

# **Medizinische Biophysik**

## **Licht in der Medizin. Medizinische Optik**

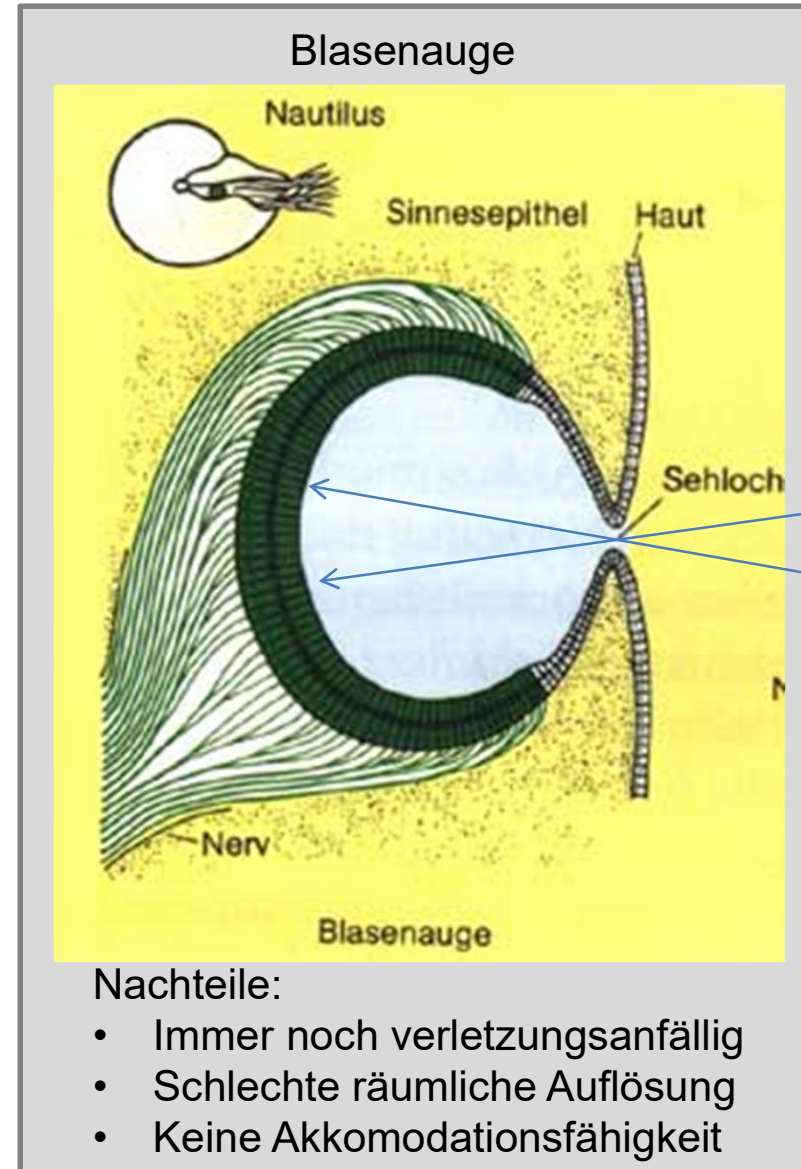
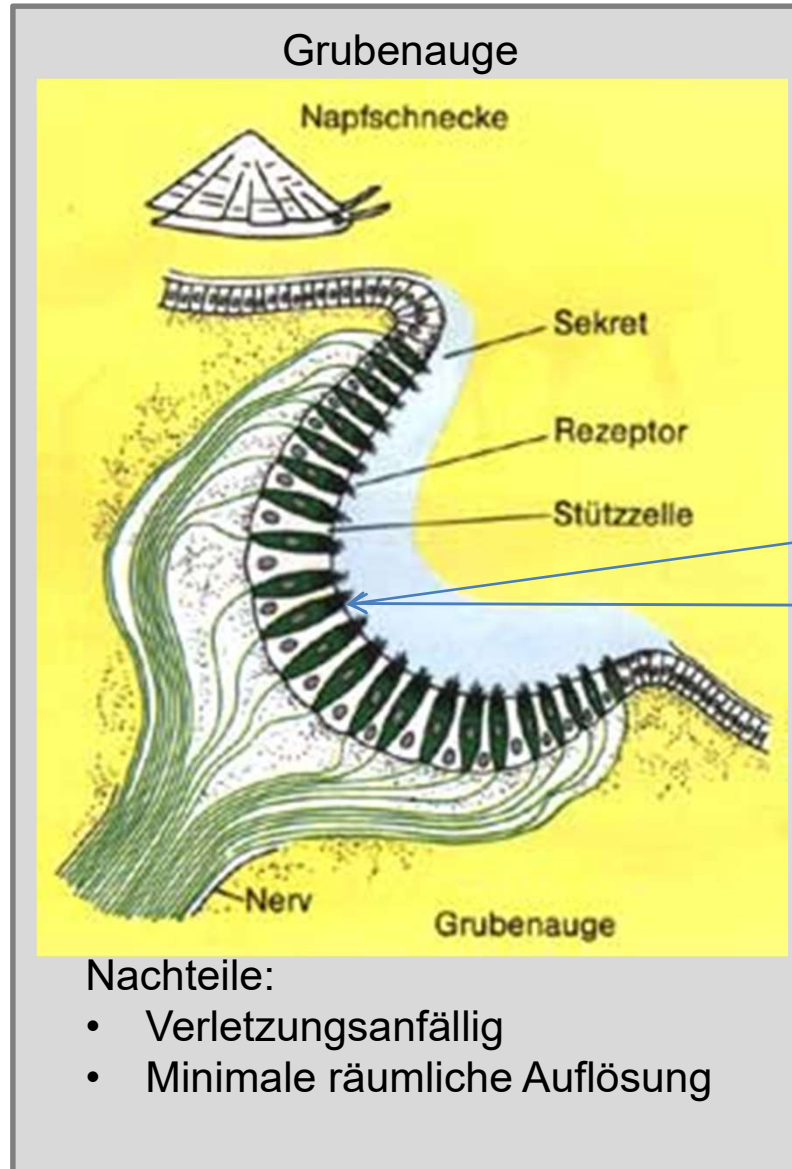
### **II. Das Auge und das Sehen**

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



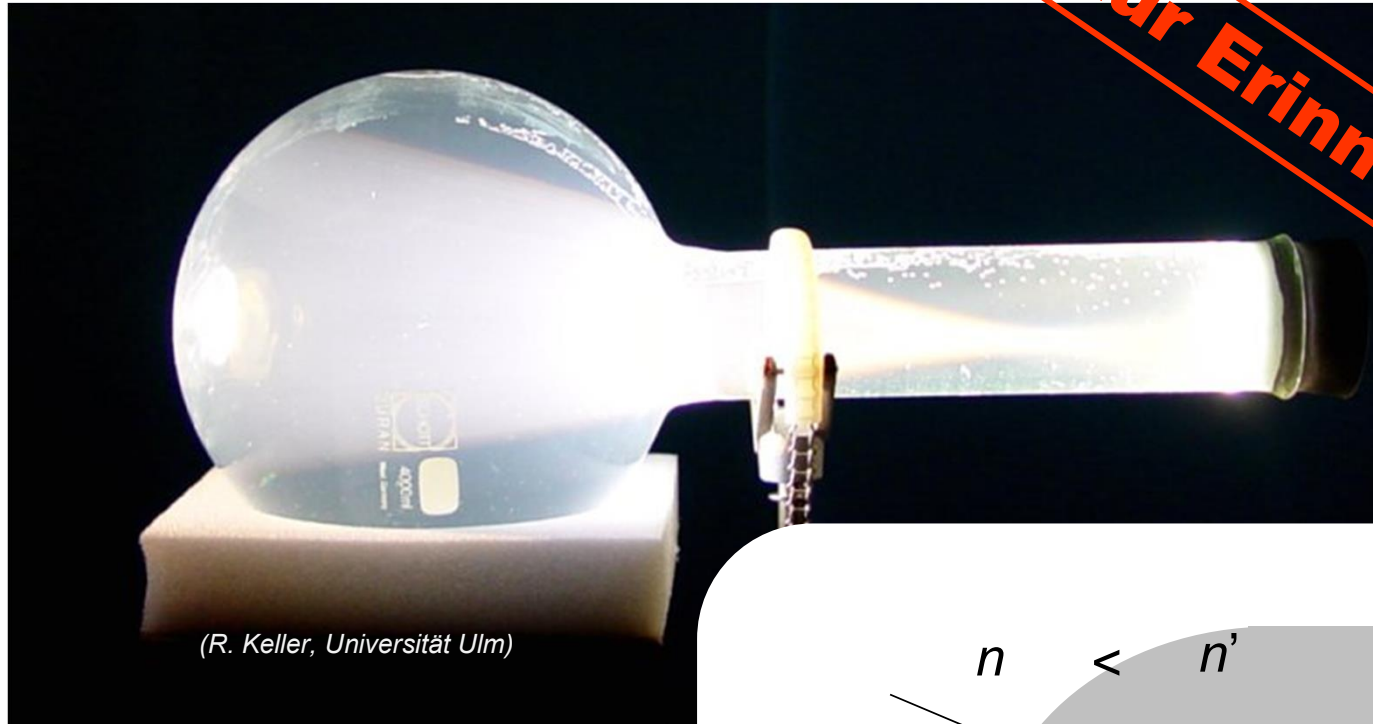
# 1. Entwicklung des Sehorgans



Optische Abbildung ist notwendig!



Brechung durch eine sphärische Grenzfläche:

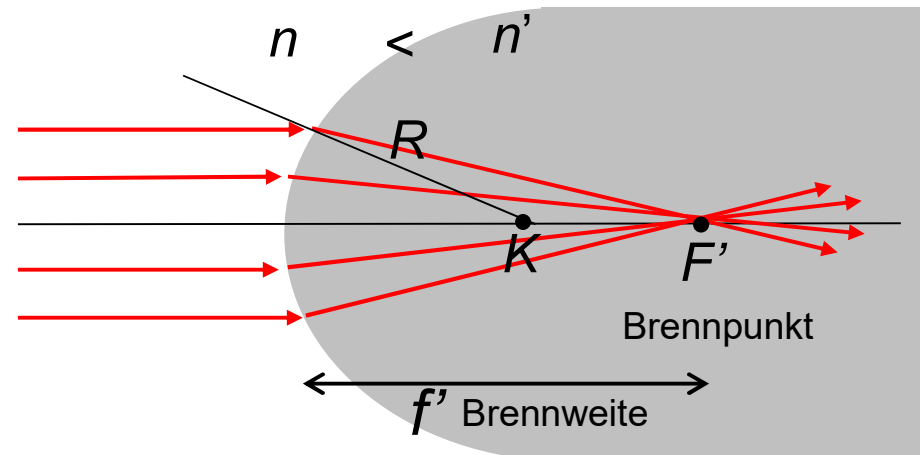


(R. Keller, Universität Ulm)

**Zur Erinnerung**

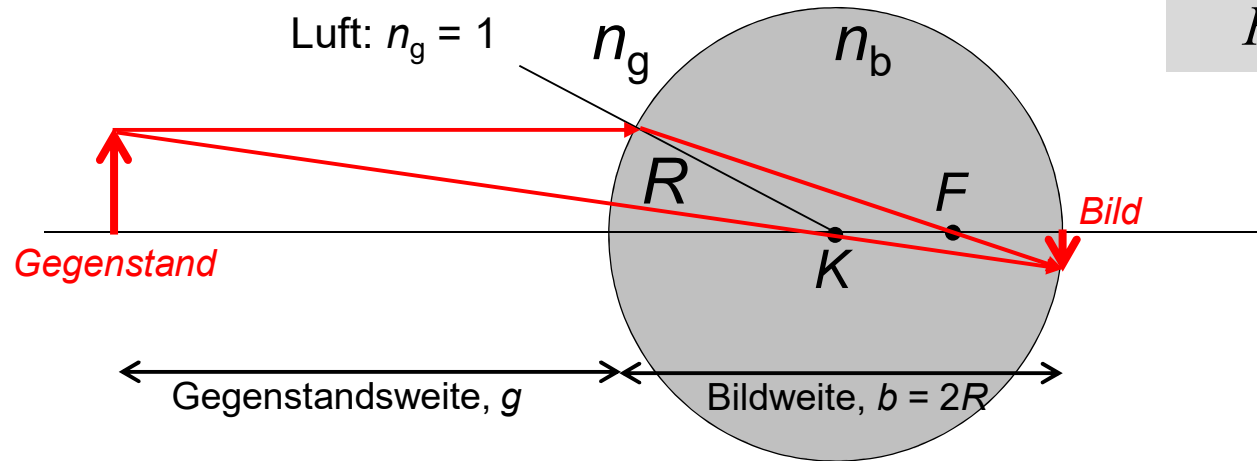
**Brechkraft ( $D$ ):** 
$$D = \frac{n'}{f'} = \frac{n' - n}{R}$$

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



# Einfache Kugel als Auge?

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



$n_b =$



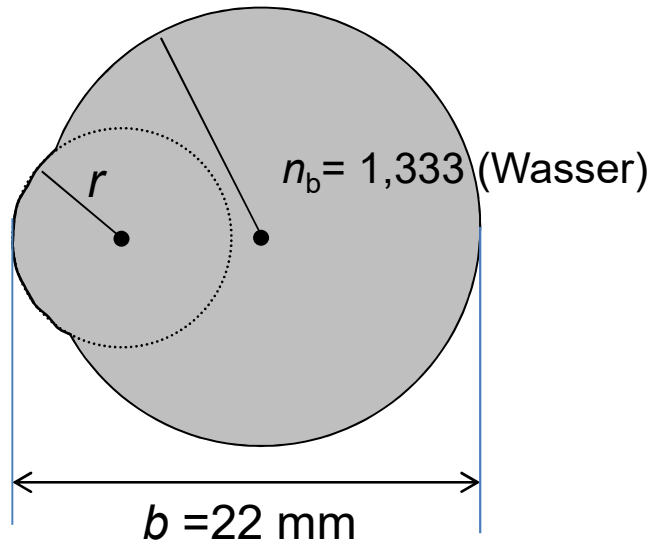
$n_b$  müsste größer sein als 2! Diamant vielleicht?



2 Kugeln!

$r =$  

$n_g = 1$  (Luft)



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

#### Vorteile:

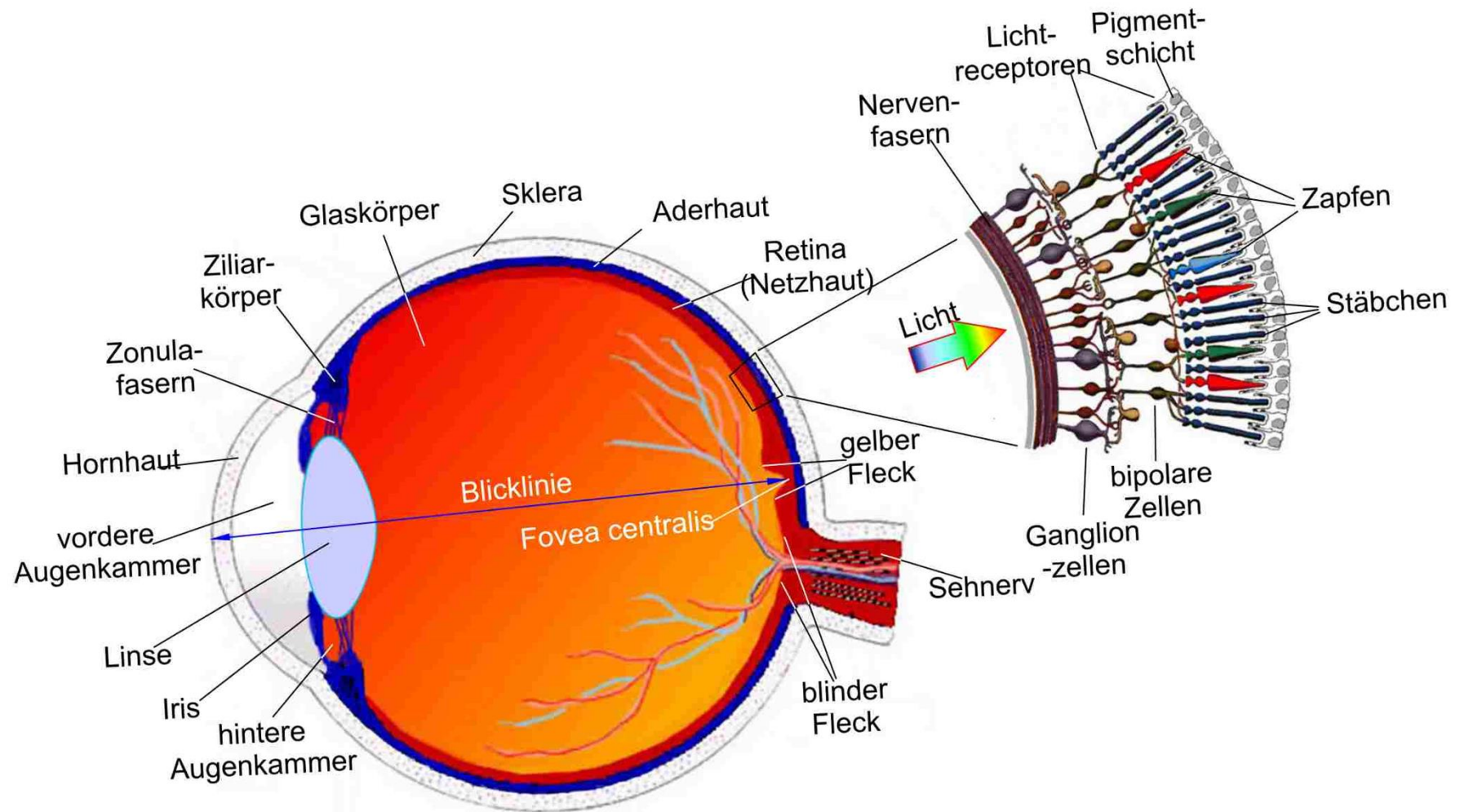
- Geschlossen  $\Rightarrow$  weniger verletzungsanfällig
- Gute räumliche Auflösung
- Bild entsteht innerhalb der Kugel

#### Nachteile:

- Keine Akkomodationsfähigkeit



## 2. Aufbau des menschlichen Auges



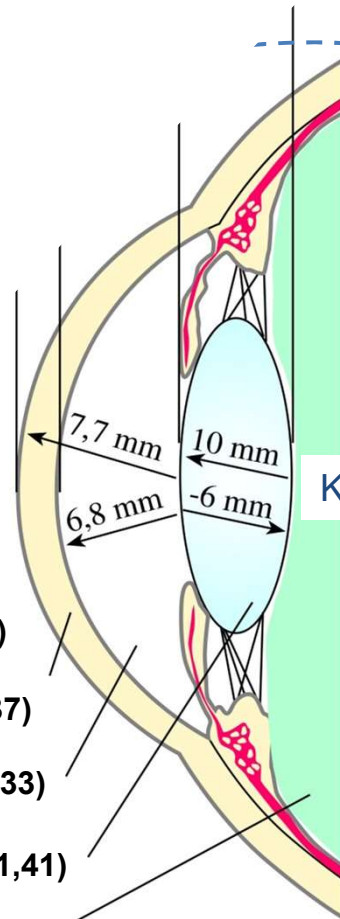
### 3. Optik des menschlichen Auges

#### a) Brechkraft des Auges

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

Brechzahlwerte:

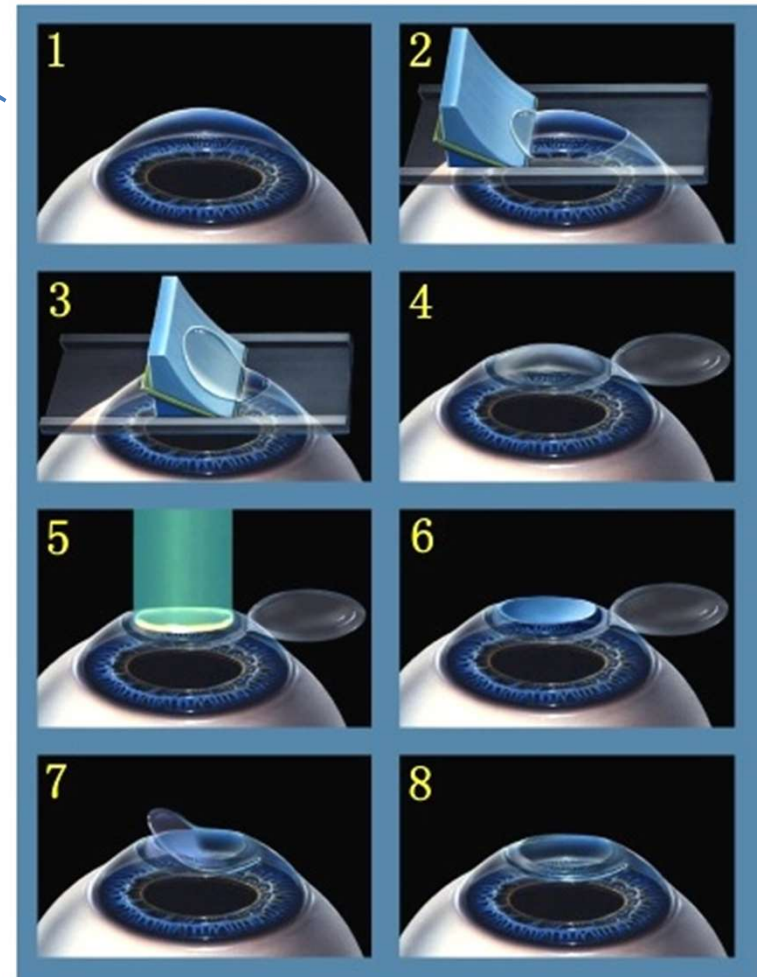
Luft (1,00)  
Hornhaut (1,37)  
Kammerwasser (1,33)  
Linse (1,41)  
Glaskörper (1,34)



Krümmungsradien

ohne Akkomodation

LASIK:

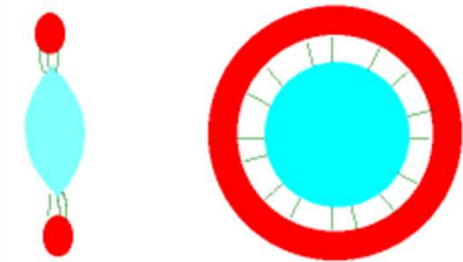
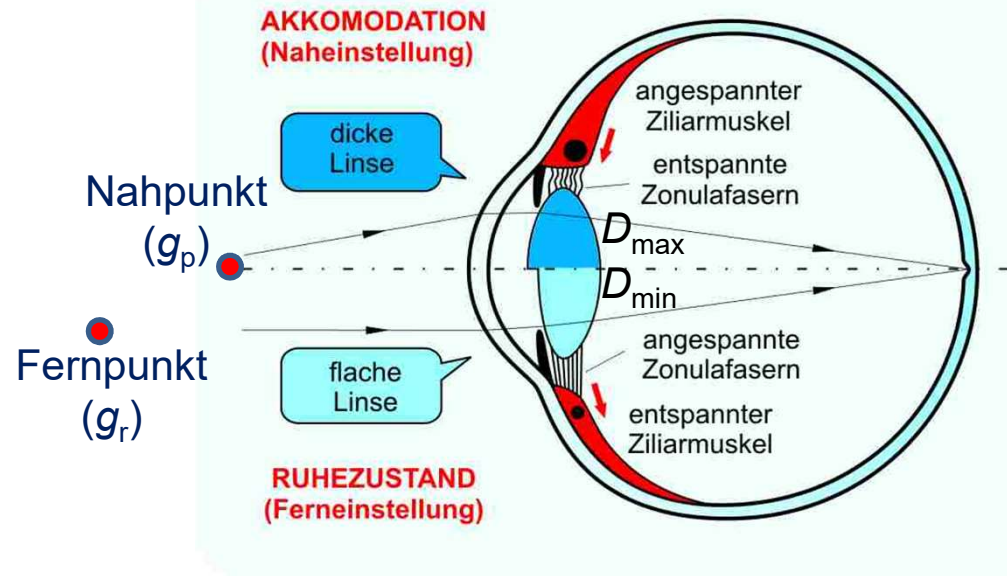
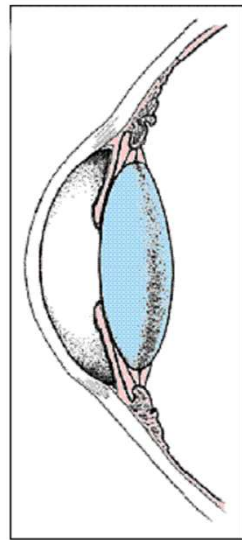




## b) Akkomodation (Brechkraftänderung)

Zur Erinnerung:

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

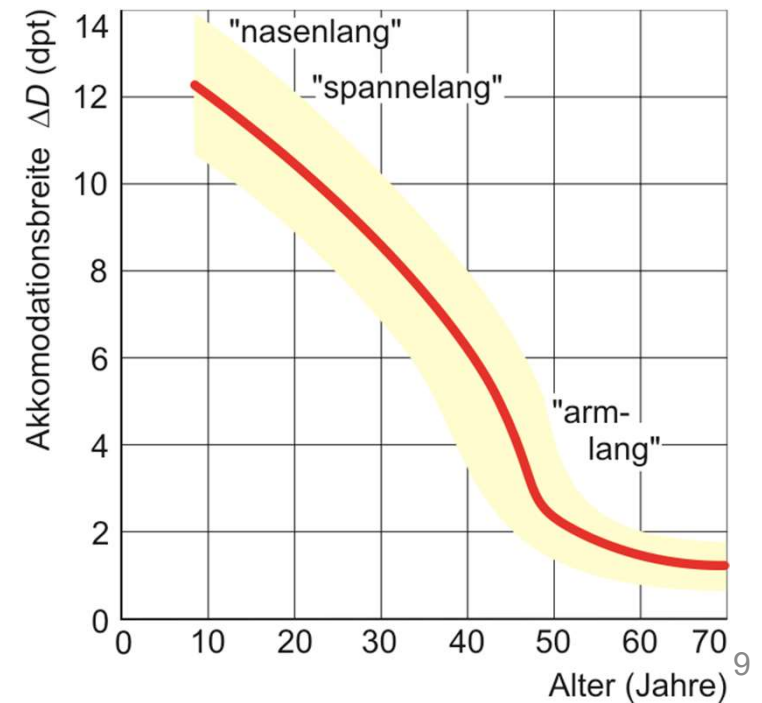


- Akkommodationsbreite ( $\Delta D$ ):  $\Delta D = D_{\max} - D_{\min}$

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

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

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

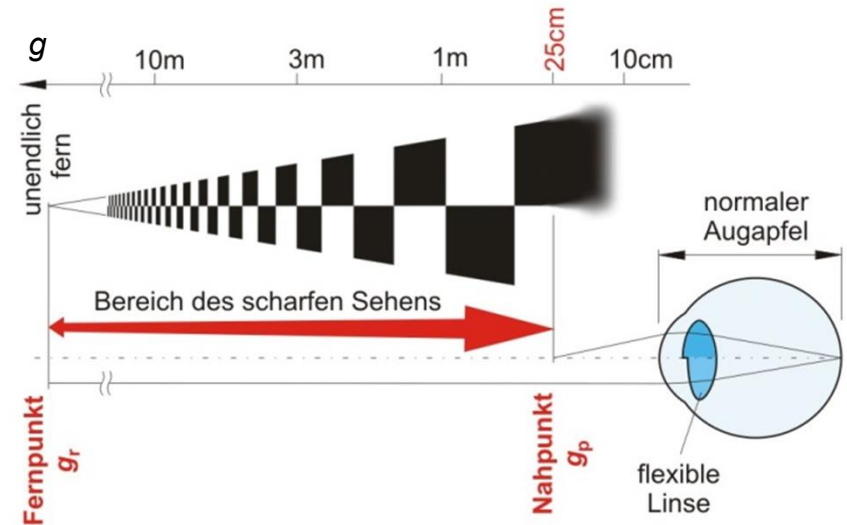


## c) Augenfehler :

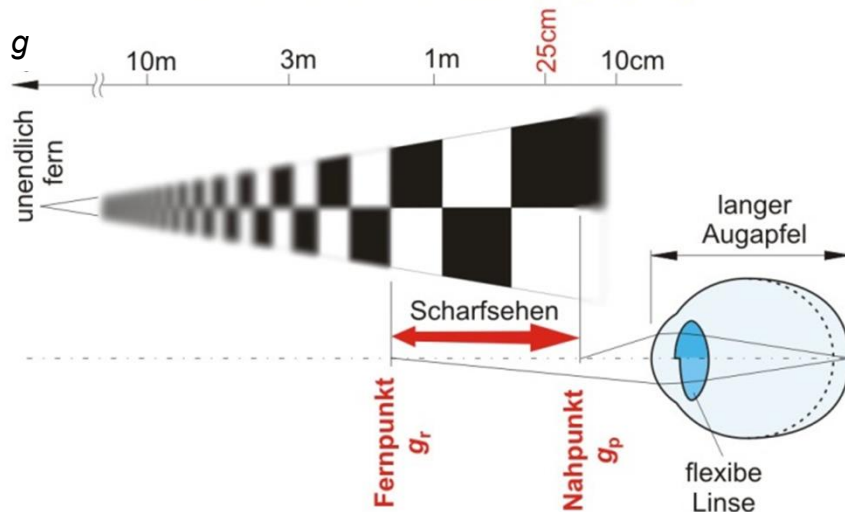
Zur Erinnerung:

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

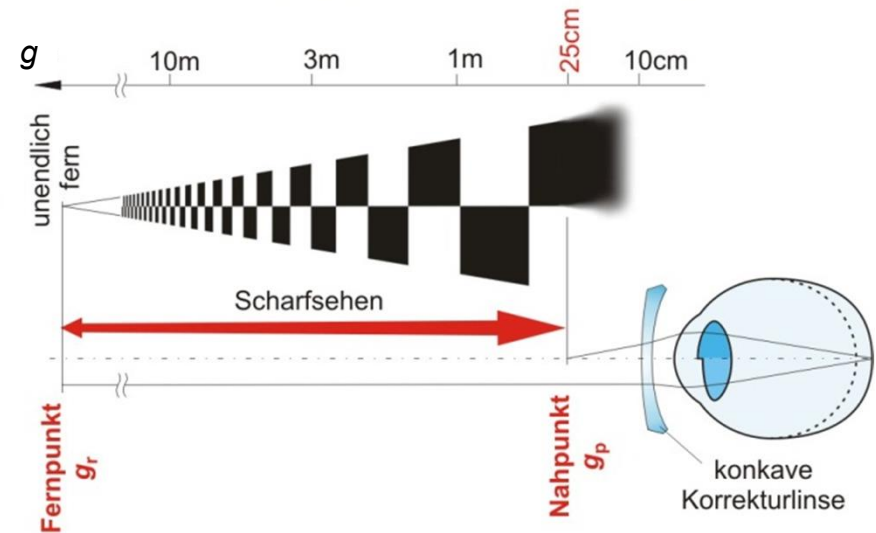
## NORMALSICHTIGES AUGE (Emmetropie)



## KURZSICHTIGKEIT (Myopie)

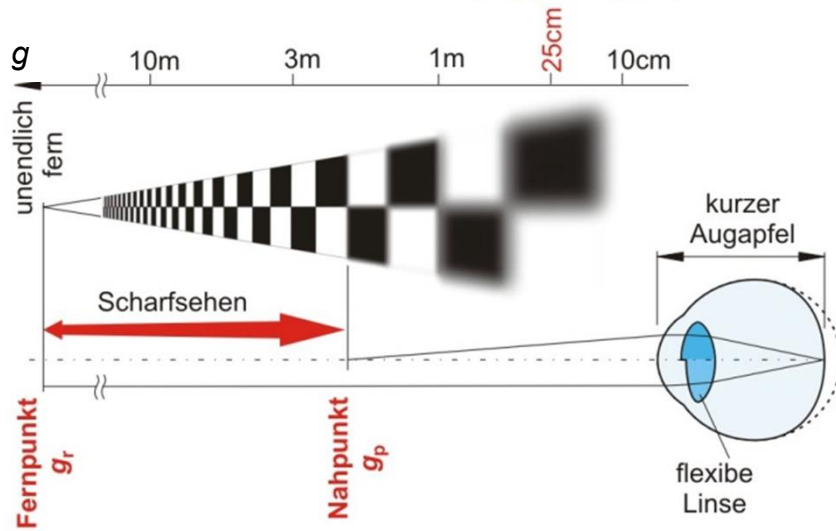


## KORRIGIERTE KURZSICHTIGKEIT

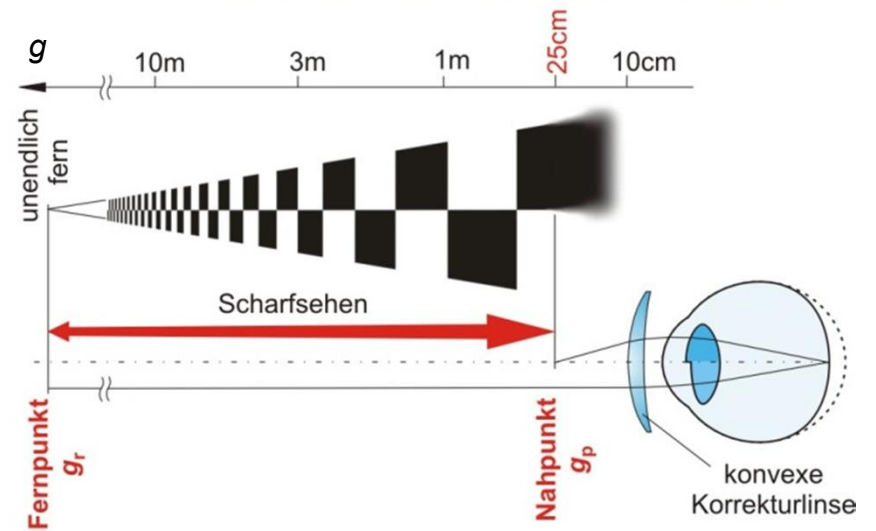


$$D = \frac{n_g}{g} + \frac{n_b}{b}$$

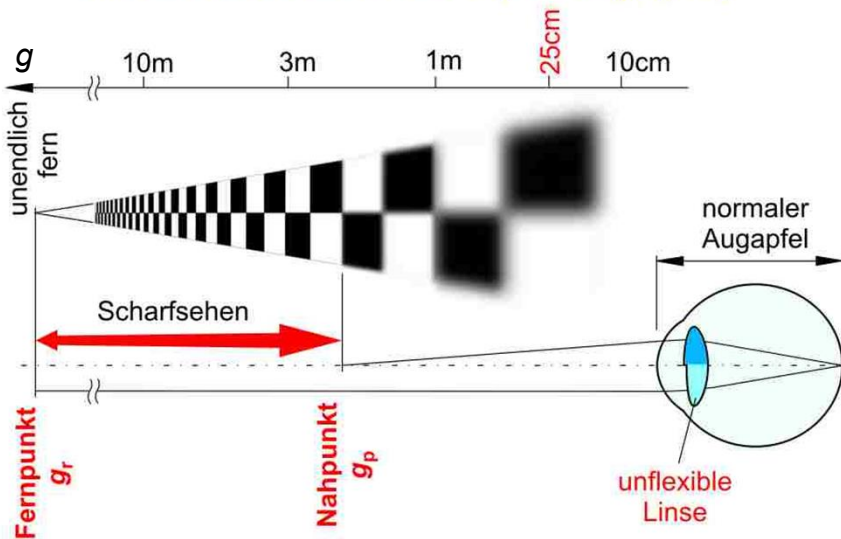
## WEITSICHTIGKEIT (Hyperopie)



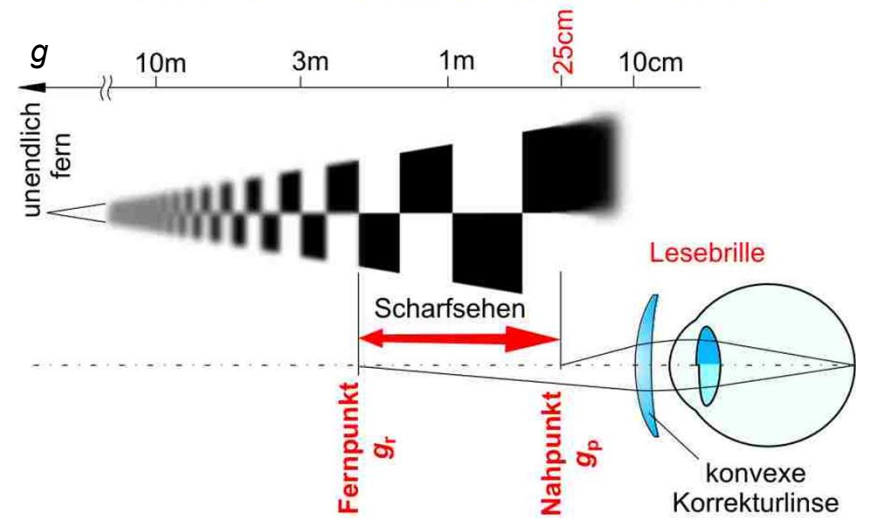
## KORRIGIERTE WEITSICHTIGKEIT



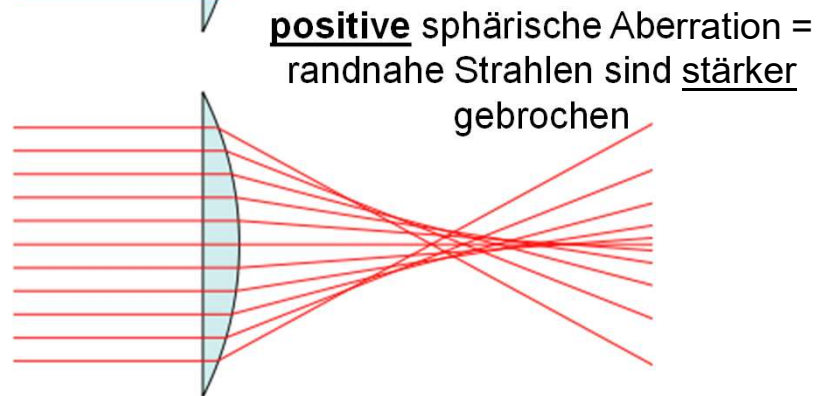
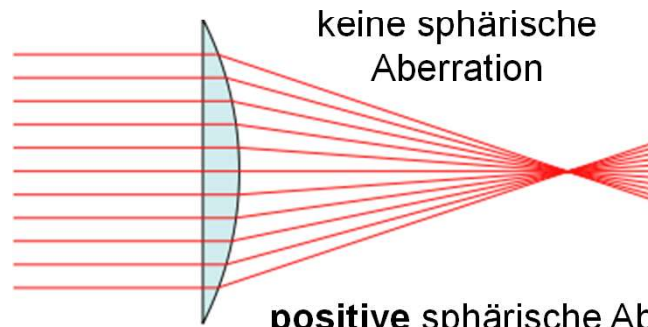
## ALTERSSICHTIGKEIT (Presbyopie)



## KORRIGIERTE ALTERSSICHTIGKEIT

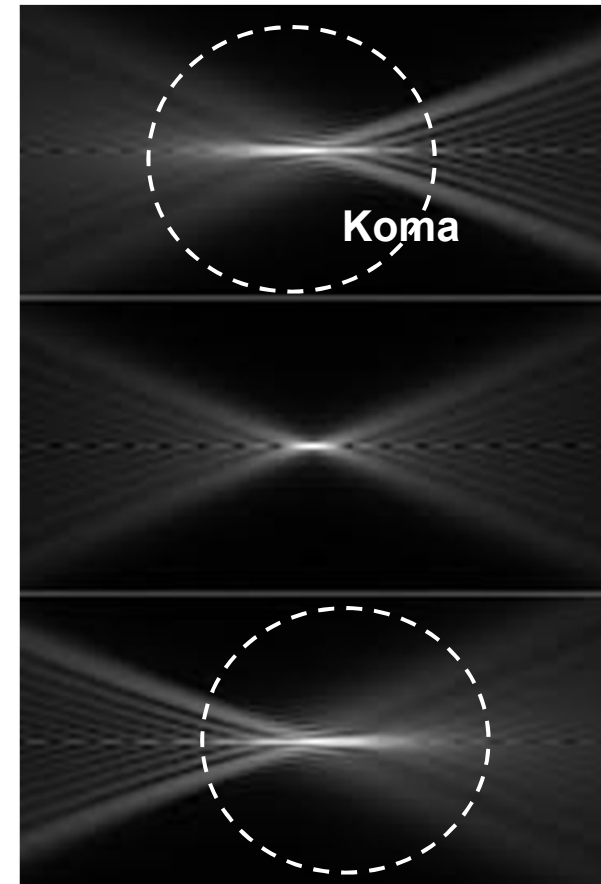
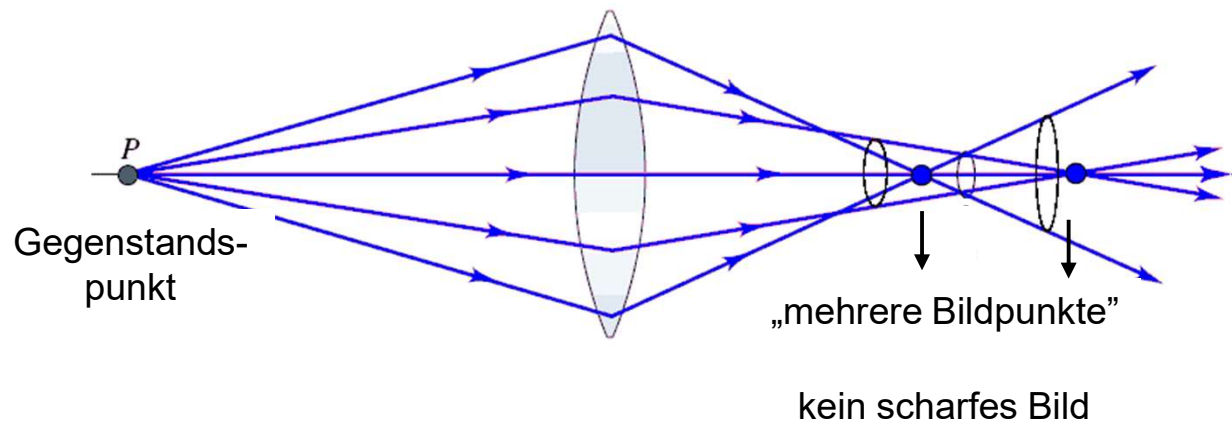


## Sphärische Aberration (Öffnungsfehler)

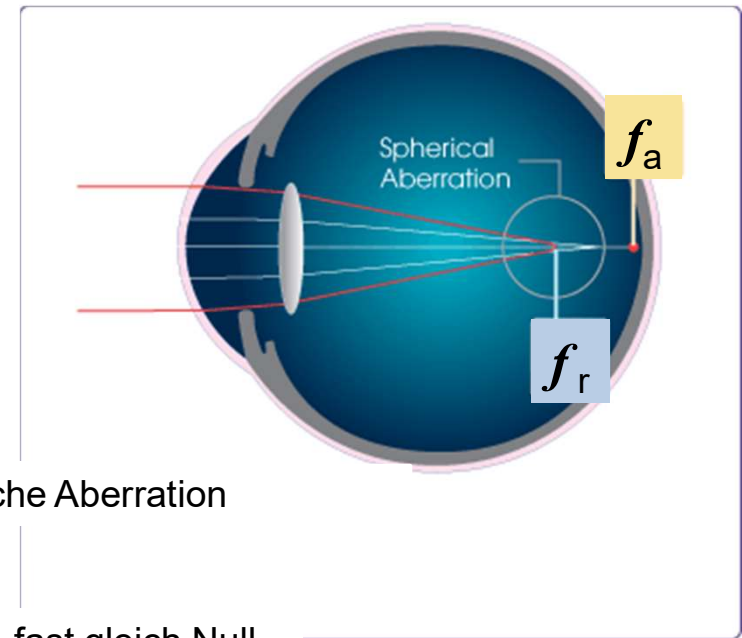
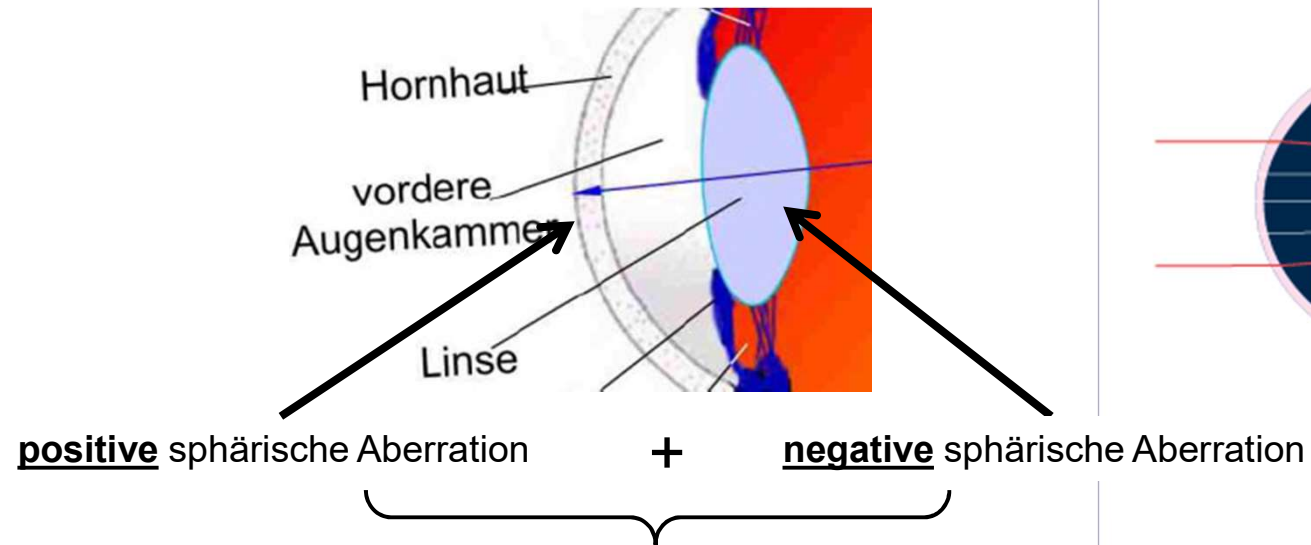


**negative** sphärische Aberration =  
randnahe Strahlen sind weniger  
gebrochen

**Zur Erinnerung**







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

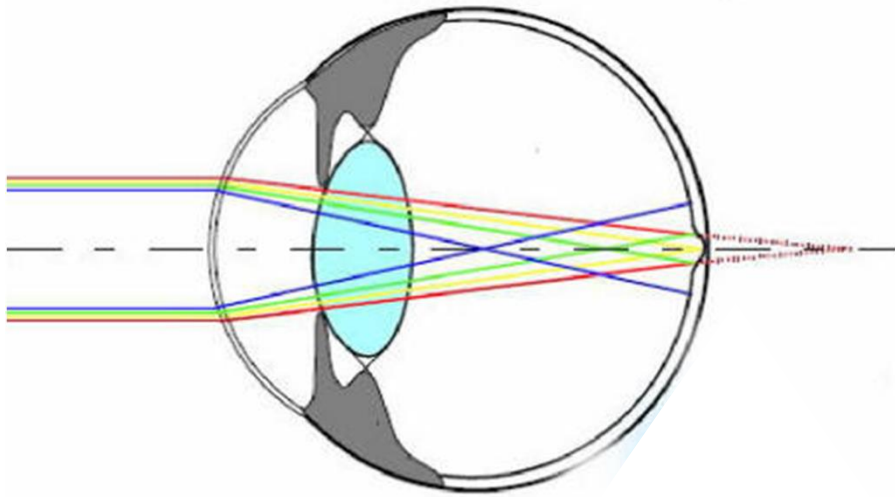
Bei weiten Pupillen ist die Gesamtaberration stärker positiv.



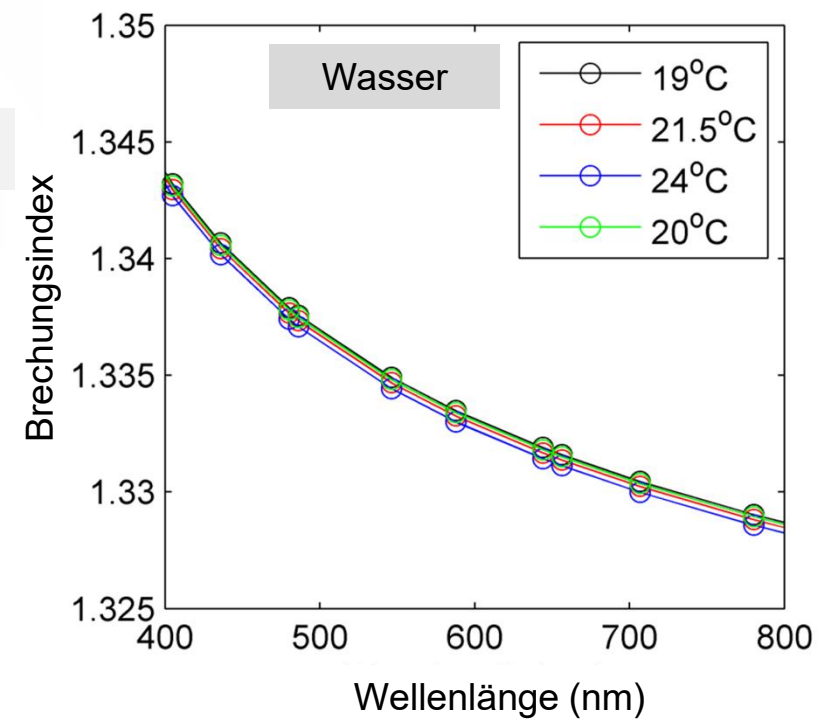
Nachtmyopie  
(Nachtkurzsichtigkeit)



## Chromatische Aberration (Farbfehler)

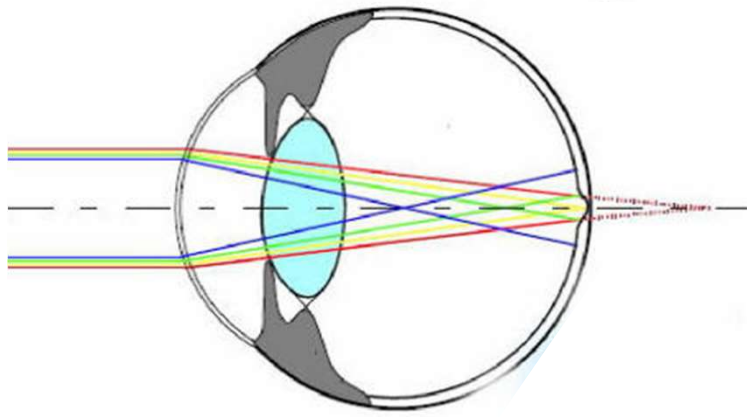


Chromatische Aberration: ● ● ● ●

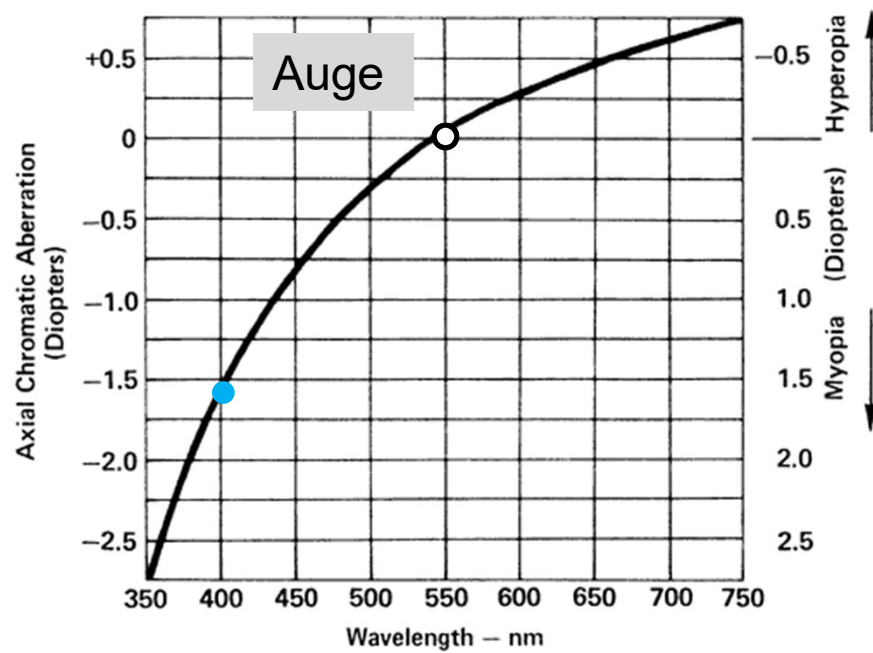
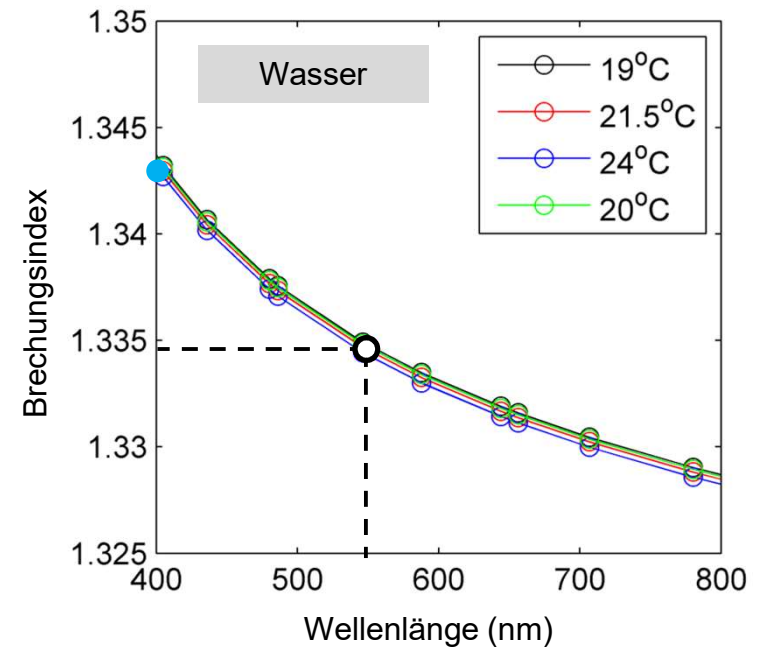


Wie viel Dioptrie ist die Brechkraftdifferenz zwischen Blau und Grün?

## Chromatische Aberration (Fortsetzung)

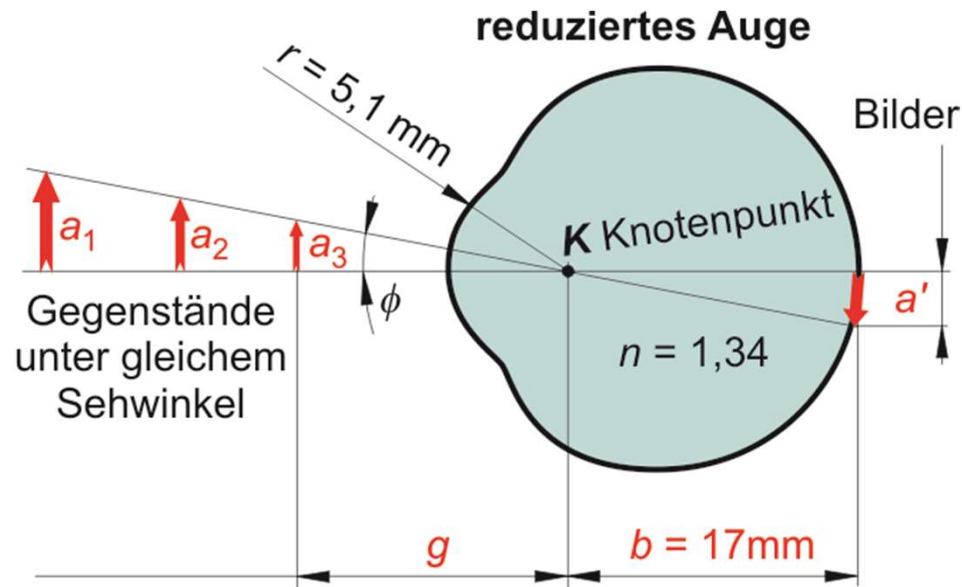
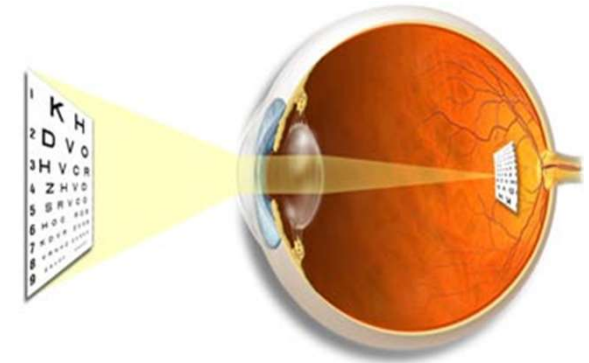


Chromatische Aberration: ● ● ● ●



## d) Bildentstehung im Auge

### ▪ Reduziertes Auge



➤ Brechkraft des reduzierten Auges: ?

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

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



Sehwinkel  $\phi$ :  $\phi \text{ (rad)} =$

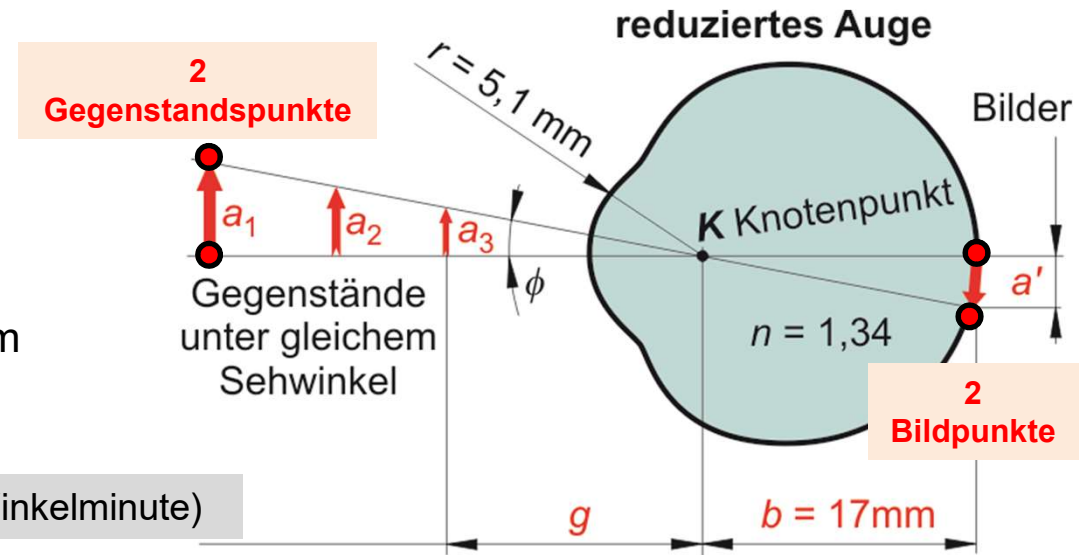


## e) (räumliche) Auflösung des Auges

### ■ Sehwinkelgrenze ( $\alpha$ ):

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

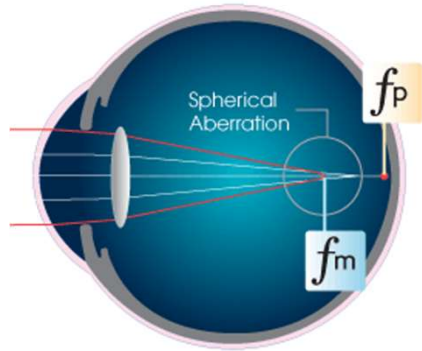
### ■ Sehschärfe (Visus): $= \frac{\text{Auflösungsvermögen des Patienten}}{\text{Referenzwert des Auflösungsvermögens}} = \frac{\frac{1}{\alpha(')}}{\frac{1}{1'}} = \frac{1'}{\alpha(')} (\cdot 100\%)$

Erklärung:

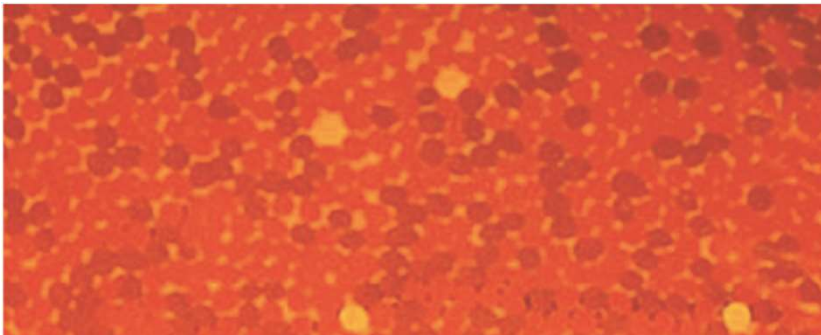
- physikalisch
- biologisch

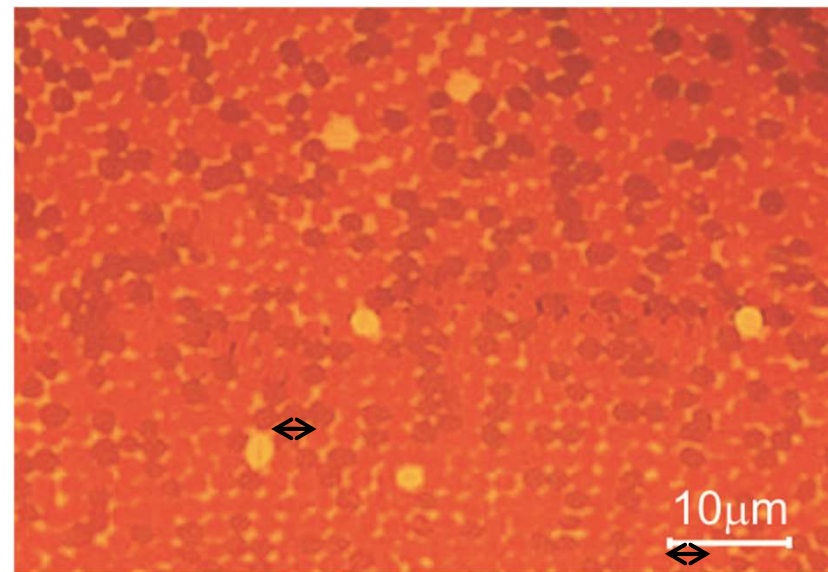
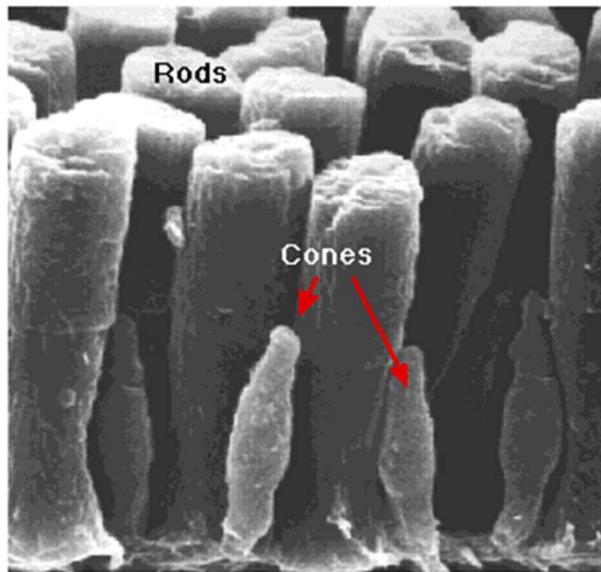
## f. Faktoren die die Auflösung des Auges begrenzen:

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



- Grösse und Dichte der Rezeptoren

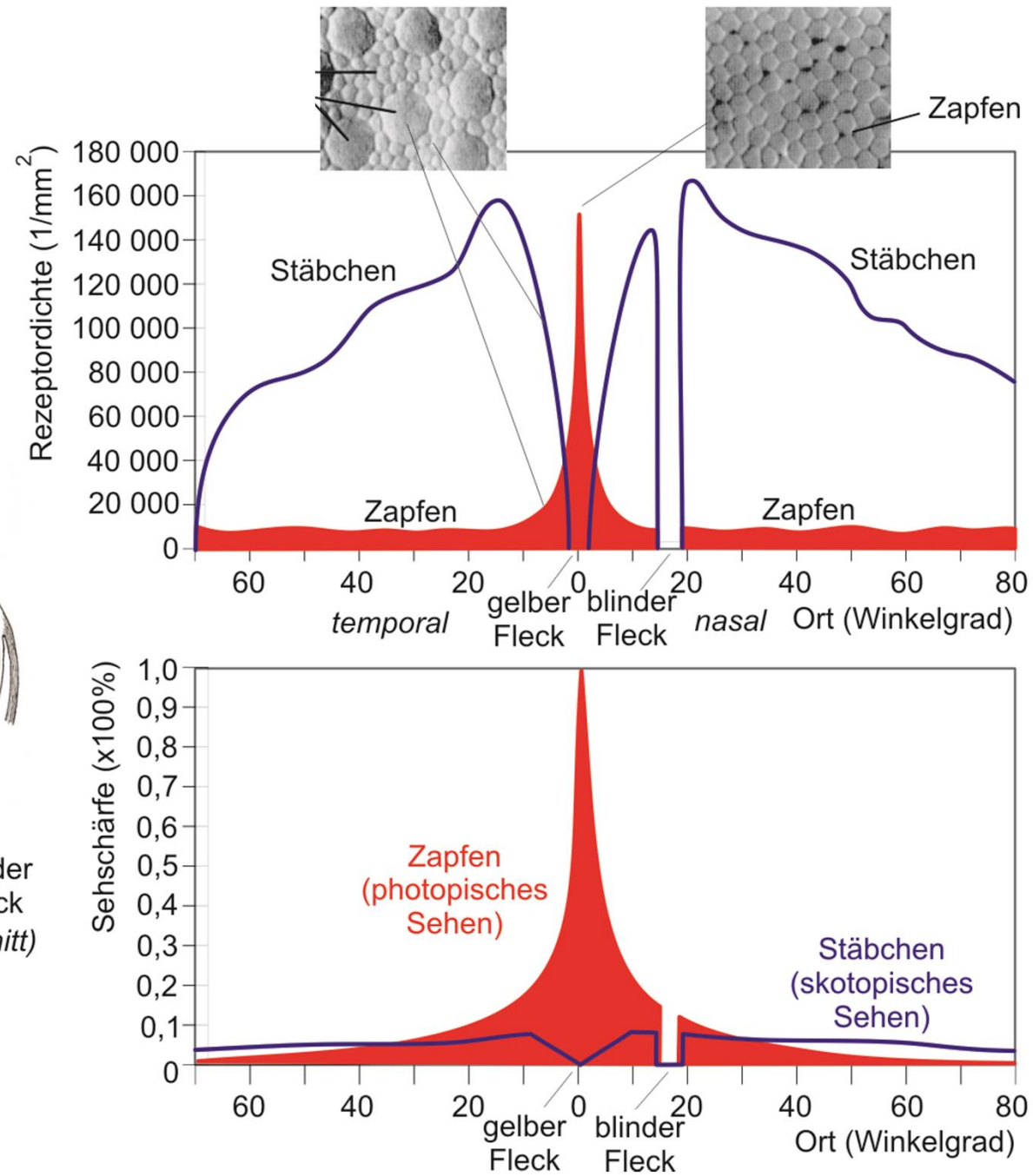
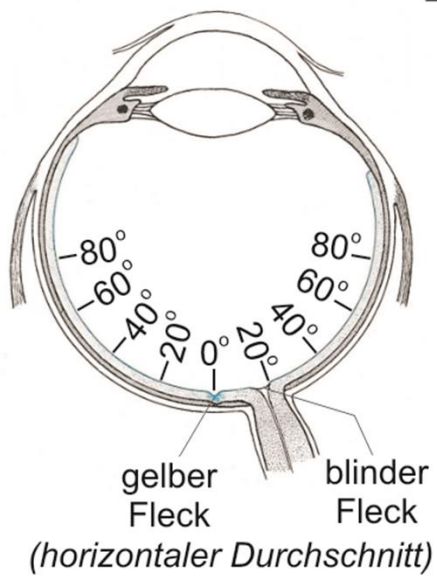




**Gegenstandspunkte**      **Bildpunkte**      **Empfindung**

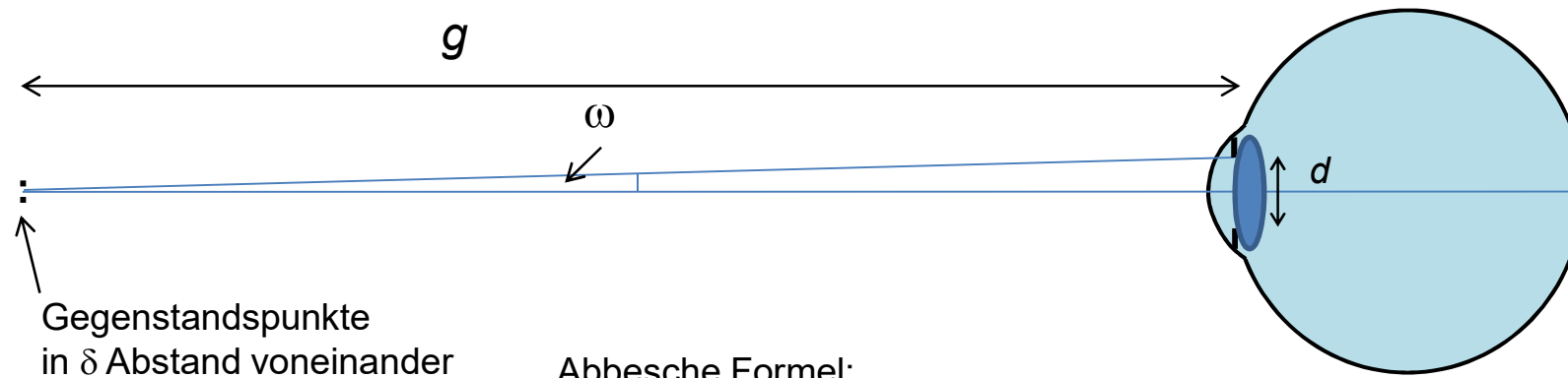

Sehwinkelgrenze infolge Rezeptorendichte ( $\alpha$ ):

$\alpha =$





➤ Wellenoptische Grenze der Auflösung

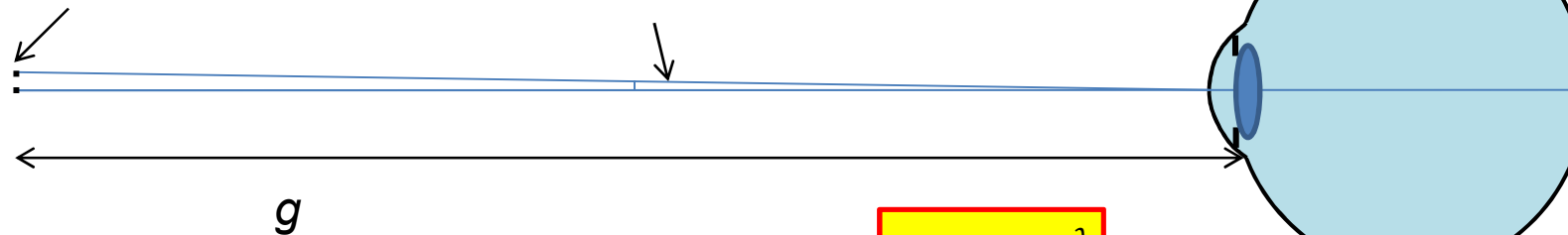


Abbesche Formel:

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

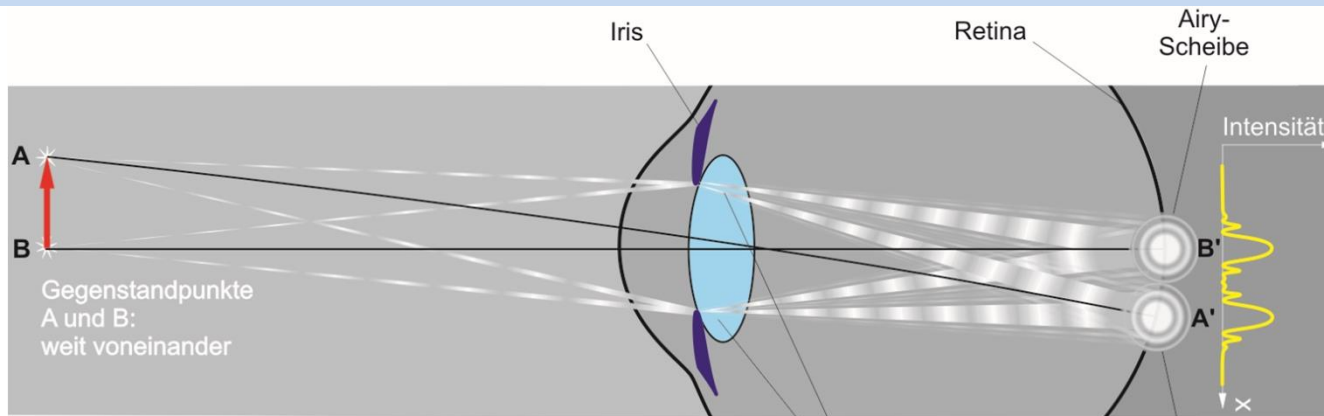
Gegenstandspunkte  
in  $\delta$  Abstand voneinander

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

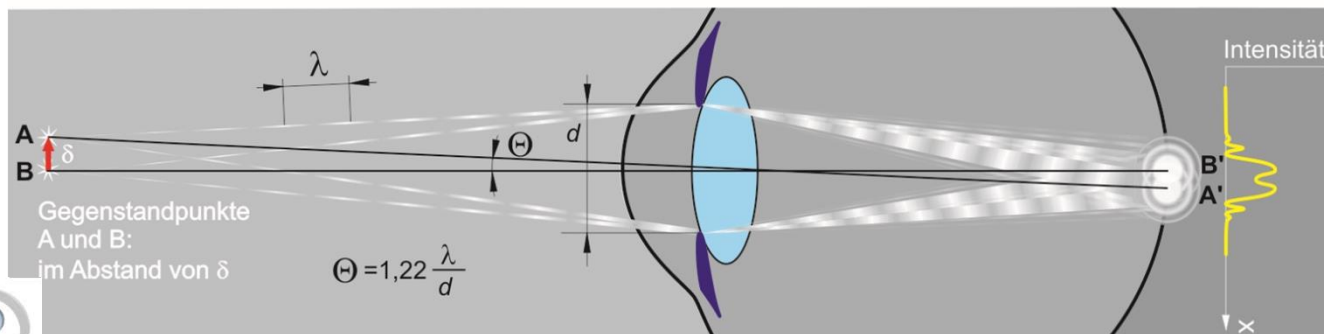


Sehwinkelgrenze :  $\Theta = 1,22 \frac{\lambda}{d}$

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



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

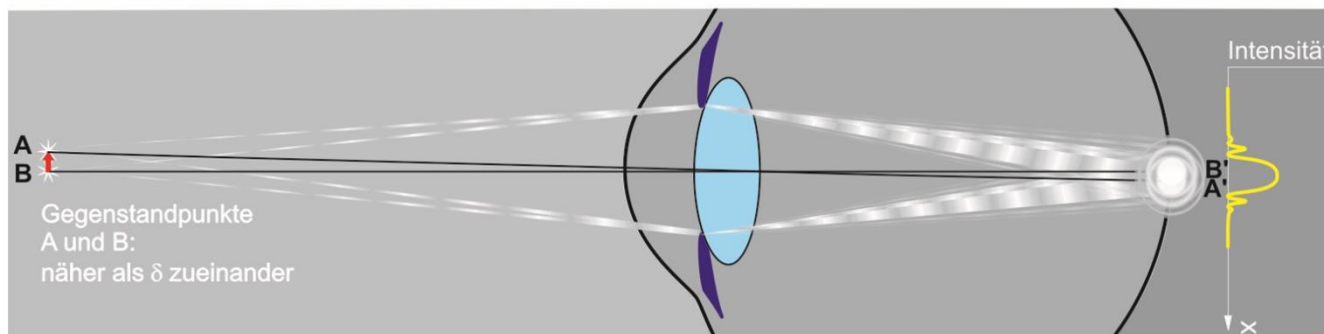


Seien A und B im kritischen Abstand voneinander, überlappen die Airy-Scheiben einander, aber sie sind zu unterscheiden.

$\delta$  minimale aufgelöste Entfernung,

$\Theta$  Sehwinkelgrenze infolge Lichtbeugung.

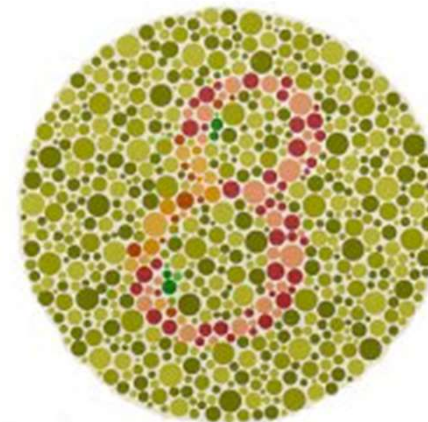
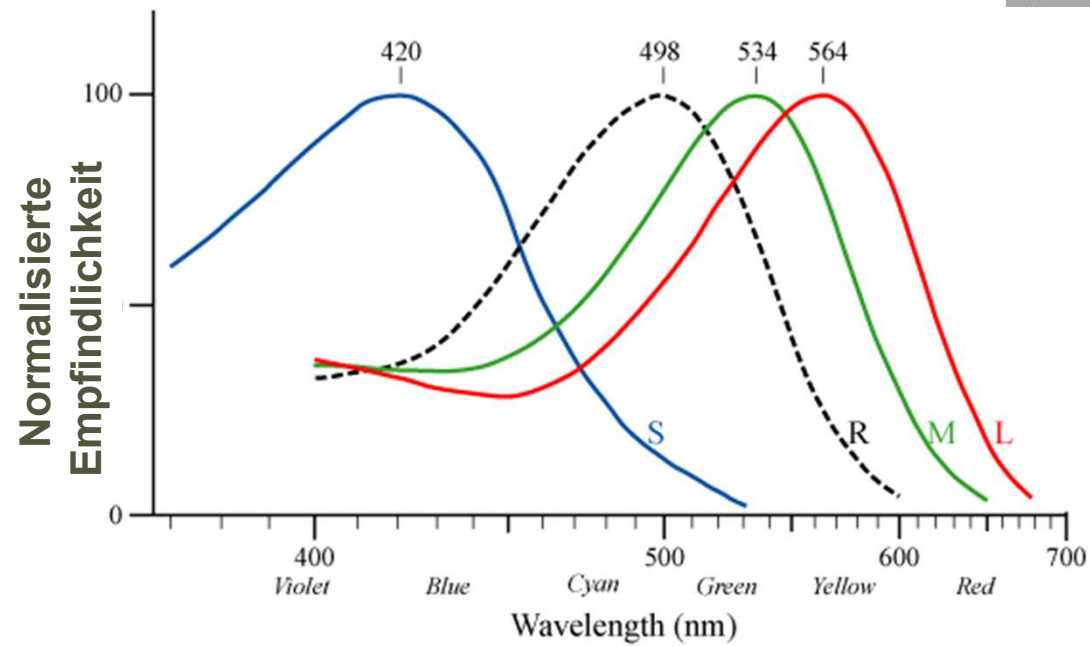
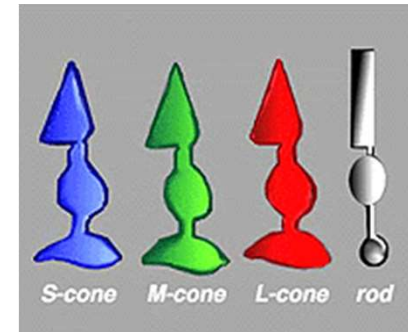
Sehwinkelgrenze infolge Lichtbeugung ( $\Theta$ ):



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

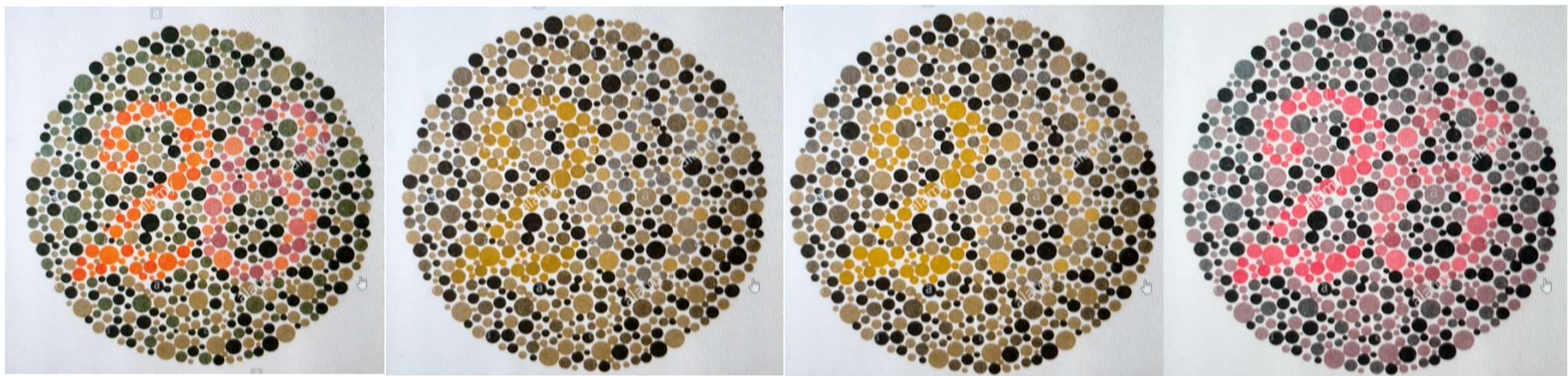
Das Bild von zwei Gegenstandspunkten ist nicht aufzulösen.

## 4. Spektrale Empfindlichkeit des Auges - Farbensehen



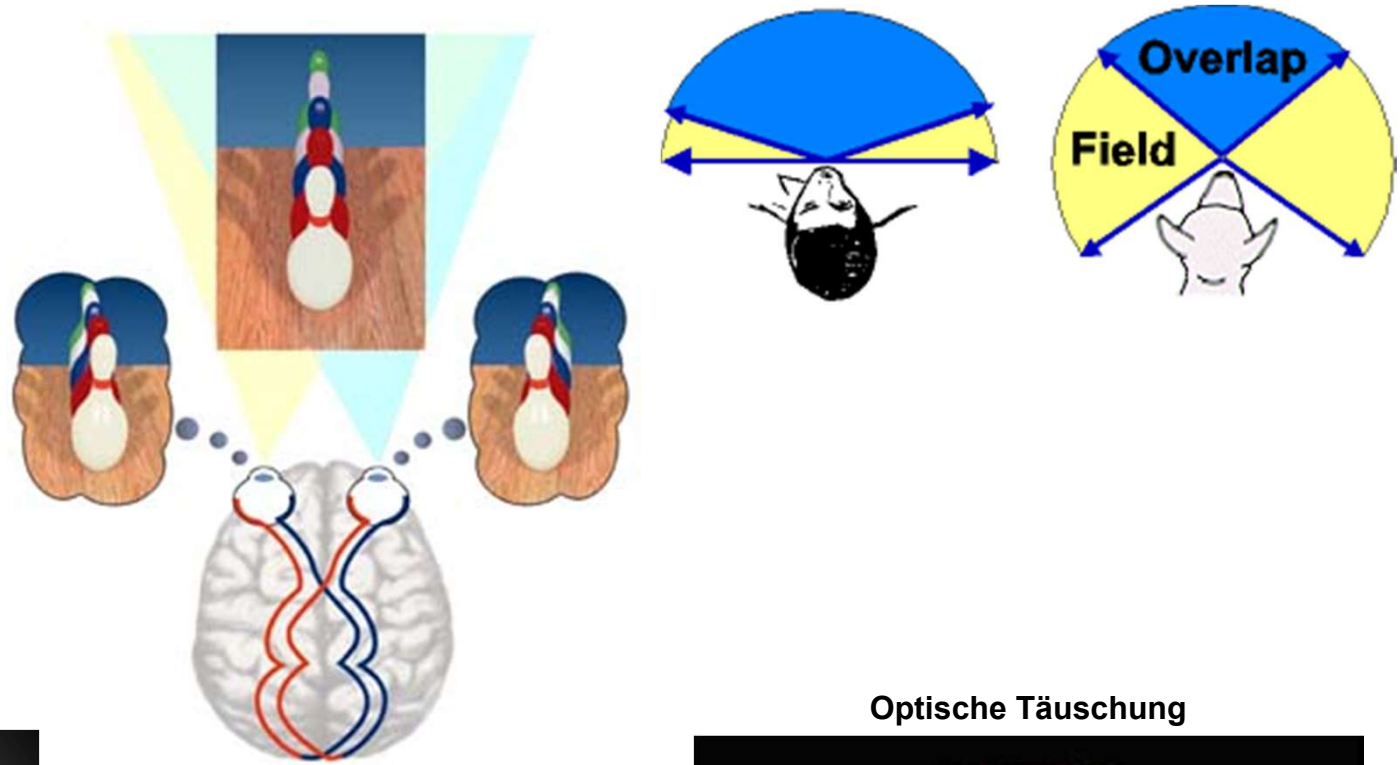


## Farbenfehlsichtigkeit





## 5. Raumsehen



Optische Täuschung



Optische Täuschung



# Hausaufgaben:

## Aufgabensammlung

4.5-8, 14

