

Medizinische Biophysik

Licht in der Medizin. Medizinische Optik

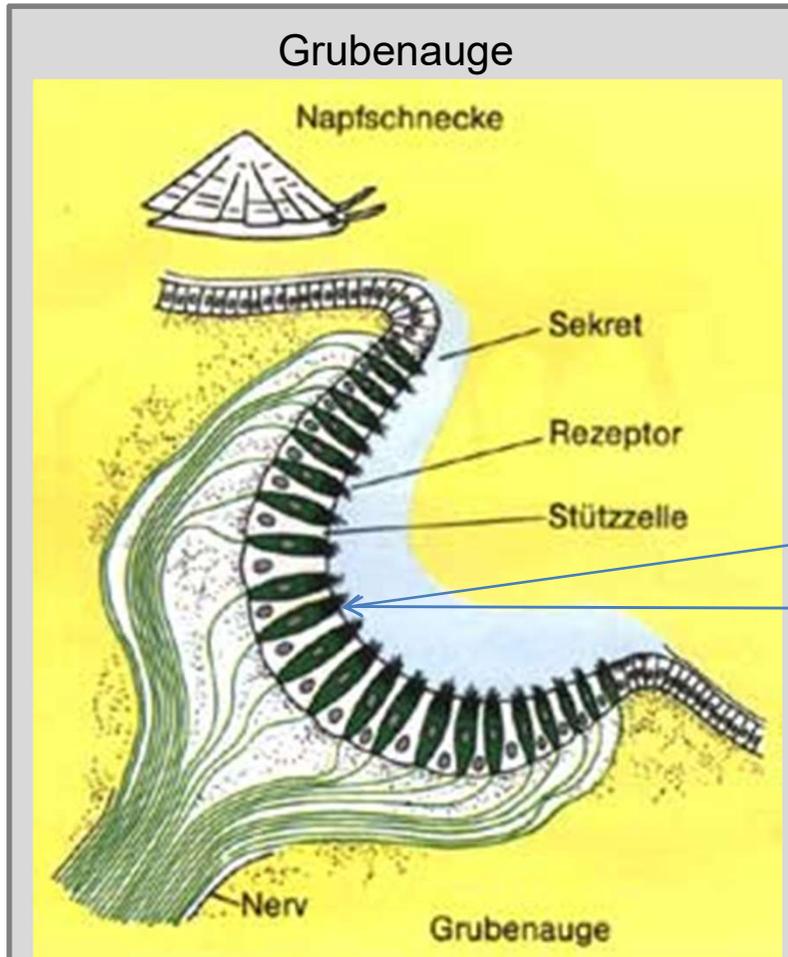
II. Das Auge und das Sehen

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 - Farbsehen
5. Raumsehen

II. Das Auge und das Sehen

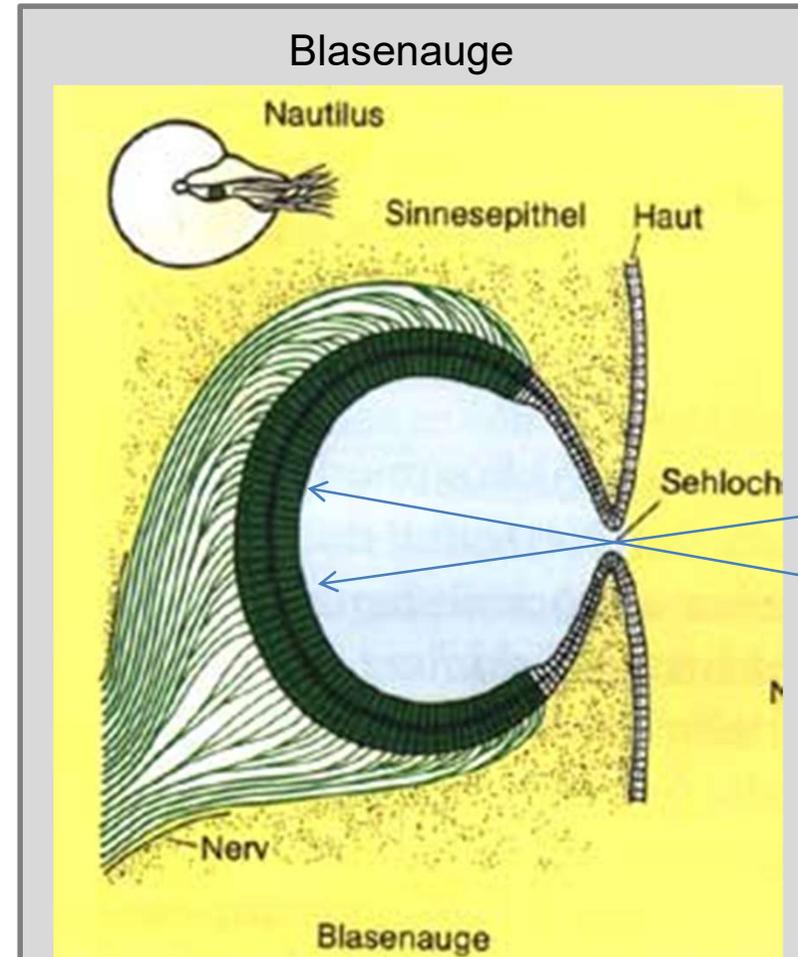


1. Entwicklung des Sehorgans



Nachteile:

- Verletzungsanfällig
- Minimale räumliche Auflösung



Nachteile:

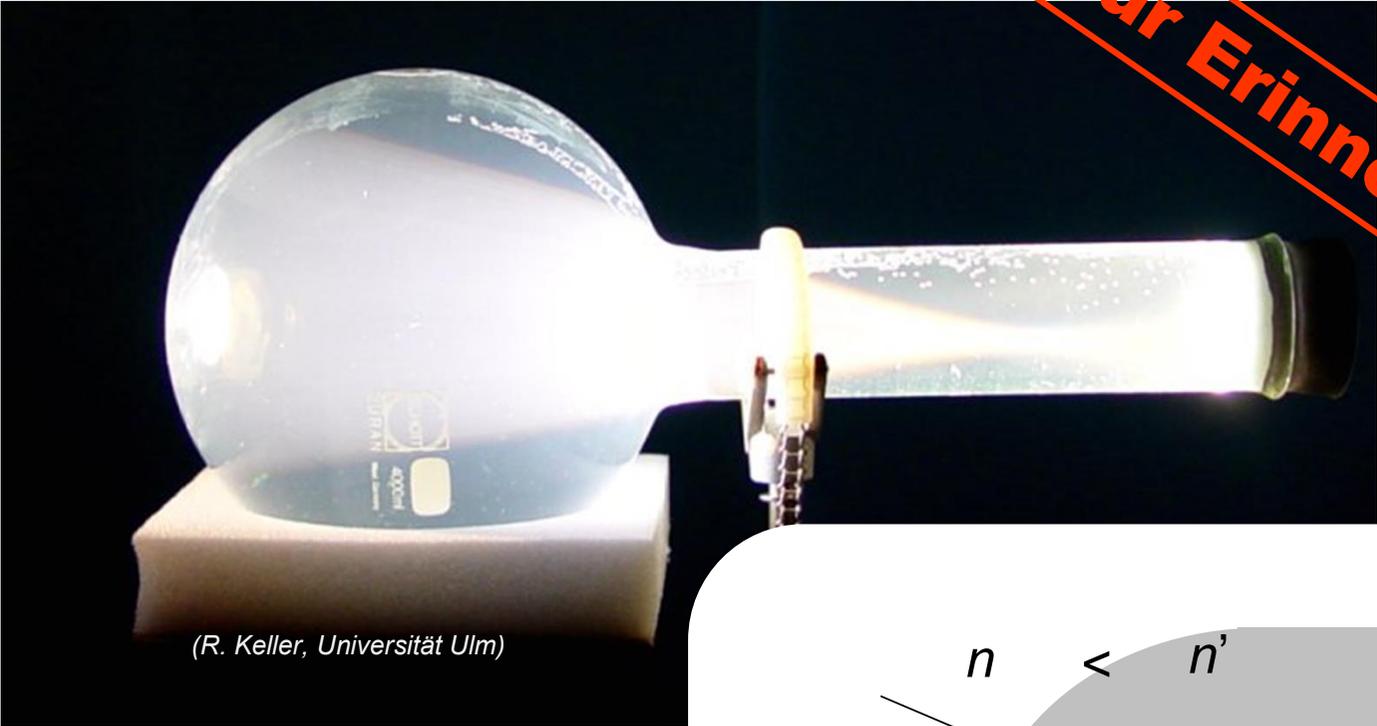
- Immer noch verletzungsanfällig
- Schlechte räumliche Auflösung
- Keine Akkomodationsfähigkeit



Optische Abbildung ist notwendig!

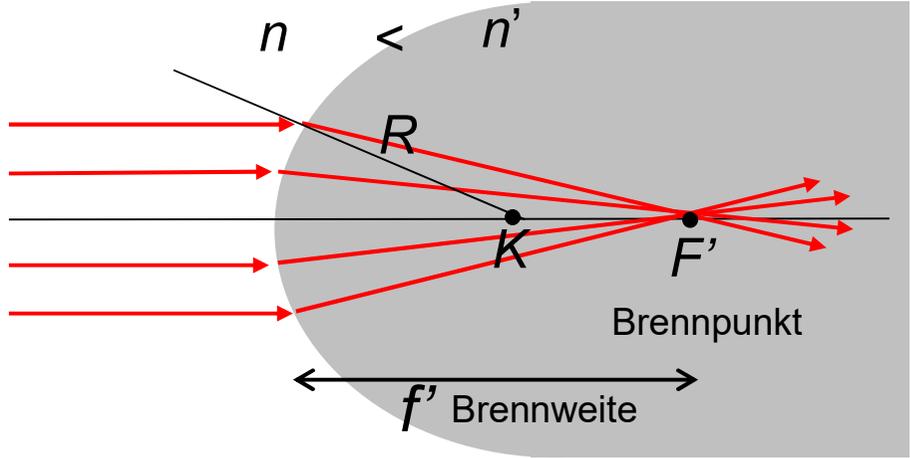
Brechung durch eine sphärische Grenzfläche:

Zur Erinnerung



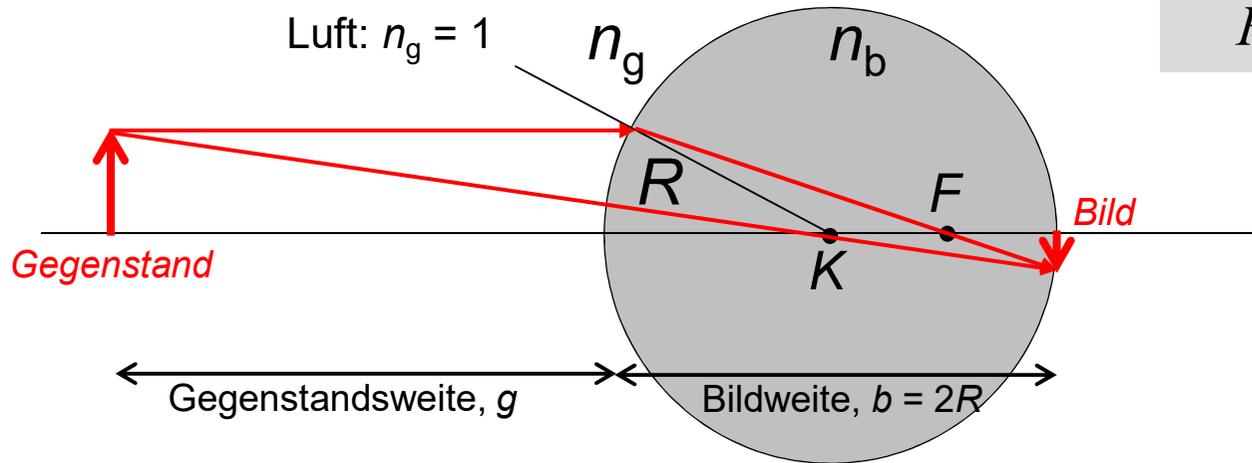
Brechkraft (D):
$$D = \frac{n'}{f'} = \frac{n' - n}{R}$$

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



Einfache Kugel als Auge?

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



$n_b = ?$

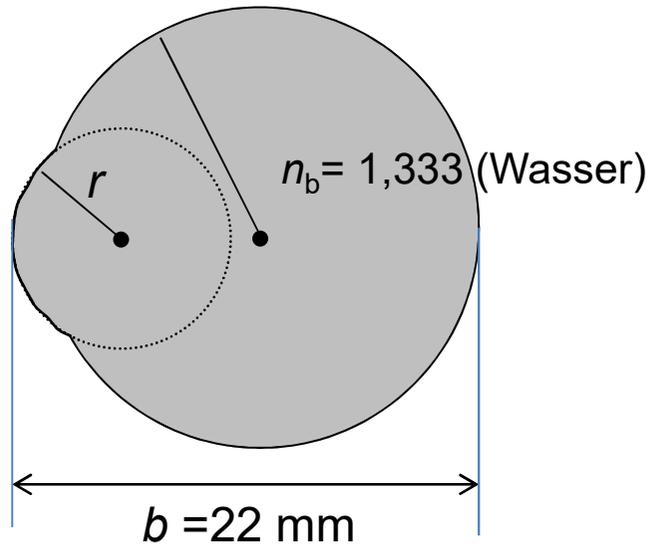


n_b müsste größer sein als 2! Diamant vielleicht?



2 Kugeln!

$n_g = 1$ (Luft)



$r =$

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

Vorteile:

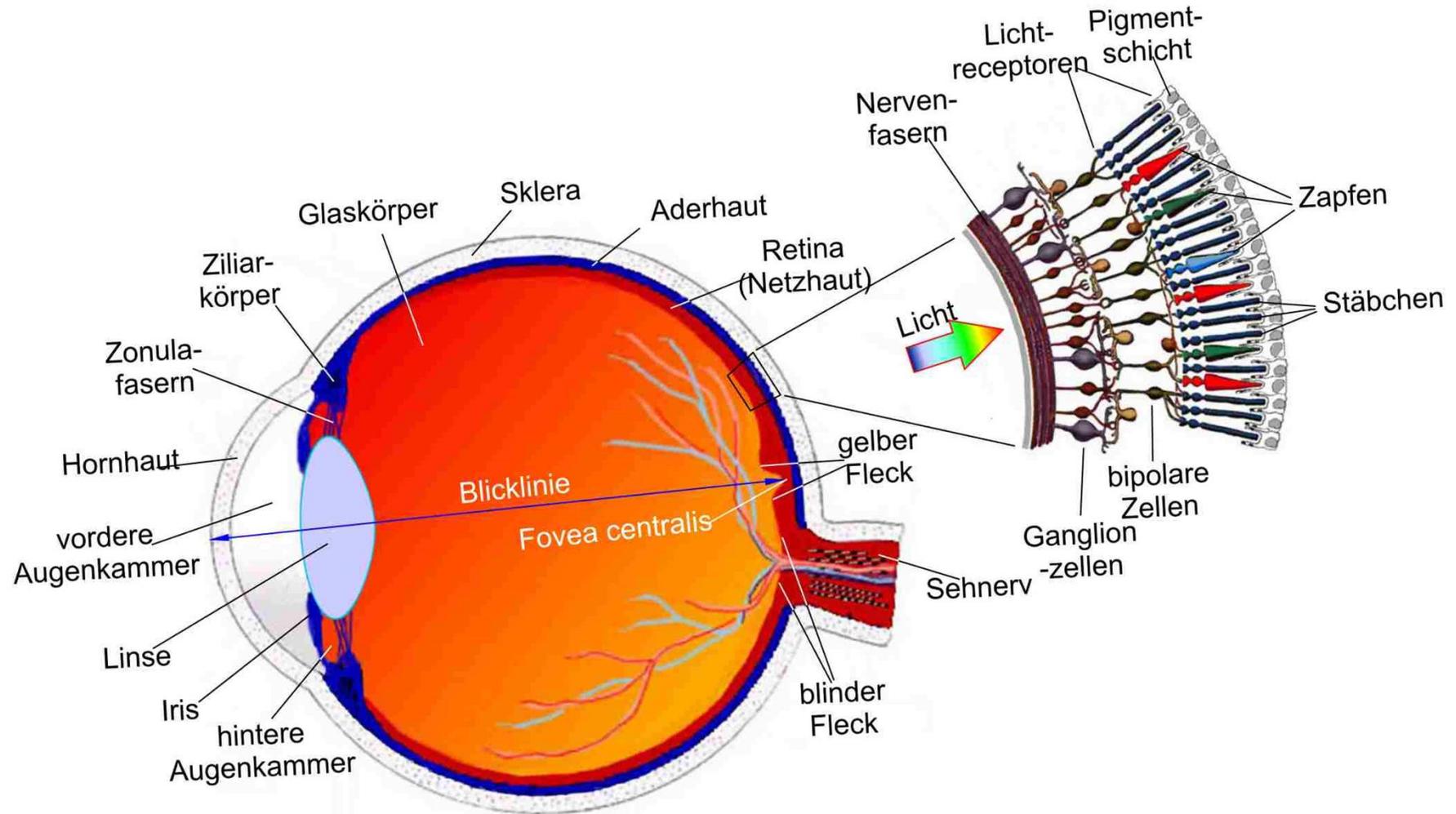
- Geschlossen \Rightarrow weniger verletzungsanfällig
- Gute räumliche Auflösung
- Bild entsteht innerhalb der Kugel

Nachteile:

- Keine Akkomodationsfähigkeit



2. Aufbau des menschlichen Auges



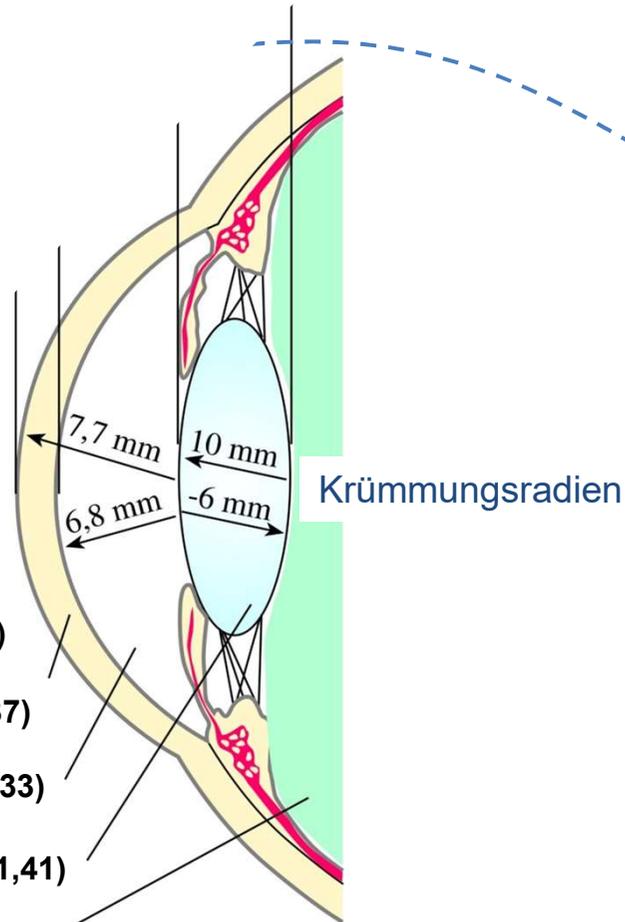
3. Optik des menschlichen Auges

a) Brechkraft des Auges

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

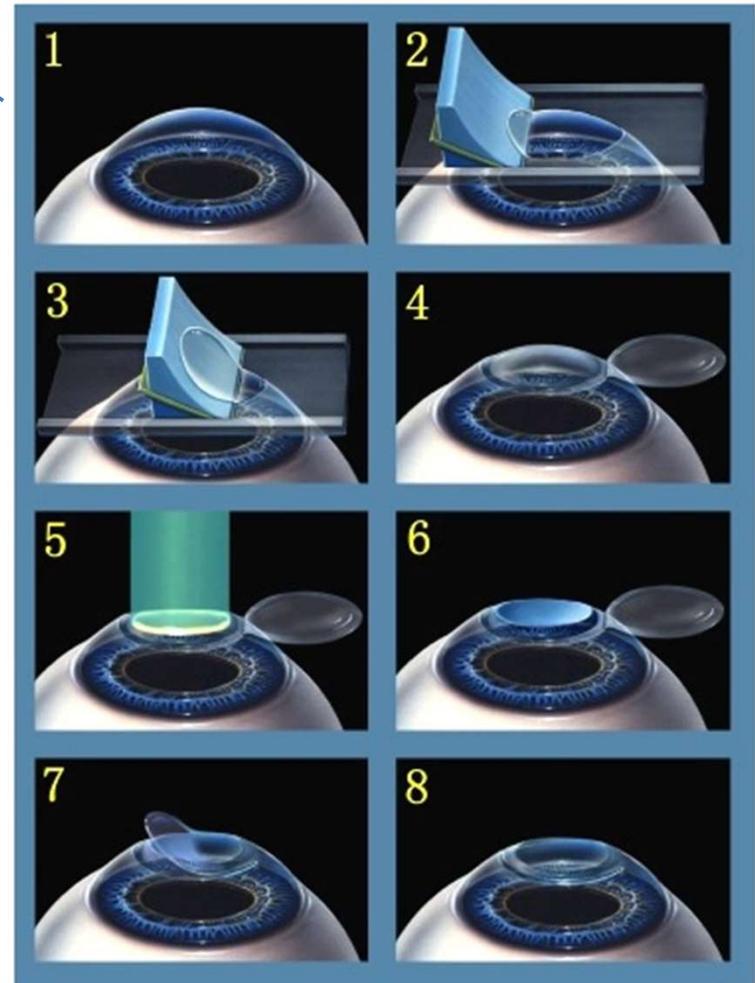
Brechzahlwerte:

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



ohne Akkomodation

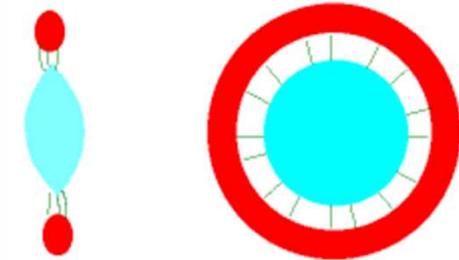
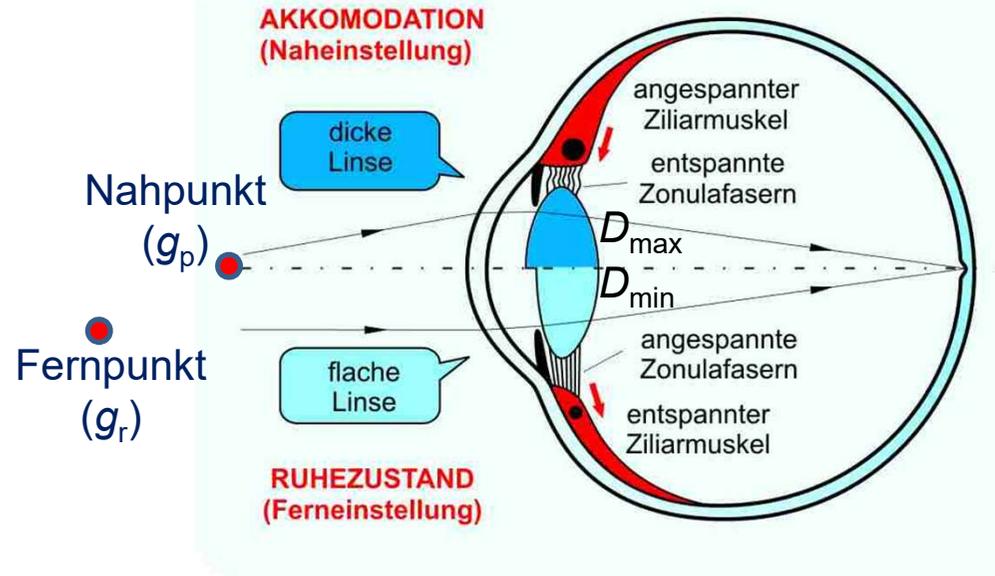
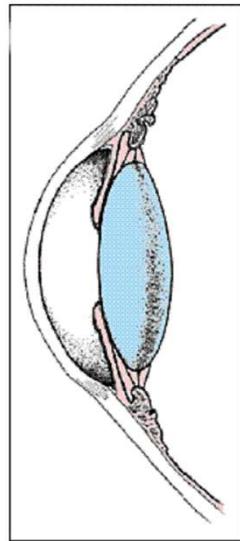
LASIK:



b) Akkomodation (Brechkraftänderung)

Zur Erinnerung:

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

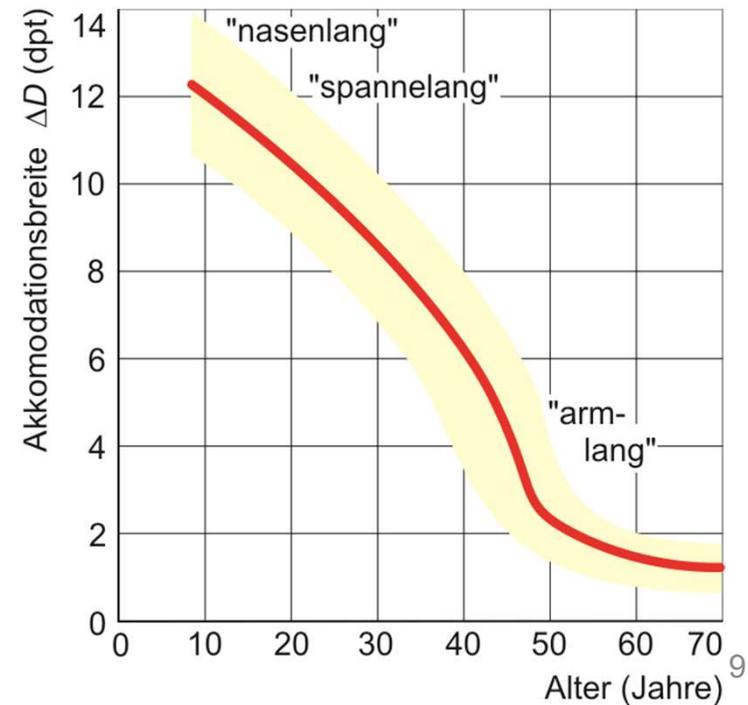


- Akkomodationsbreite (ΔD): $\Delta D = D_{\max} - D_{\min}$

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

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

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

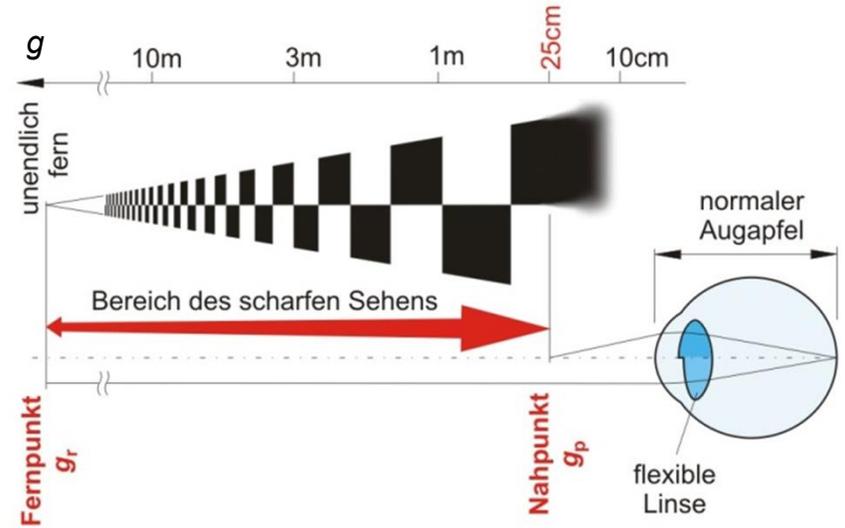


c) Augenfehler :

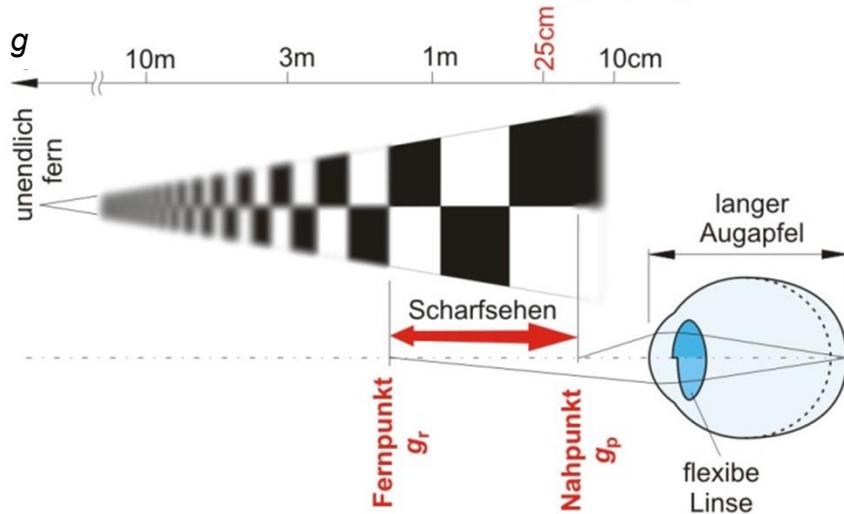
Zur Erinnerung:

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

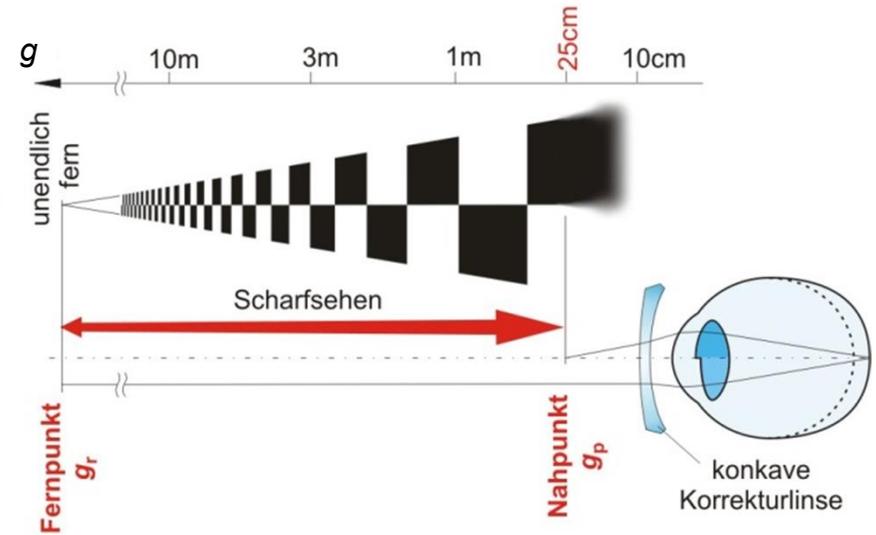
NORMALSICHTIGES AUGE (Emmetropie)



KURZSICHTIGKEIT (Myopie)

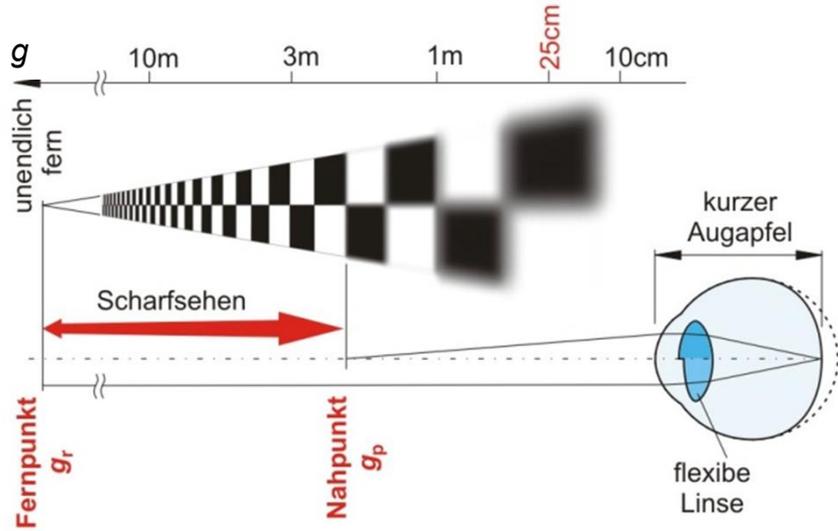


KORRIGIERTE KURZSICHTIGKEIT

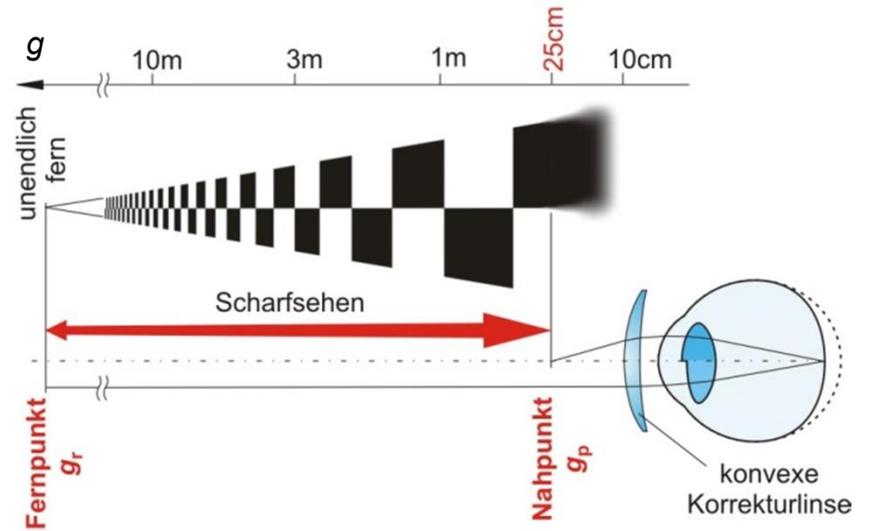


$$D = \frac{n_g}{g} + \frac{n_b}{b}$$

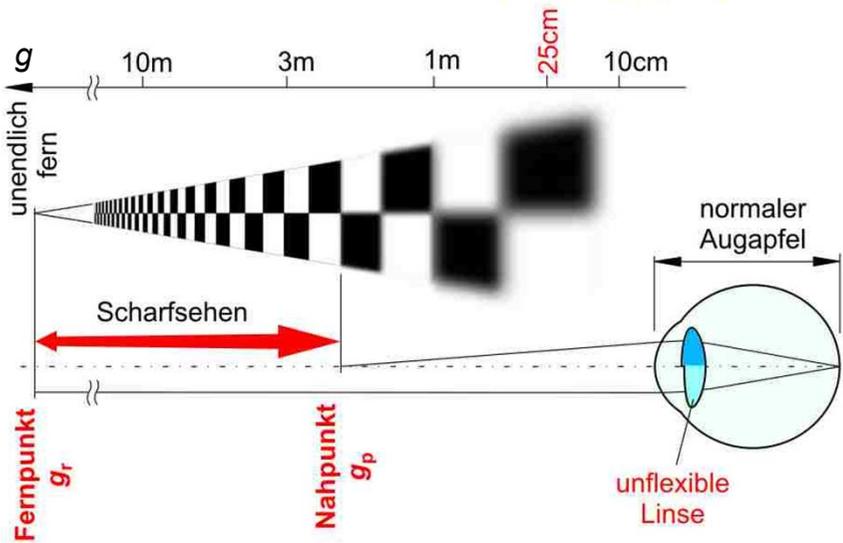
WEITSICHTIGKEIT (Hyperopie)



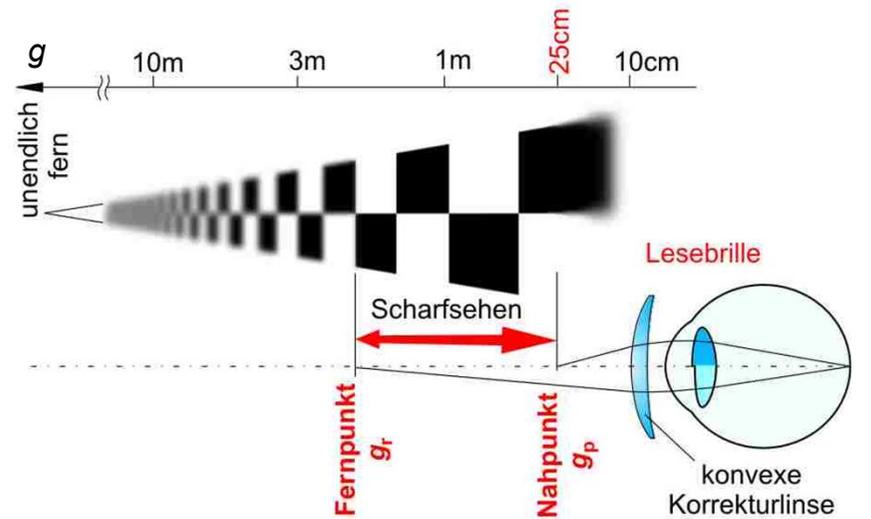
KORRIGIERTE WEITSICHTIGKEIT



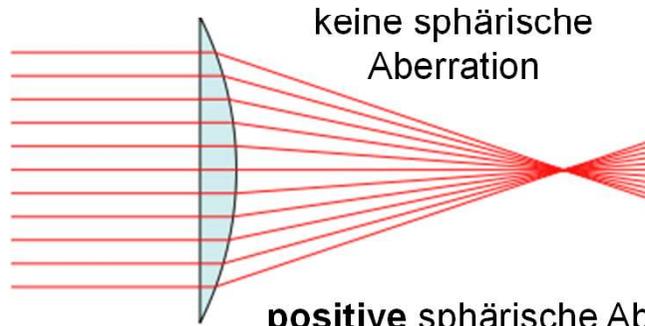
ALTERSSICHTIGKEIT (Presbyopie)



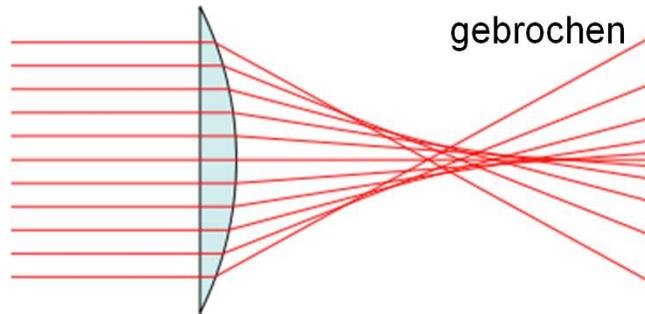
KORRIGIERTE ALTERSSICHTIGKEIT



Sphärische Aberration (Öffnungsfehler)



keine sphärische Aberration

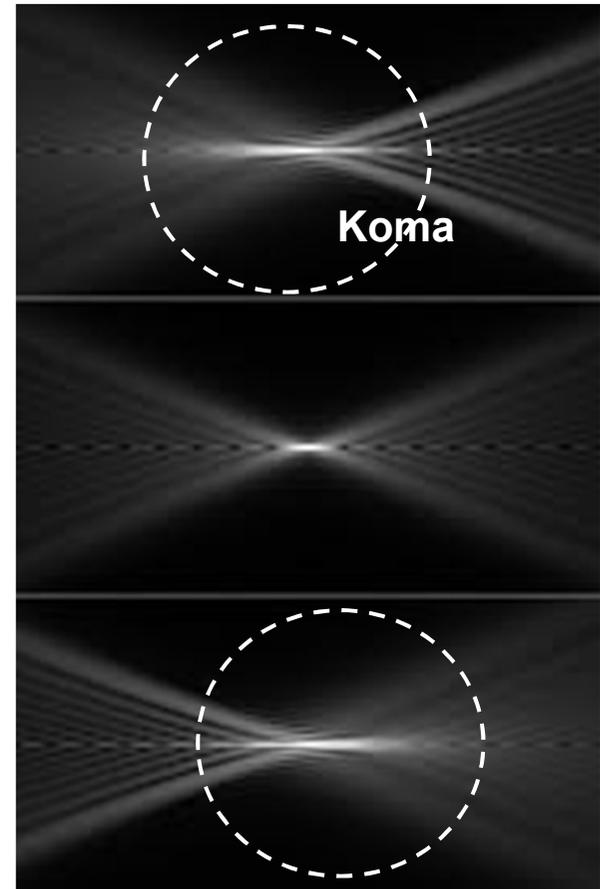
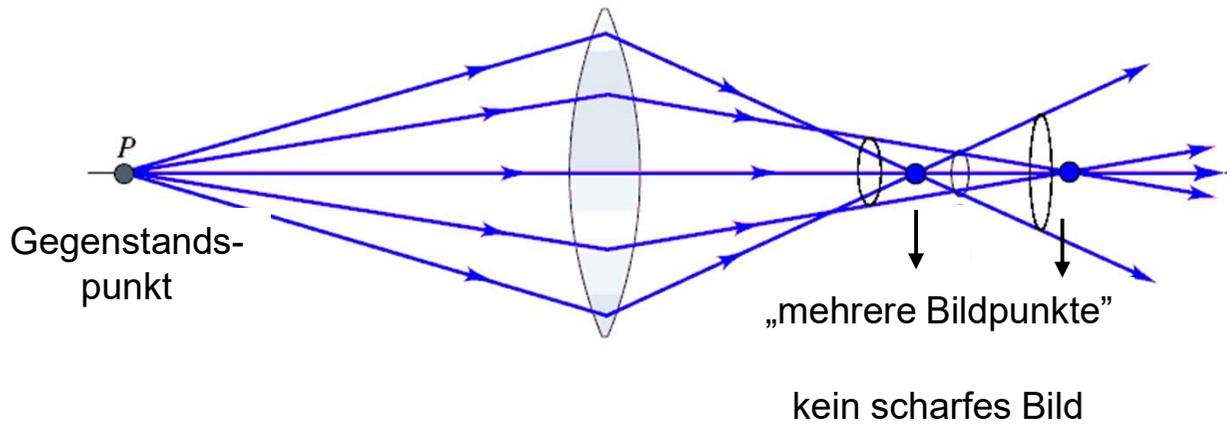


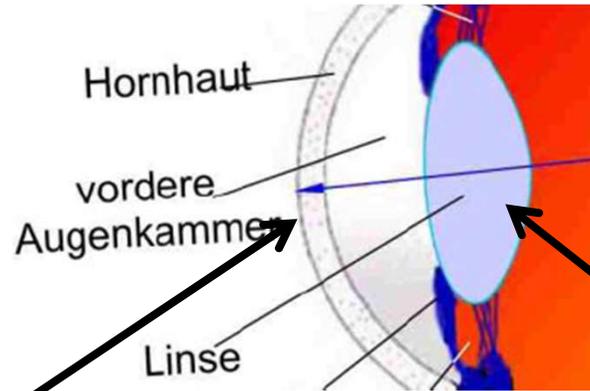
positive sphärische Aberration = randnahe Strahlen sind stärker gebrochen



negative sphärische Aberration = randnahe Strahlen sind weniger gebrochen

Zur Erinnerung

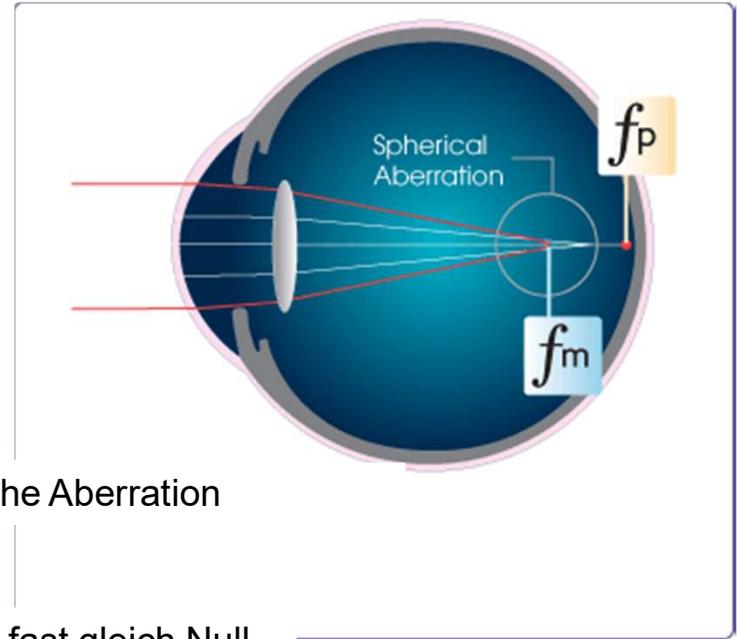




positive sphärische Aberration

+

negative sphärische Aberration



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

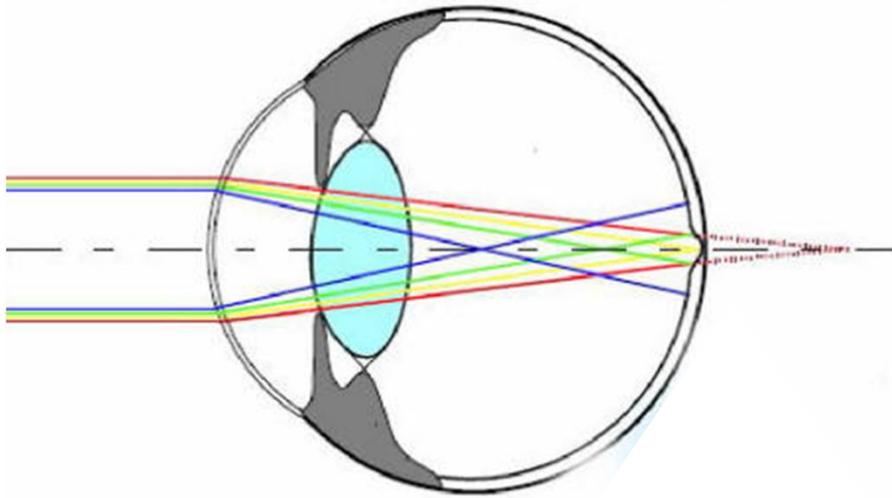
Bei weiten Pupillen ist die Gesamtaberration stärker positiv.



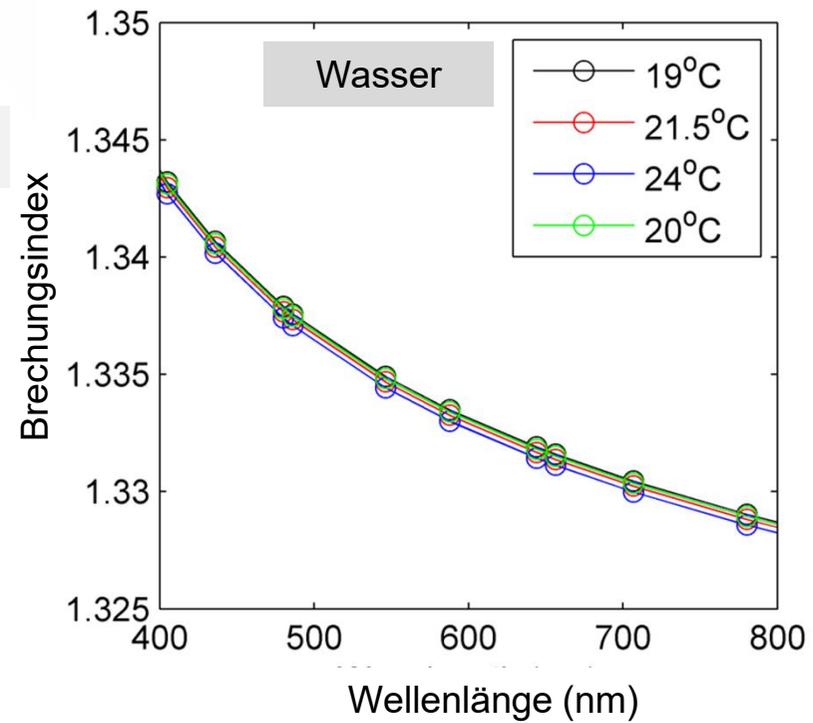
Nachtmyopie
(Nachtkurzsichtigkeit)



Chromatische Aberration (Farbfehler)

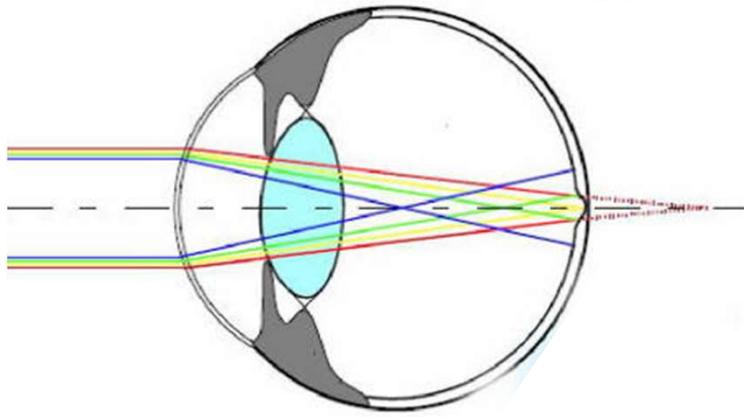


Chromatische Aberration: ● ● ● ●

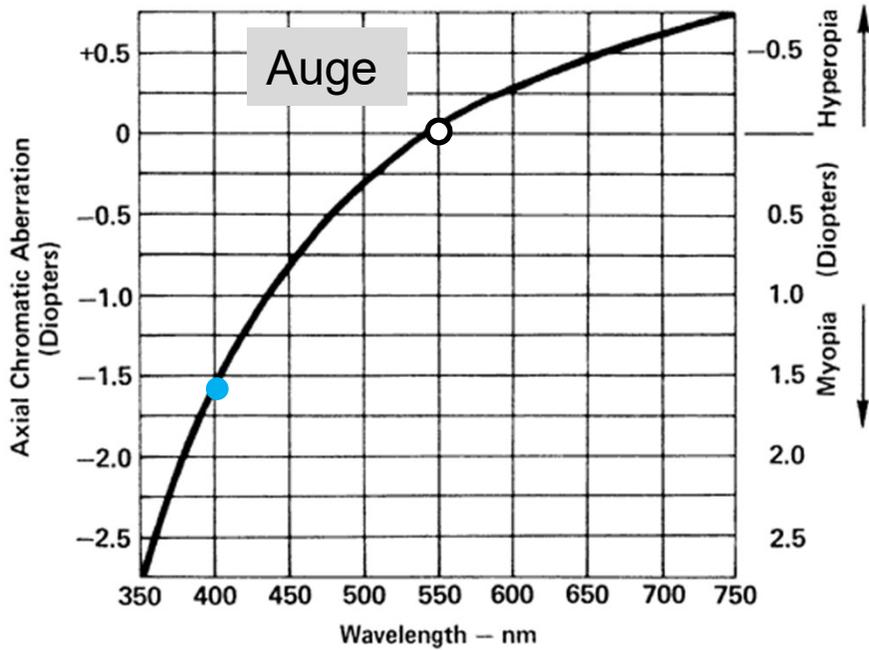
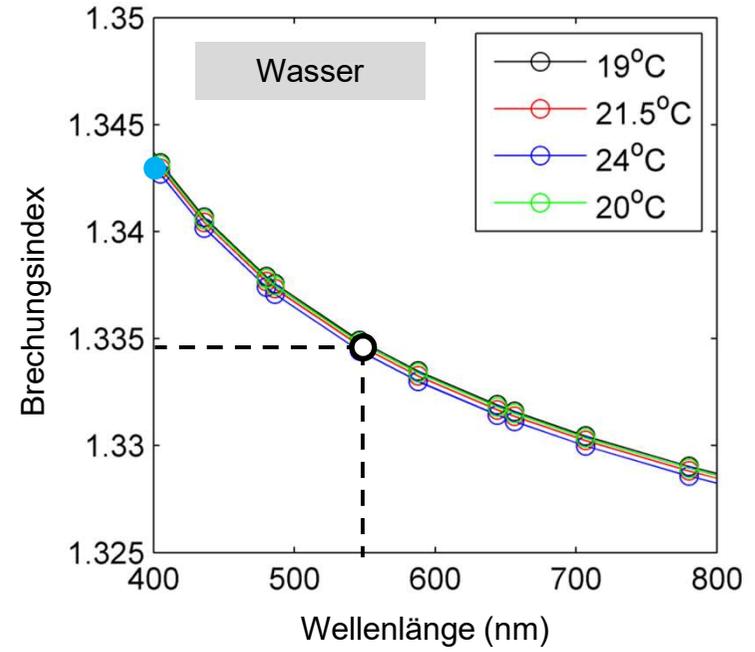


Wie viel Dioptrie ist die Brechkraftdifferenz zwischen Blau und Rot?

Chromatische Aberration (Fortsetzung)

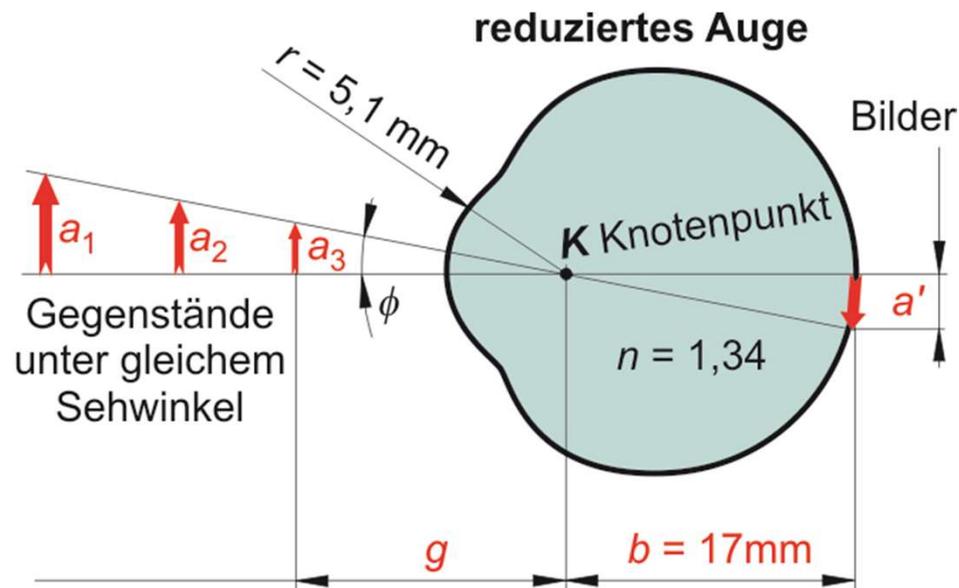
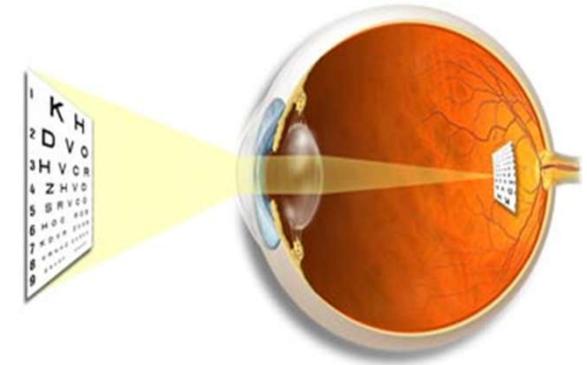


Chromatische Aberration: ● ● ● ●



d) Bildentstehung im Auge

- Reduziertes Auge



- Brechkraft des reduzierten Auges: ?

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

- Bild:
 - verkleinert (a')
 - reell
 - umgekehrt



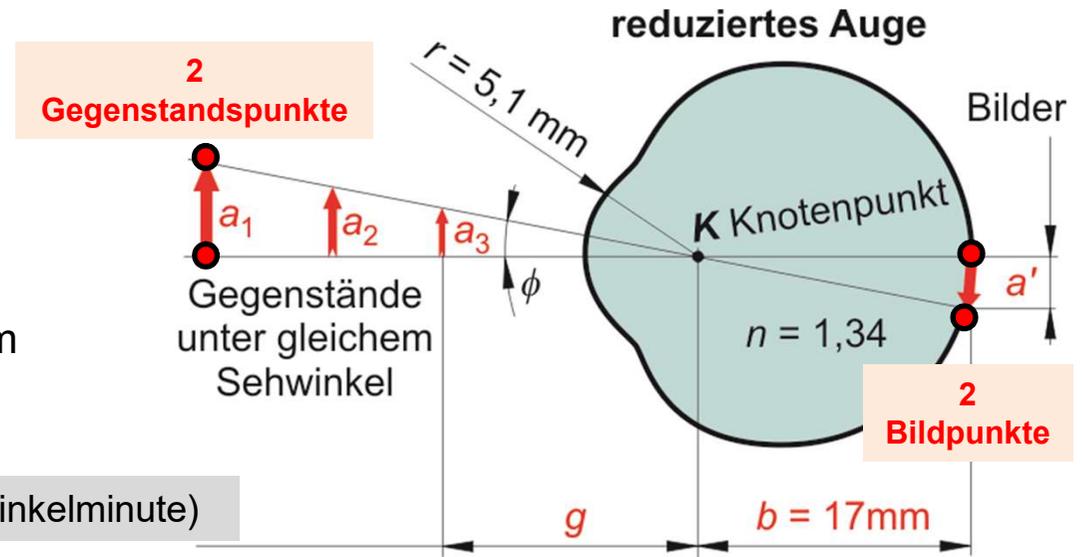
Sehwinkel ϕ : $\phi \text{ (rad)} =$

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

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

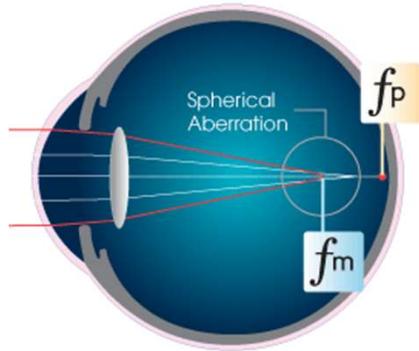
- Sehschärfe (Visus): $= \frac{\text{Auflösungsvermögen des Patienten}}{\text{Referenzwert des Auflösungsvermögens}} = \frac{\frac{1}{\alpha(')}}{\frac{1}{1'}} = \frac{1'}{\alpha(')} (\cdot 100\%)$

Erklärung:

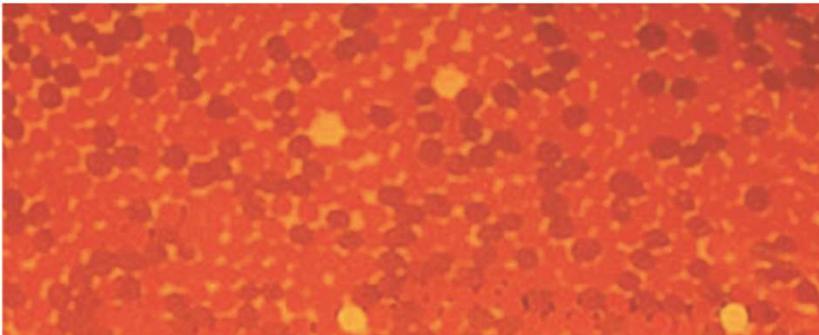
- physikalisch
- biologisch

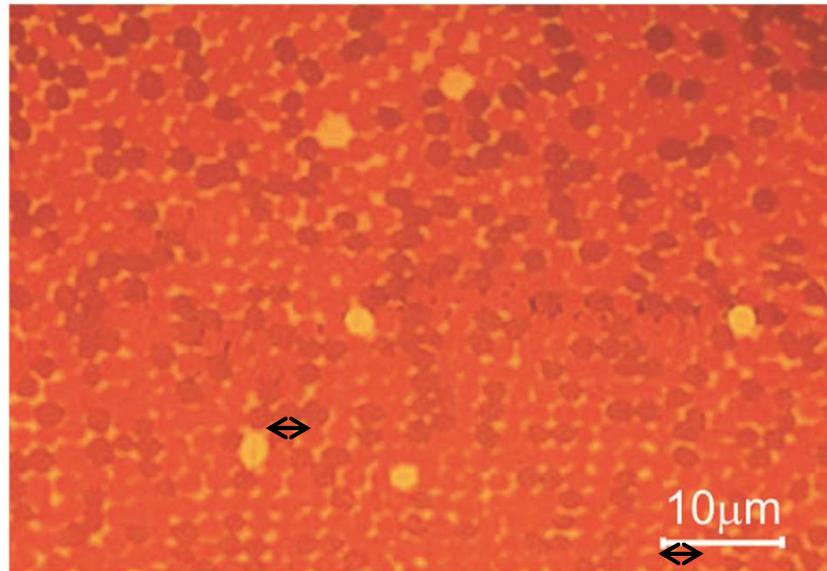
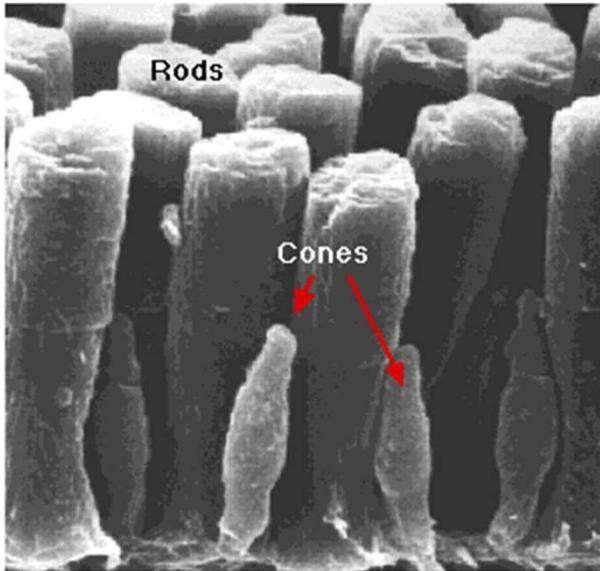
f. Faktoren die die Auflösung des Auges begrenzen:

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



- Grösse und Dichte der Rezeptoren





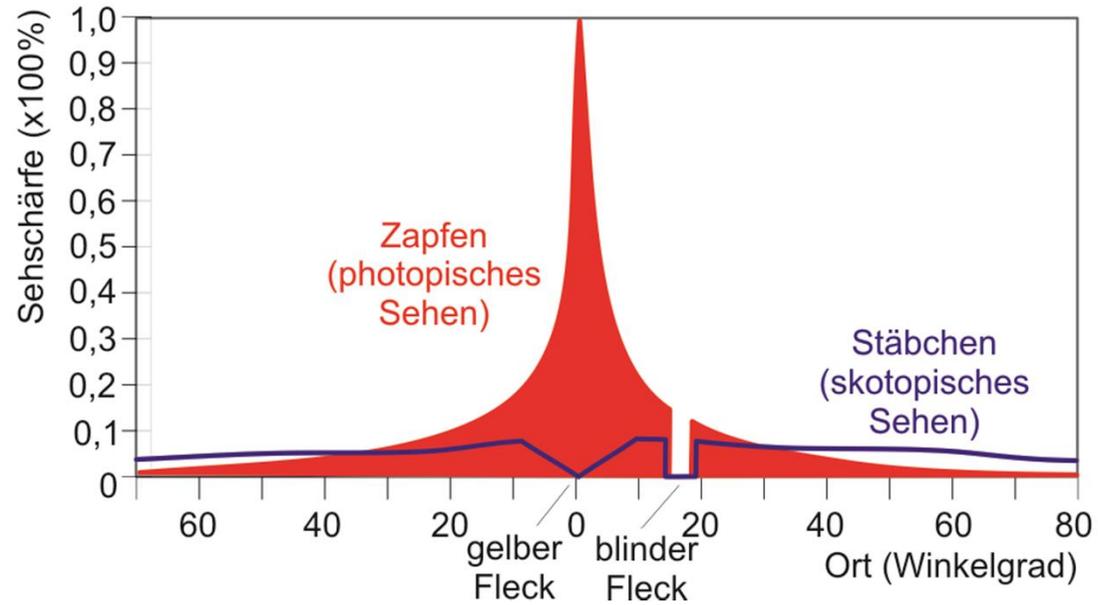
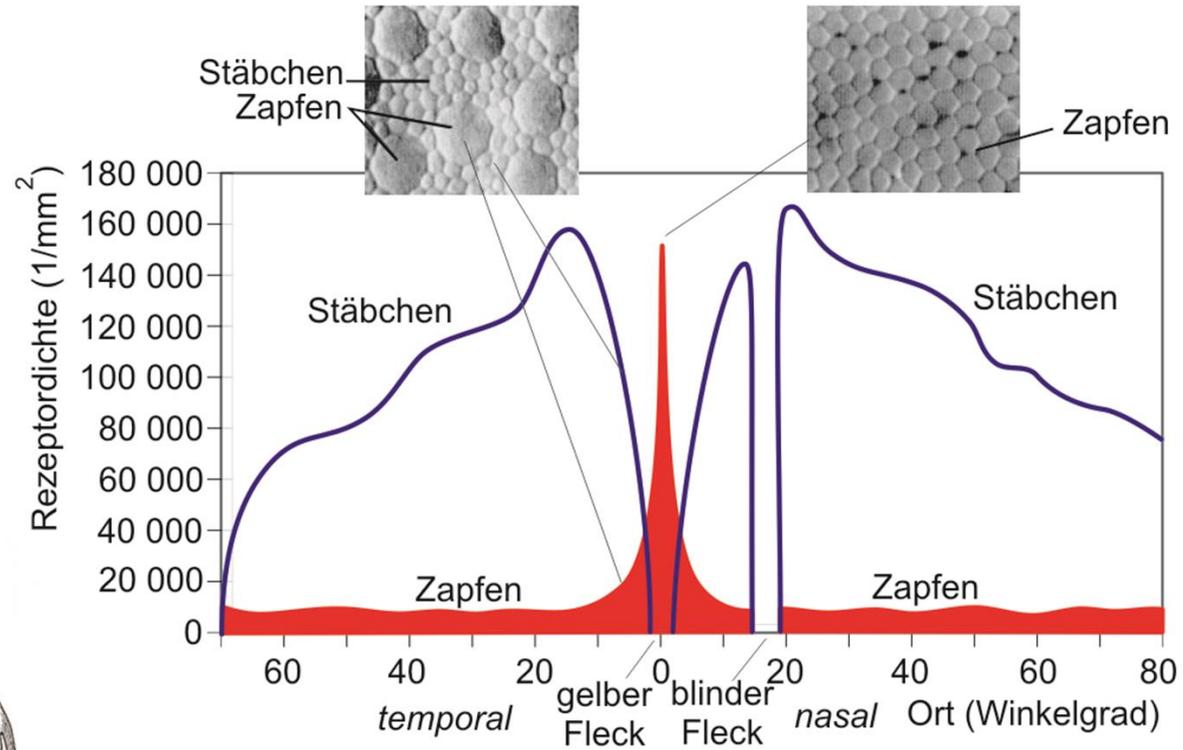
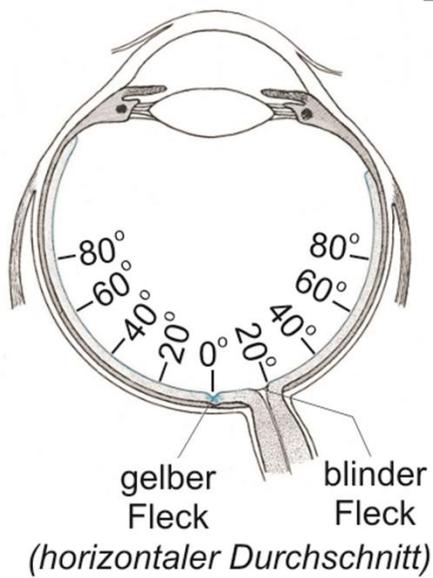
Gegenstandspunkte **Bildpunkte** **Empfindung**

••		•
••		•
• •		••

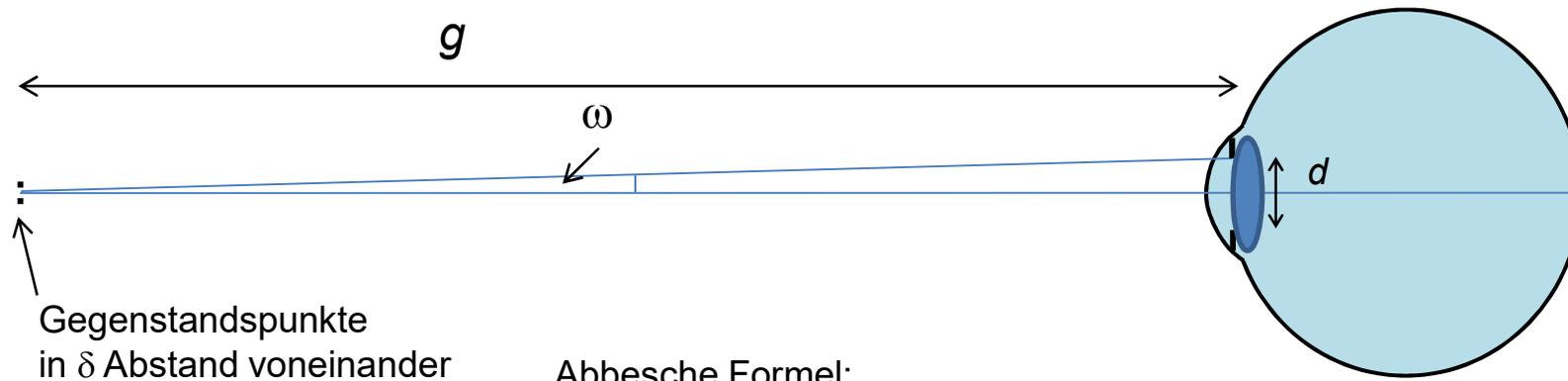
Sehwinkelgrenze infolge Rezeptordichte (α):

$\alpha =$





➤ Wellenoptische Grenze der Auflösung

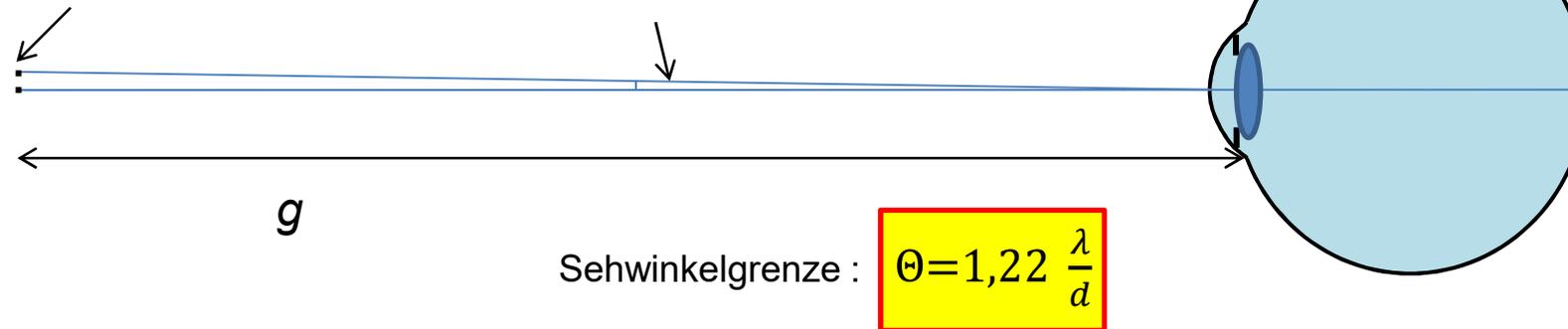


Abbesche Formel:

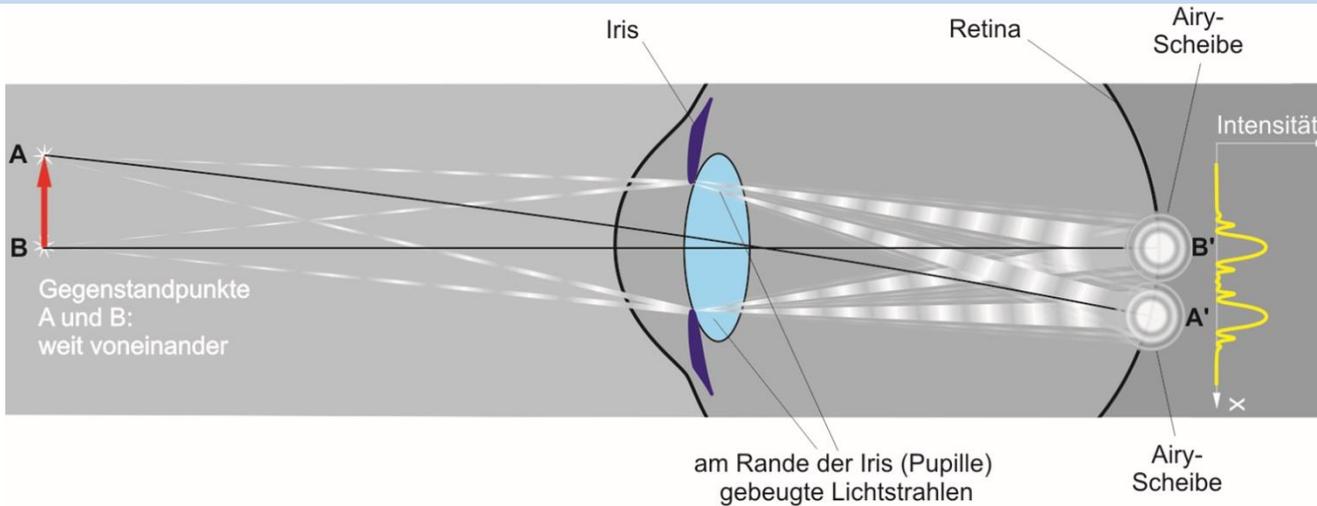
$$\delta = 0,61 \frac{\lambda}{\sin \omega} \approx 0,61 \frac{\lambda}{\frac{d/2}{g}} = 1,22 \frac{\lambda g}{d}$$

Gegenstandspunkte
in δ Abstand voneinander

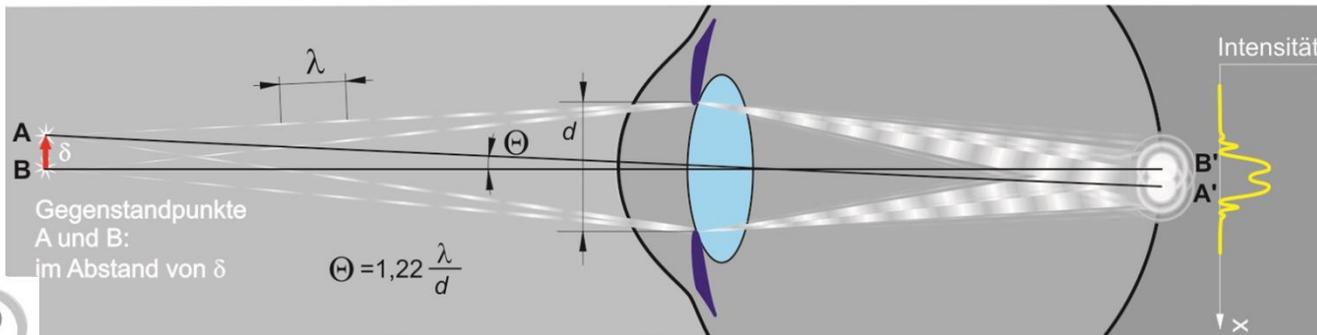
Sehwinkelgrenze: $\Theta = \frac{\delta}{g} = 1,22 \frac{\lambda}{d}$



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



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

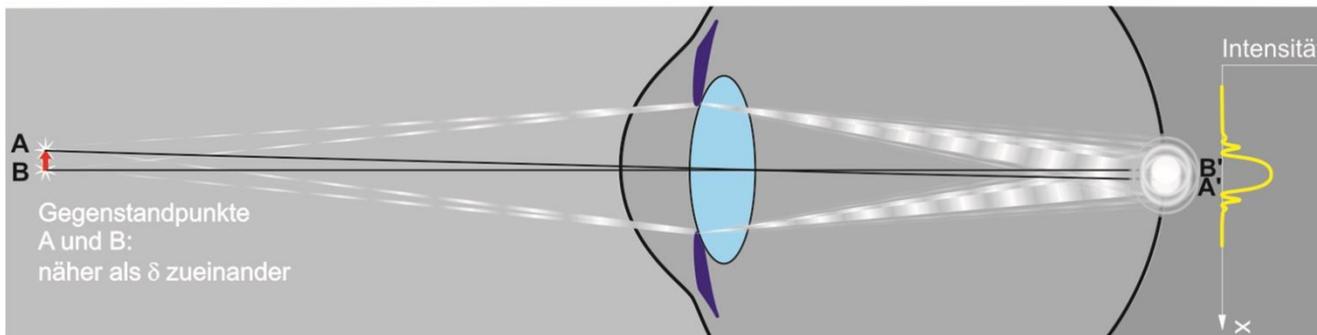


Seien A und B im kritischen Abstand voneinander, überlappen die Airy-Scheiben einander, aber sie sind zu unterscheiden.

- δ minimale aufgelöste Entfernung,
- Θ Sehwinkelgrenze infolge Lichtbeugung.



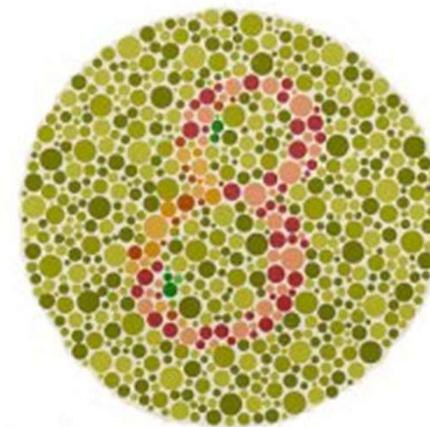
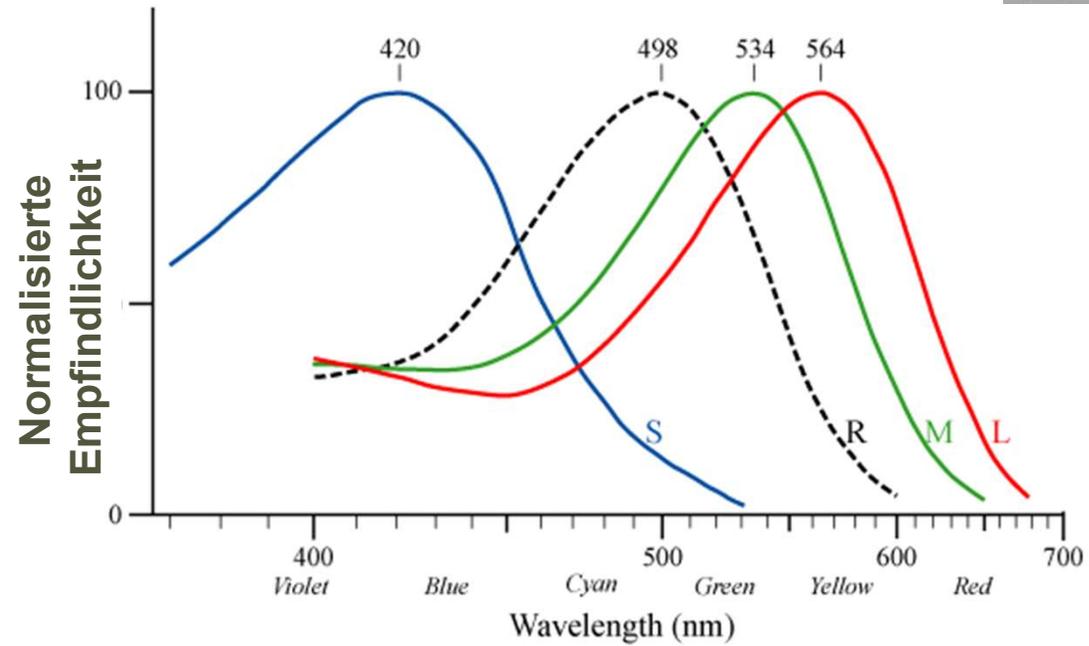
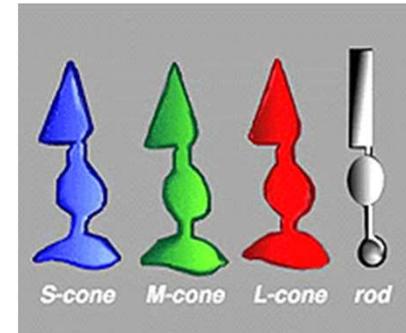
Sehwinkelgrenze infolge Lichtbeugung (Θ):



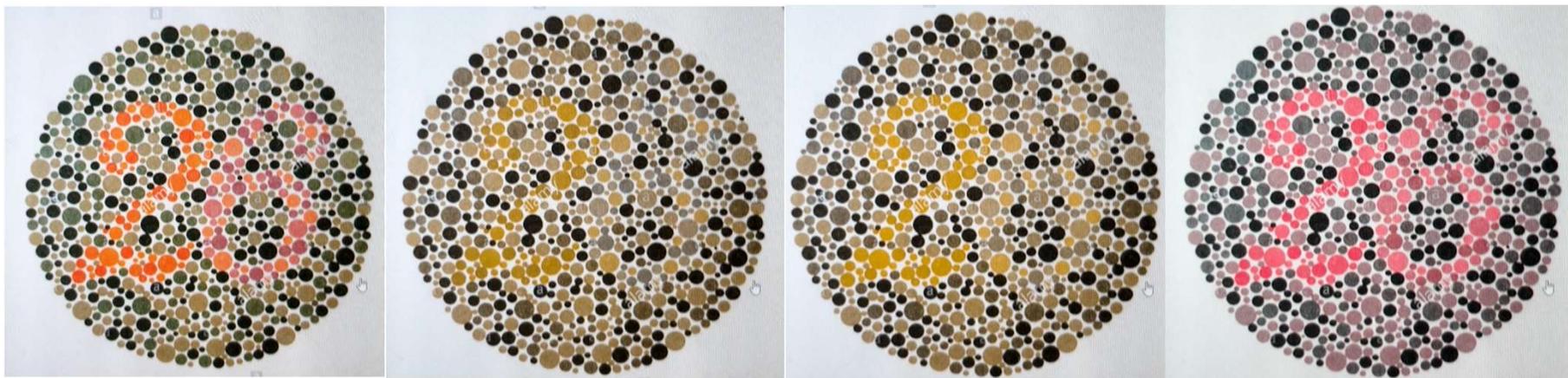
Sei der Abstand zwischen A und B kleiner als δ , bilden zwei Airy-Scheiben eine Bildscheibe.

Das Bild von zwei Gegenstandspunkten ist nicht aufzulösen.

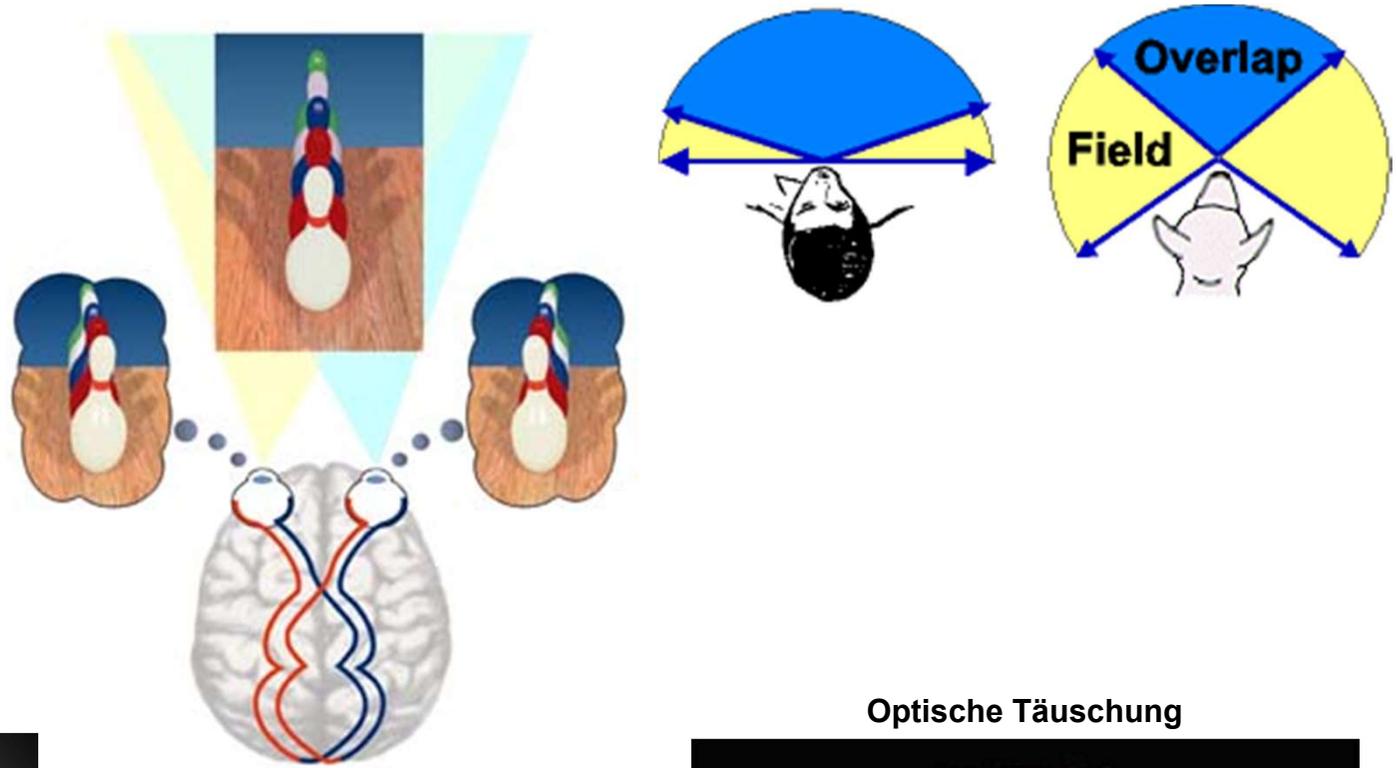
4. Spektrale Empfindlichkeit des Auges - Farbsehen



Farbenfehlsichtigkeit



5. Raumsehen



Optische Täuschung



Optische Täuschung



Hausaufgaben: Aufgabensammlung

4.5-8, 14

