

# 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

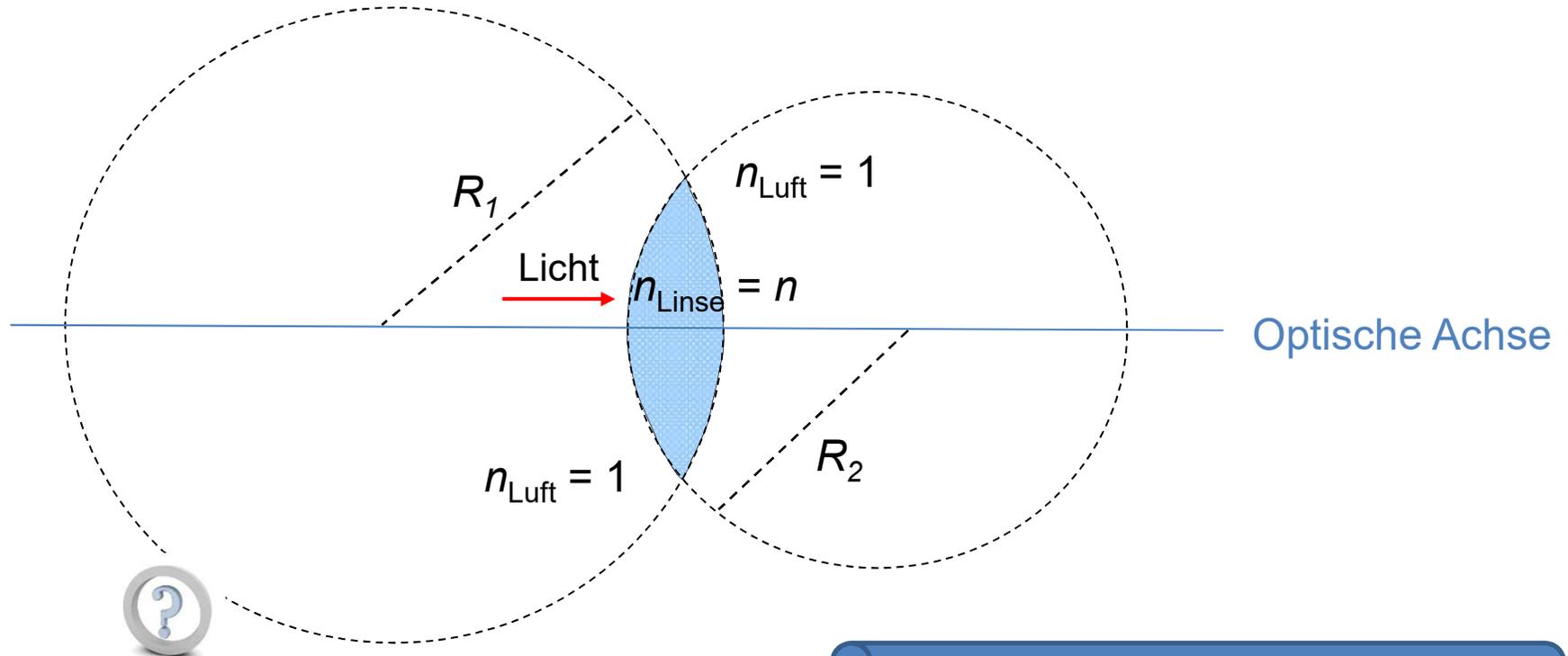
#### 3. Optik des menschlichen Auges

- 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:

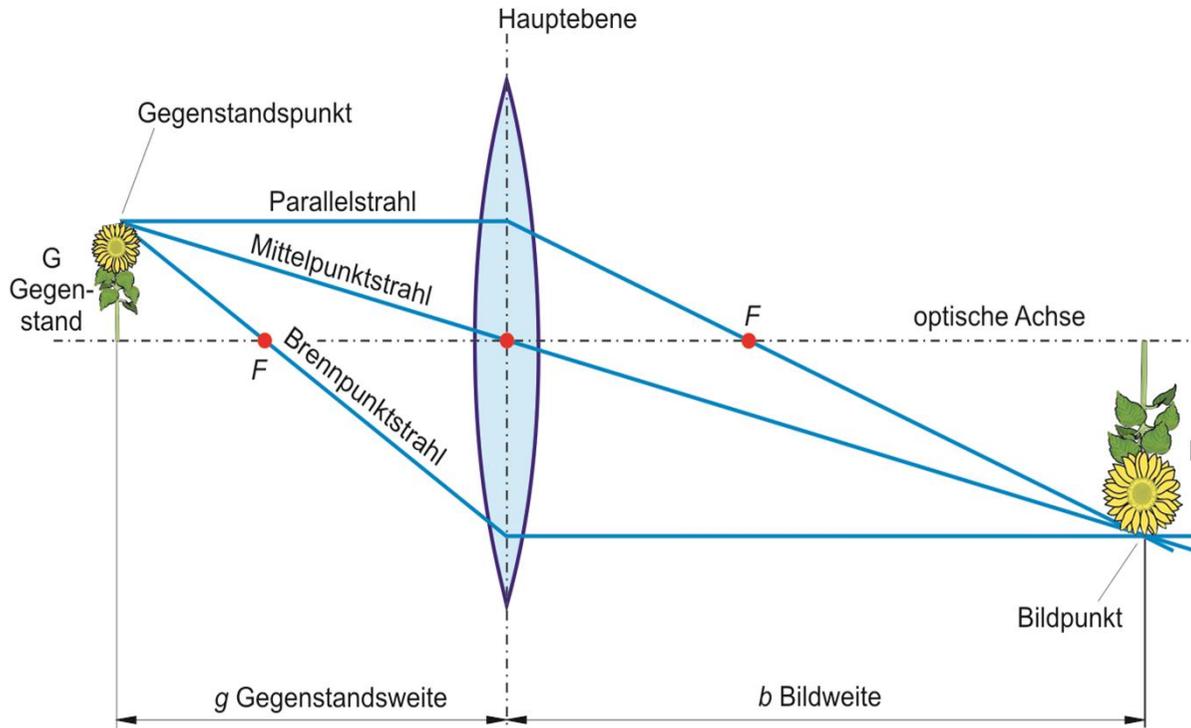


#### ▪ Linsenschleiferformel:

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

**Sphärische Linse** ist ein durch Kugelflächen umgrenzte Brechungsmedium

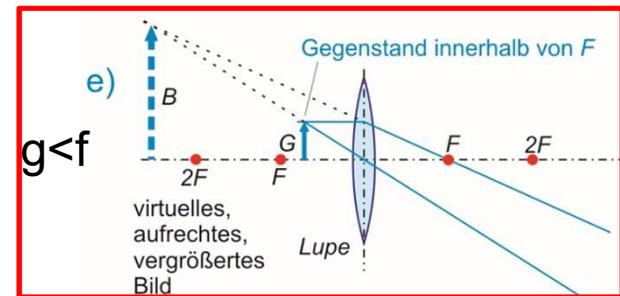
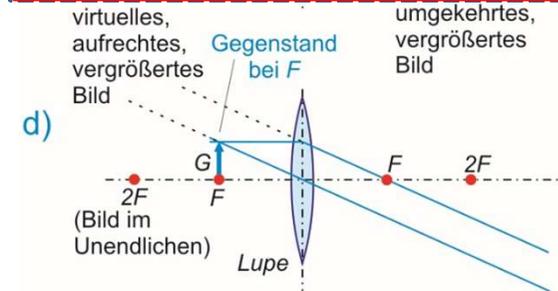
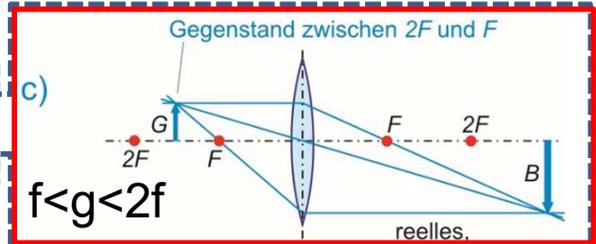
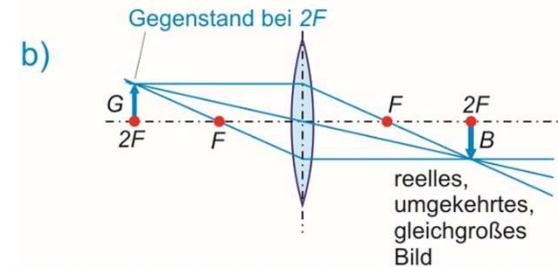
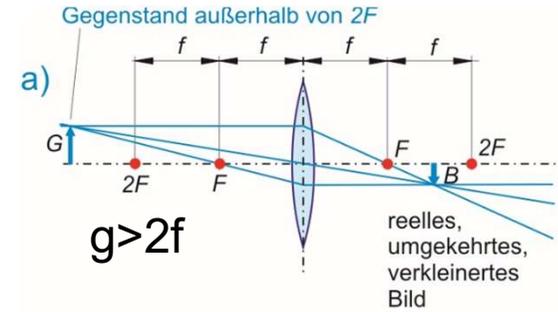
## b) Abbildung durch eine Linse, Linsengleichung



**Vergrößerung** →

**Mikroskop**  
s. später!

(s. Abbildung 2.7 im  
Praktikumsbuch!)



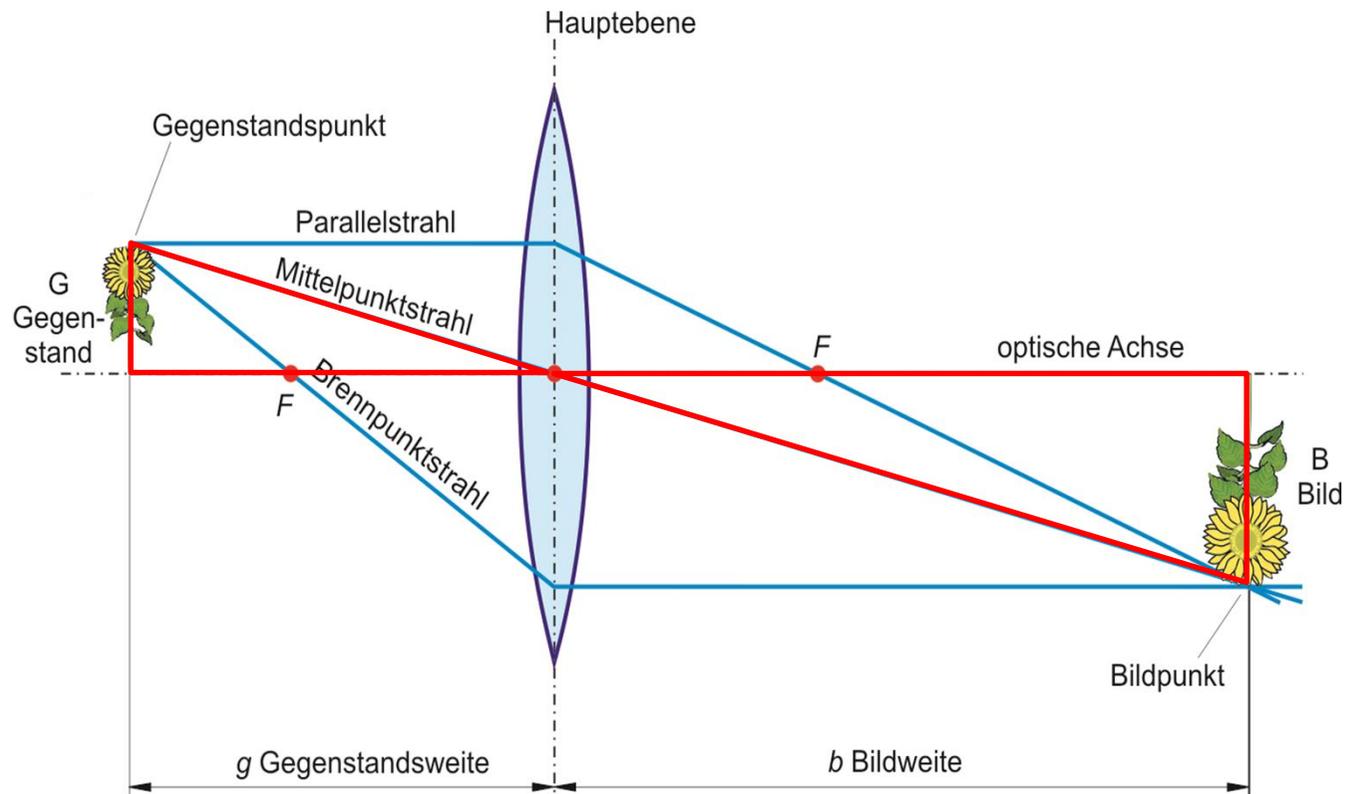
- **Linsegleichung (Abbildungsgesetz):**

Luft:

$$\left. \begin{array}{l} n_g = n_b = 1 \\ f_g = f_b = f \end{array} \right\} \frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$$

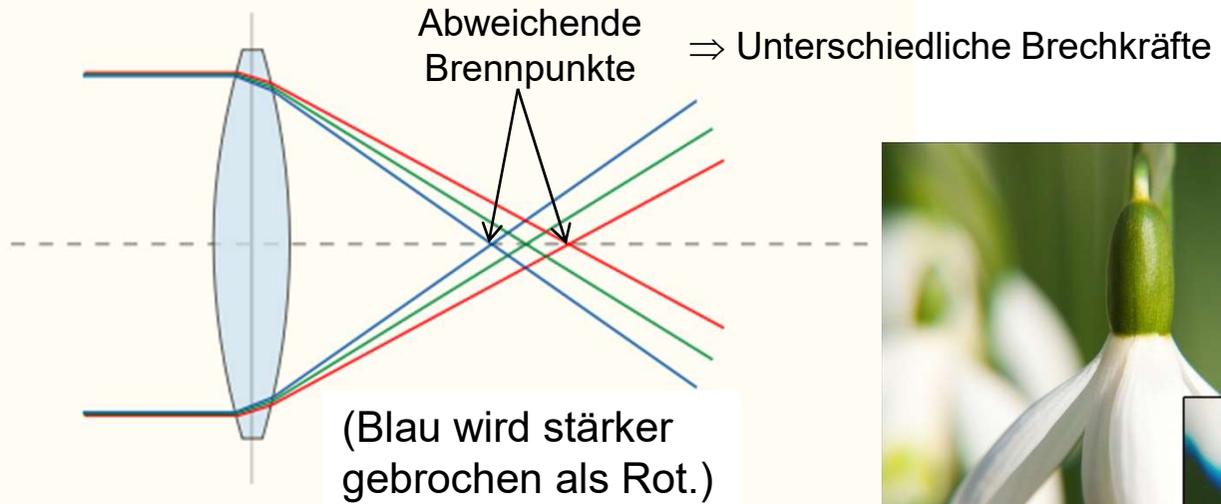
(Bei einem virtuellen Bild ist  $b$  negativ.)

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

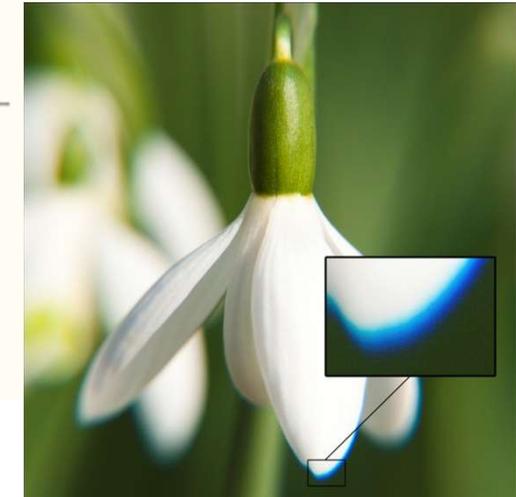
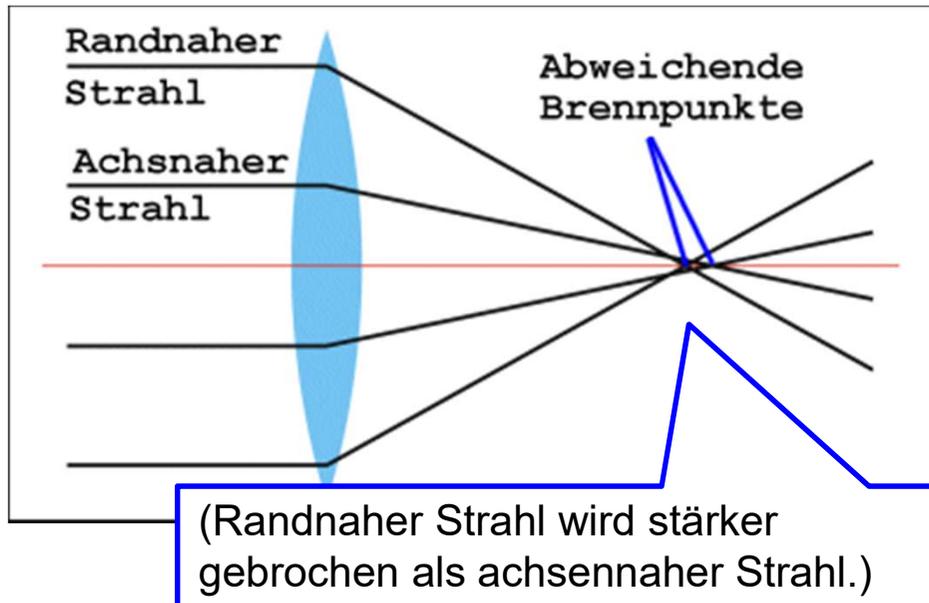


### c) Linsenfehler

Chromatische  
Aberration

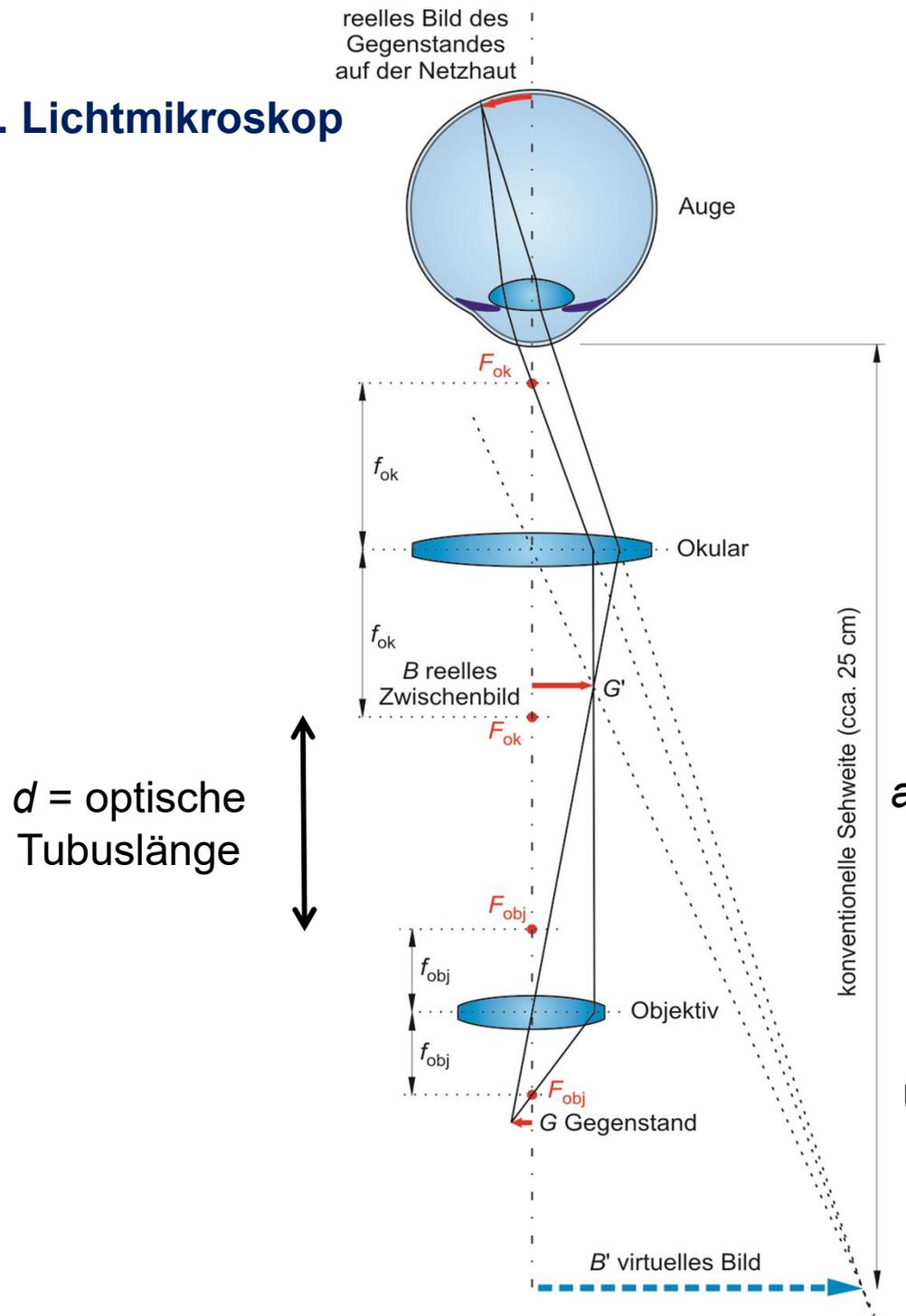


Sphärische  
Aberration



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

## 5. Lichtmikroskop



- Vergrößerung des Mikroskops:

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

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

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

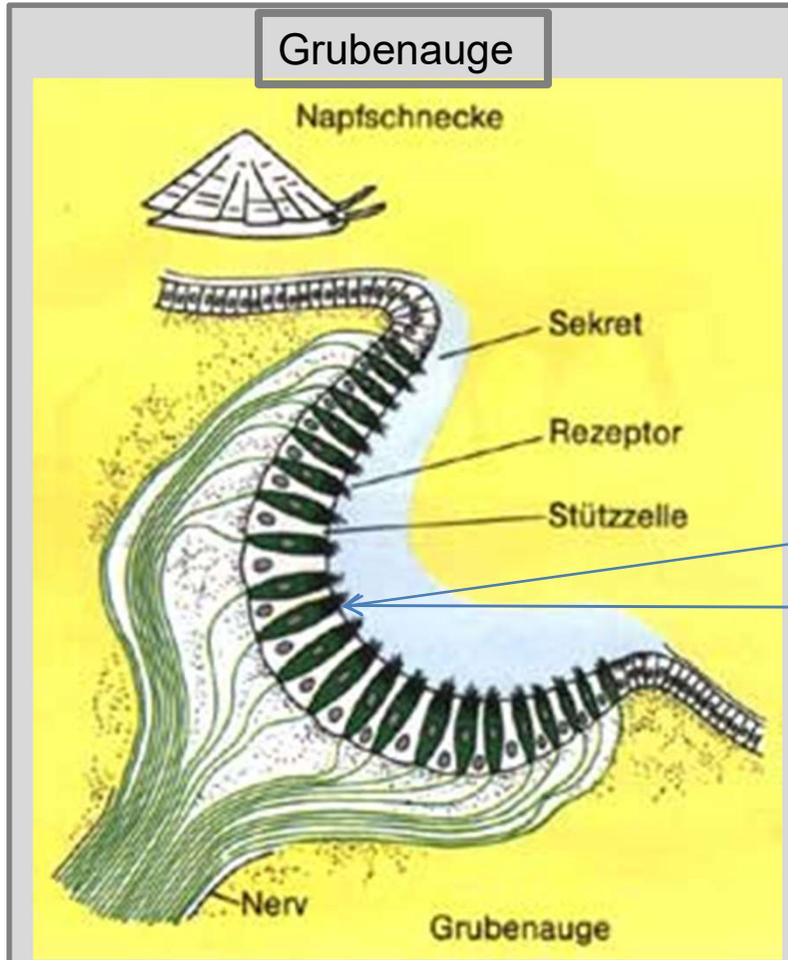
Über  $V \approx 500$  nur leere Vergrößerung!!

→ siehe Wellenoptik

## II. Das Auge und das Sehen

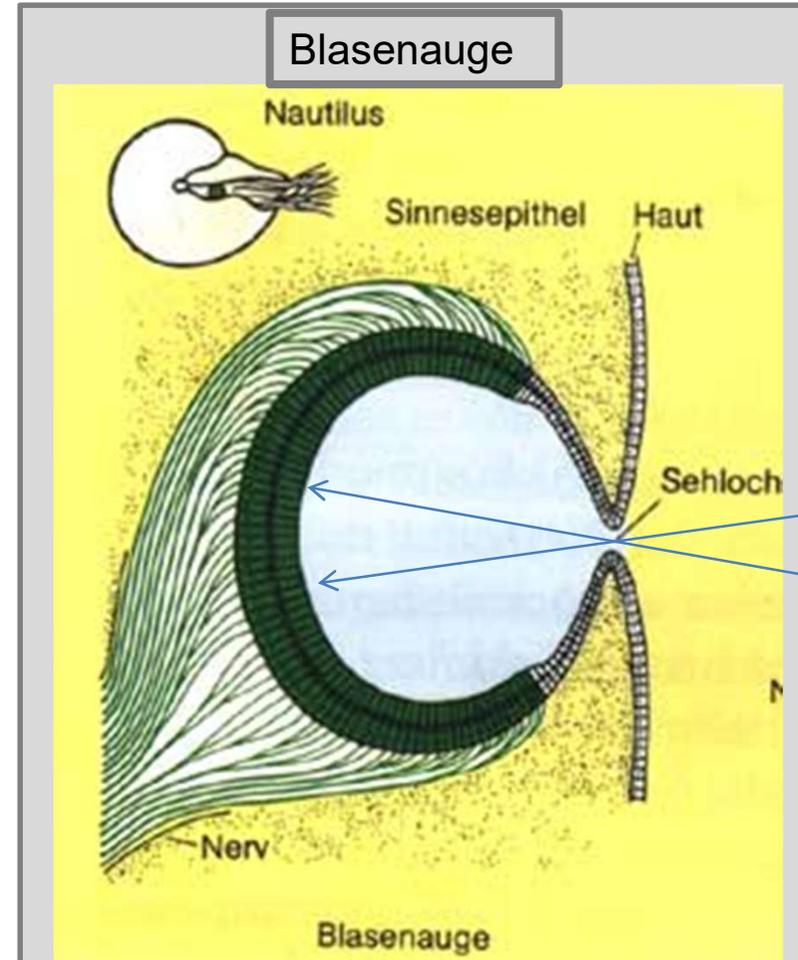


# 1. Entwicklung des Sehorgans



Nachteile:

- Verletzungsanfällig
- Minimale räumliche Auflösung



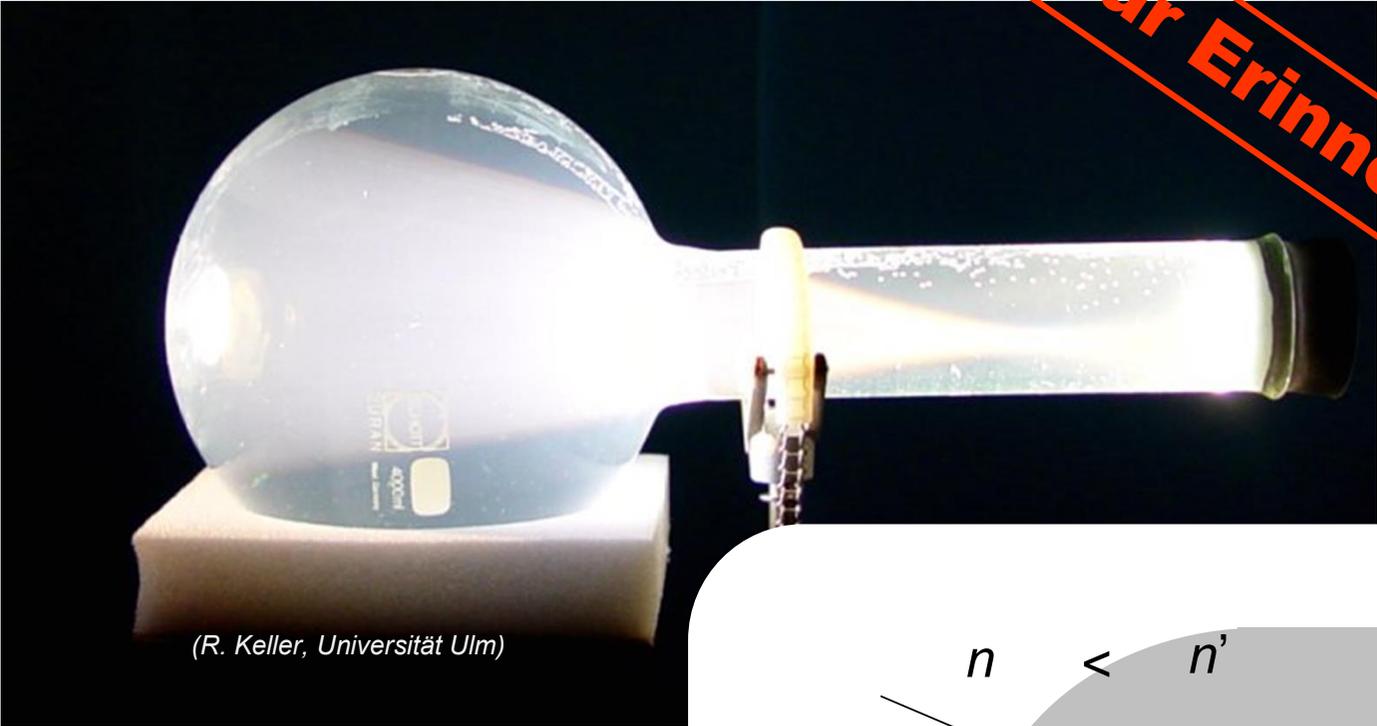
Nachteile:

- Immer noch verletzungsanfällig
- Schlechte räumliche Auflösung
- Keine Akkomodationsfähigkeit



Optische Abbildung ist notwendig!

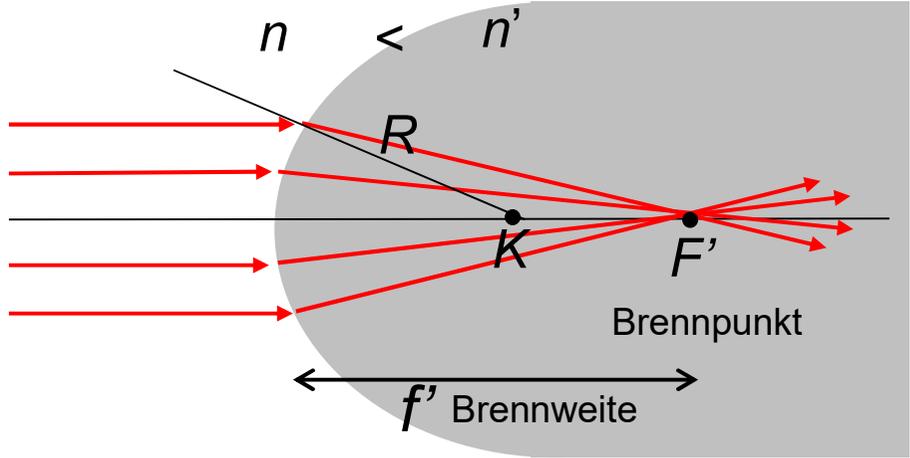
Brechung durch eine sphärische Grenzfläche:



(R. Keller, Universität Ulm)

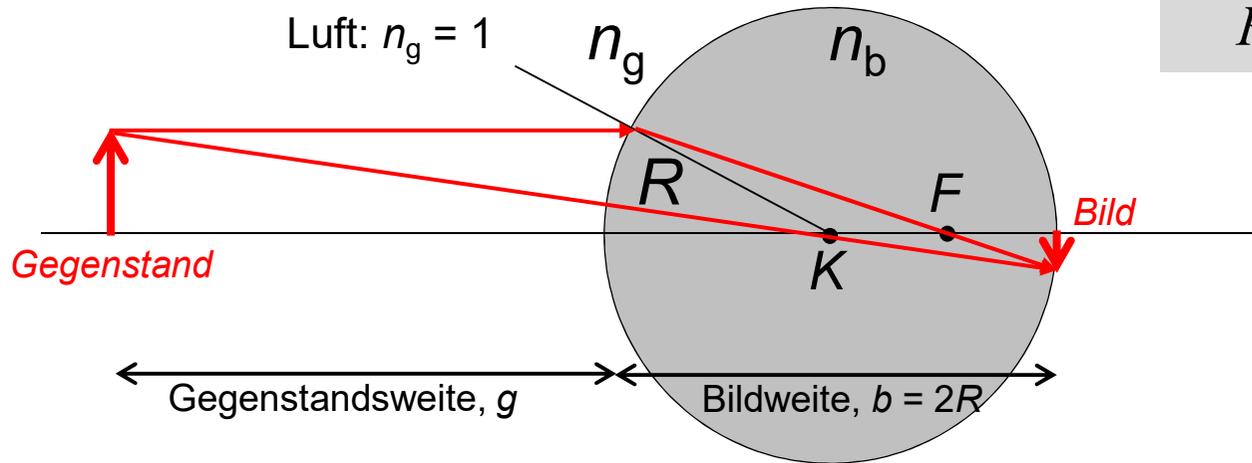
**Brechkraft (D):** 
$$D = \frac{n'}{f'} = \frac{n' - n}{R}$$

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



# Einfache Kugel als Auge?

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



$n_b = ?$

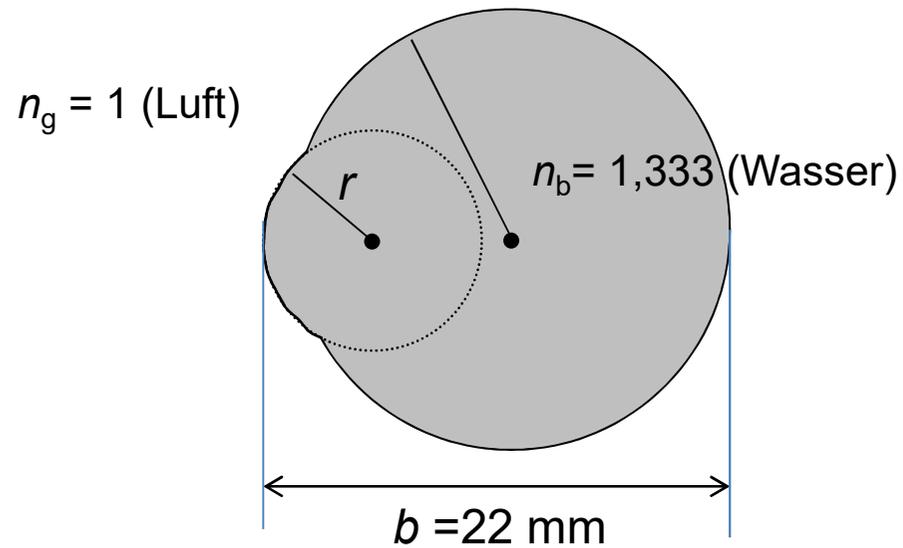


$n_b$  müsste größer sein als 2! Diamant vielleicht?



2 Kugeln!

$r =$  



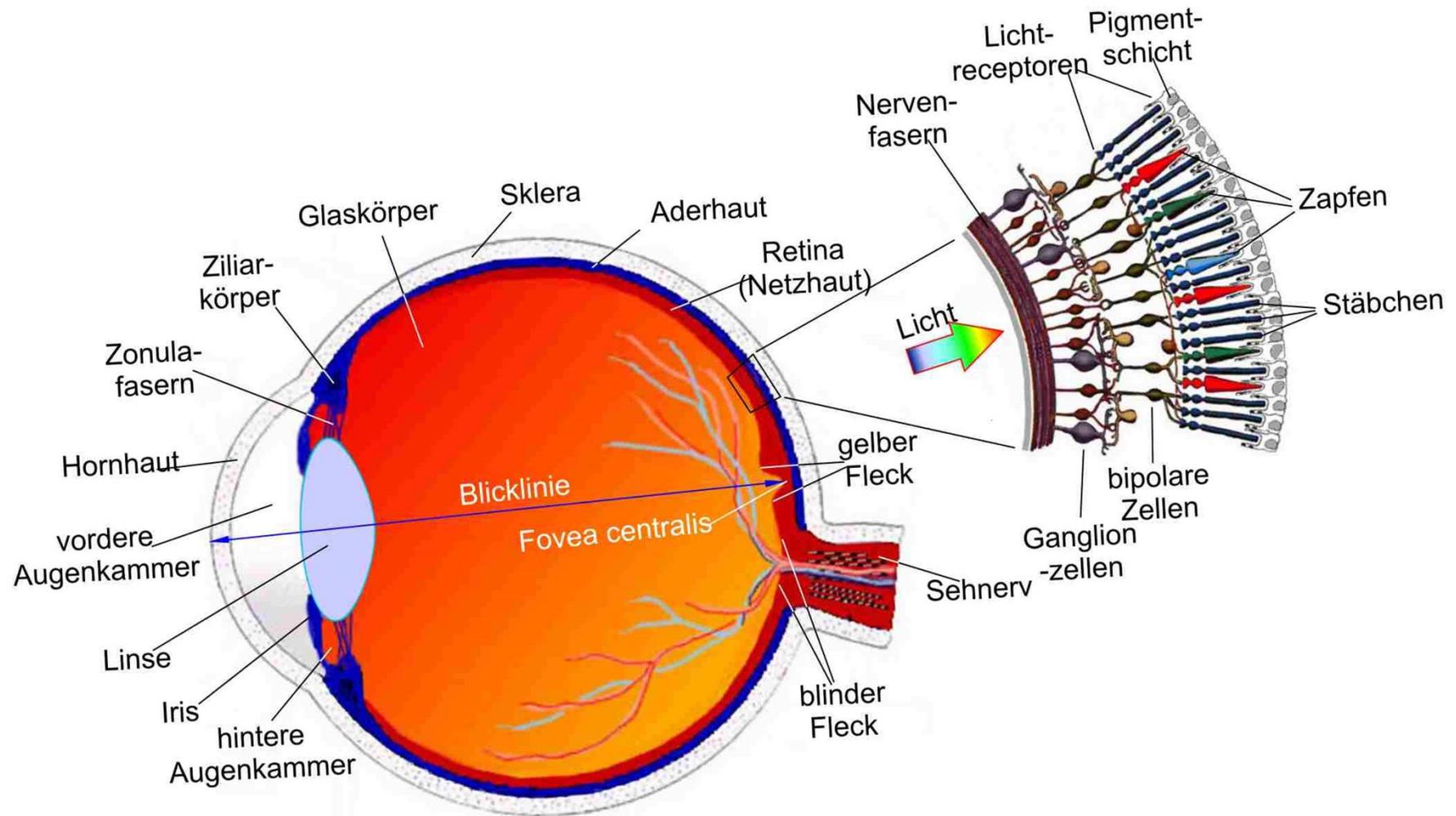
$$\frac{n_b - n_g}{R} = D = \frac{n_g}{g} + \frac{n_b}{b}$$

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

- Nachteile:
- Keine Akkomodationsfähigkeit



## 2. Aufbau des menschlichen Auges



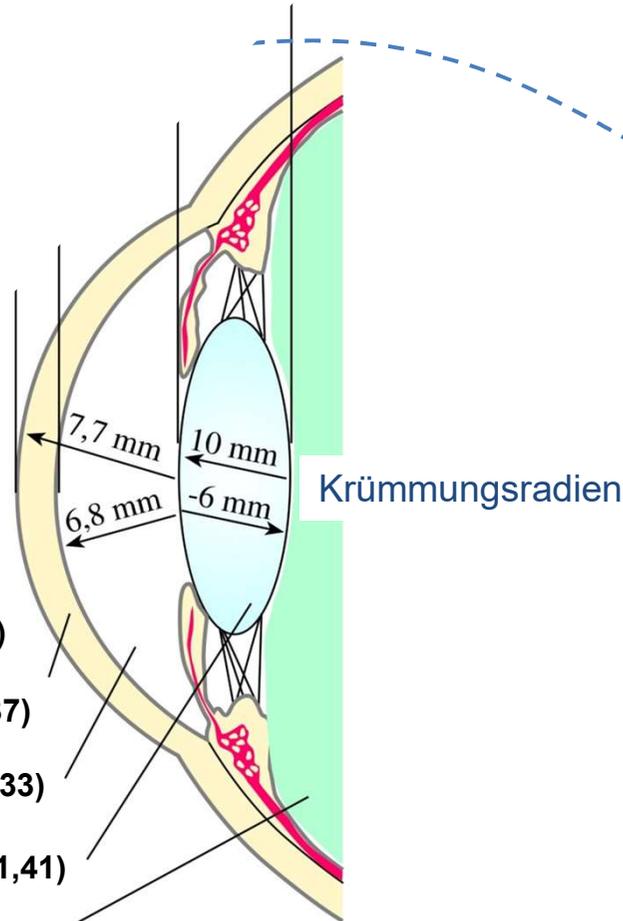
### 3. Optik des menschlichen Auges

#### a) Brechkraft des Auges

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

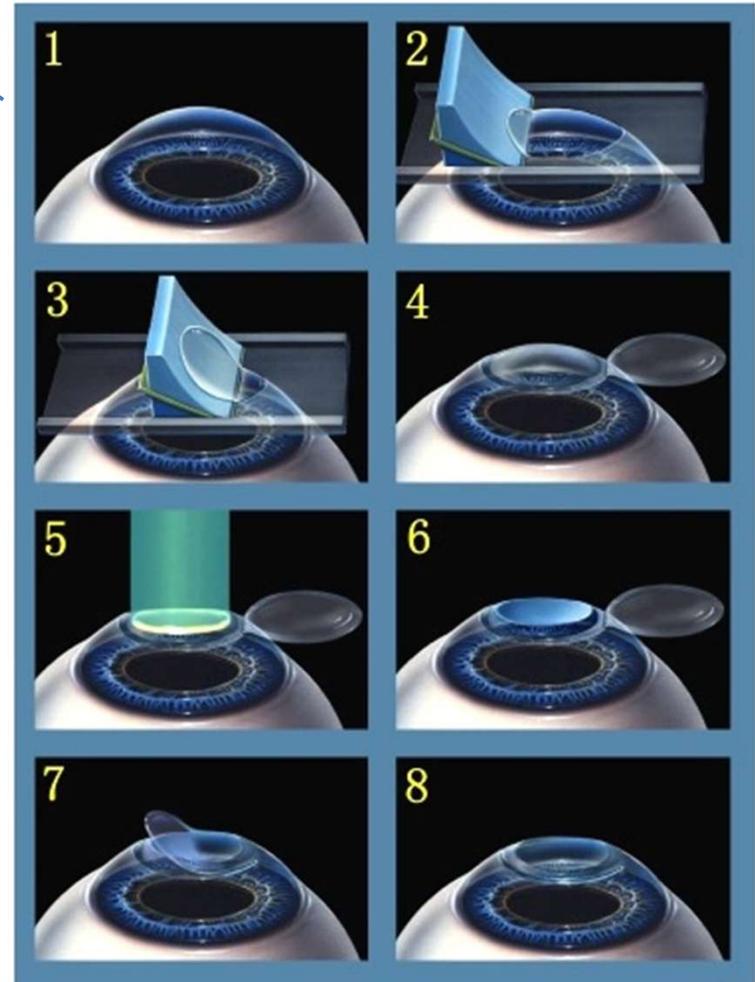
Brechzahlwerte:

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



ohne Akkomodation

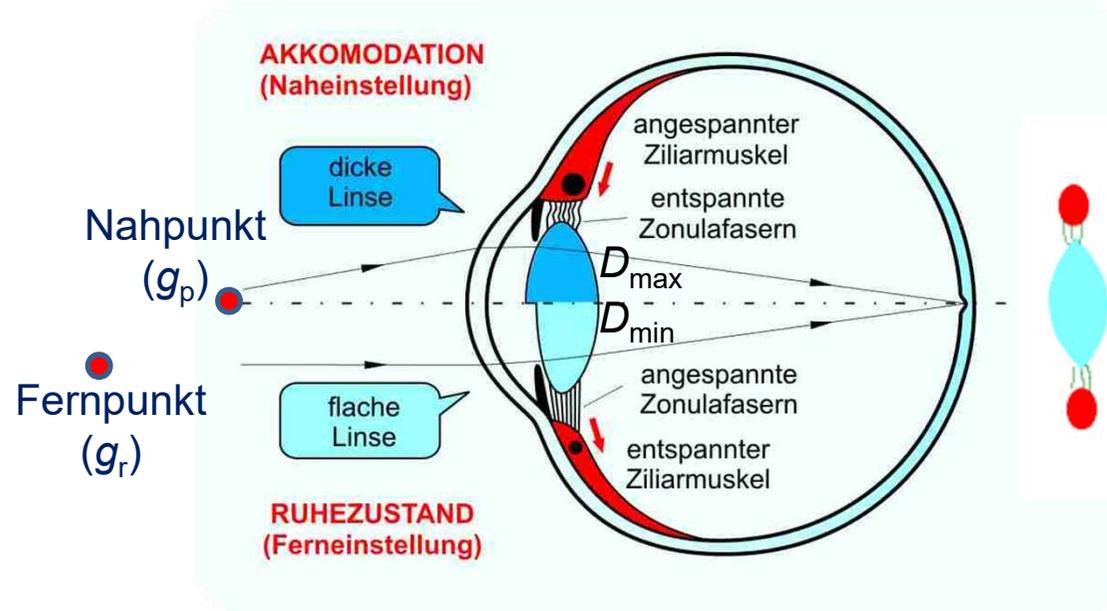
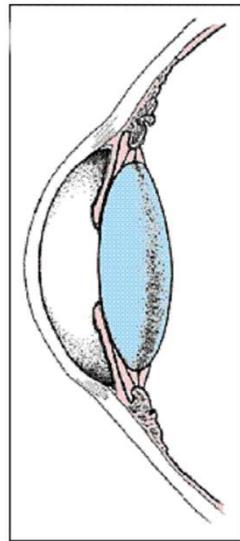
LASIK:



## b) Akkomodation (Brechkraftänderung)

Zur Erinnerung:

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

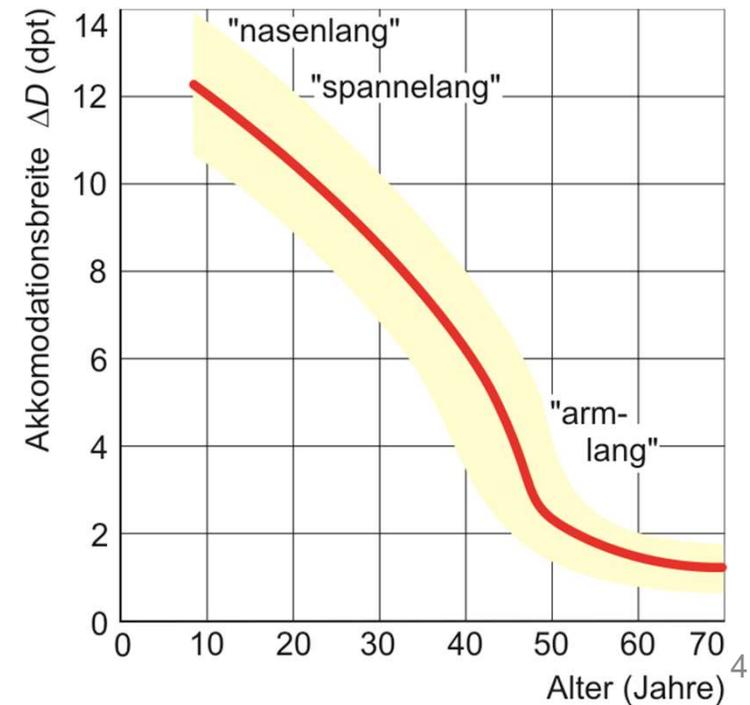


- Akkomodationsbreite ( $\Delta D$ ):  $\Delta D = D_{\max} - D_{\min}$

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

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

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

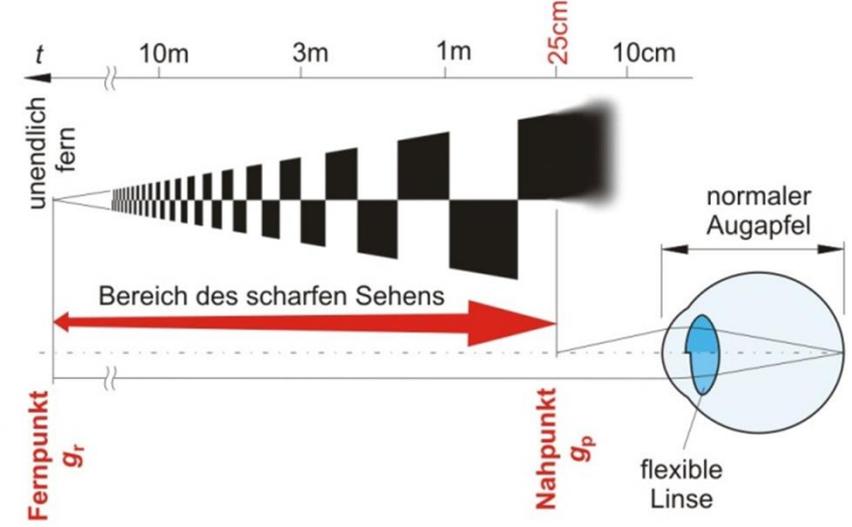


### c) Augenfehler :

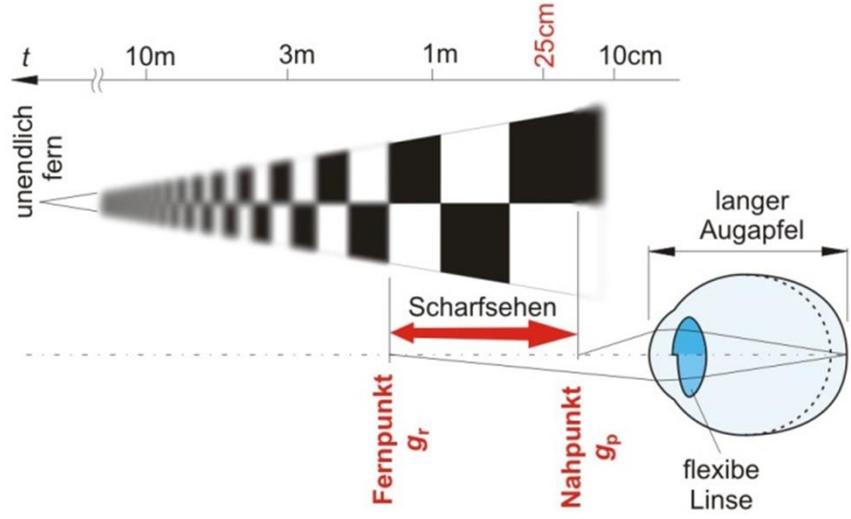
Zur Erinnerung:

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

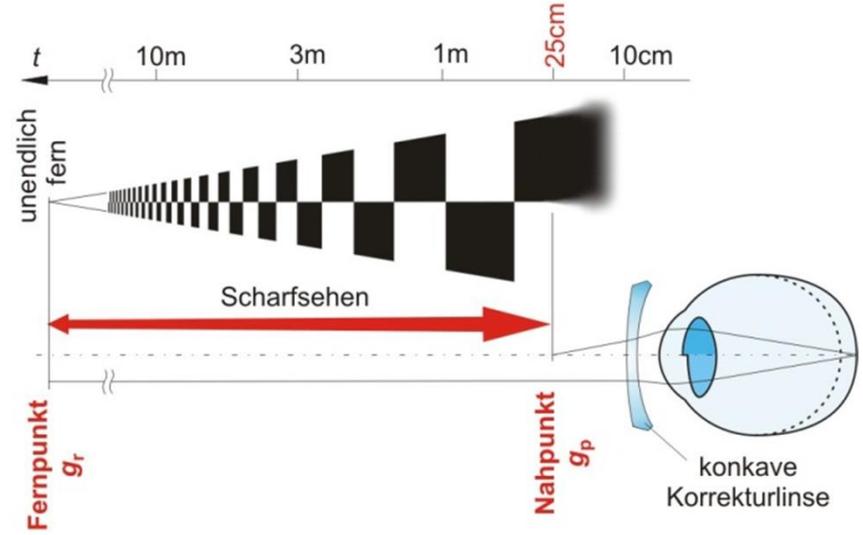
### NORMALSICHTIGES AUGE (Emmetropie)



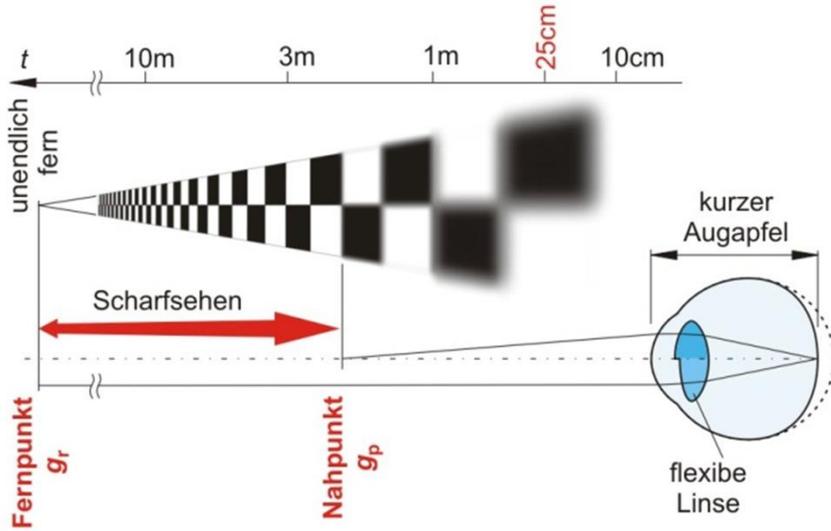
### KURZSICHTIGKEIT (Myopie)



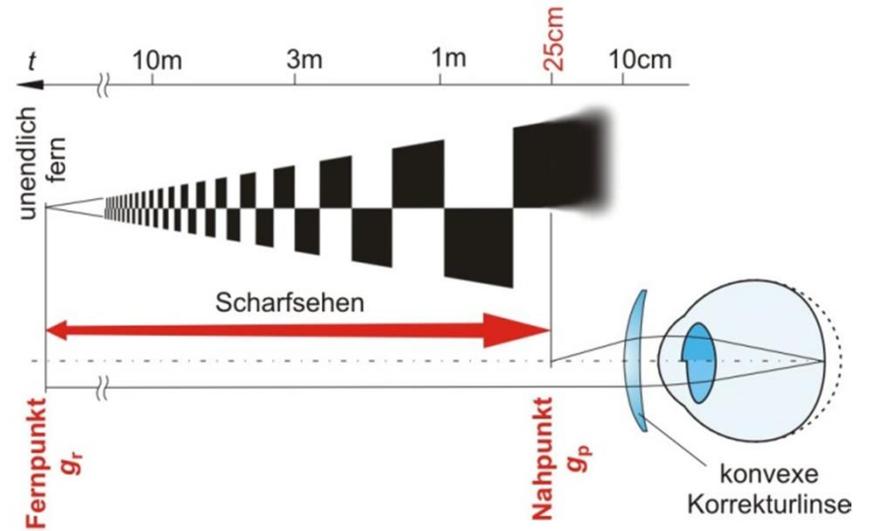
### KORRIGIERTE KURZSICHTIGKEIT



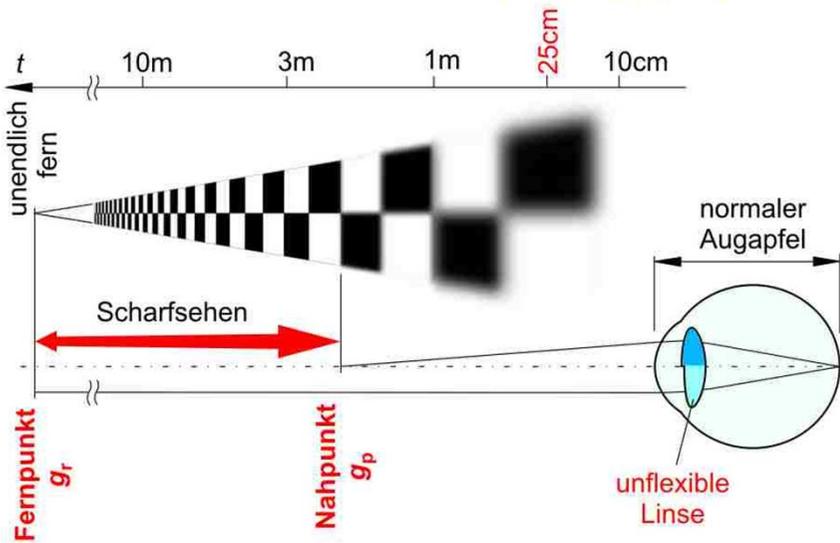
## WEITSICHTIGKEIT (Hyperopie)



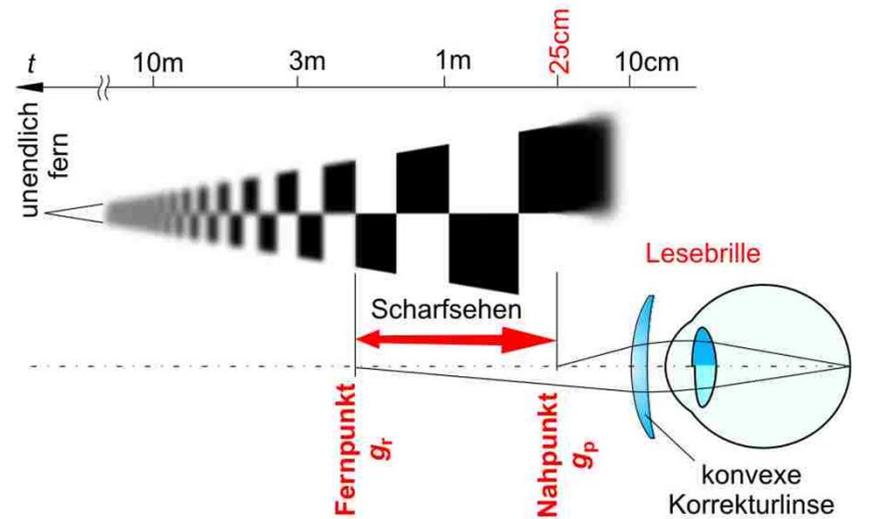
## KORRIGIERTE WEITSICHTIGKEIT



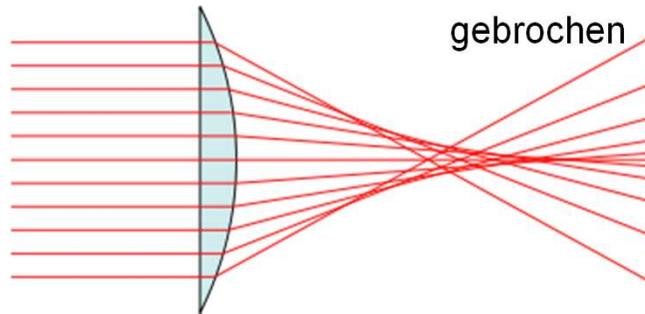
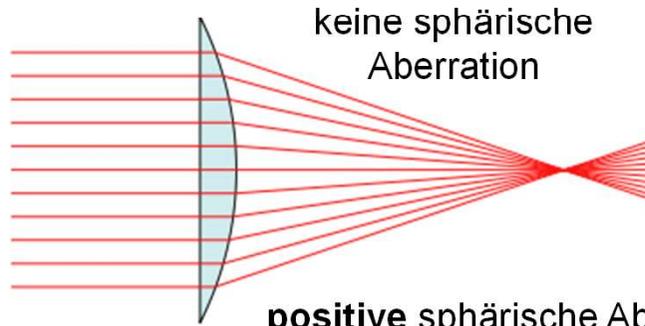
## ALTERSSICHTIGKEIT (Presbyopie)



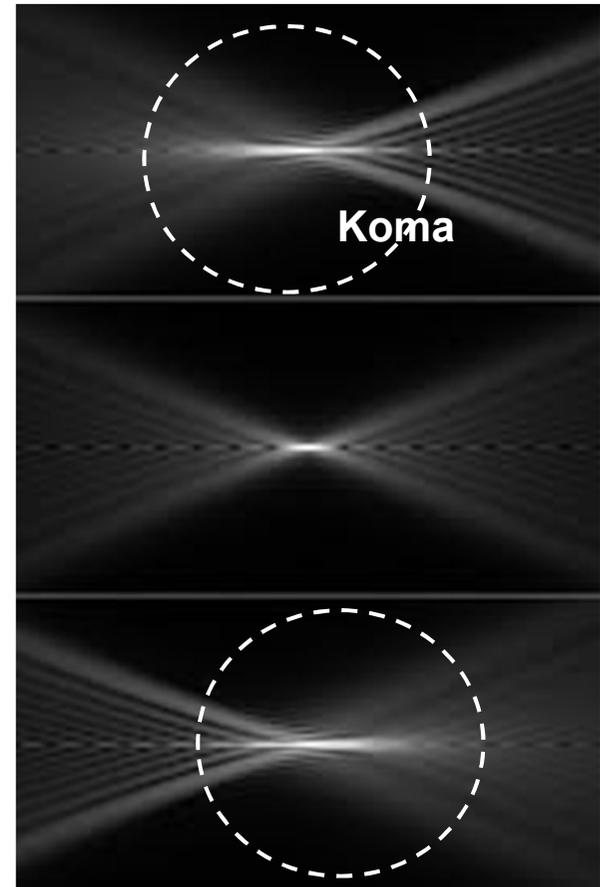
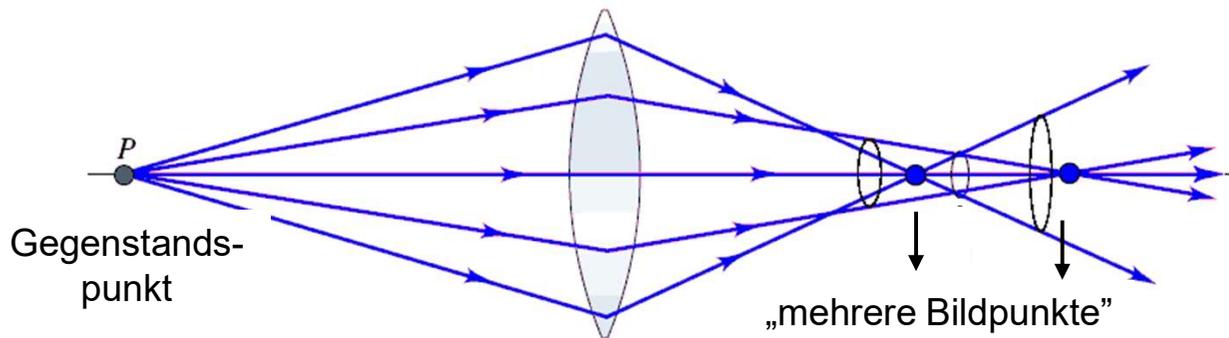
## KORRIGIERTE ALTERSSICHTIGKEIT

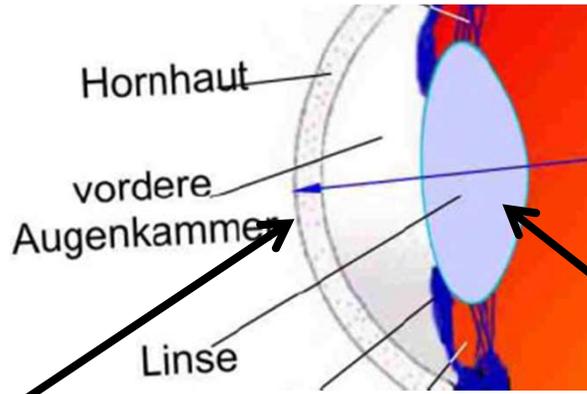


# Sphärische Aberration (Öffnungsfehler)



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

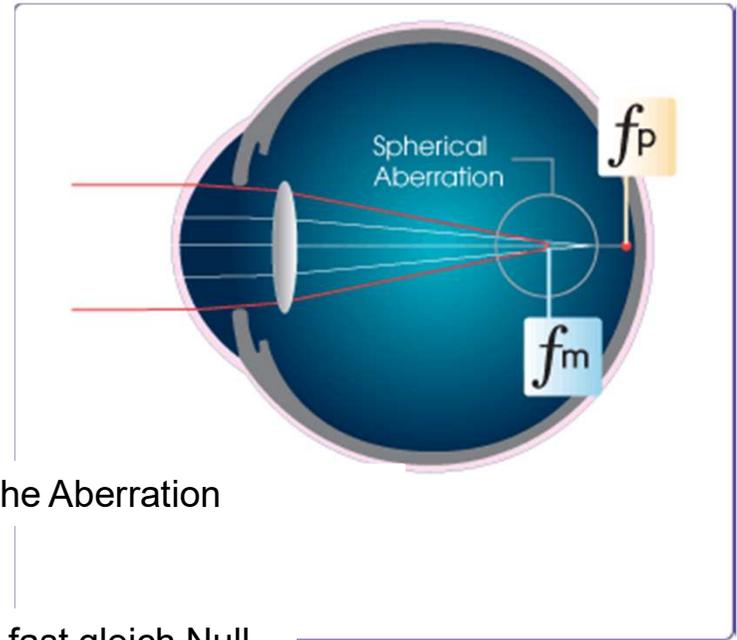




positive sphärische Aberration

+

negative sphärische Aberration



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

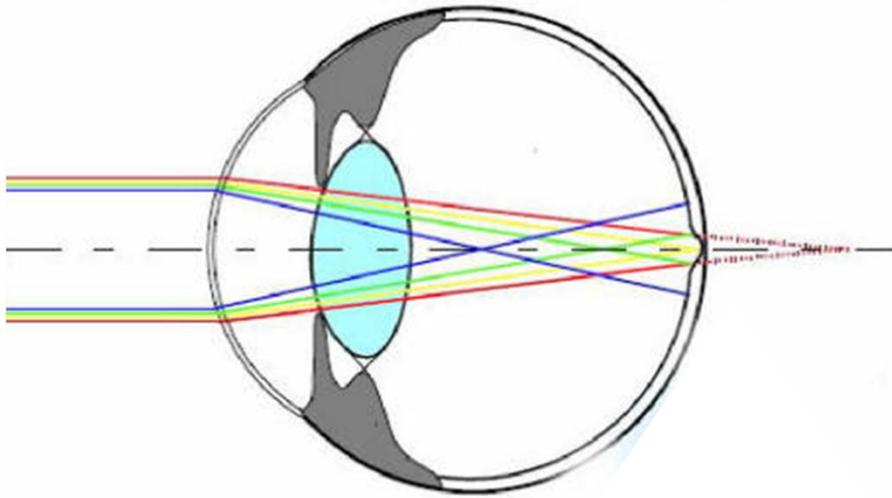
Bei weiten Pupillen ist die Gesamtaberration stärker positiv.



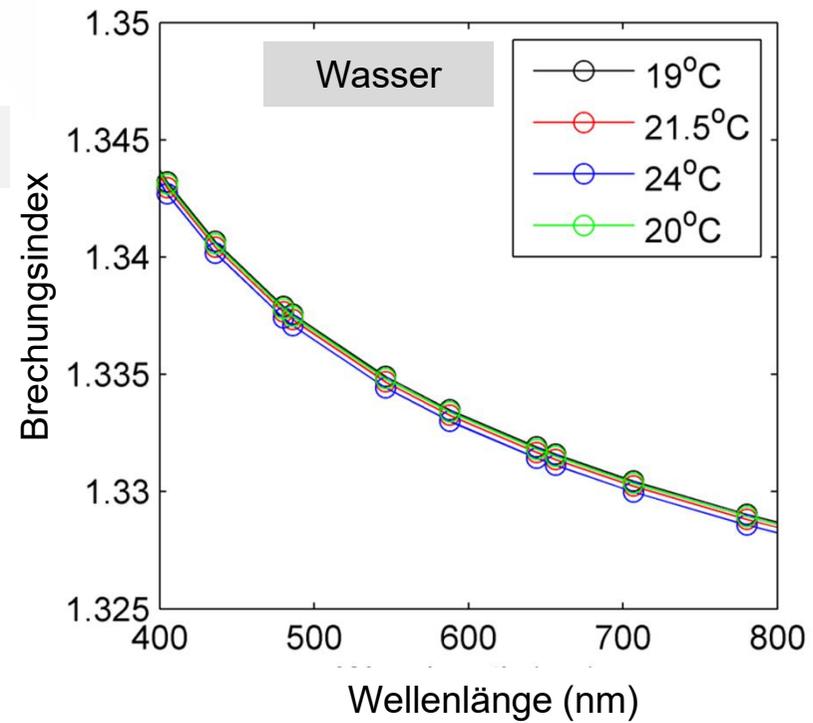
Nachtmyopie  
(Nachtkurzsichtigkeit)



## Chromatische Aberration (Farbfehler)

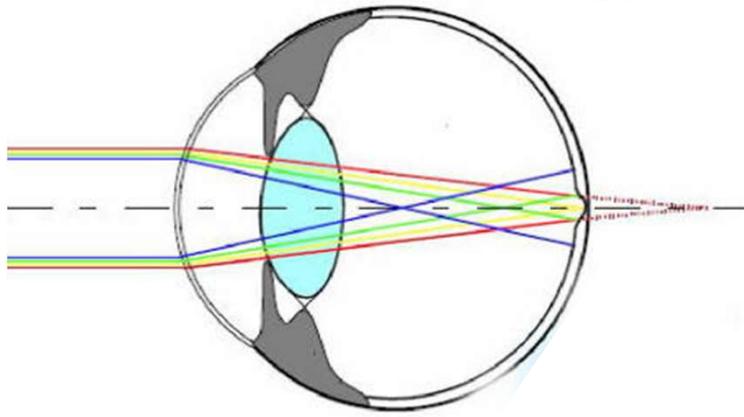


Chromatische Aberration: ● ● ● ●

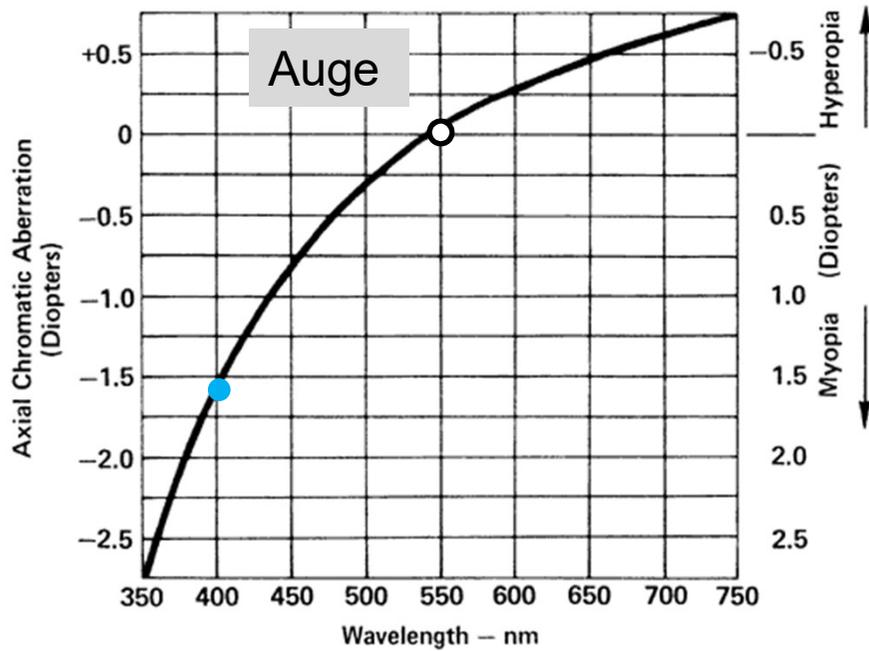
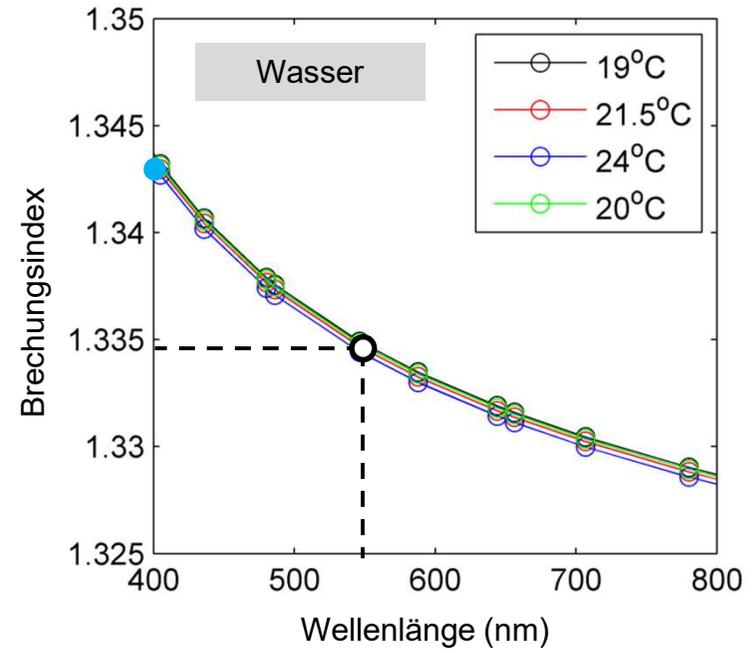


Wie viel Dioptrie ist die Brechkraftdifferenz zwischen Blau und Rot?

## Chromatische Aberration (Fortsetzung)

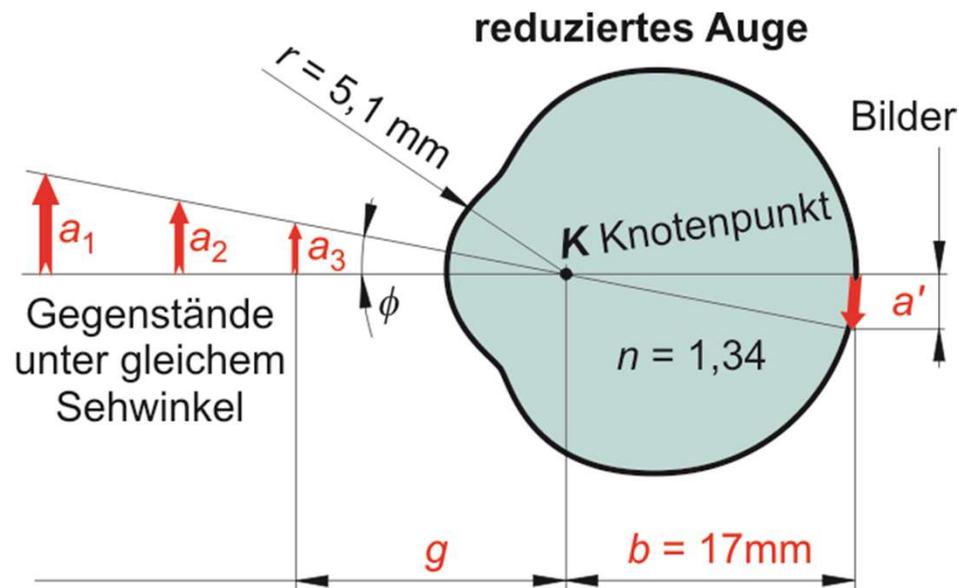
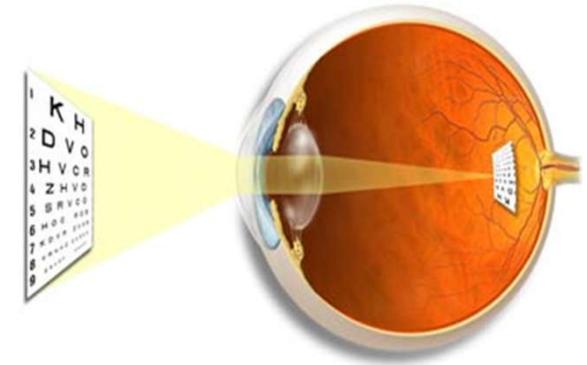


Chromatische Aberration: ● ● ● ●



## d) Bildentstehung im Auge

- Reduziertes Auge



- Brechkraft des reduzierten Auges: ?

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

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



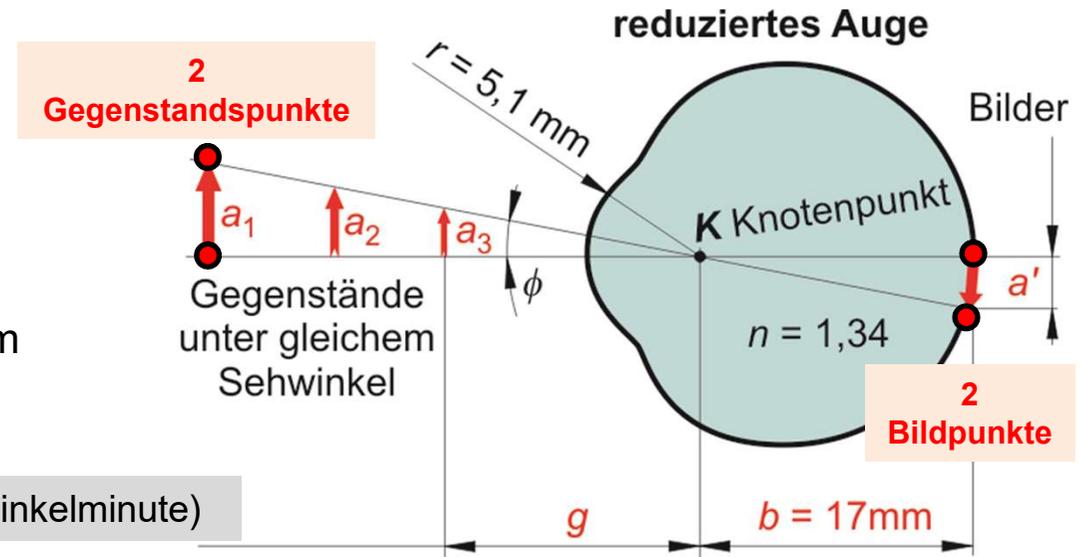
Sehwinkel  $\phi$ :  $\phi \text{ (rad)} =$

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

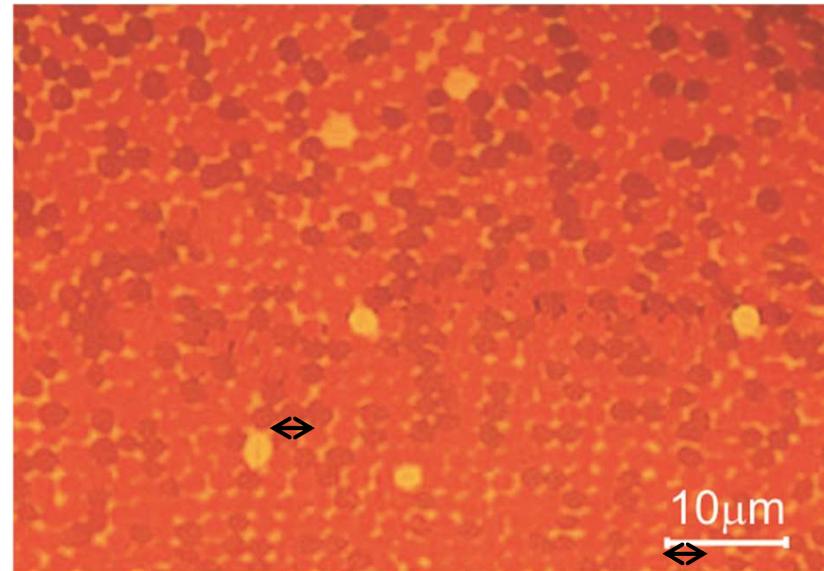
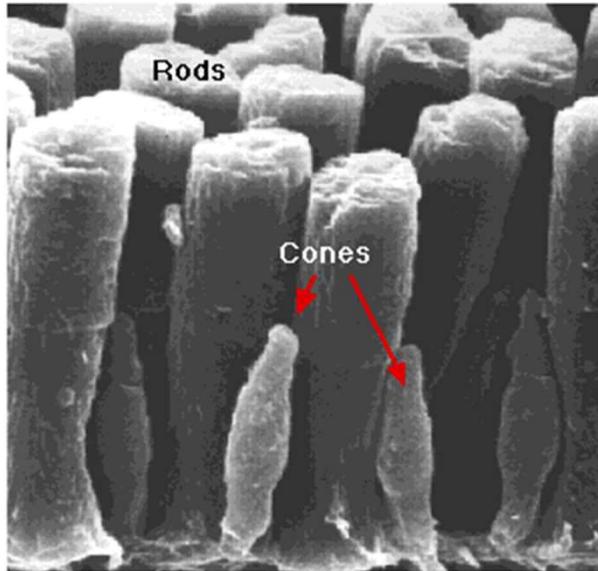
Referenzwert des Auflösungsvermögens:  $= \frac{1}{1'}$

- 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

➤ Biologische Erklärung



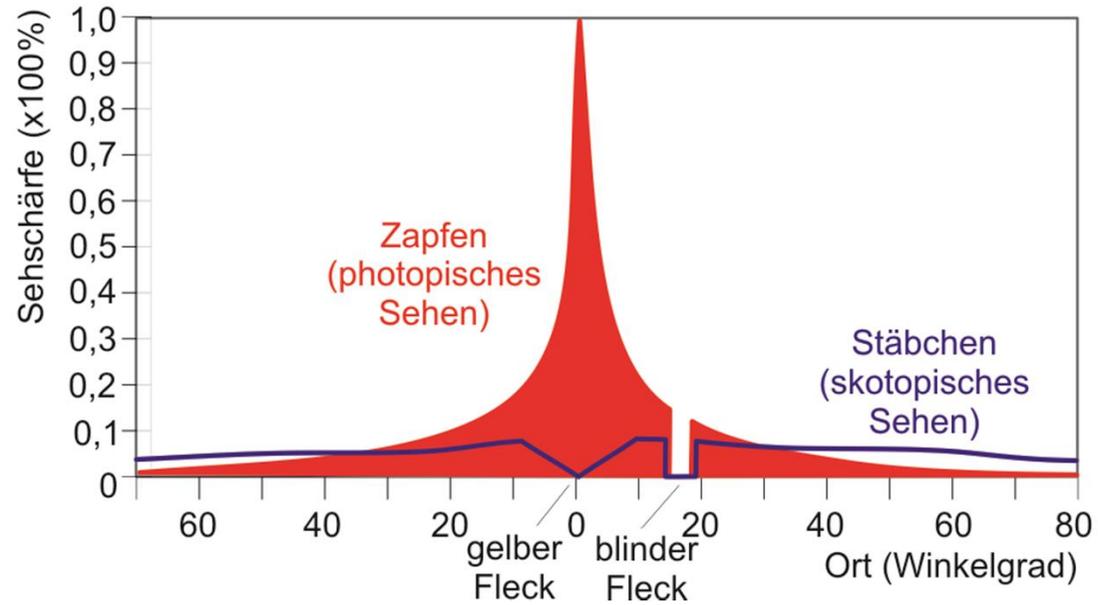
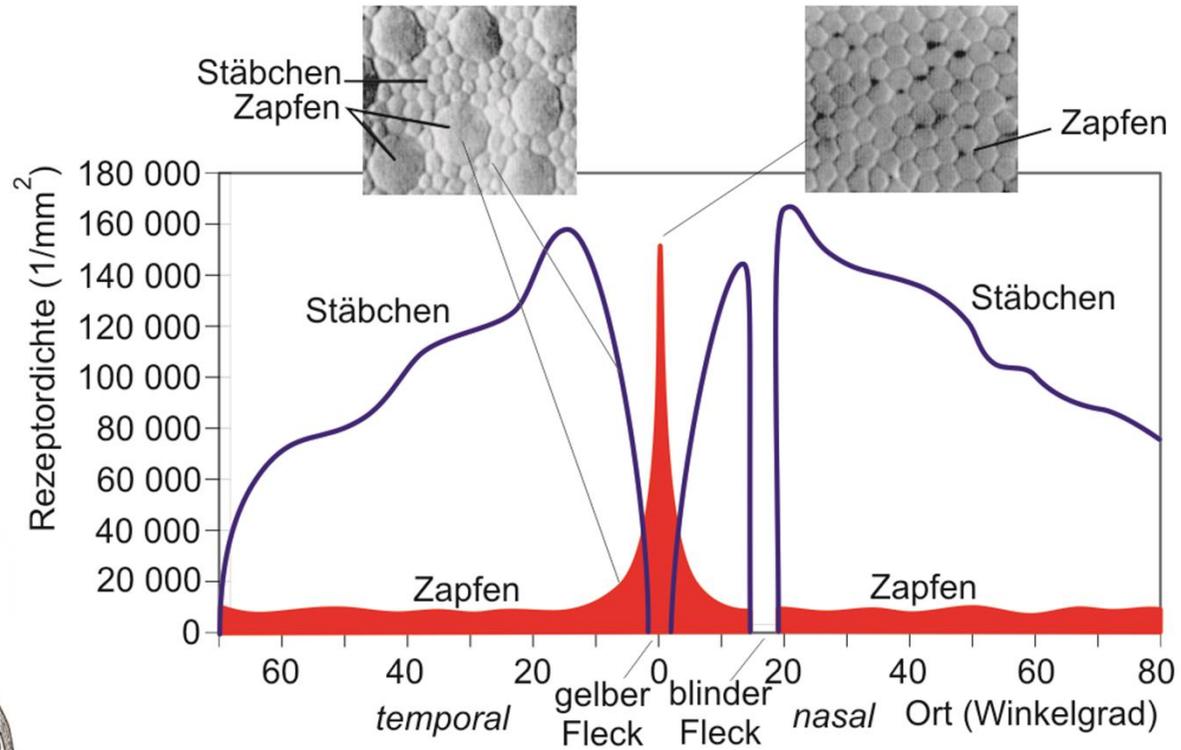
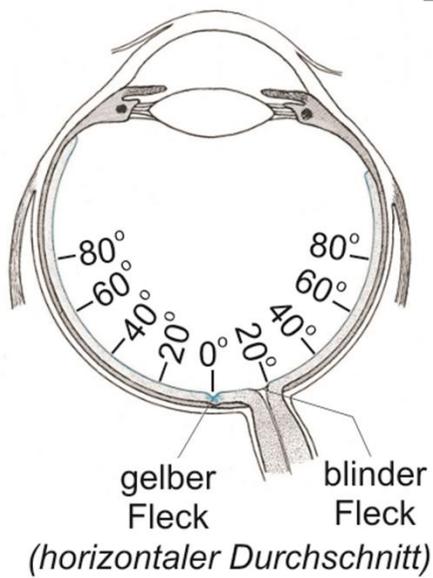
**Gegenstandspunkte**      **Bildpunkte**      **Empfindung**

••		•
••		•
• •		••



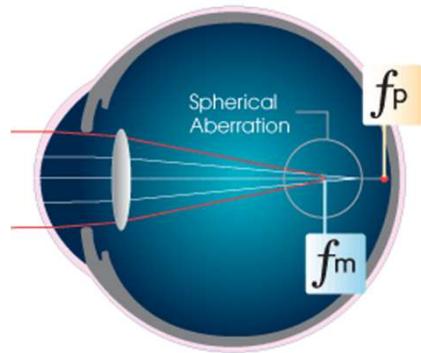
Sehwinkelgrenze infolge Rezeptorendichte ( $\alpha$ ):

$\alpha =$

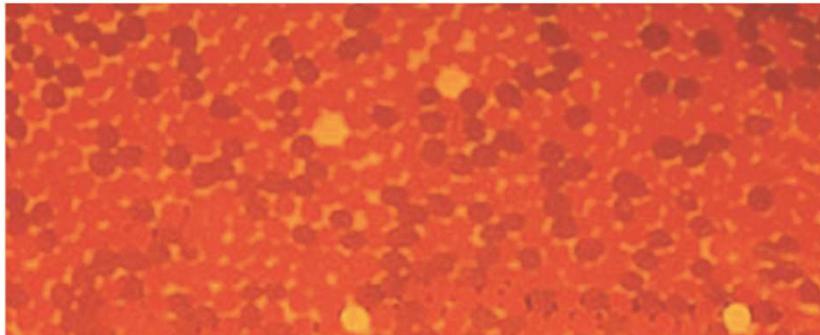


## Faktoren die die Auflösung des Auges begrenzen:

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

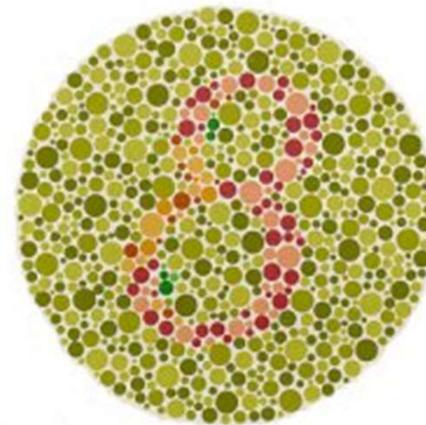
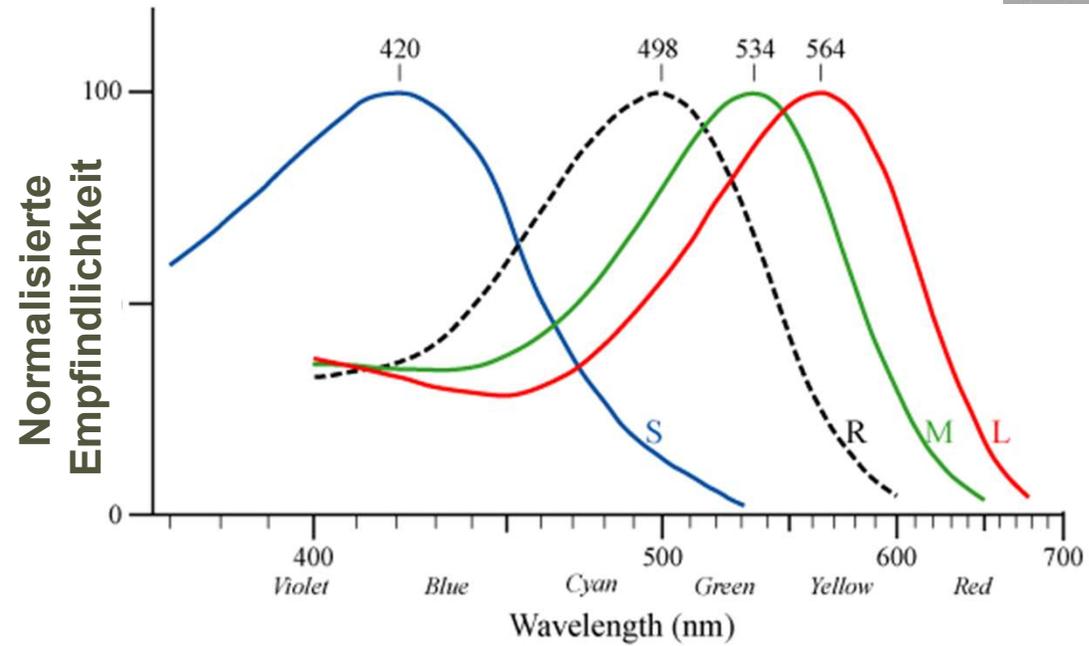
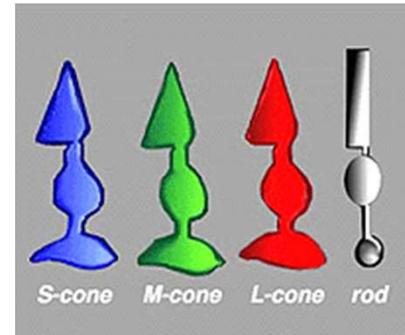


2. Grösse und Dichte der Rezeptoren

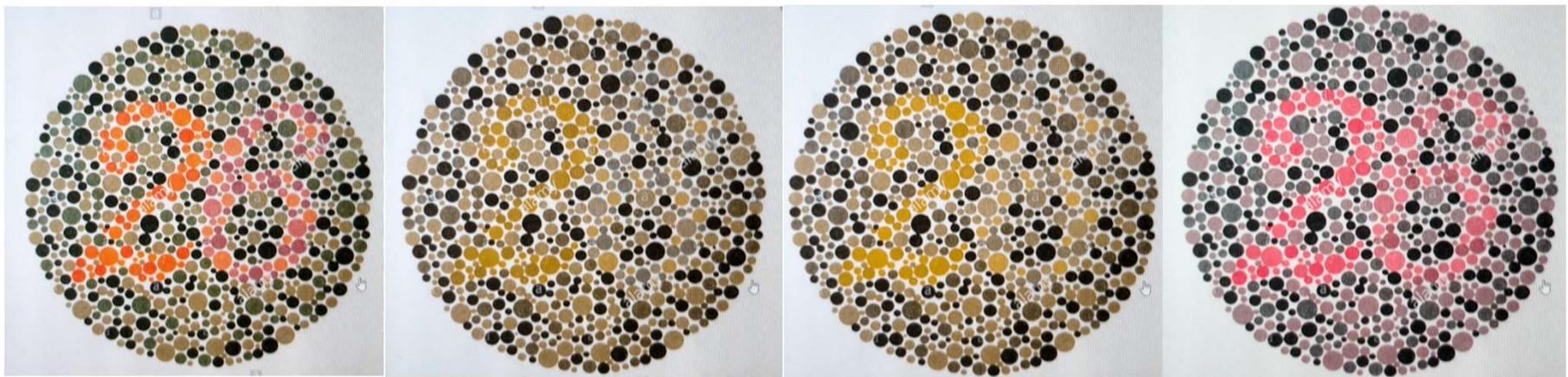


3. Wellenoptische Effekte, Beugung  
(siehe nächste Woche)

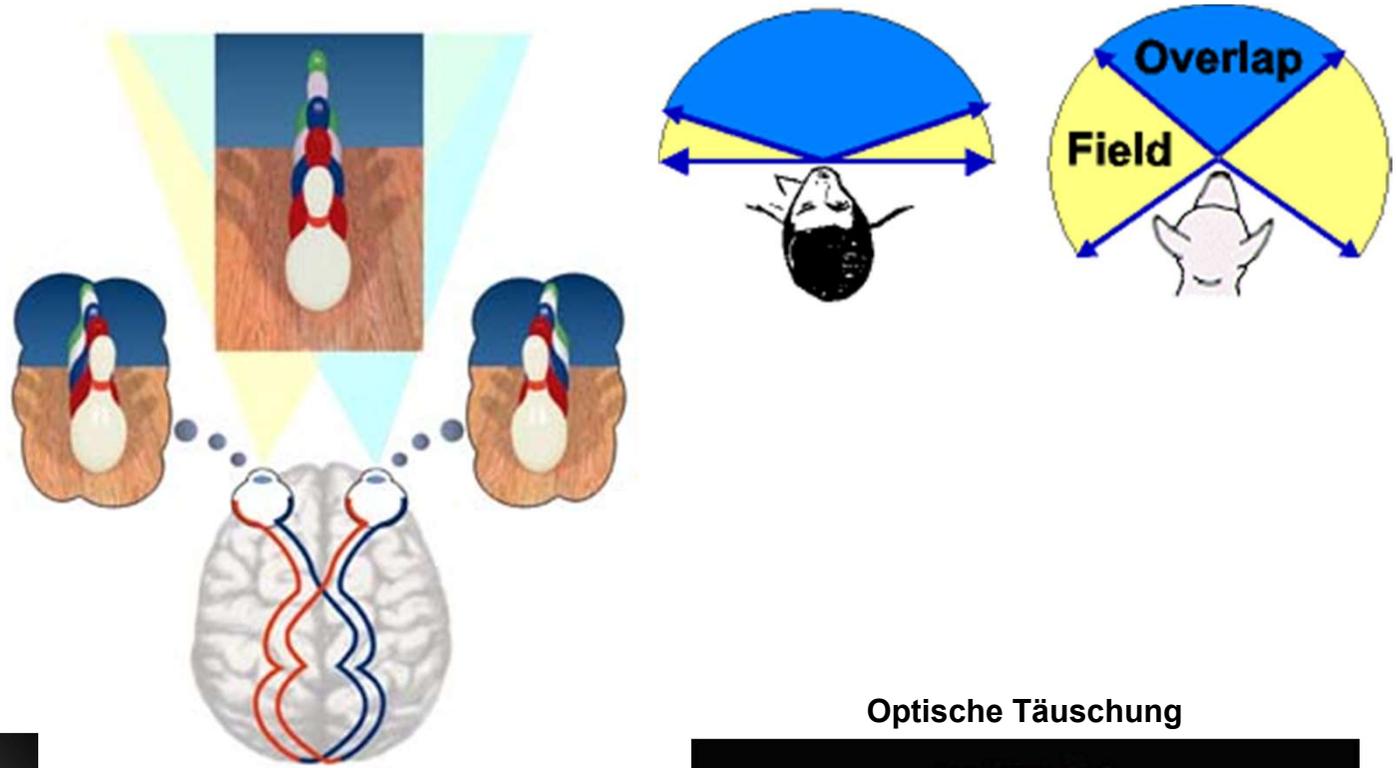
## 5. Spektrale Empfindlichkeit des Auges - Farbsehen



# Farbenfehlsichtigkeit



## 6. Raumsehen



Optische Täuschung



Optische Täuschung



# Hausaufgaben: Aufgabensammlung

4.5-8, 14

