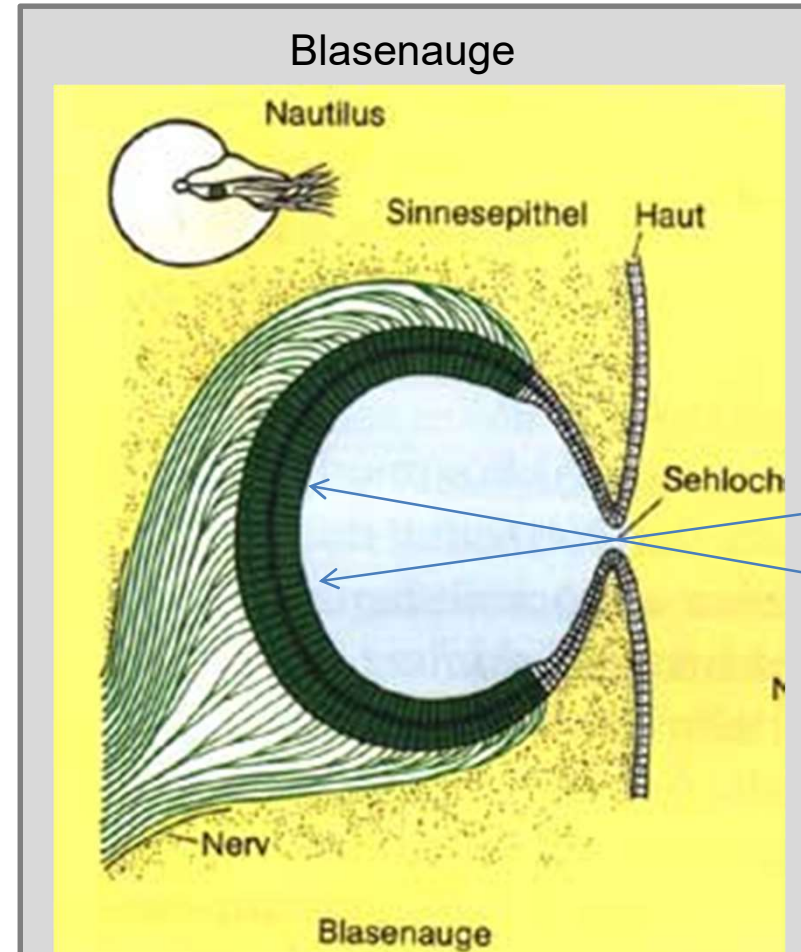


1. Entwicklung des Sehorgans



Nachteile:

- Verletzungsanfällig
- Minimale räumliche Auflösung



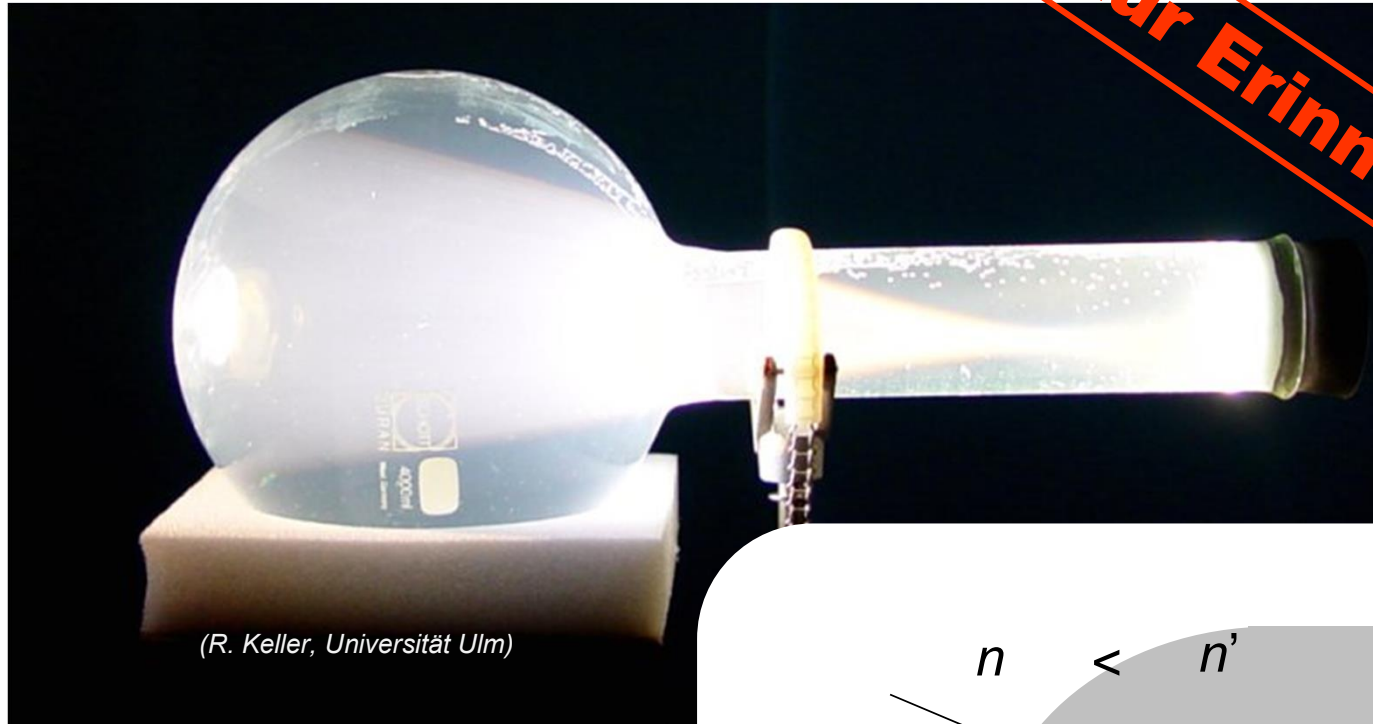
Nachteile:

- Immer noch verletzungsanfällig
- Schlechte räumliche Auflösung
- Keine Akkomodationsfähigkeit



Optische Abbildung ist notwendig!

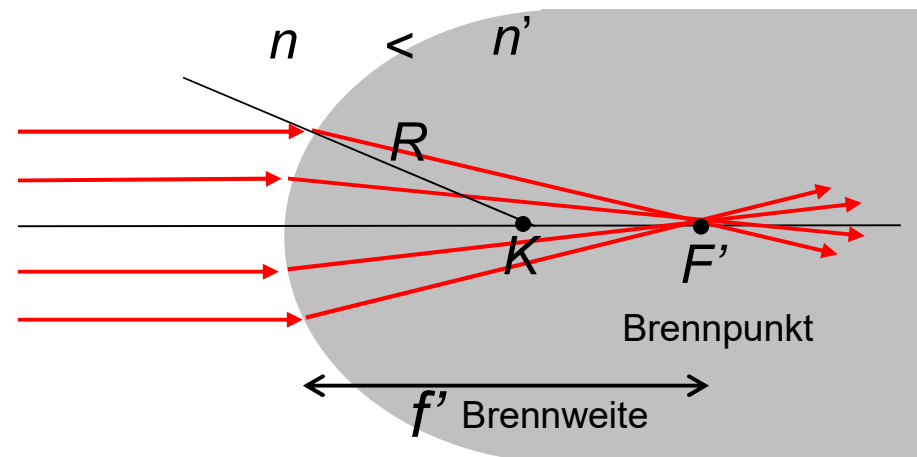
Brechung durch eine sphärische Grenzfläche:



Zur Erinnerung

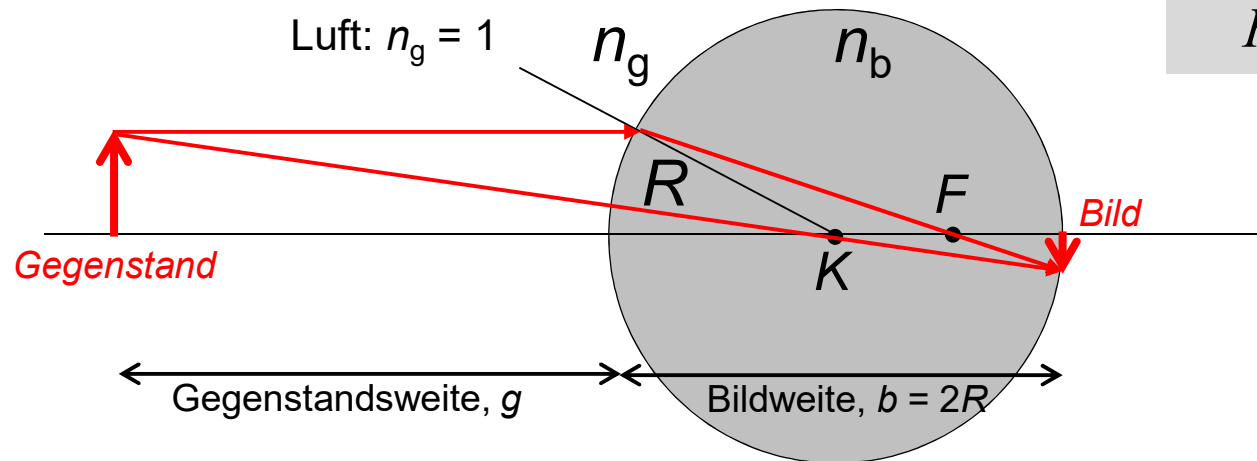
Brechkraft (D):
$$D = \frac{n'}{f'} = \frac{n' - n}{R}$$

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



Einfache Kugel als Auge?

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



$n_b =$



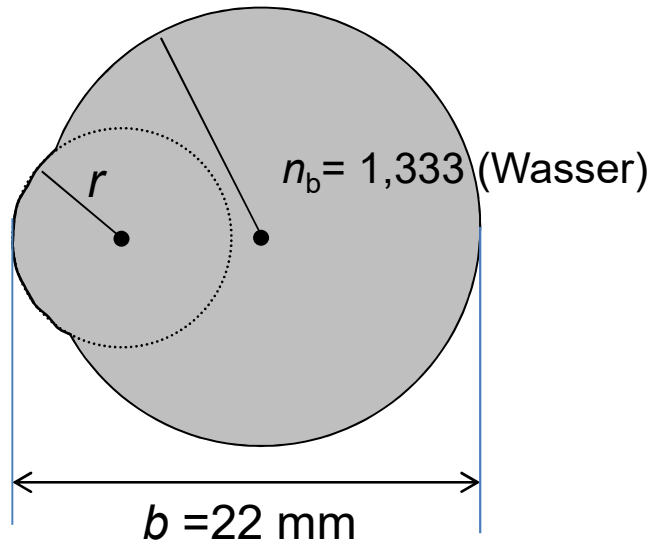
n_b müsste größer sein als 2! Diamant vielleicht?



2 Kugeln!

$r =$ 

$n_g = 1$ (Luft)



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

Vorteile:

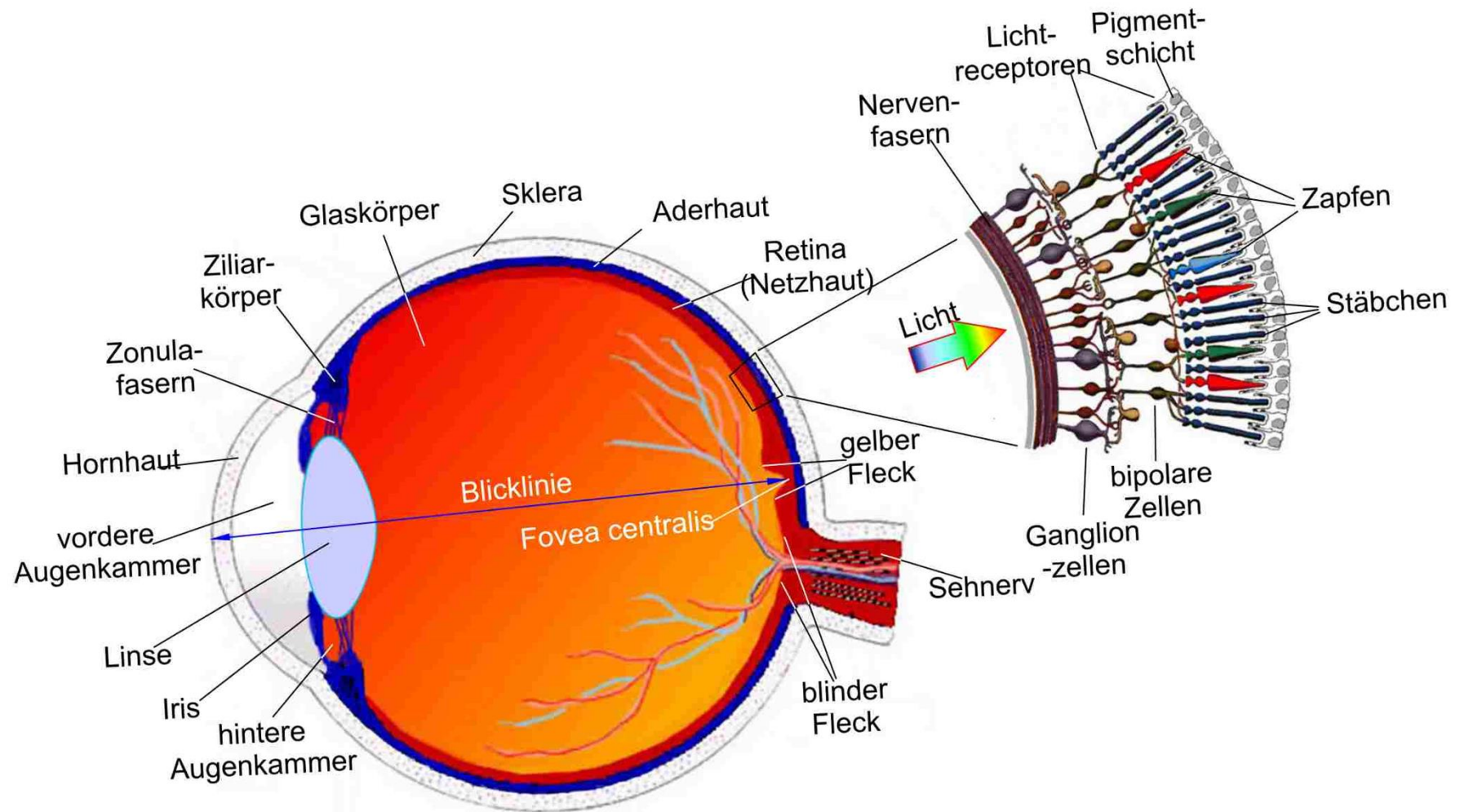
- Geschlossen \Rightarrow weniger verletzungsanfällig
- Gute räumliche Auflösung
- Bild entsteht innerhalb der Kugel

Nachteile:

- Keine Akkomodationsfähigkeit

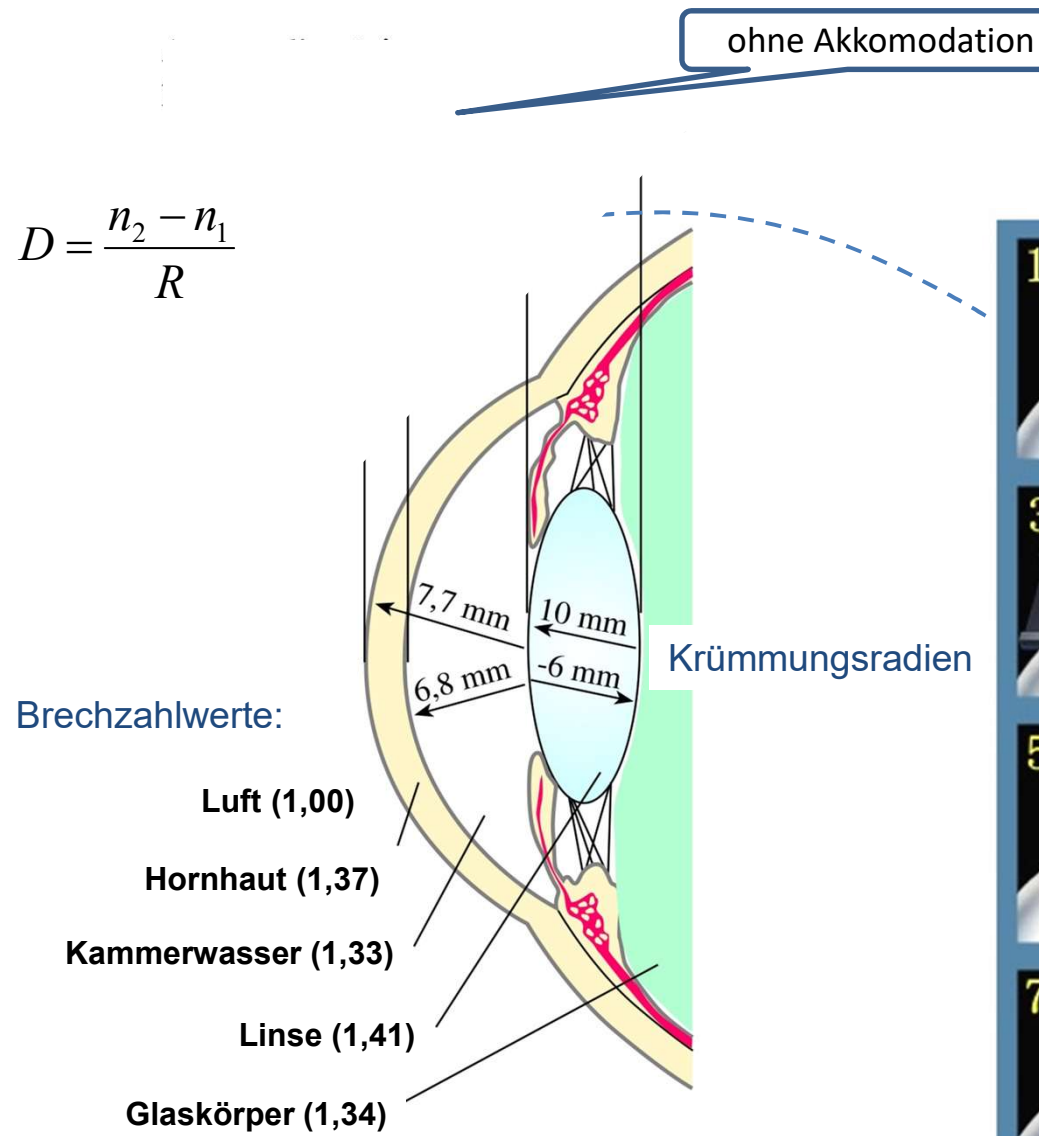


2. Aufbau des menschlichen Auges

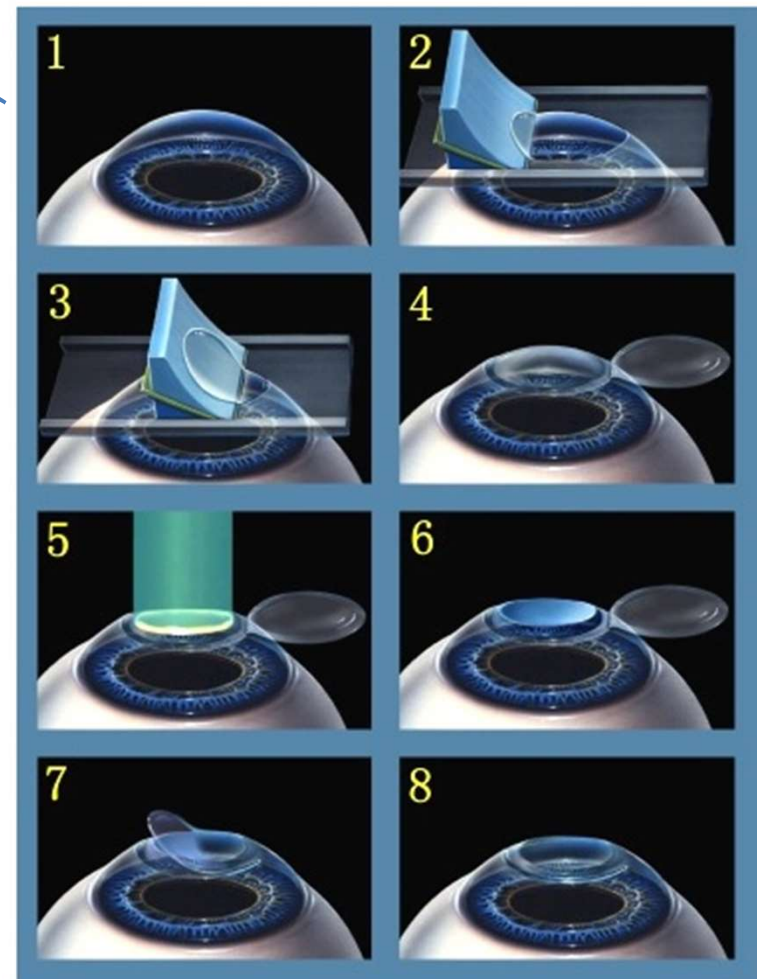


3. Optik des menschlichen Auges

a) Brechkraft des Auges



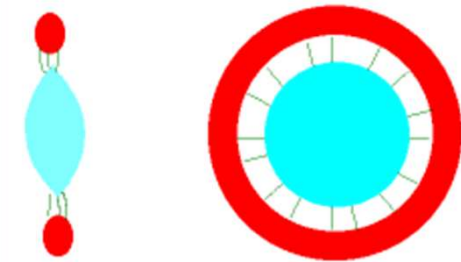
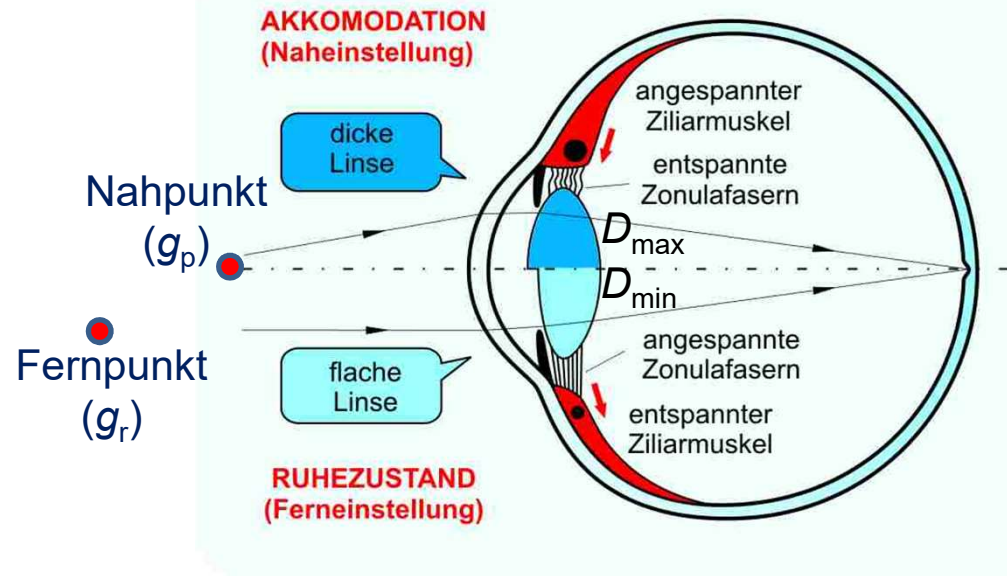
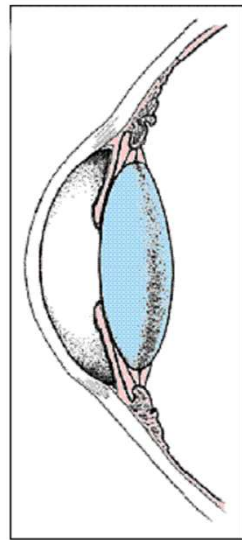
LASIK:



b) Akkomodation (Brechkraftänderung)

Zur Erinnerung:

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

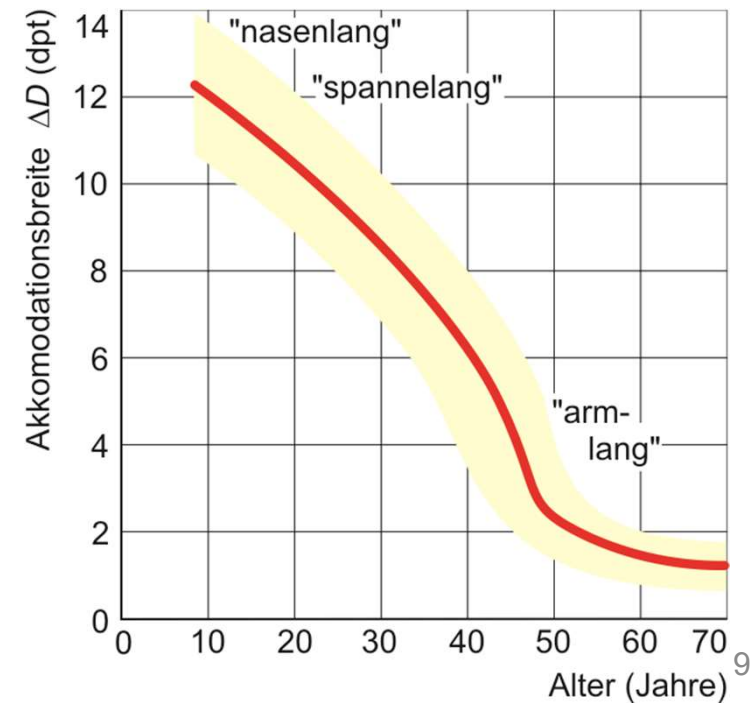


- Akkommodationsbreite (ΔD): $\Delta D = D_{\max} - D_{\min}$

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

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

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

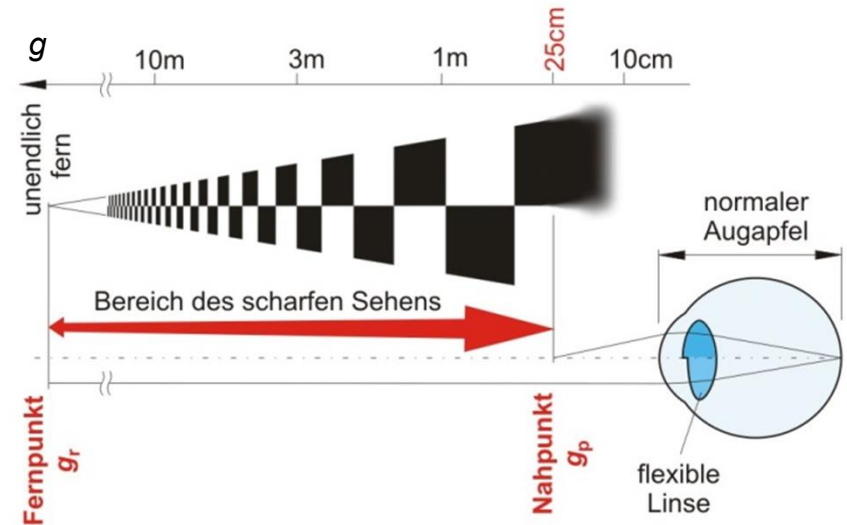


c) Augenfehler :

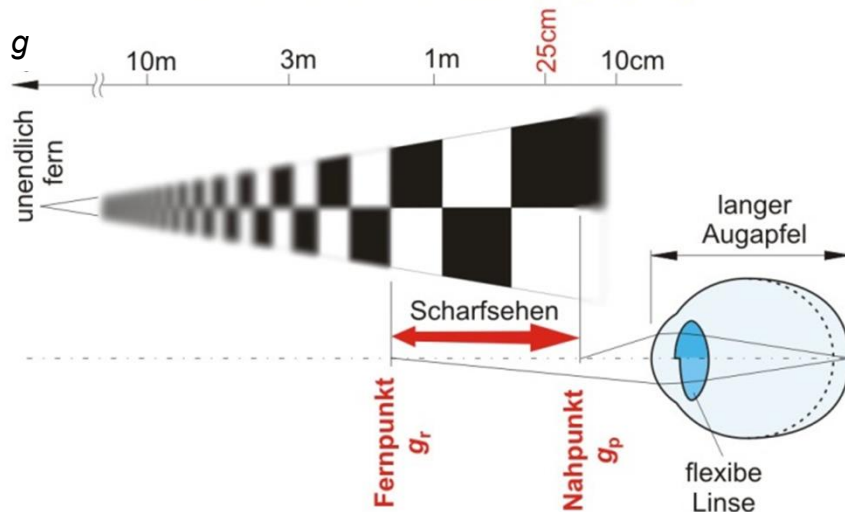
Zur Erinnerung:

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

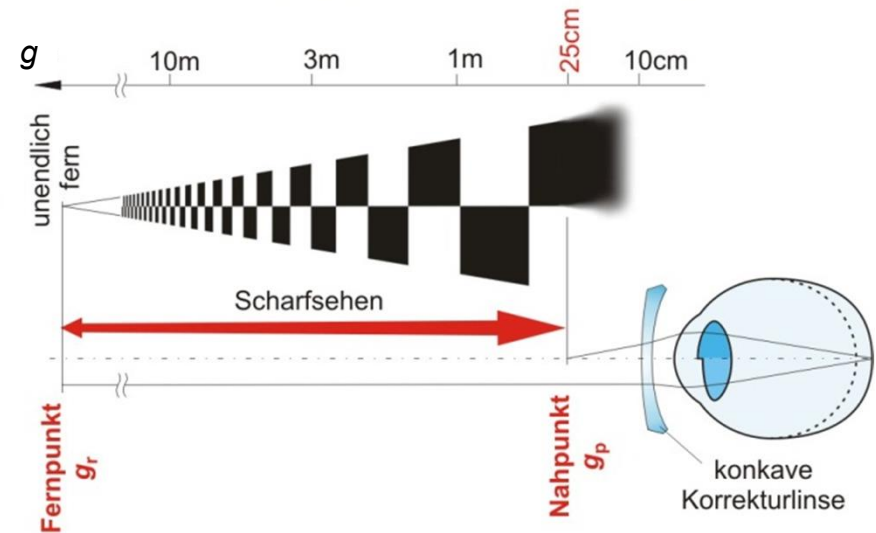
NORMALSICHTIGES AUGE (Emmetropie)



KURZSICHTIGKEIT (Myopie)

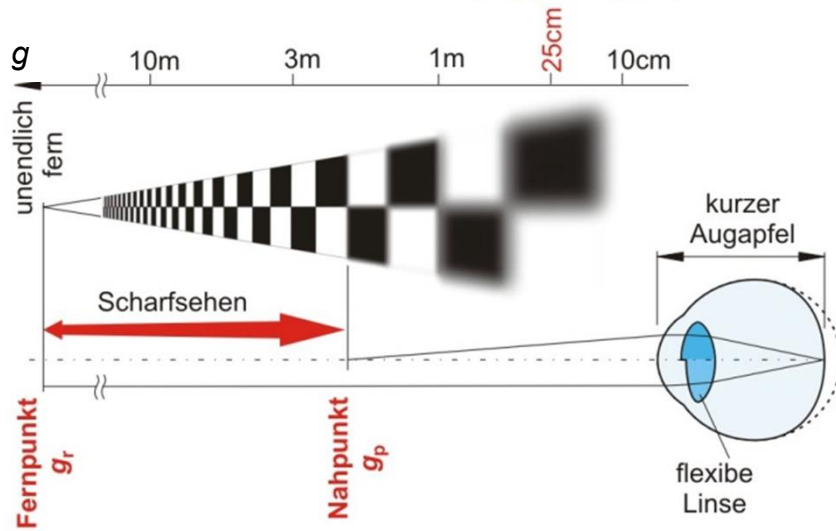


KORRIGIERTE KURZSICHTIGKEIT

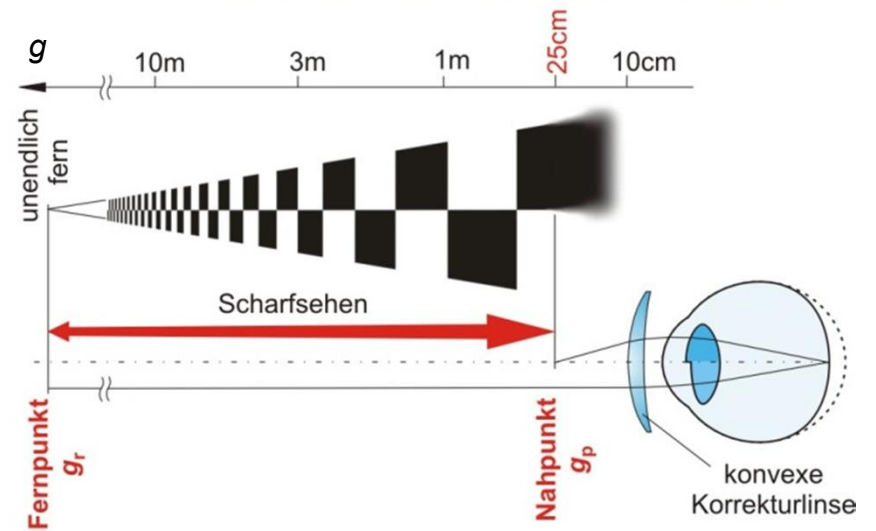


$$D = \frac{n_g}{g} + \frac{n_b}{b}$$

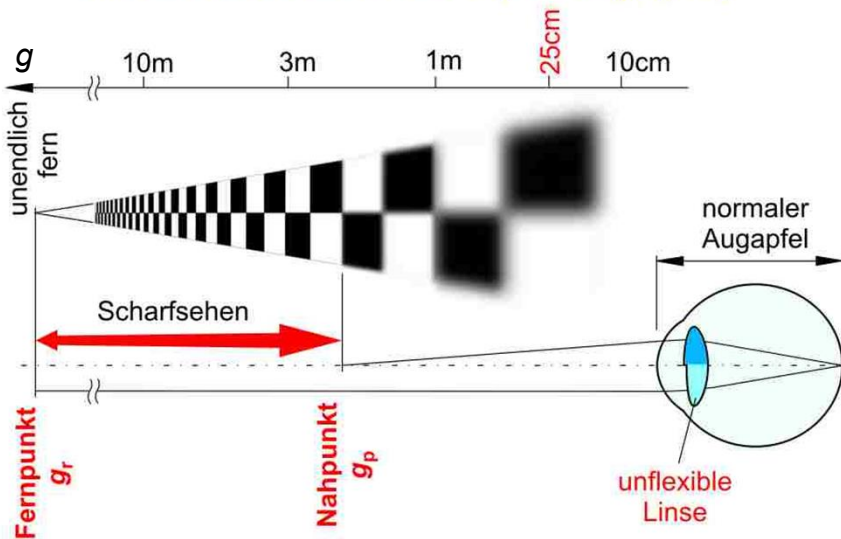
WEITSICHTIGKEIT (Hyperopie)



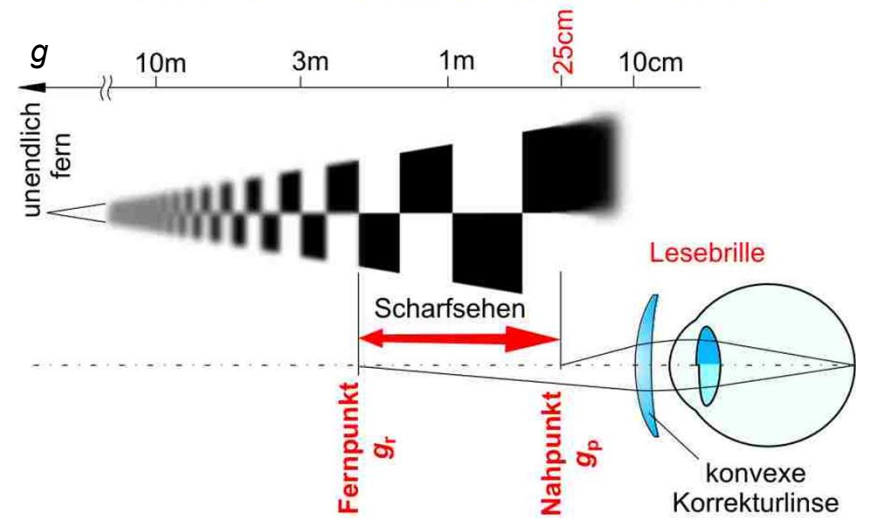
KORRIGIERTE WEITSICHTIGKEIT



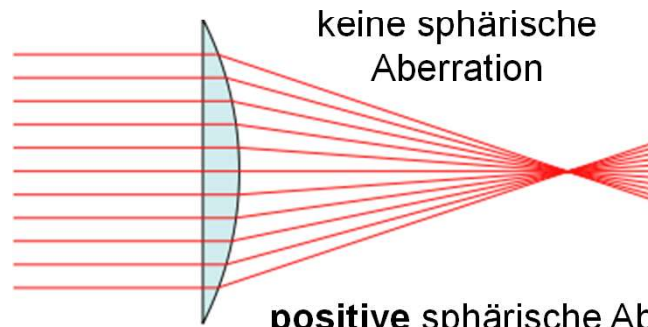
ALTERSSICHTIGKEIT (Presbyopie)



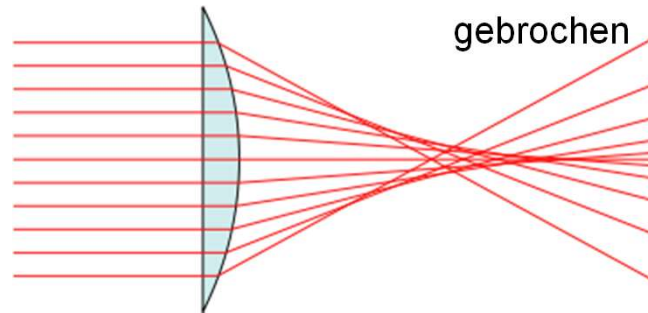
KORRIGIERTE ALTERSSICHTIGKEIT



Sphärische Aberration (Öffnungsfehler)



keine sphärische
Aberration

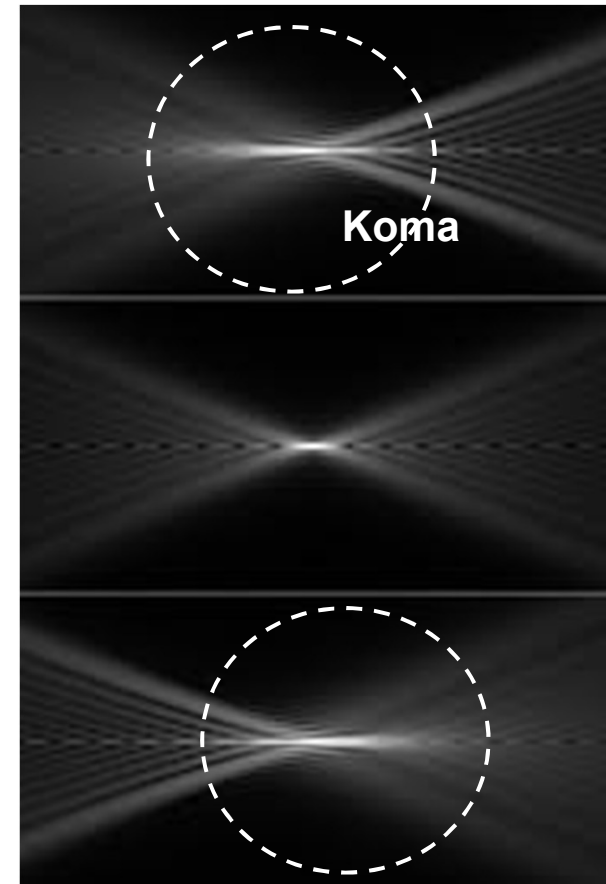
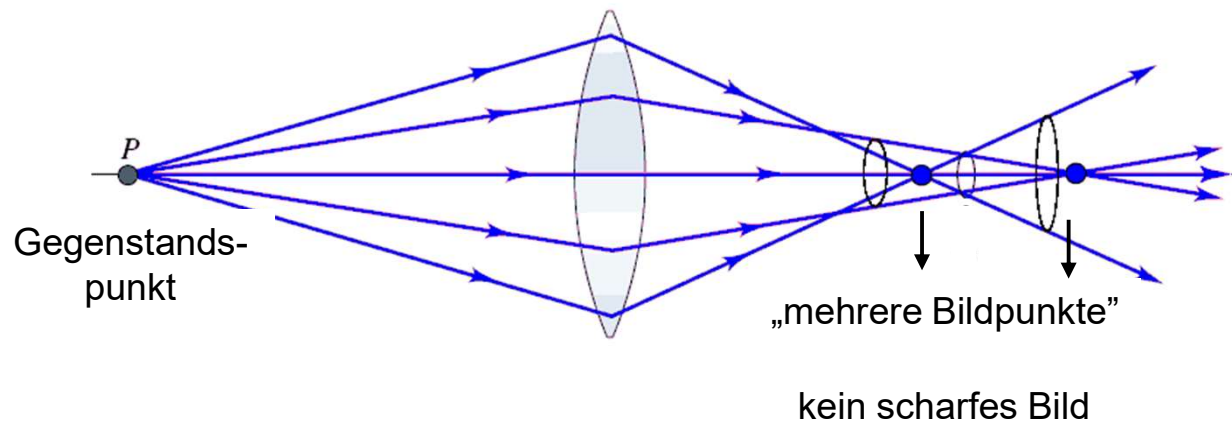


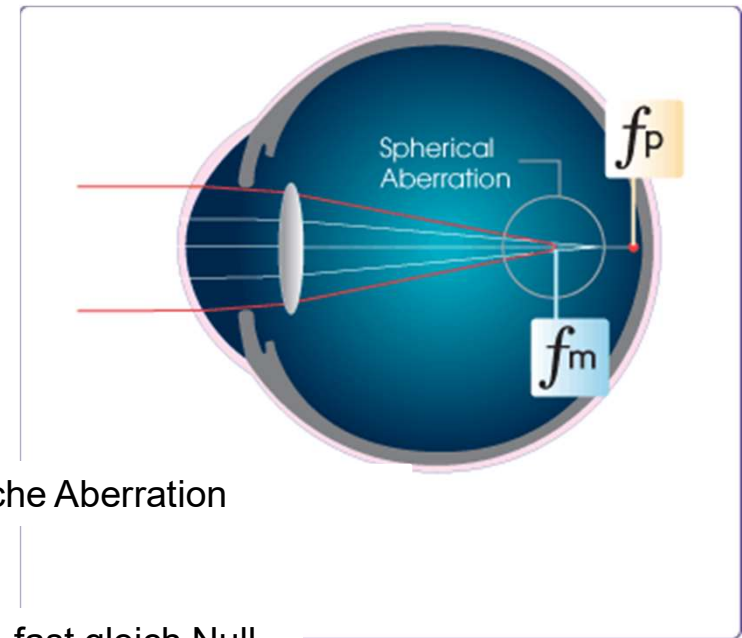
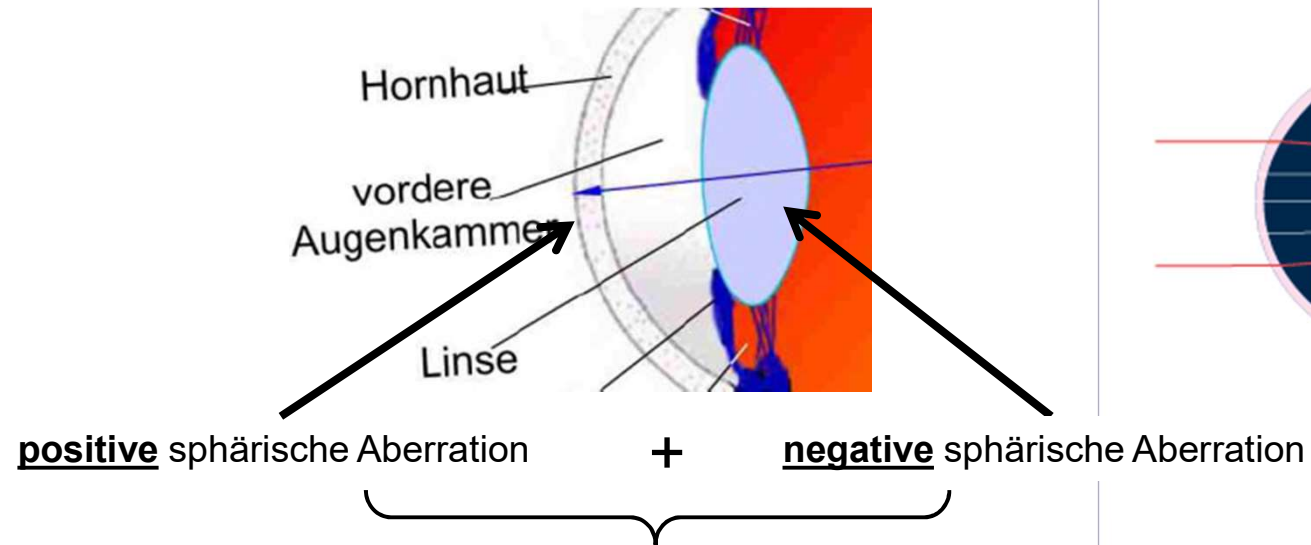
positive sphärische Aberration =
randnahe Strahlen sind stärker
gebrochen



negative sphärische Aberration =
randnahe Strahlen sind weniger
gebrochen

Zur Erinnerung





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

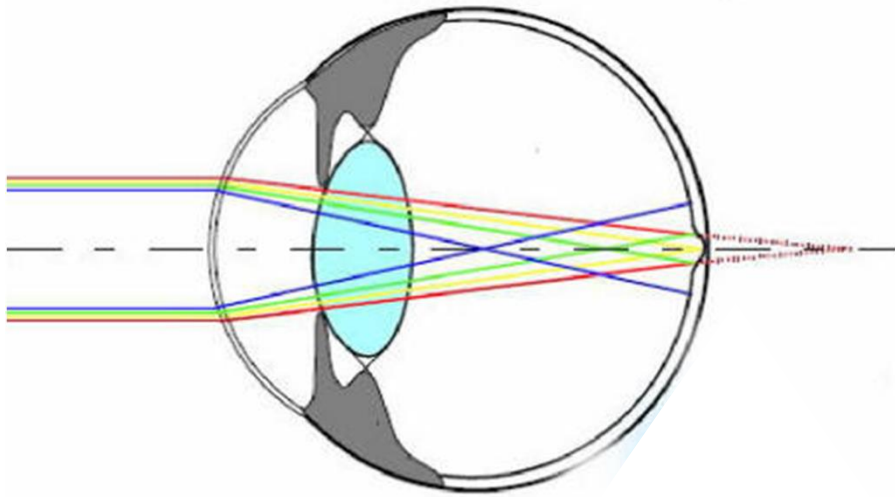
Bei weiten Pupillen ist die Gesamtaberration stärker positiv.



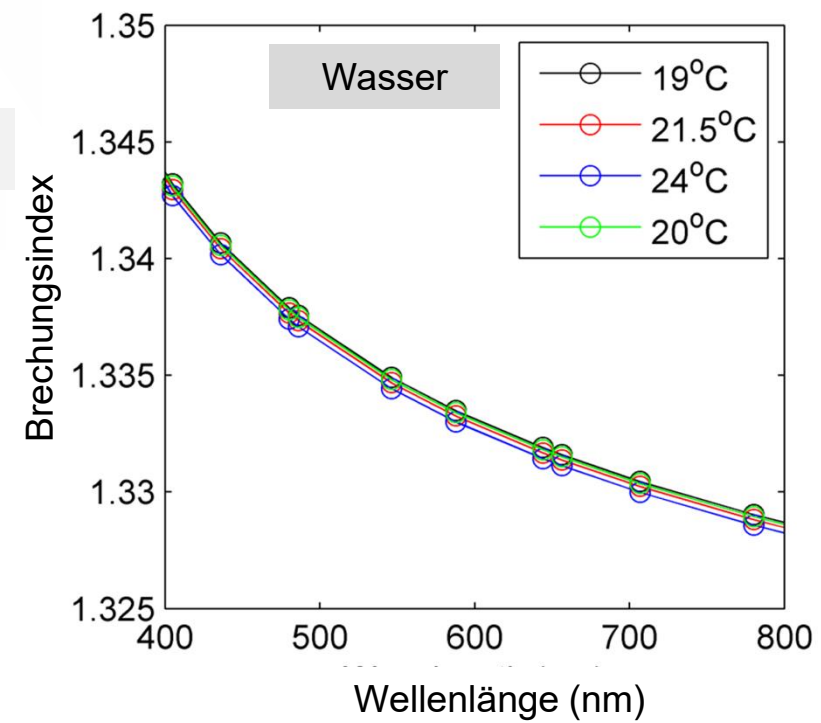
Nachtmyopie
(Nachtkurzsichtigkeit)



Chromatische Aberration (Farbfehler)

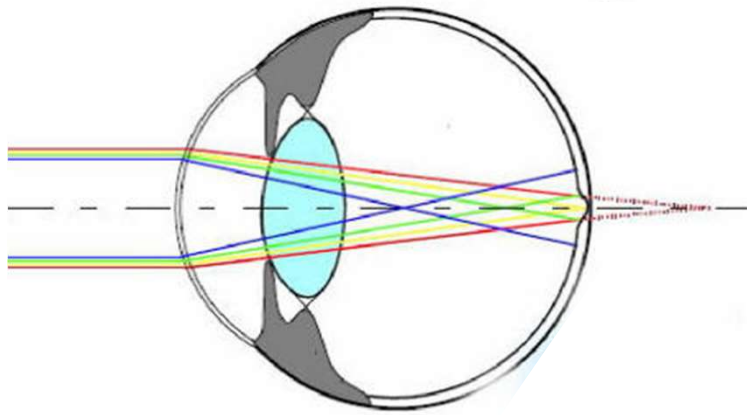


Chromatische Aberration: ● ● ● ●

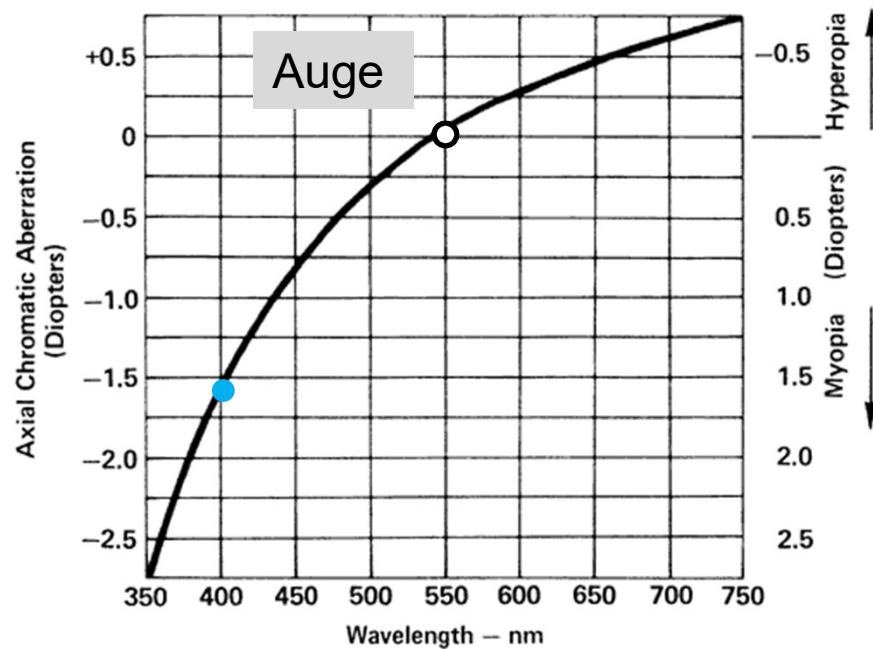
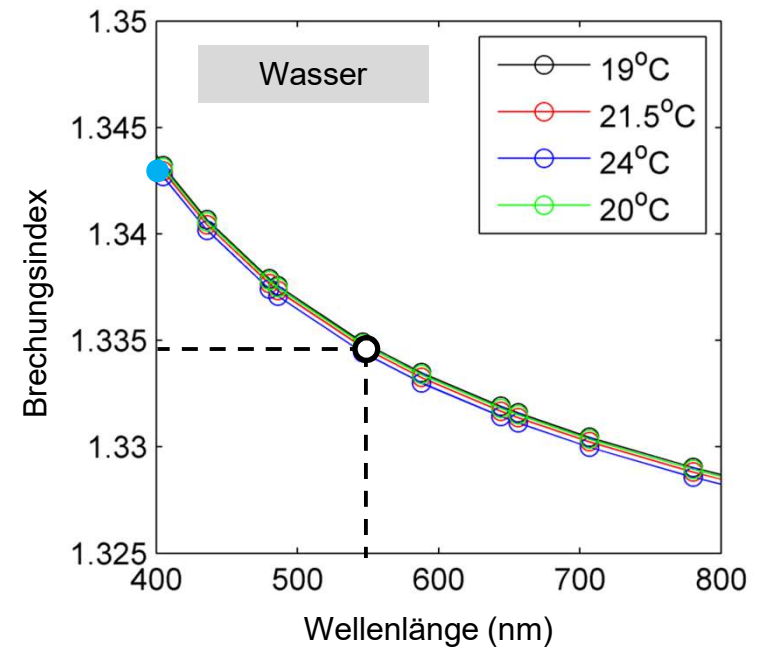


Wie viel Dioptrie ist die Brechkraftdifferenz zwischen Blau und Rot?

Chromatische Aberration (Fortsetzung)

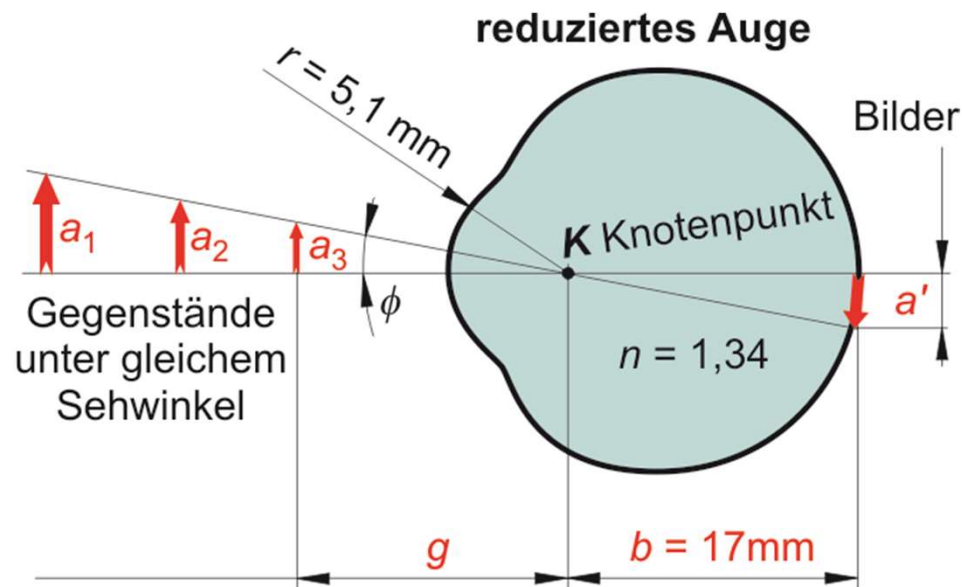
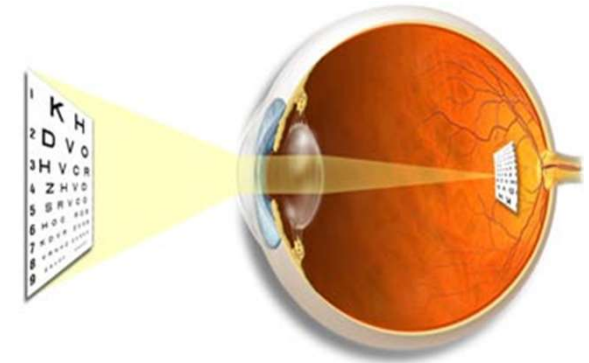


Chromatische Aberration: ● ● ● ●



d) Bildentstehung im Auge

▪ Reduziertes Auge



➤ Brechkraft des reduzierten Auges: ?

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

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



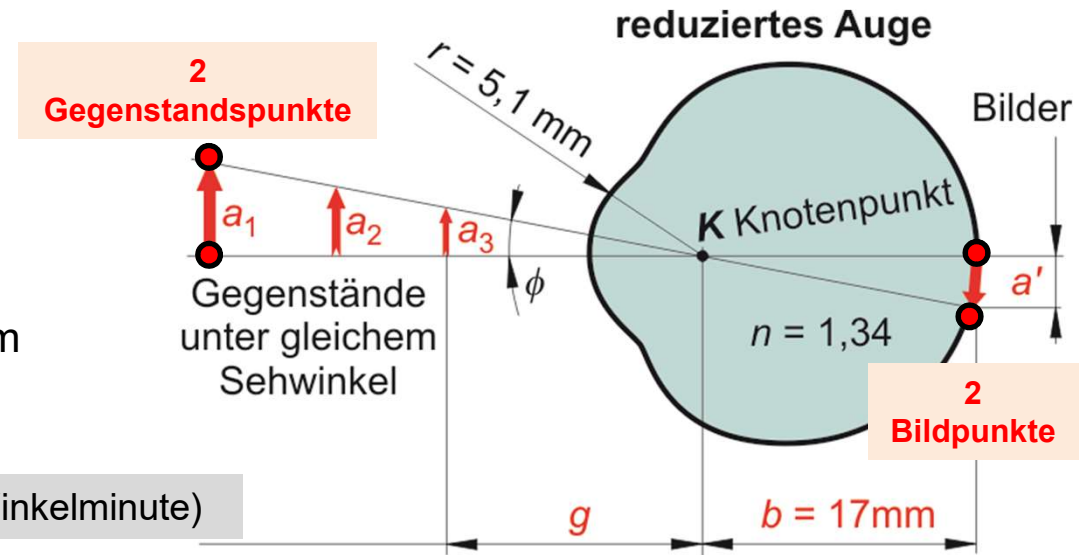
Sehwinkel ϕ : ϕ (rad) =

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

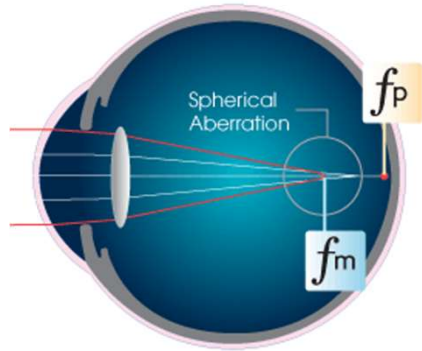
■ Sehschärfe (Visus): $= \frac{\text{Auflösungsvermögen des Patienten}}{\text{Referenzwert des Auflösungsvermögens}} = \frac{\frac{1}{\alpha(')}}{\frac{1}{1'}} = \frac{1'}{\alpha(')} (\cdot 100\%)$

Erklärung:

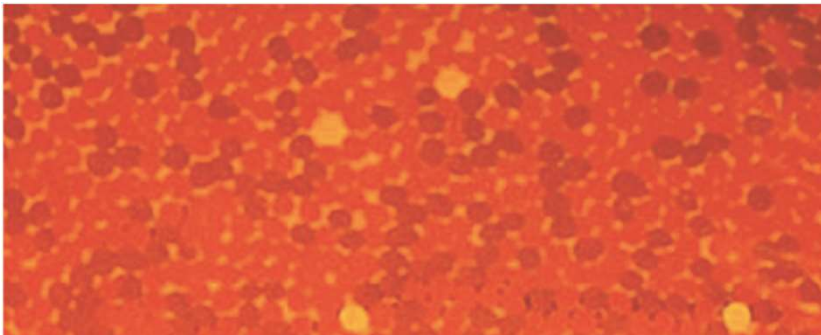
- physikalisch
- biologisch

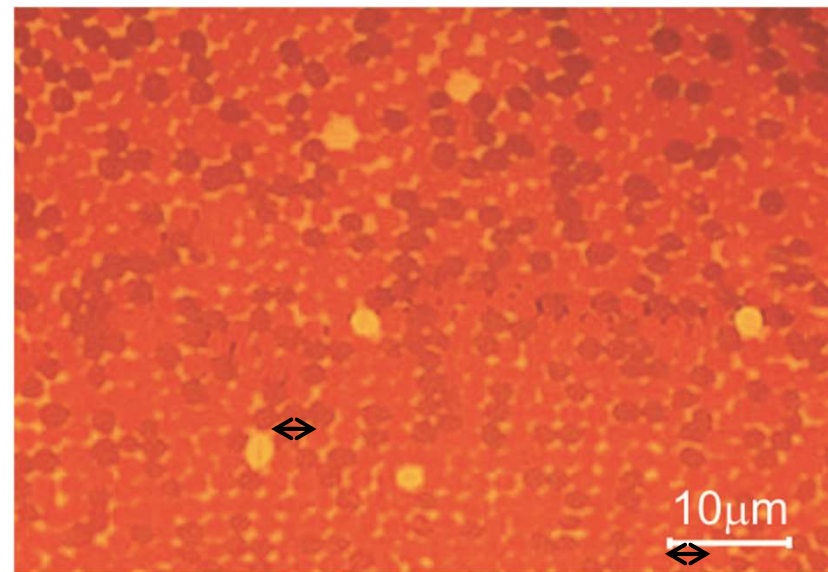
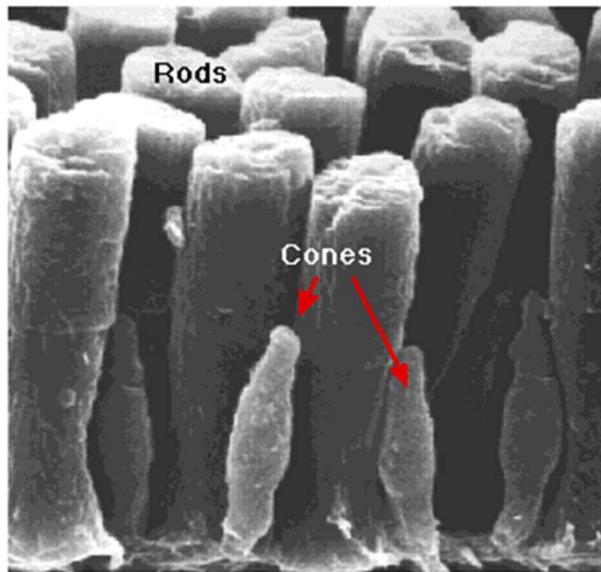
f. Faktoren die die Auflösung des Auges begrenzen:

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



- Grösse und Dichte der Rezeptoren

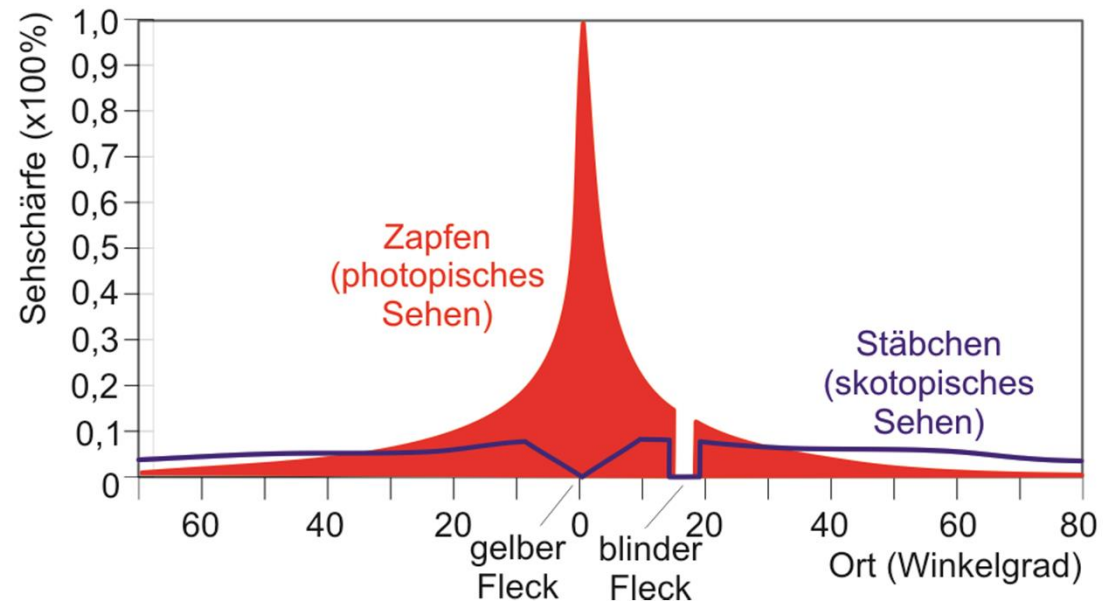
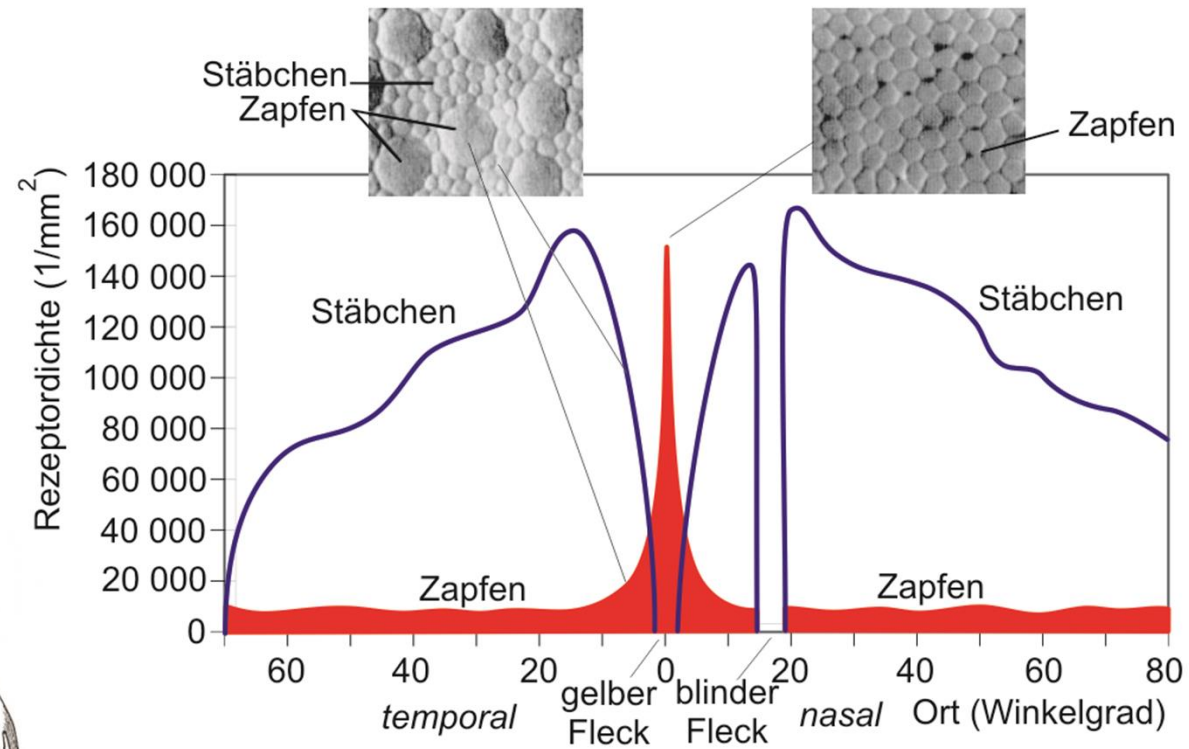
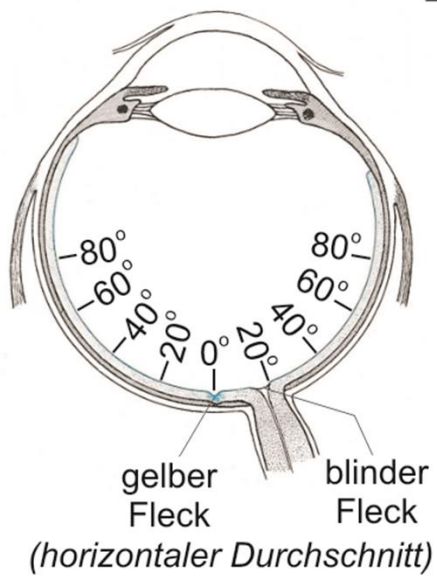




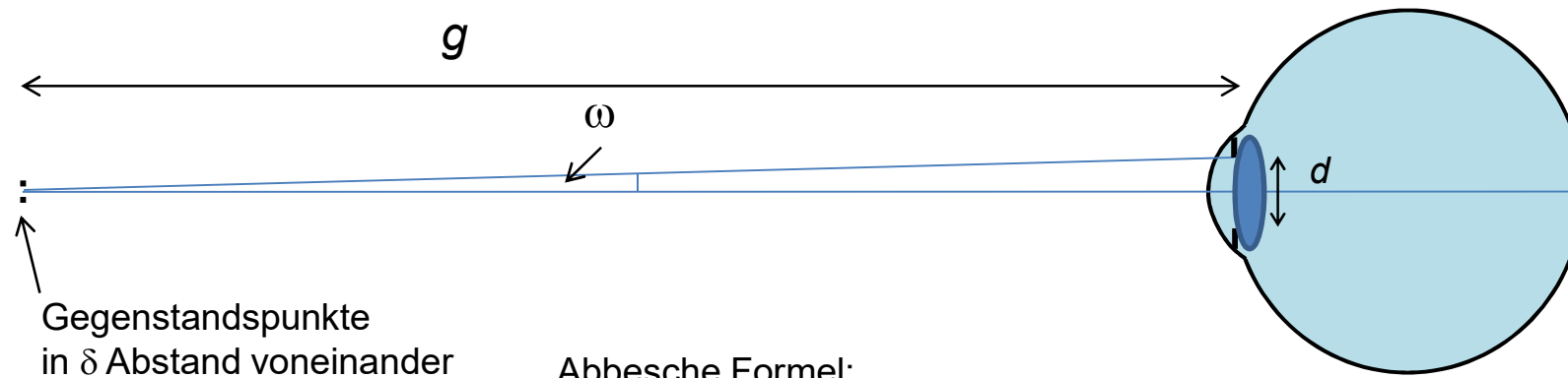
Gegenstandspunkte **Bildpunkte** **Empfindung**

Sehwinkelgrenze infolge Rezeptorendichte (α):

$\alpha =$



➤ Wellenoptische Grenze der Auflösung

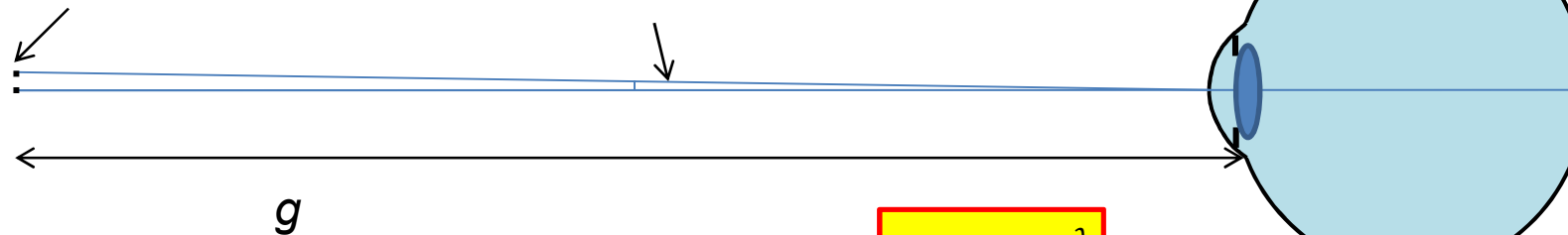


Abbesche Formel:

$$\delta = 0,61 \frac{\lambda}{\sin \omega} \approx 0,61 \frac{\lambda}{\frac{d/2}{g}} = 1,22 \frac{\lambda g}{d}$$

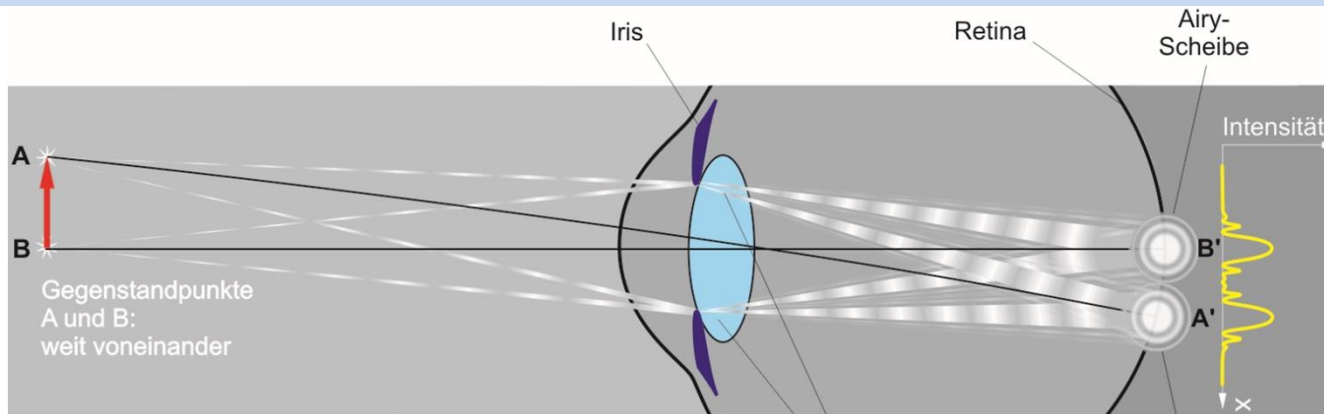
Gegenstandspunkte
in δ Abstand voneinander

Sehwinkelgrenze: $\Theta = \frac{\delta}{g} = 1,22 \frac{\lambda}{d}$

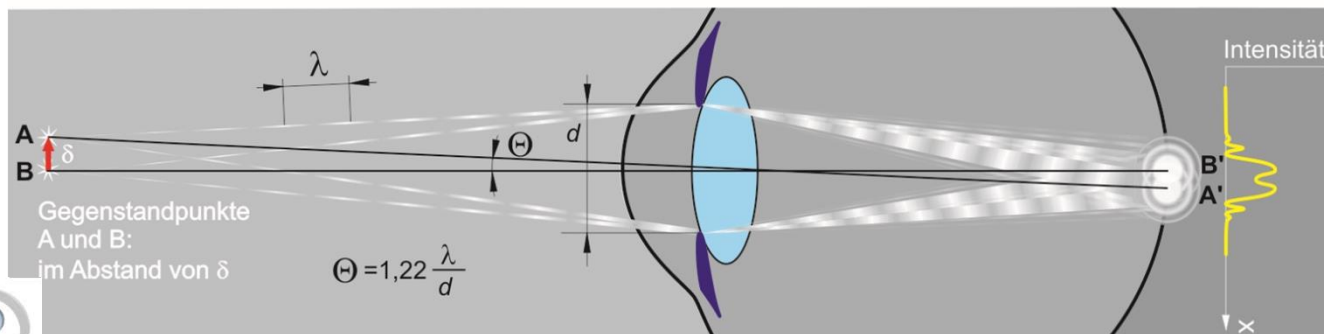


Sehwinkelgrenze : $\Theta = 1,22 \frac{\lambda}{d}$

➤ Eine alternative Erklärung der wellenoptischen Grenze (s. Praktikum)



Seien A und B weit voneinander, so sind die Airy-Scheiben A' und B' voneinander getrennt.

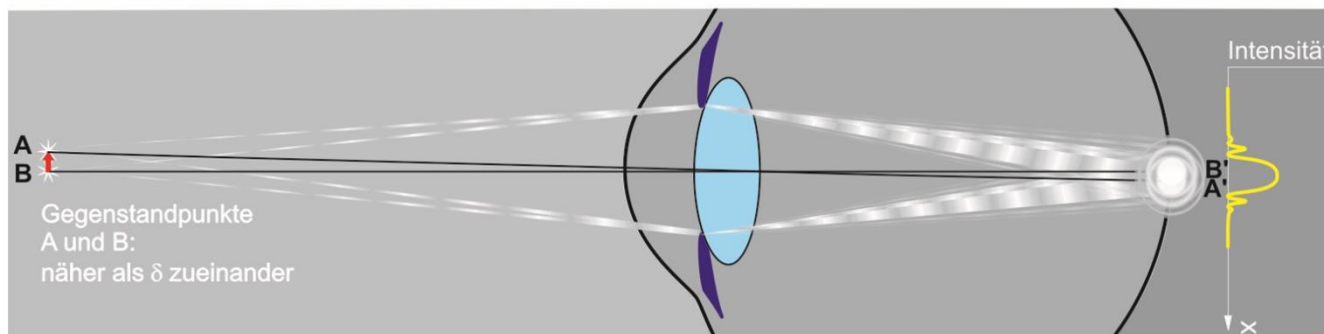


Seien A und B im kritischen Abstand voneinander, überlappen die Airy-Scheiben einander, aber sie sind zu unterscheiden.

δ minimale aufgelöste Entfernung,

Θ Sehwinkelgrenze infolge Lichtbeugung.

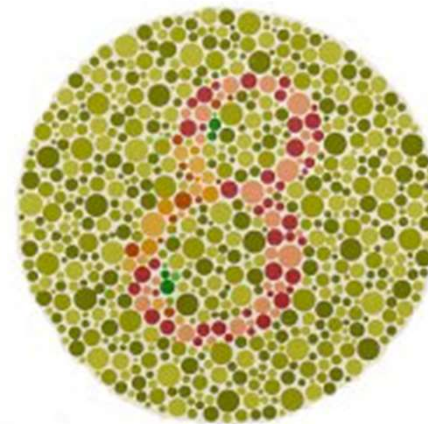
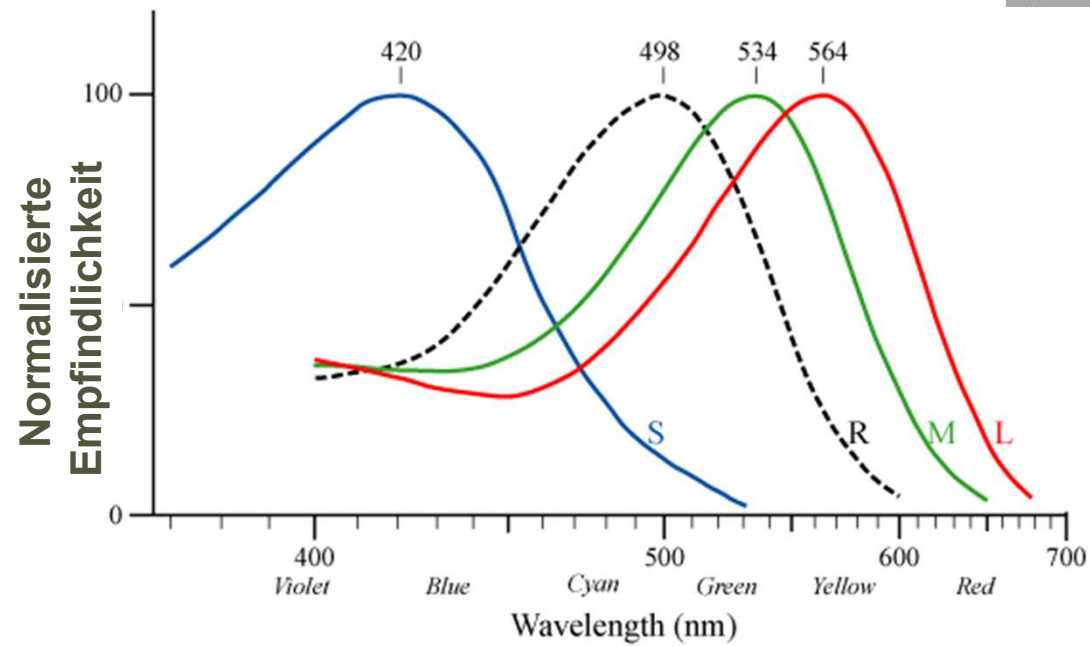
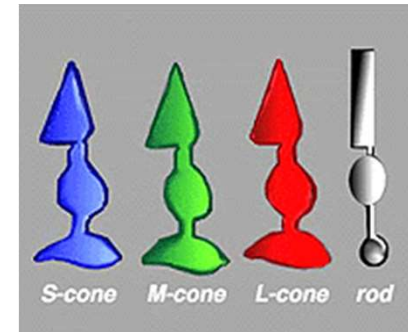
Sehwinkelgrenze infolge Lichtbeugung (Θ):



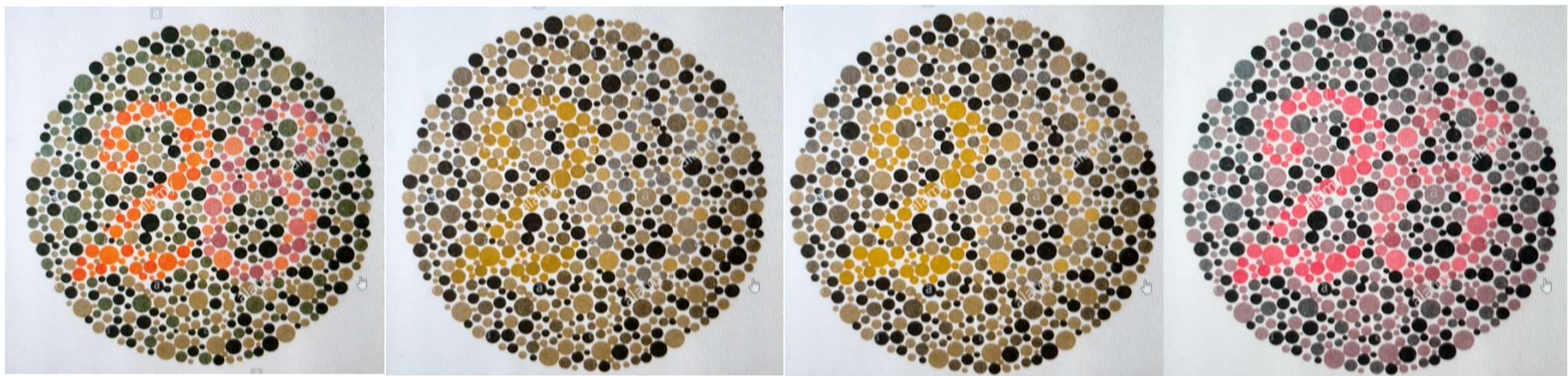
Sei der Abstand zwischen A und B kleiner als δ , bilden zwei Airy-Scheiben eine Bildscheibe.

Das Bild von zwei Gegenstandspunkten ist nicht aufzulösen.

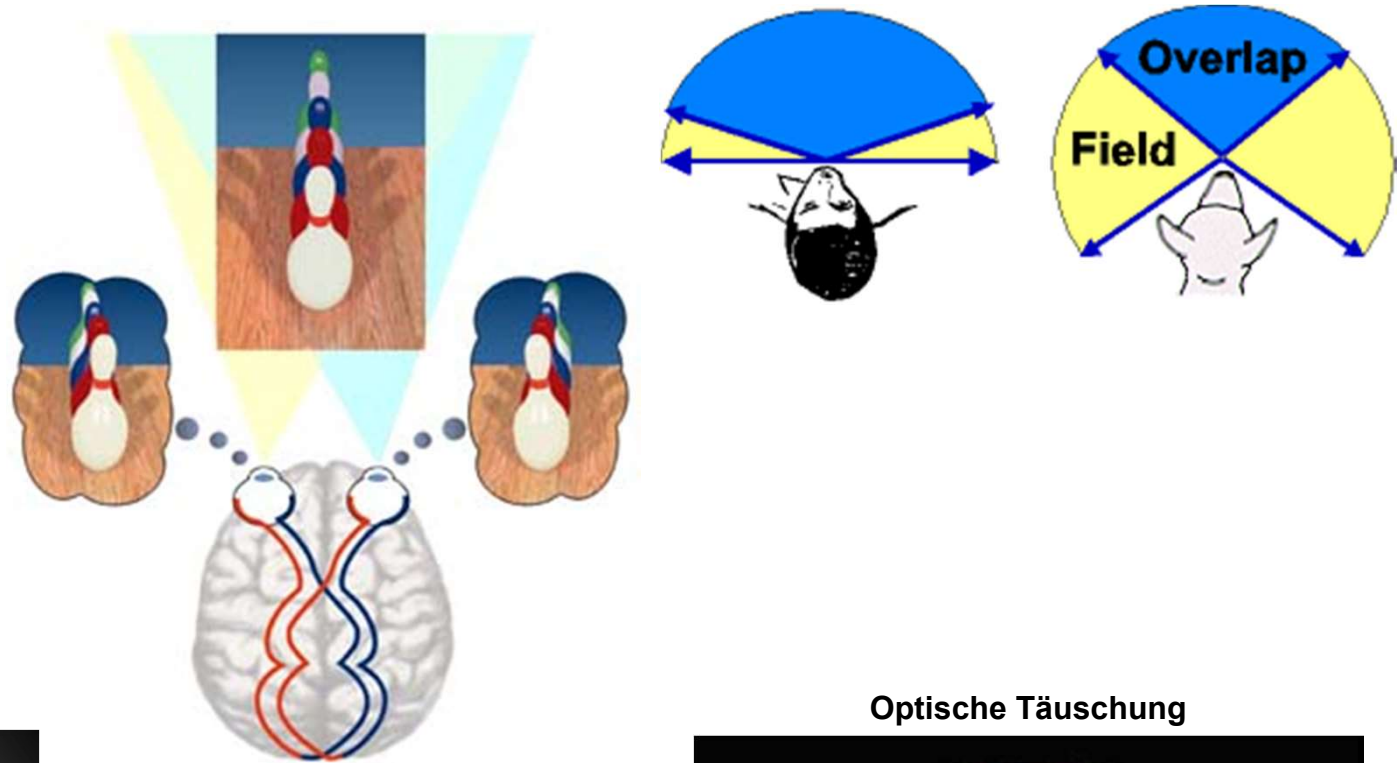
4. Spektrale Empfindlichkeit des Auges - Farbensehen



Farbenfehlsichtigkeit



5. Raumsehen



Optische Täuschung



Optische Täuschung



Hausaufgaben: Aufgabensammlung

4.5-8, 14

