

# 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

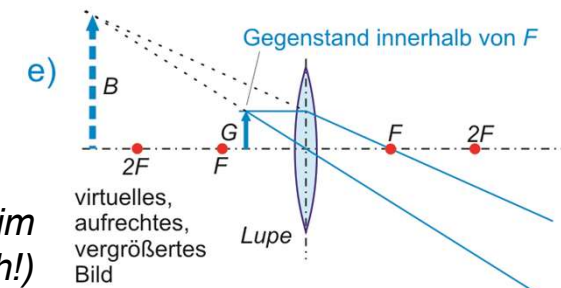
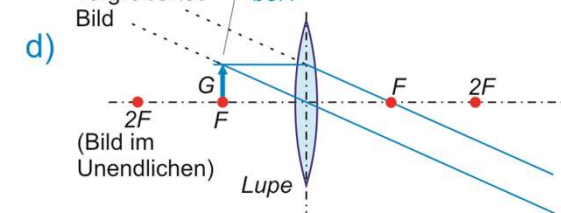
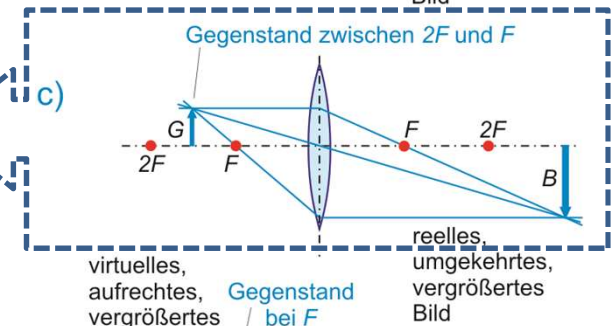
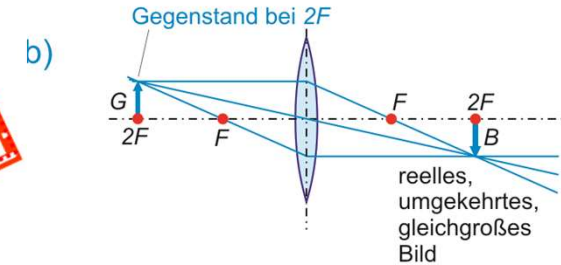
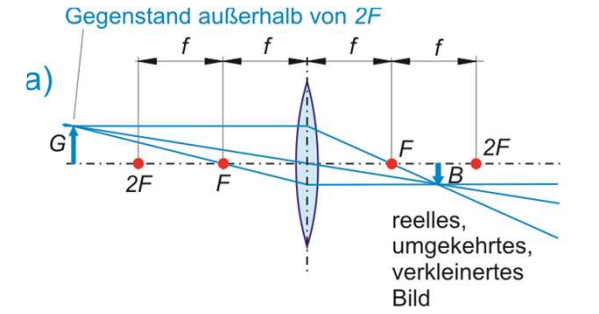
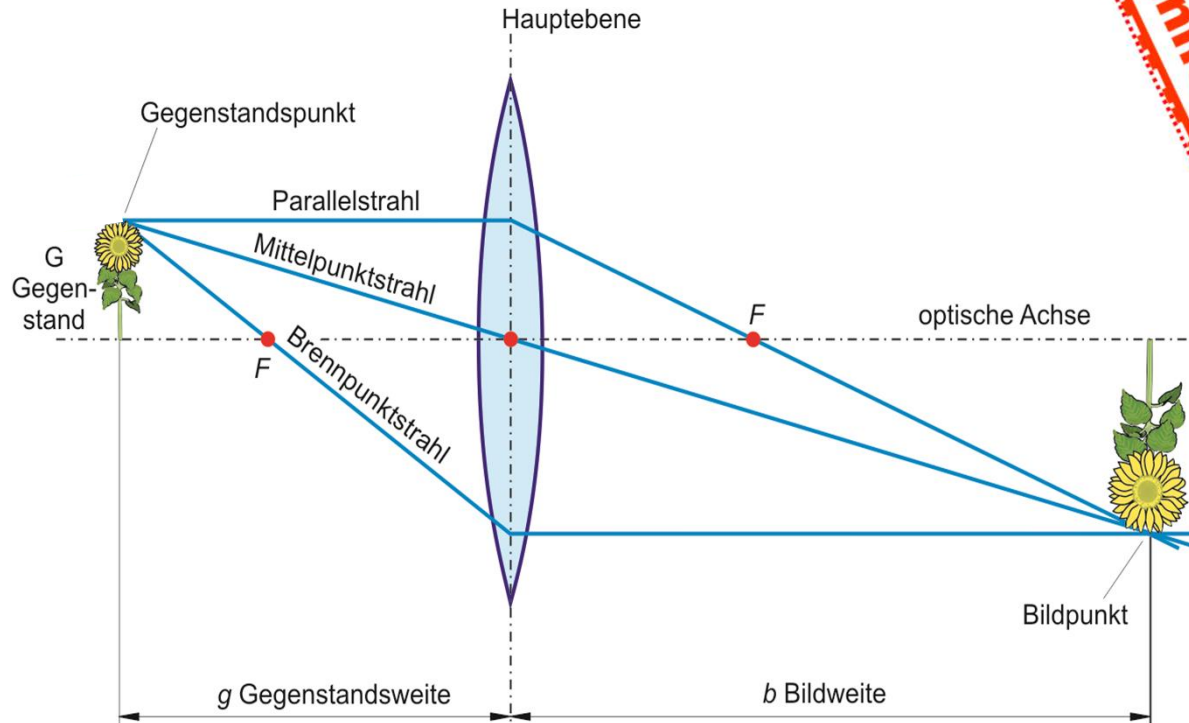
#### 2. Aufbau des menschlichen Auges

#### 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

## b) Abbildung durch eine Linse, Linsengleichung

**Zur Erinnerung**



(s. Abbildung 2.7 im Praktikumsbuch!)

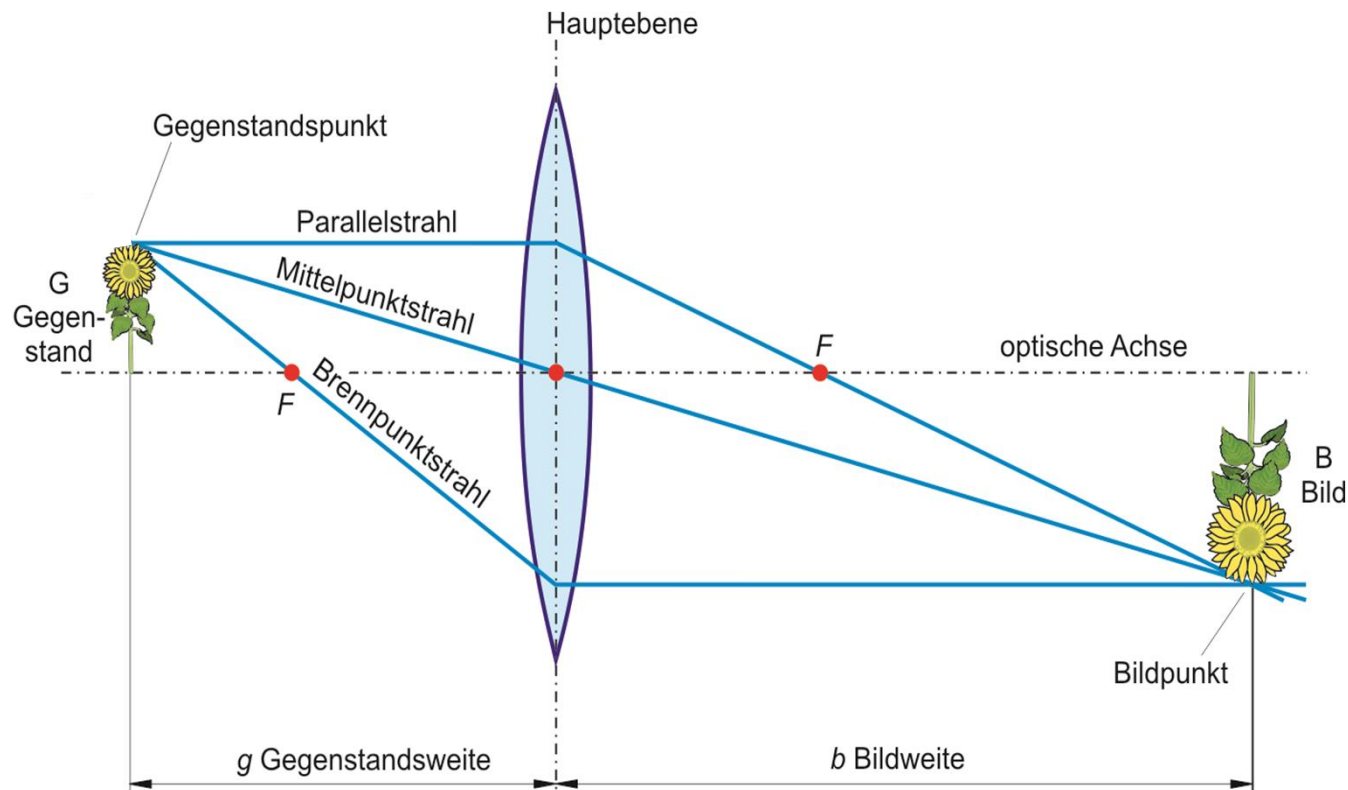
- **Linsengleichung (Abbildungsgesetz ):**

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

- **Vergrößerung (V):**

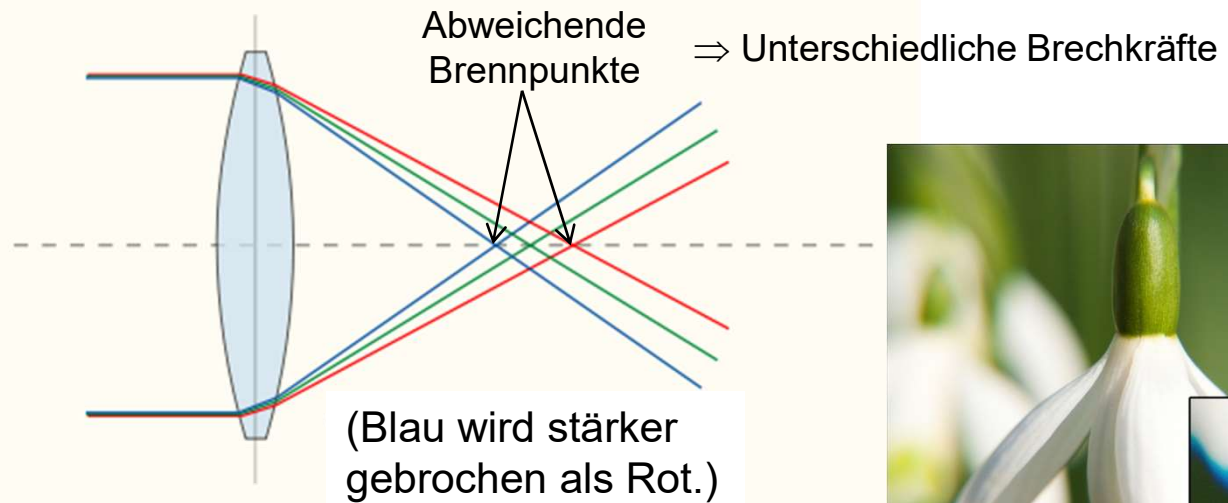
$$V = \frac{B}{G} = \frac{b}{g} \quad \text{(Bei einem virtuellen Bild ist } B \text{ und } b \text{ und dadurch auch } V \text{ negativ.)}$$

Zur Erinnerung

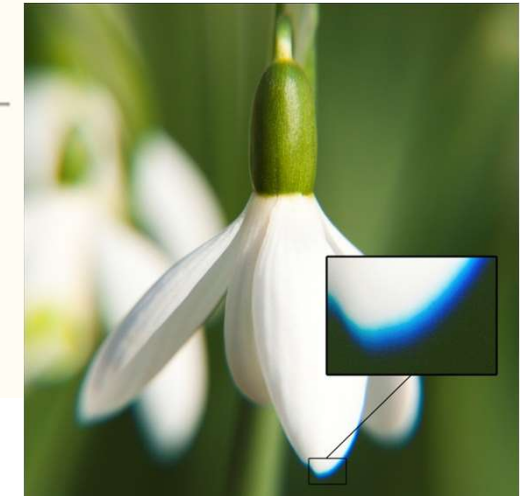
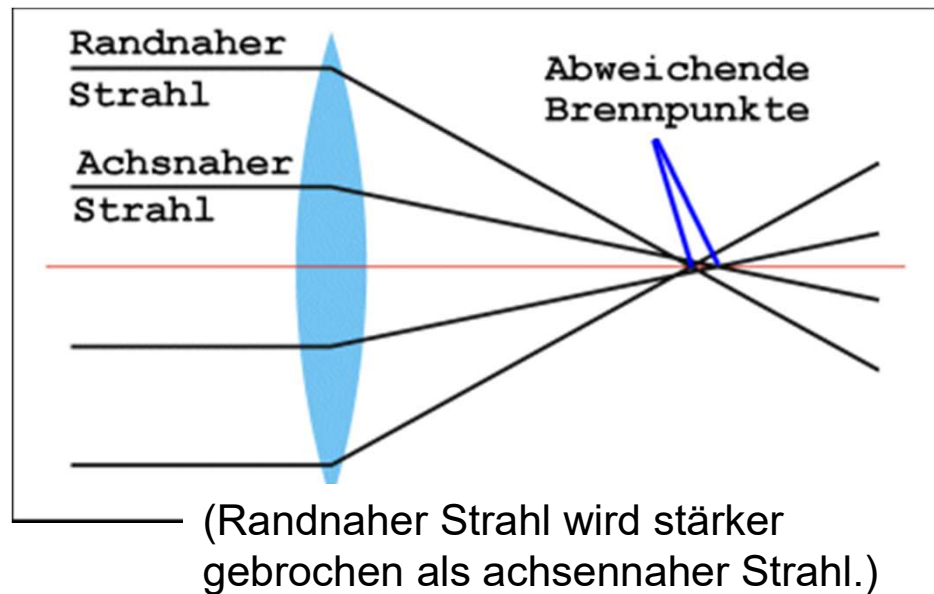


### c) Linsenfehler

Chromatische  
Aberration



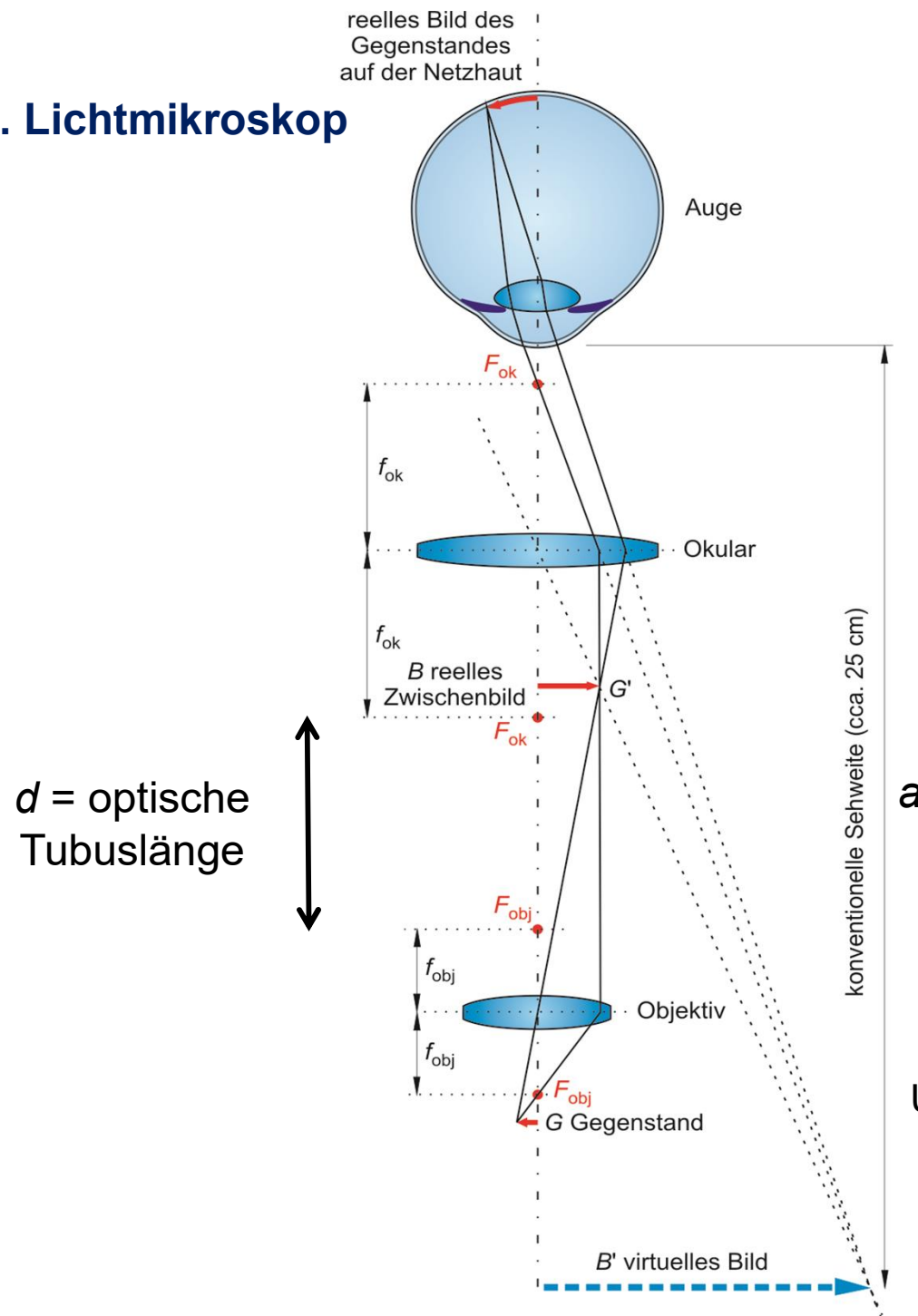
Sphärische  
Aberration



➡ Verallgemeinerung:

- 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!!

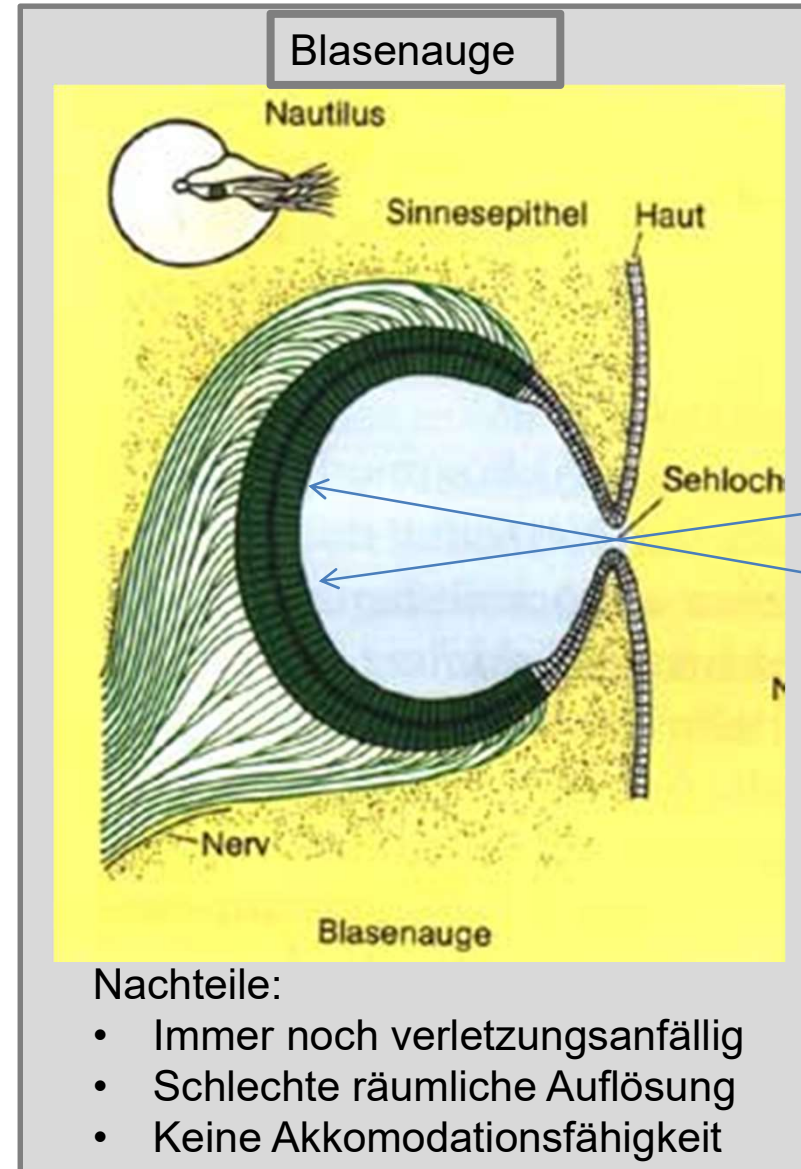
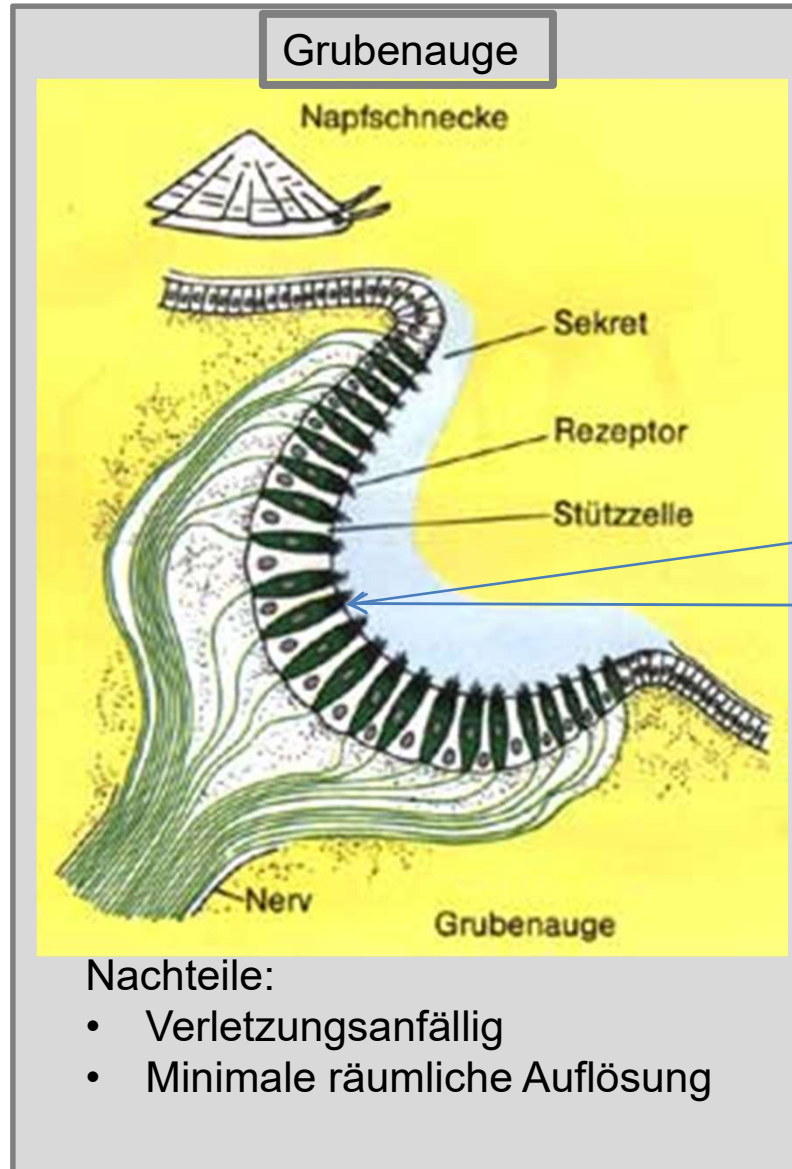
→ siehe Wellenoptik



## II. Das Auge und das Sehen

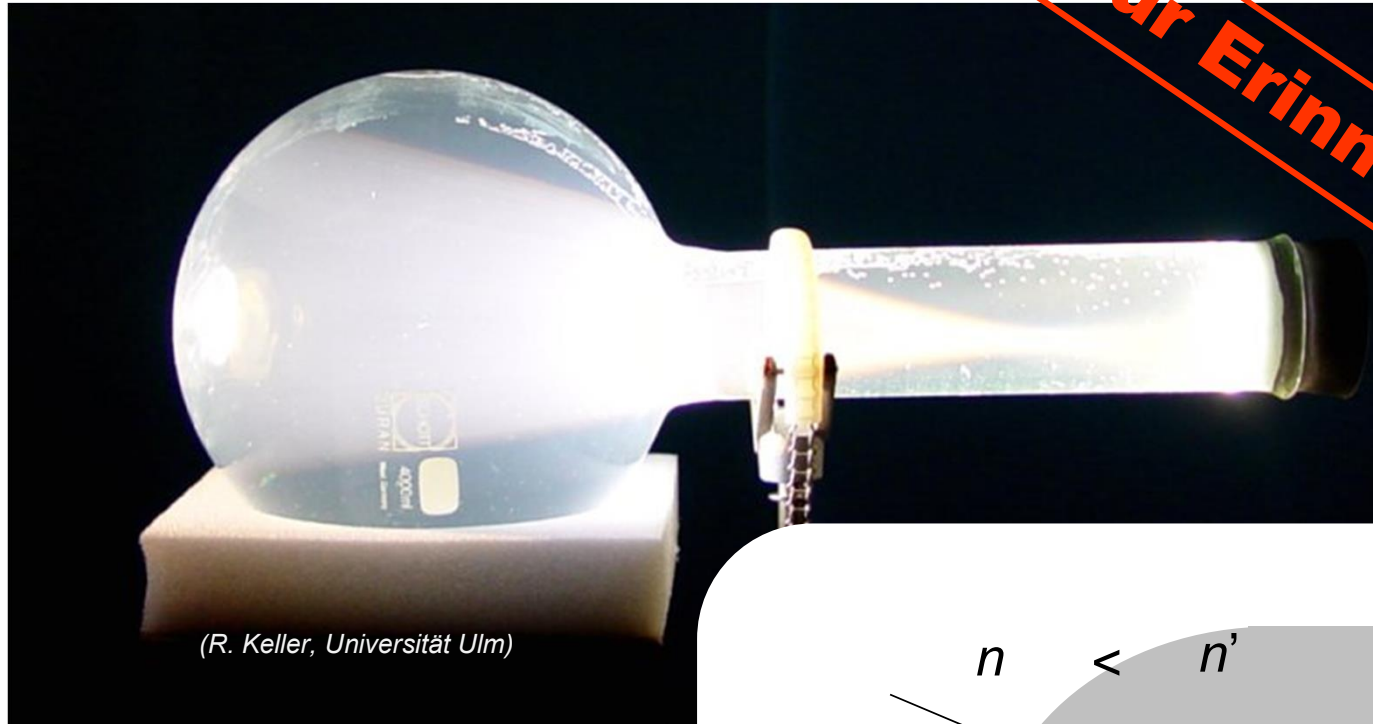


# 1. Entwicklung des Sehorgans



Optische Abbildung ist notwendig!

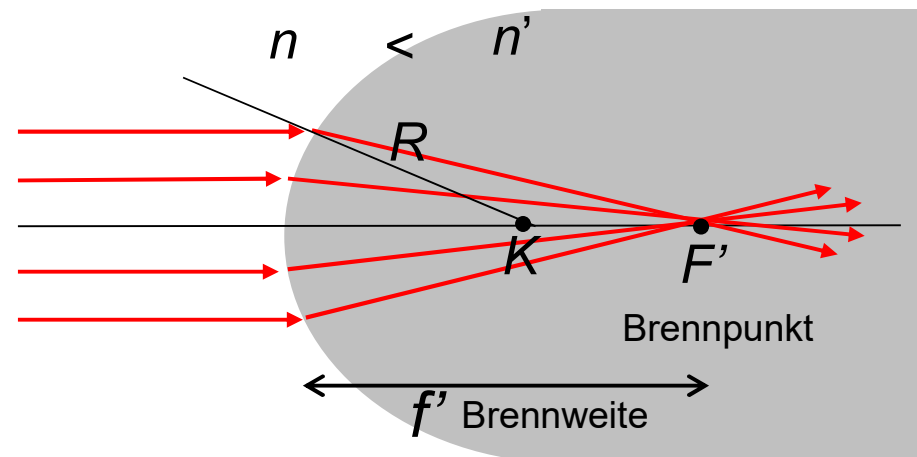
Brechung durch eine sphärische Grenzfläche:



Zur Erinnerung

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

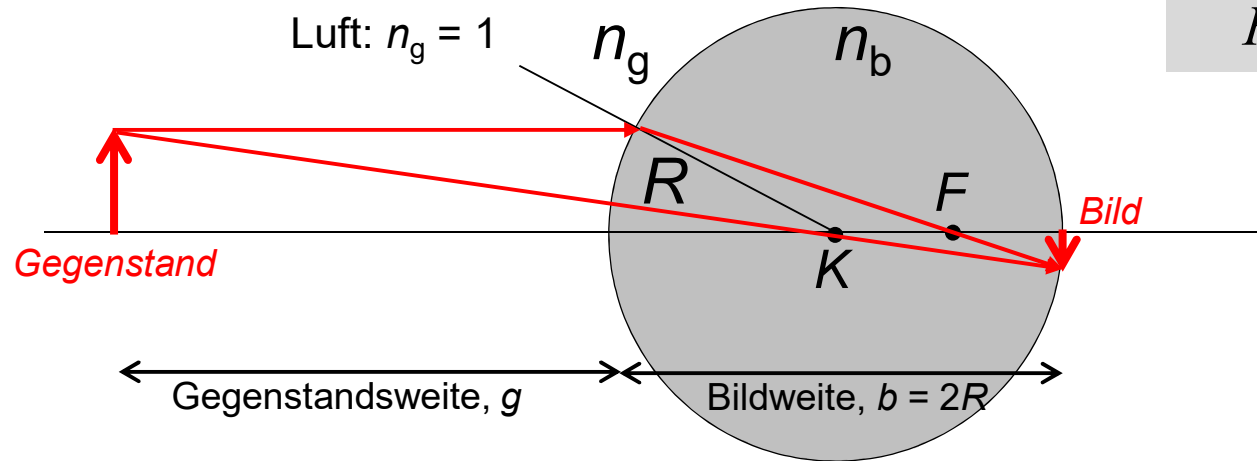
**Abbildungsgesetz:** 
$$D = \frac{n_g}{g} + \frac{n_b}{b}$$





# Einfache Kugel als Auge?

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



$n_b =$



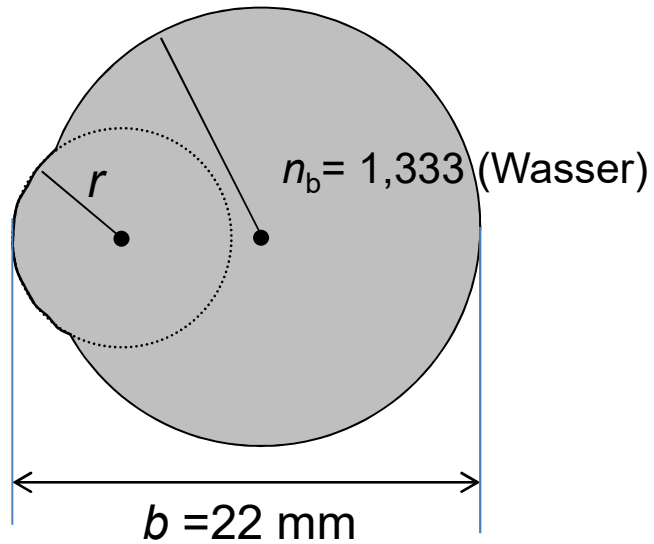
$n_b$  müsste größer sein als 2! Diamant vielleicht?



2 Kugeln!

$r =$  

$n_g = 1$  (Luft)



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

#### Vorteile:

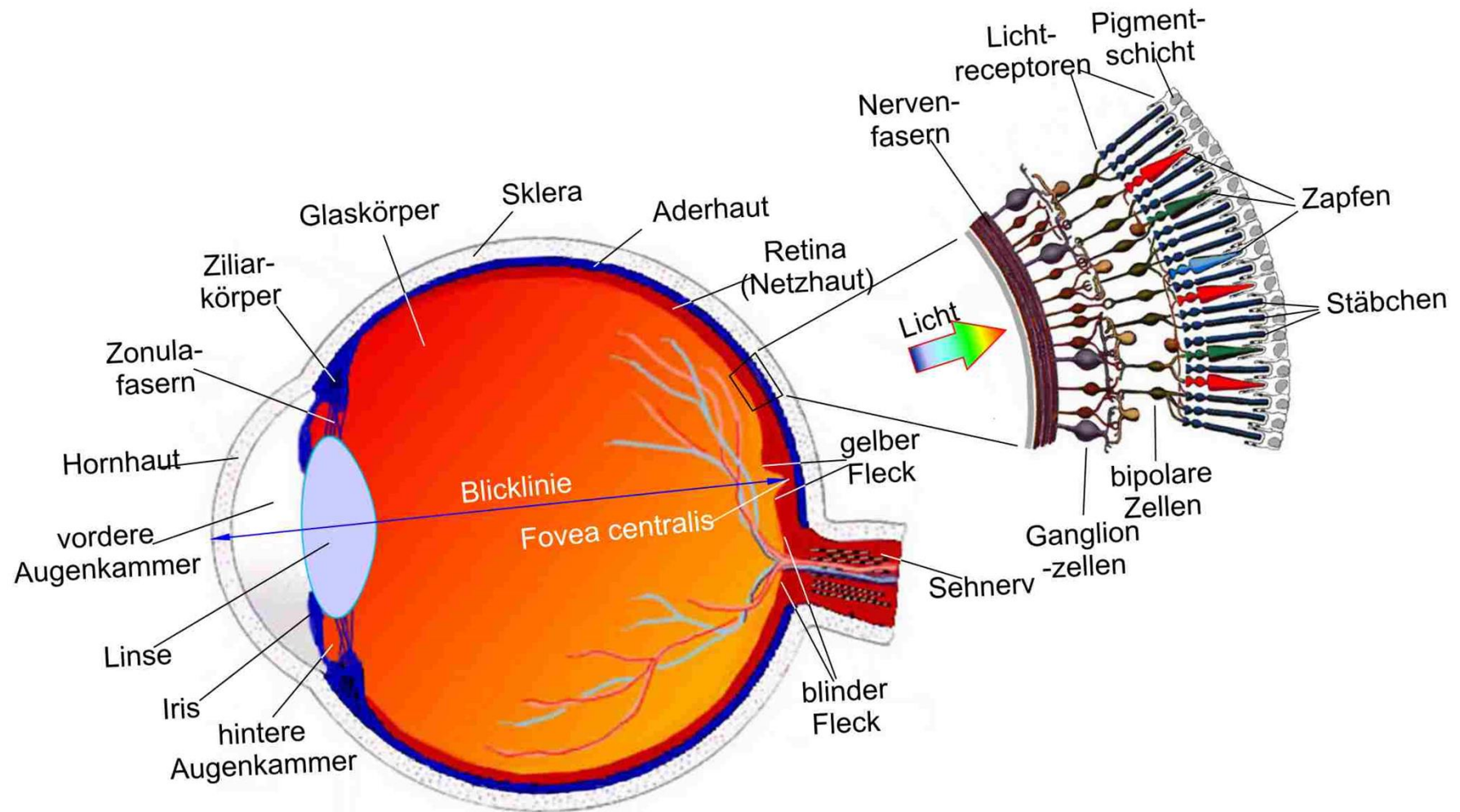
- Geschlossen  $\Rightarrow$  weniger verletzungsanfällig
- Gute räumliche Auflösung
- Bild entsteht innerhalb der Kugel

#### Nachteile:

- Keine Akkomodationsfähigkeit



## 2. Aufbau des menschlichen Auges



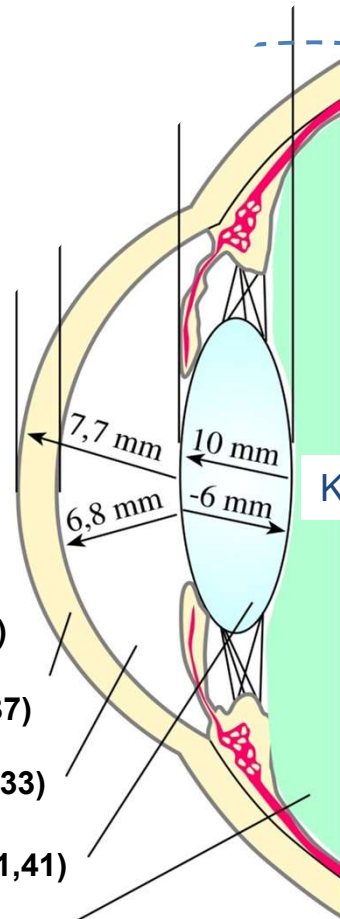
### 3. Optik des menschlichen Auges

#### a) Brechkraft des Auges

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

Brechzahlwerte:

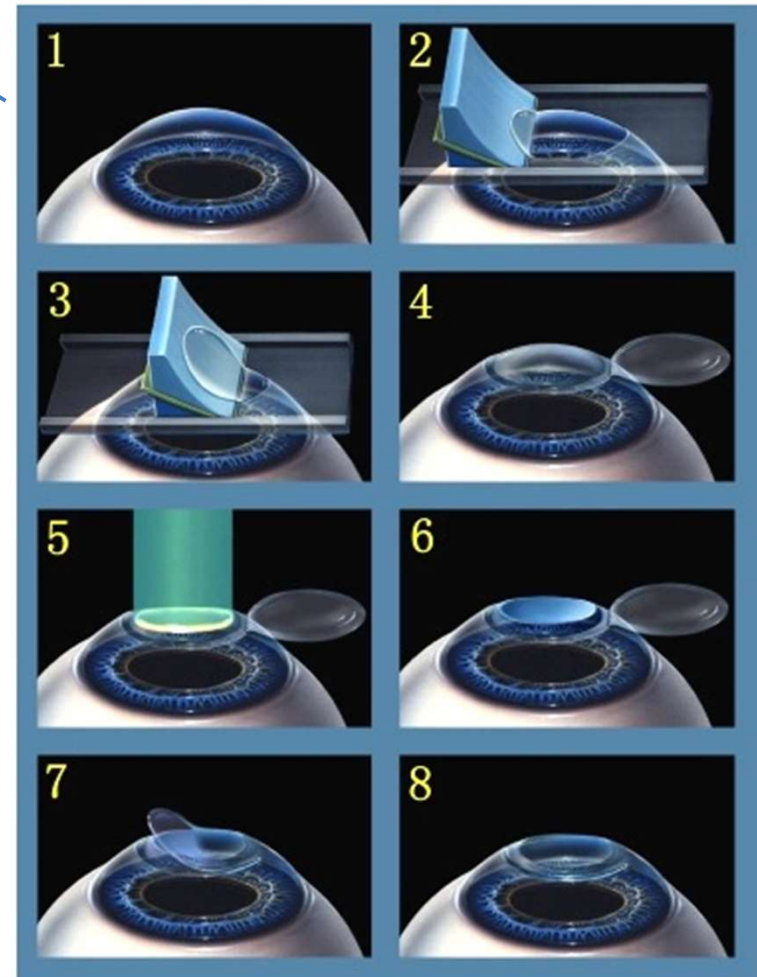
Luft (1,00)  
Hornhaut (1,37)  
Kammerwasser (1,33)  
Linse (1,41)  
Glaskörper (1,34)



Krümmungsradien

ohne Akkomodation

LASIK:

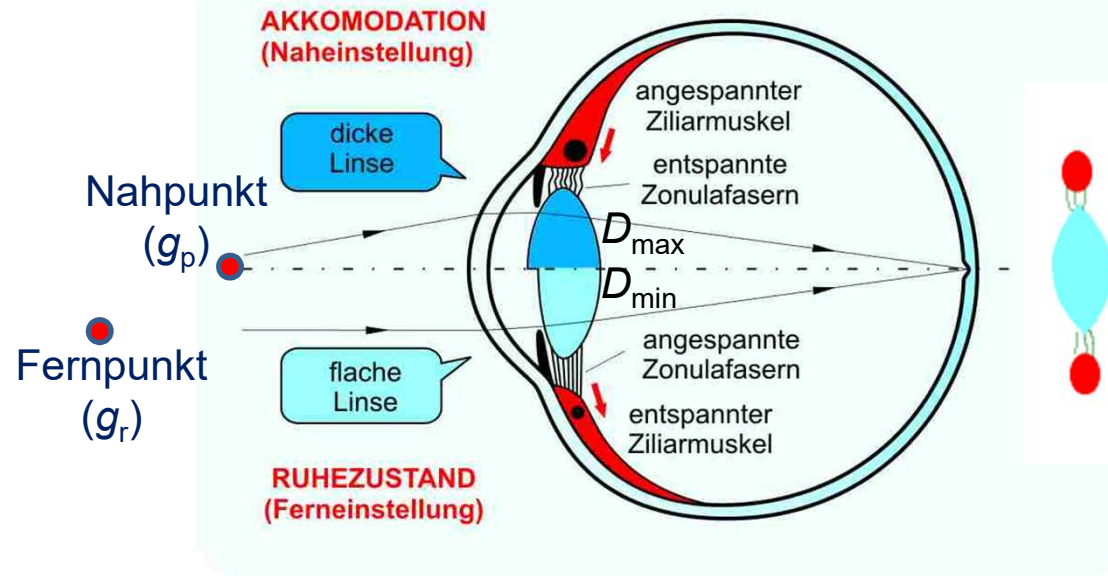
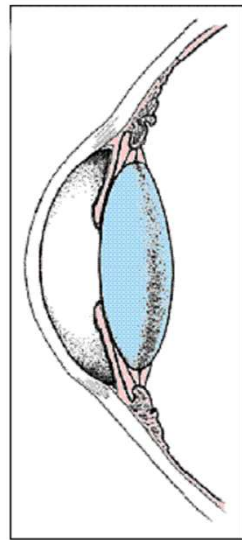




## b) Akkomodation (Brechkraftänderung)

Zur Erinnerung:

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

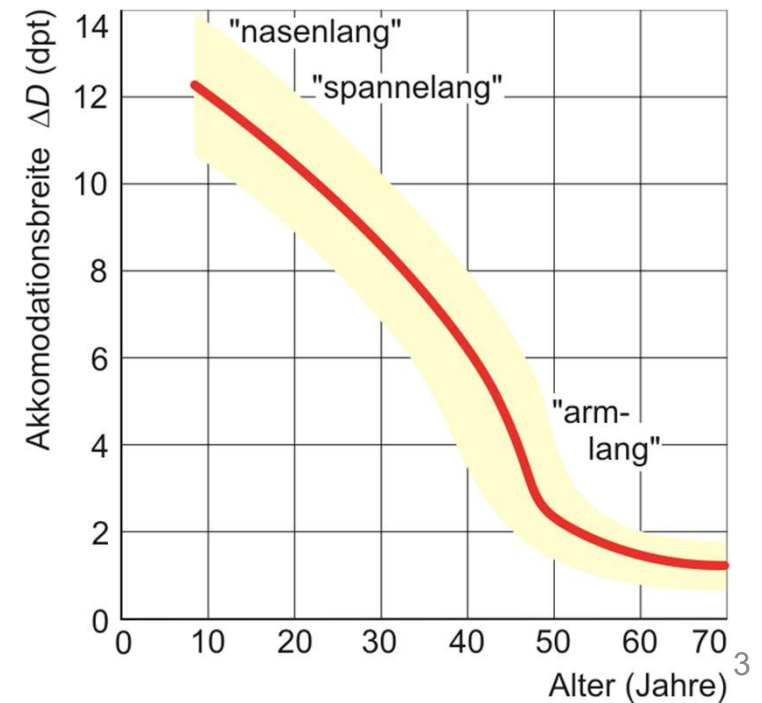


- Akkommodationsbreite ( $\Delta D$ ):  $\Delta D = D_{\max} - D_{\min}$

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

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

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

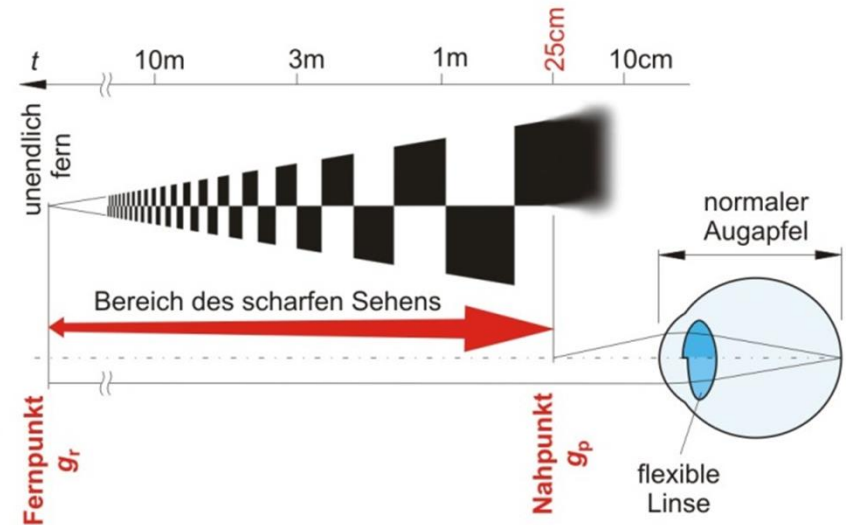


## c) Augenfehler :

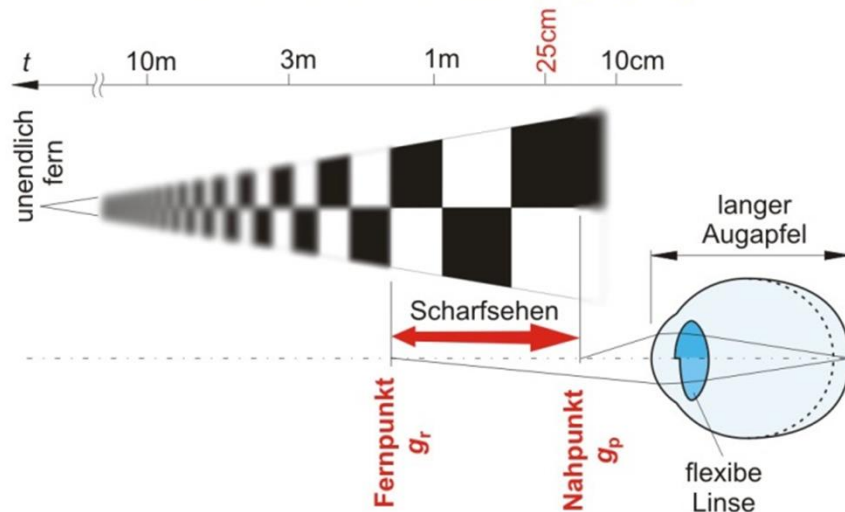
Zur Erinnerung:

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

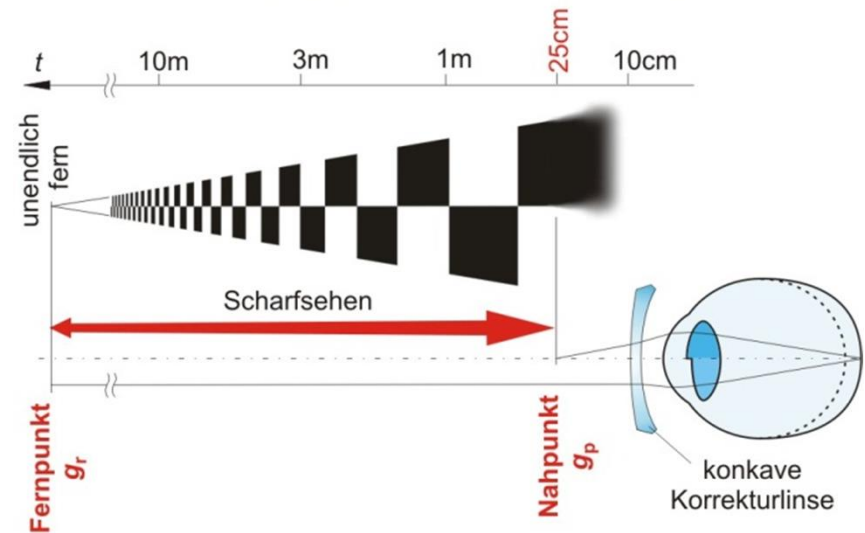
## NORMALSICHTIGES AUGE (Emmetropie)



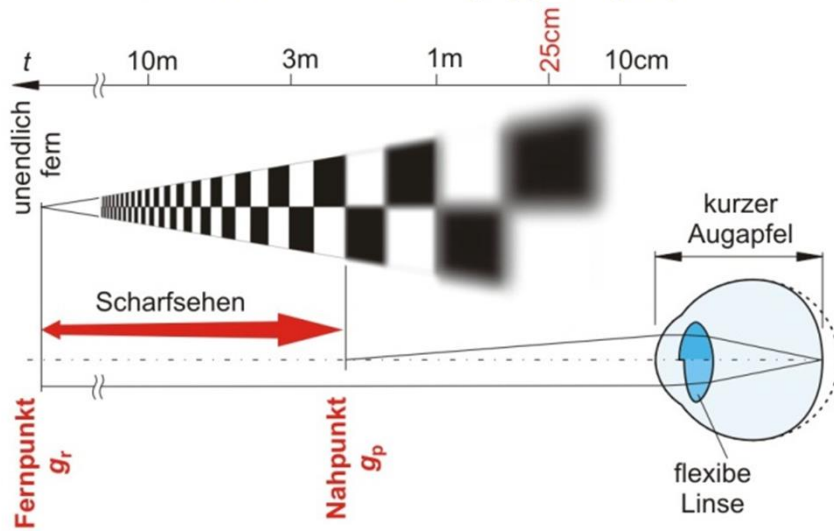
## KURZSICHTIGKEIT (Myopie)



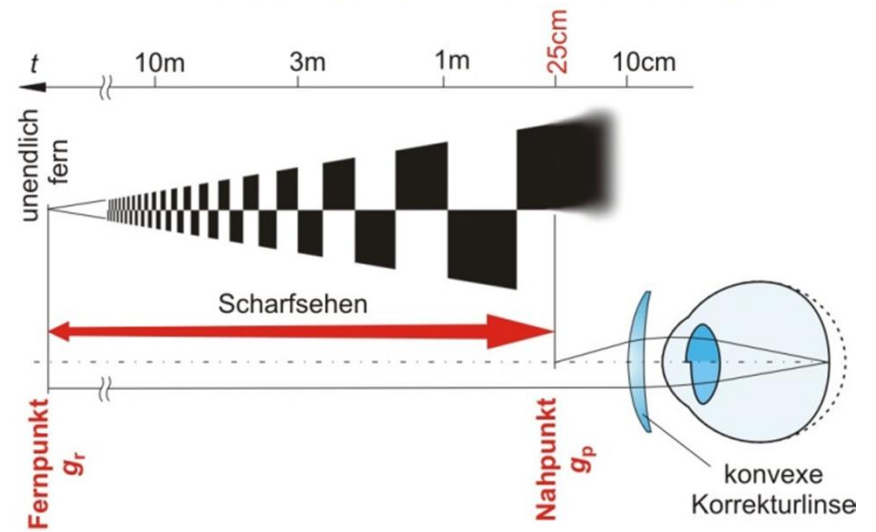
## KORRIGIERTE KURZSICHTIGKEIT



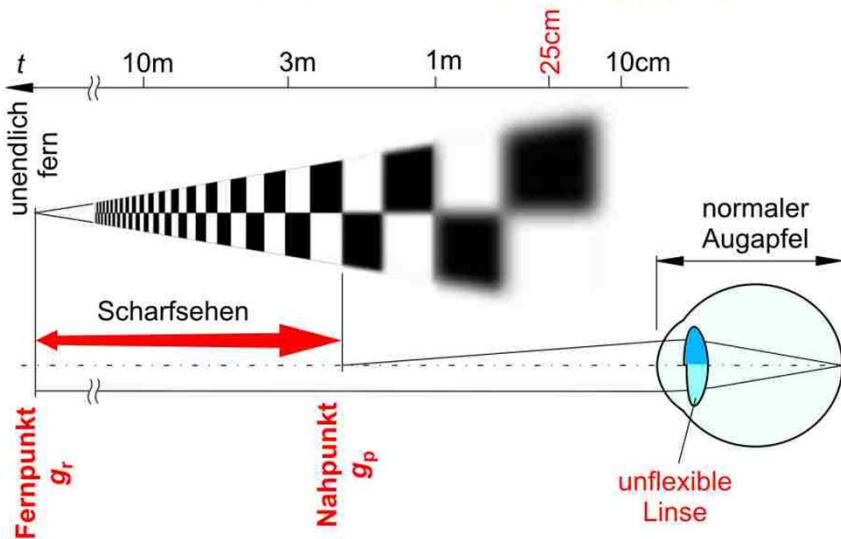
## WEITSICHTIGKEIT (Hyperopie)



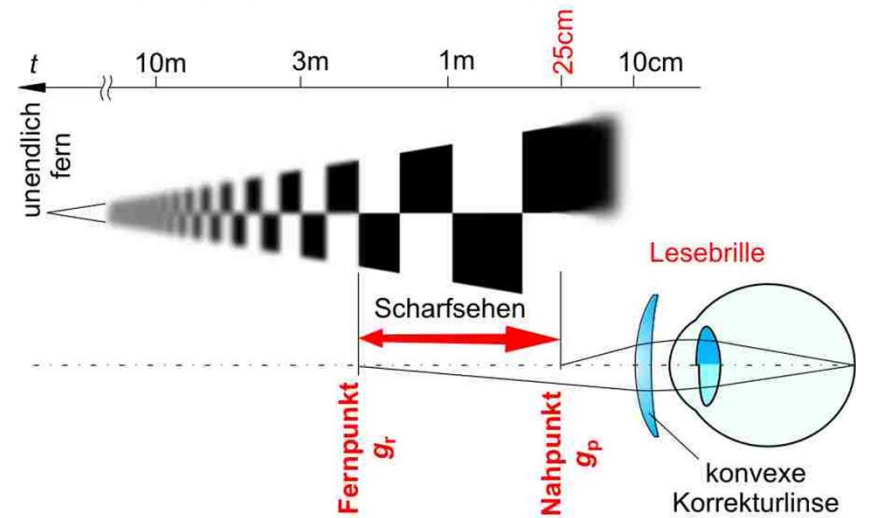
## KORRIGIERTE WEITSICHTIGKEIT



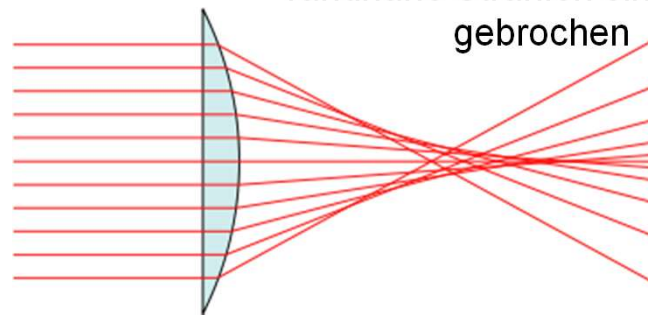
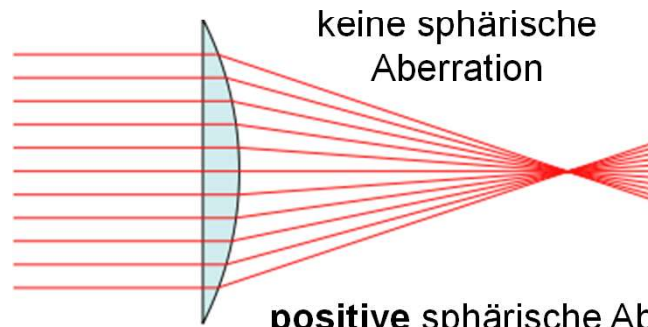
## ALTERSSICHTIGKEIT (Presbyopie)



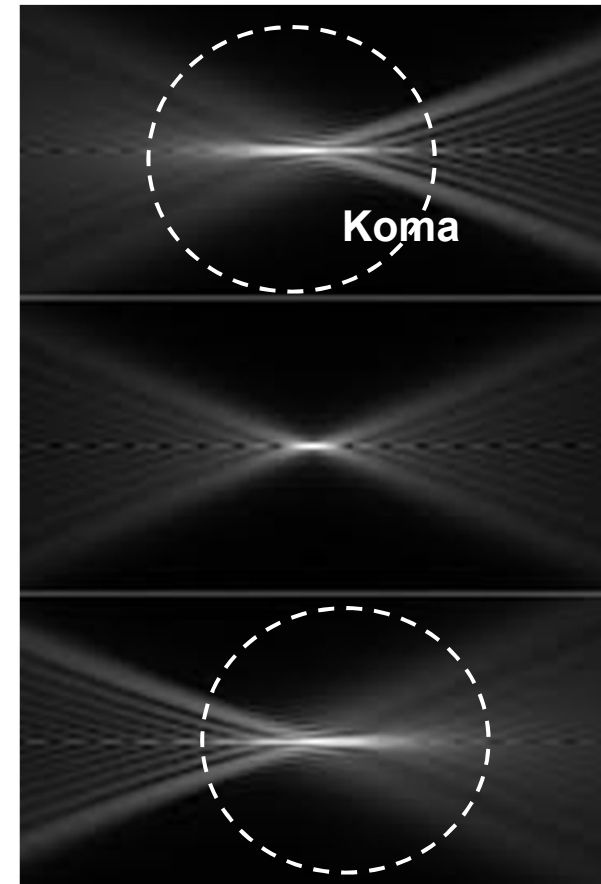
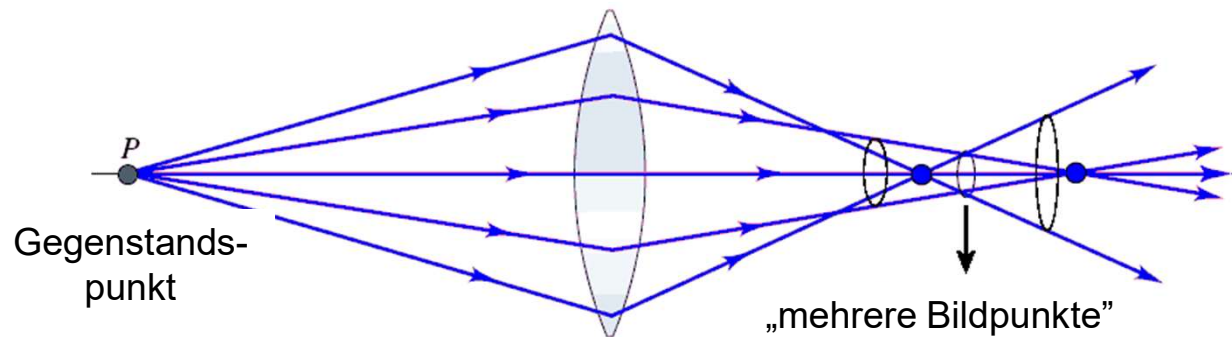
## KORRIGIERTE ALTERSSICHTIGKEIT



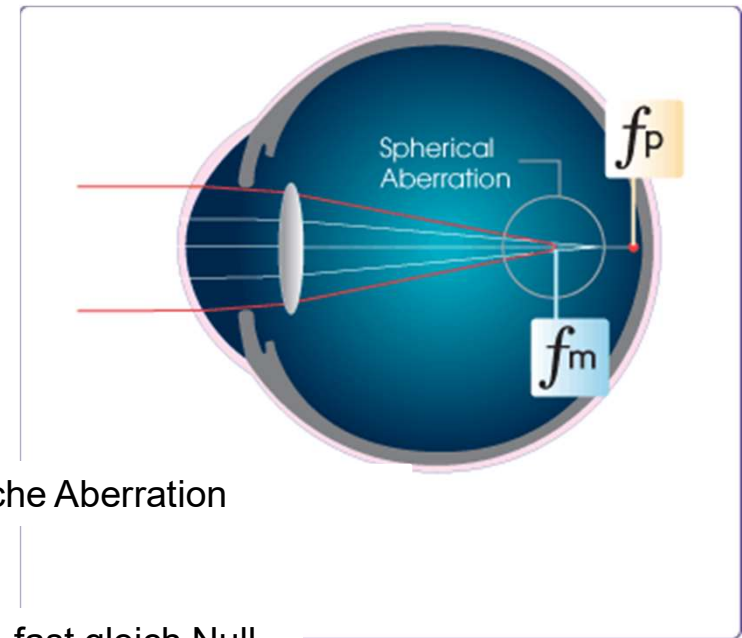
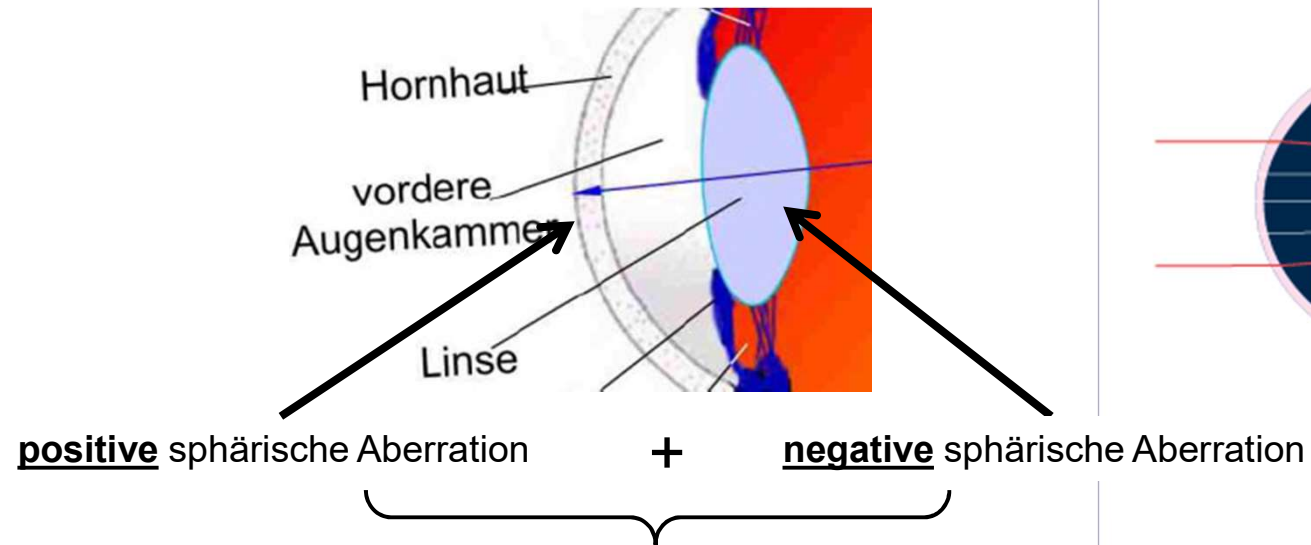
## Sphärische Aberration (Öffnungsfehler)



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







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

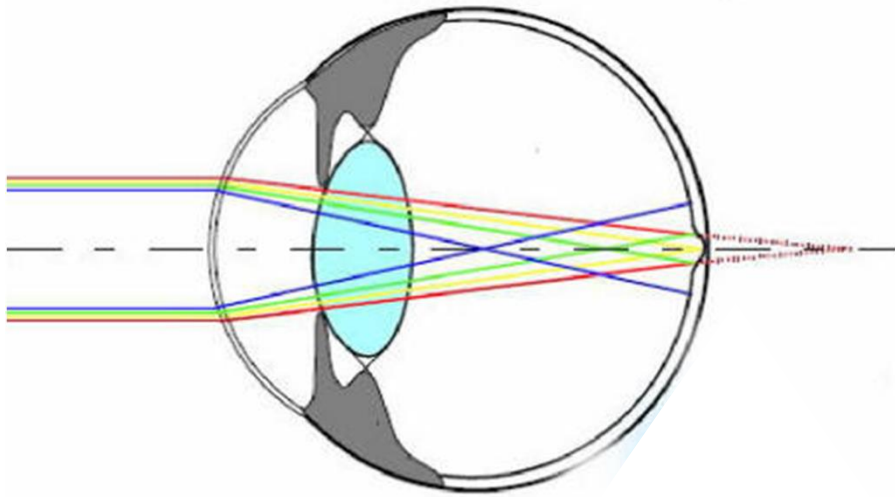
Bei weiten Pupillen ist die Gesamtaberration stärker positiv.



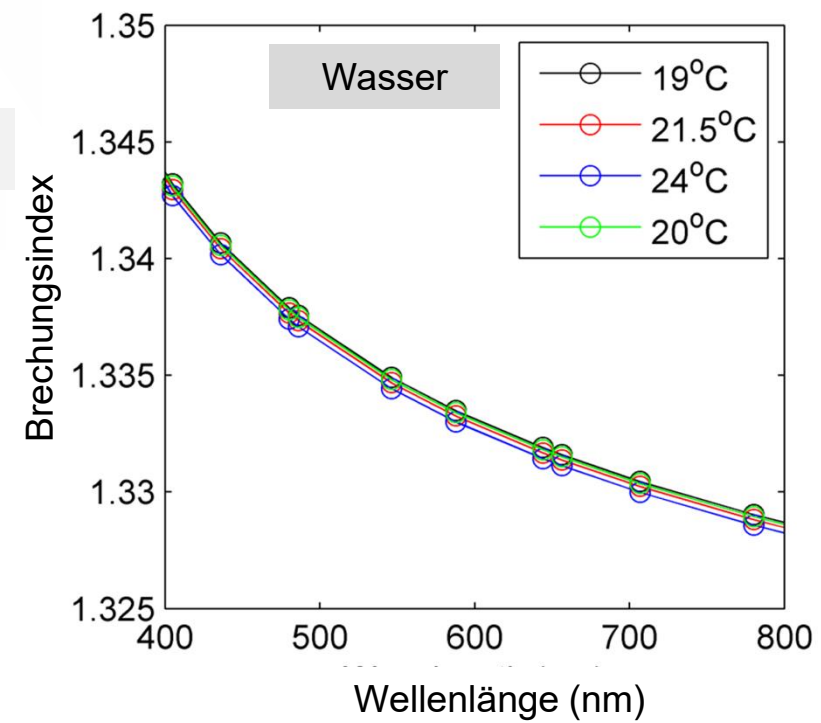
Nachtmyopie  
(Nachtkurzsichtigkeit)



## Chromatische Aberration (Farbfehler)

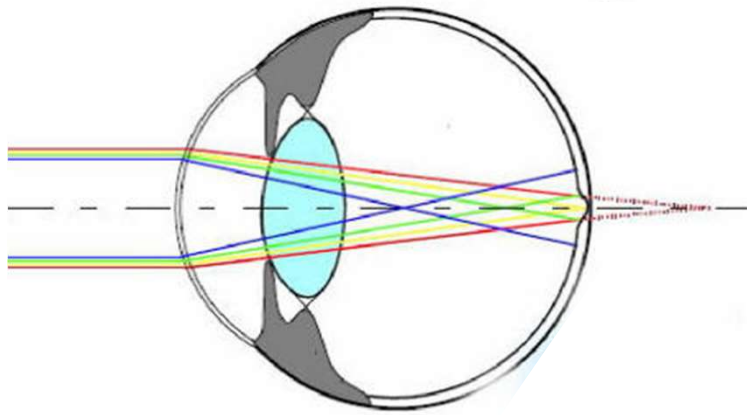


Chromatische Aberration: ● ● ● ●

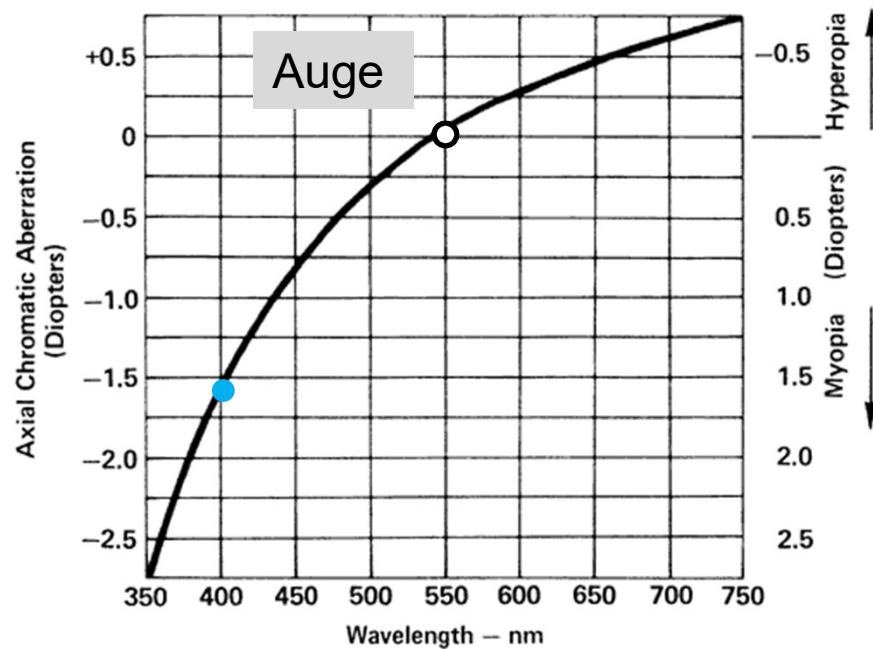
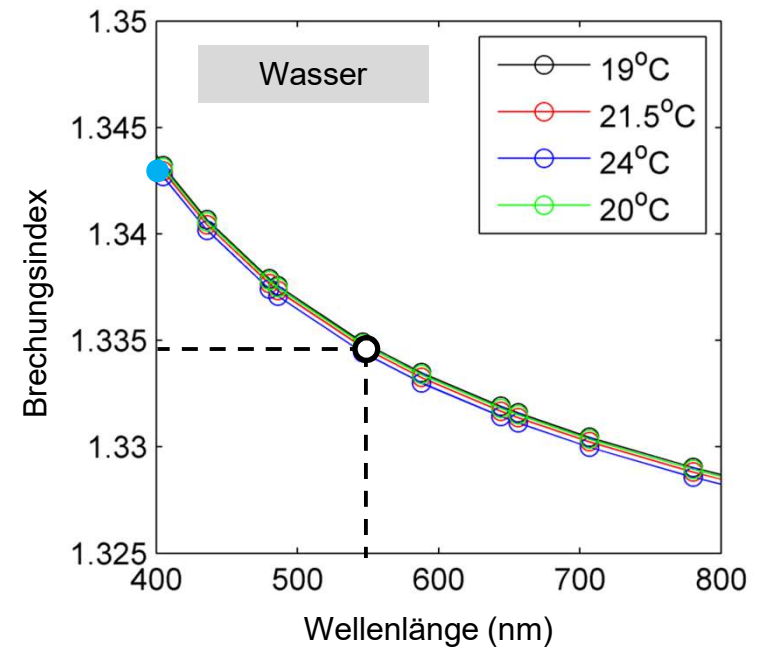


Wie viel Dioptrie ist die Brechkraftdifferenz zwischen Blau und Rot?

## Chromatische Aberration (Fortsetzung)

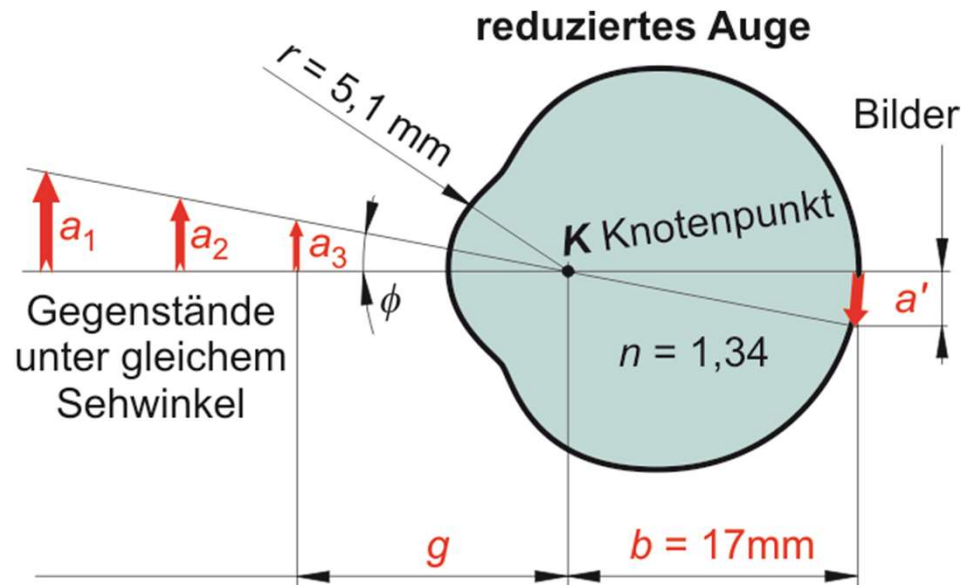
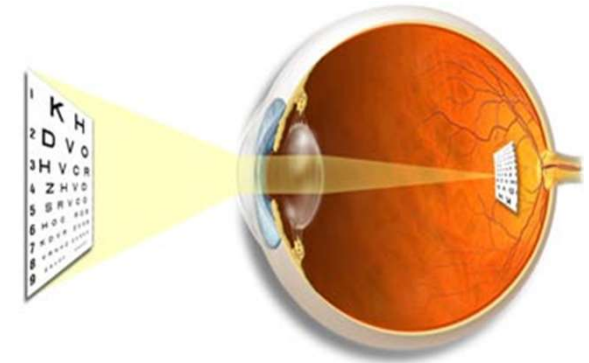


Chromatische Aberration: ● ● ● ●



## d) Bildentstehung im Auge

### ▪ Reduziertes Auge



➤ Brechkraft des reduzierten Auges:

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

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



Sehwinkel  $\phi$ :  $\phi$  (rad) =

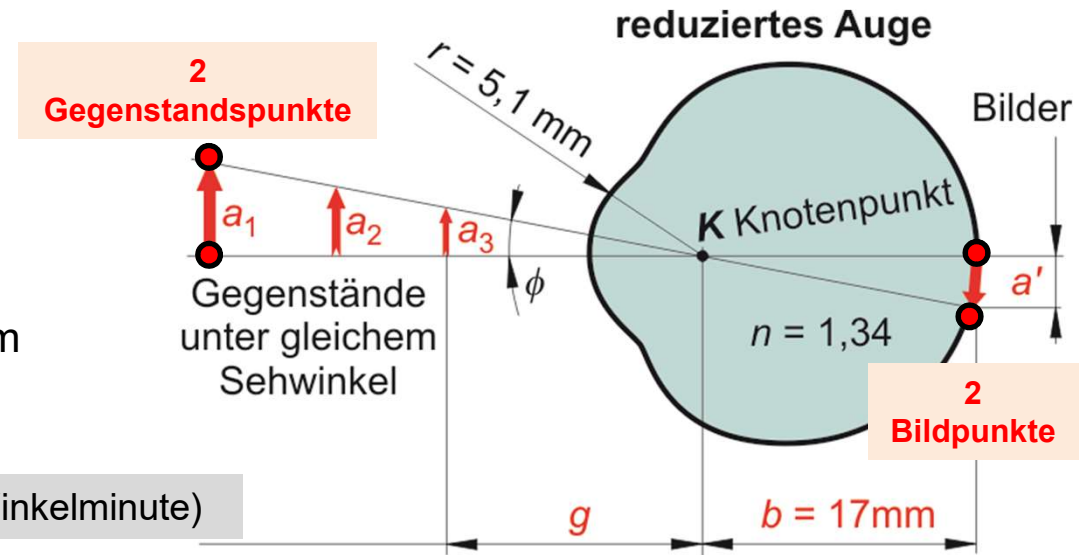


## e) (räumliche) Auflösung des Auges

### ■ Sehwinkelgrenze ( $\alpha$ ):

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

Referenzwert der Sehwinkelgrenze: 1' (1 Winkelminute)



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

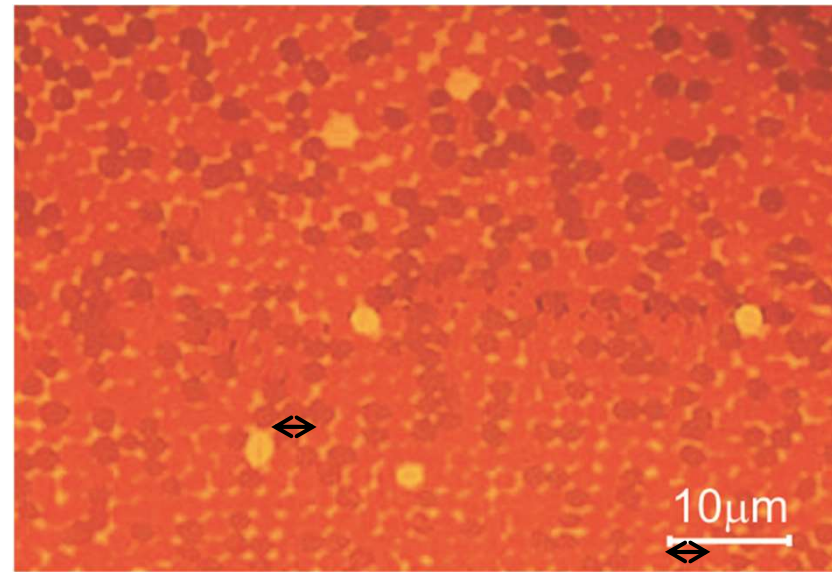
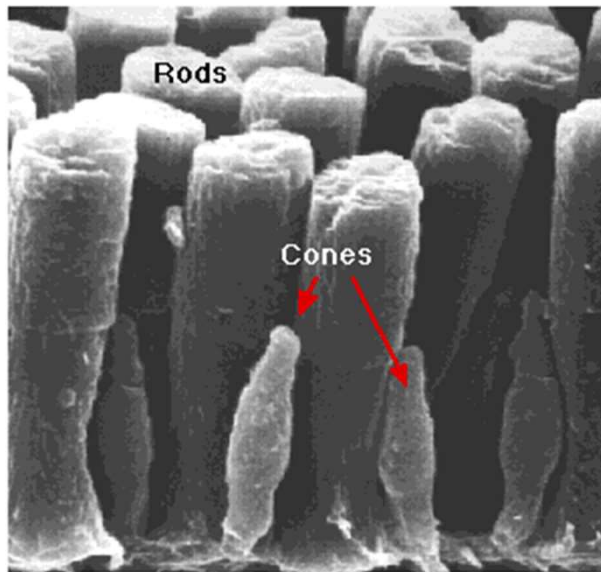
Referenzwert des Auflösungsvermögens:  $= \frac{1}{1'}$

### ■ 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

➤ Biologische Erklärung

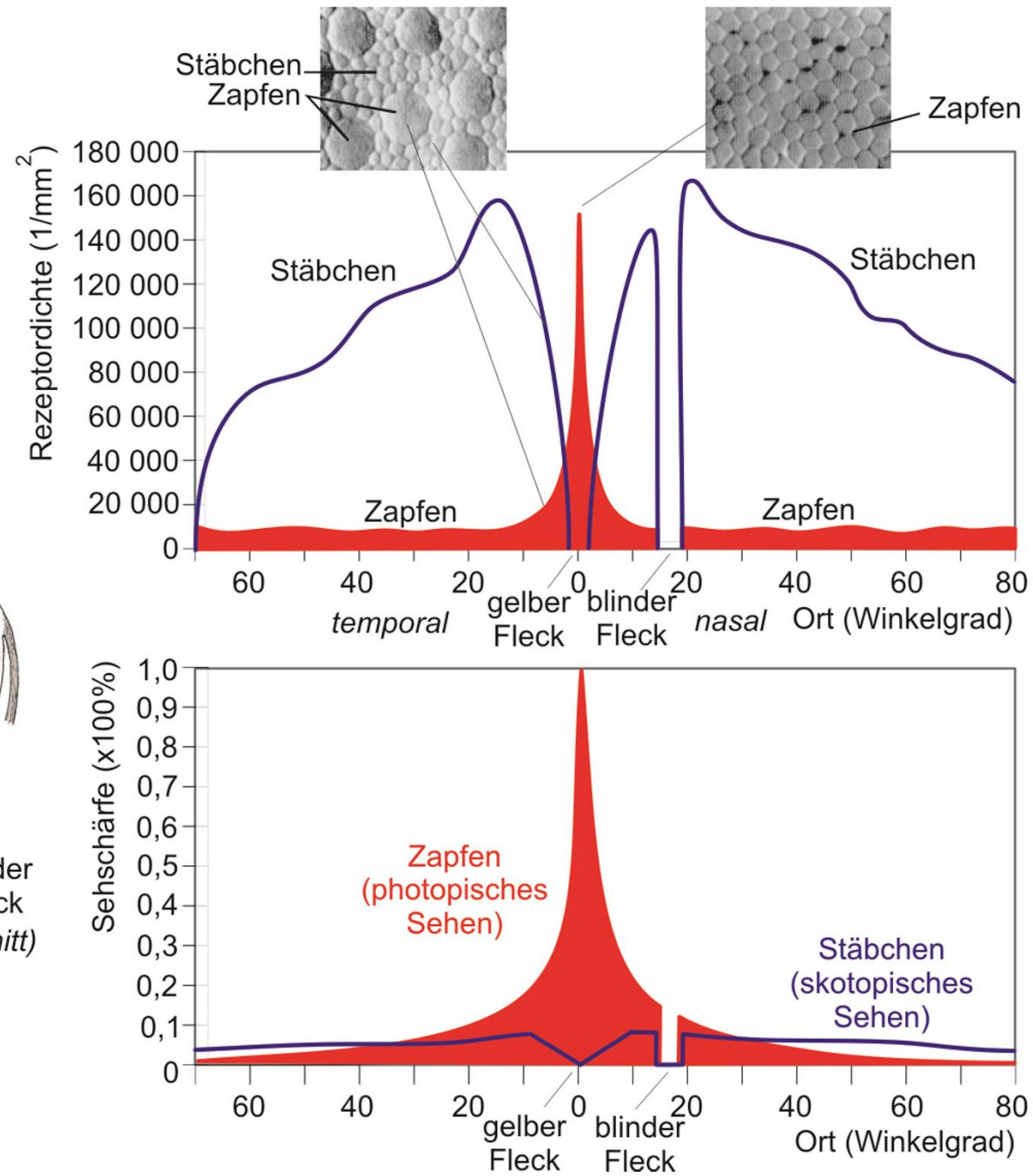
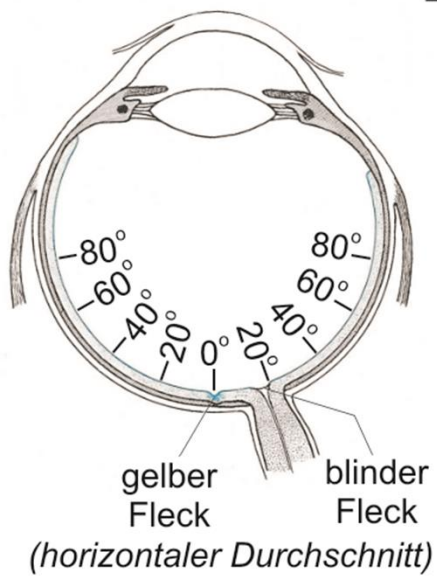


**Gegenstandspunkte**      **Bildpunkte**      **Empfindung**


Sehwinkelgrenze infolge Rezeptorendichte ( $\alpha$ ):

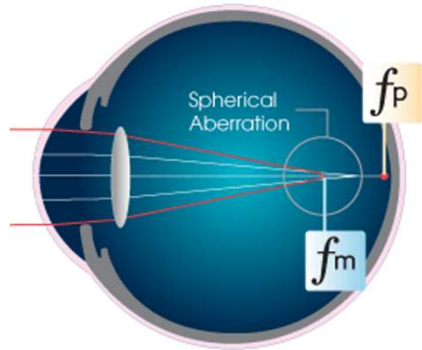
$\alpha =$



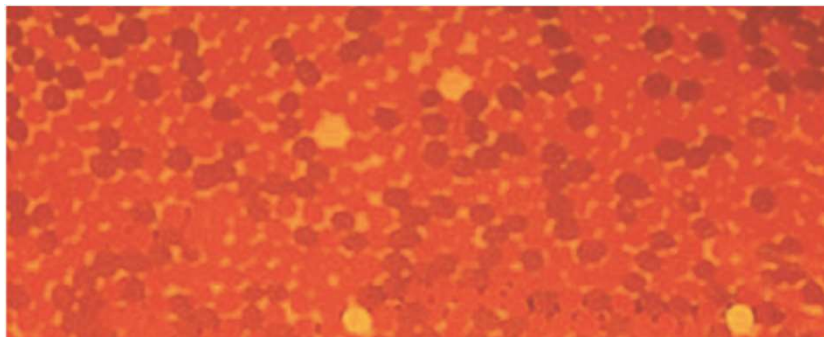


## Faktoren die die Auflösung des Auges begrenzen:

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



2. Grösse und Dichte der Rezeptoren



3. Wellenoptische Effekte, Beugung  
(siehe nächste Woche)

## Hausaufgaben:

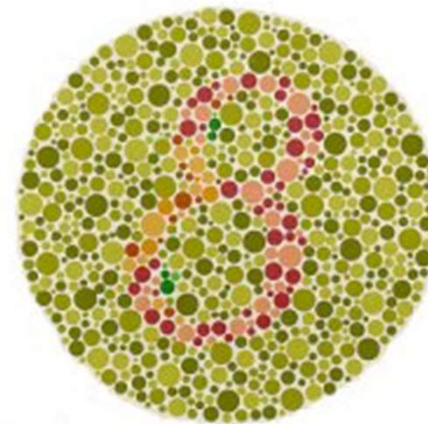
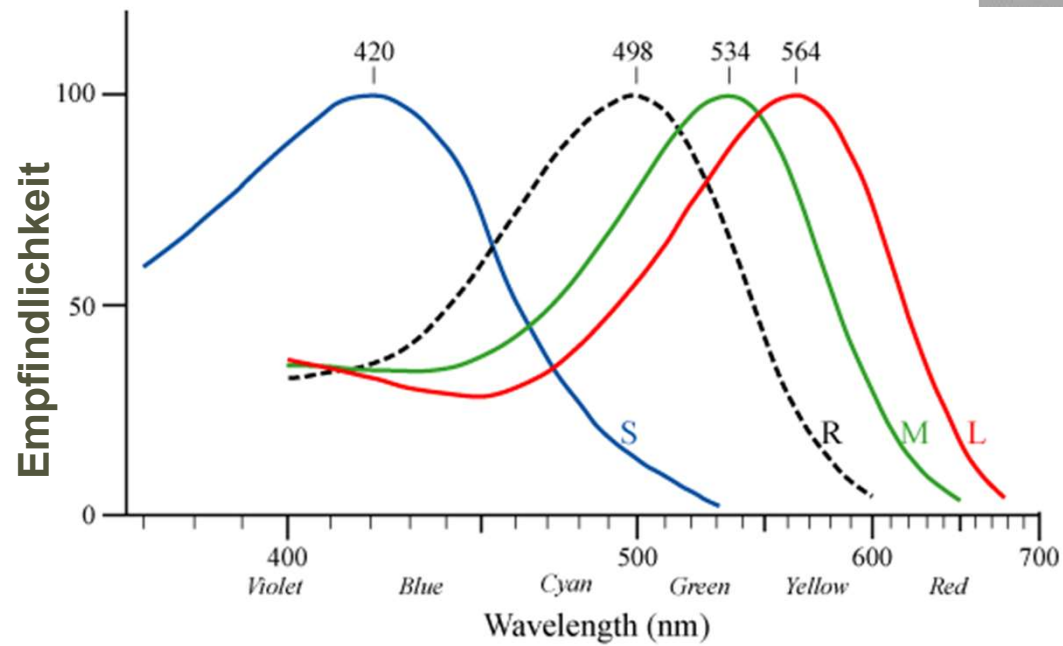
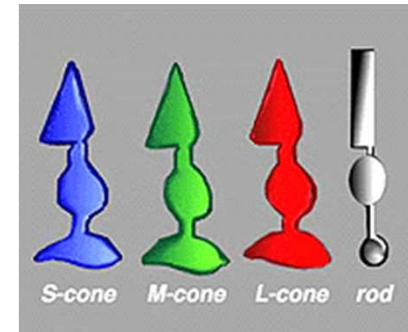
Aufgabensammlung

4.5-8, 14

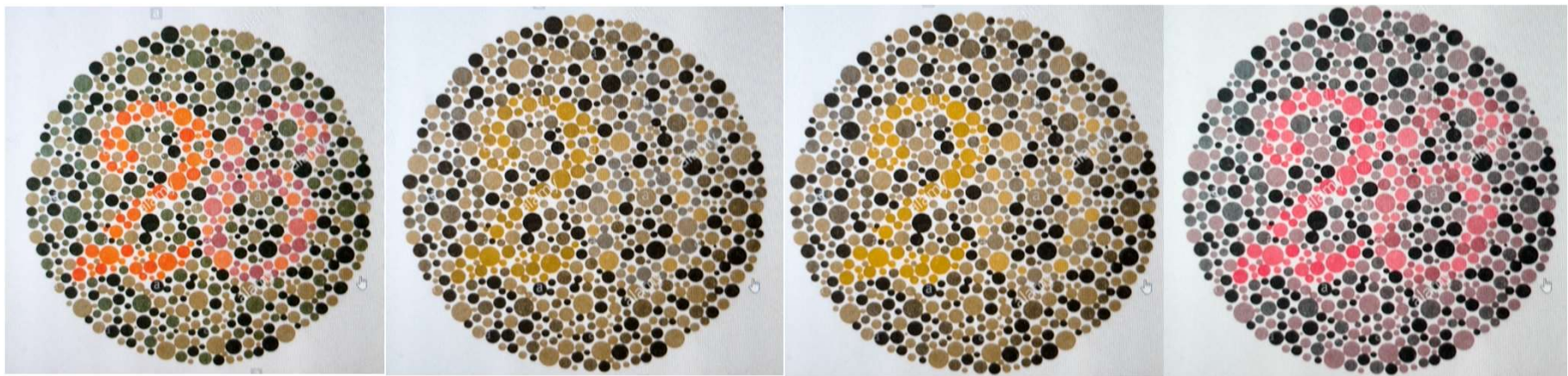




## 5. Spektrale Empfindlichkeit des Auges - Farbsehen

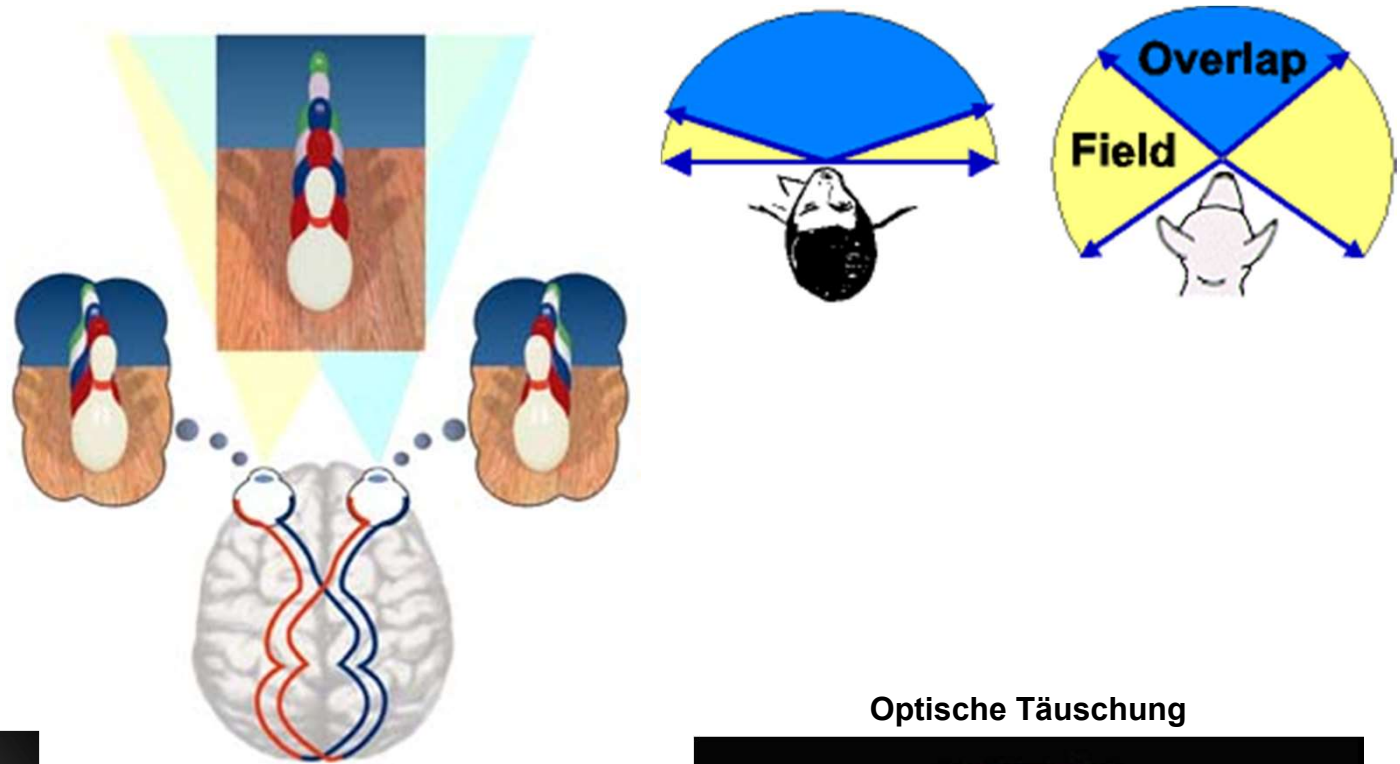


## Farbenfehlsichtigkeit





## 6. Raumsehen



Optische Täuschung



Optische Täuschung



# Hausaufgaben:

## Aufgabensammlung

4.5-8, 14

