

# Licht in der Zahnmedizin. Geometrische Optik.

**Balázs Kiss**

kissb3@gmail.com



**Institut für Biophysik und Strahlenbiologie,  
Myofilament-Mechanobiophysik Forschungsgruppe,  
Semmelweis Universität**

*16. September 2025.*

# Eigenschaften des Lichtes

- Geradlinige Ausbreitung → Lichtstrahl

- Energietransport



Geometrische Optik

- **Wellennatur:** Wellenlänge,  $\lambda$
- **Teilchennatur:** Impuls

Wechselwirkung:

- biologische Wirkung
- (zahn)medizinische Wirkung

# Geometrische Optik

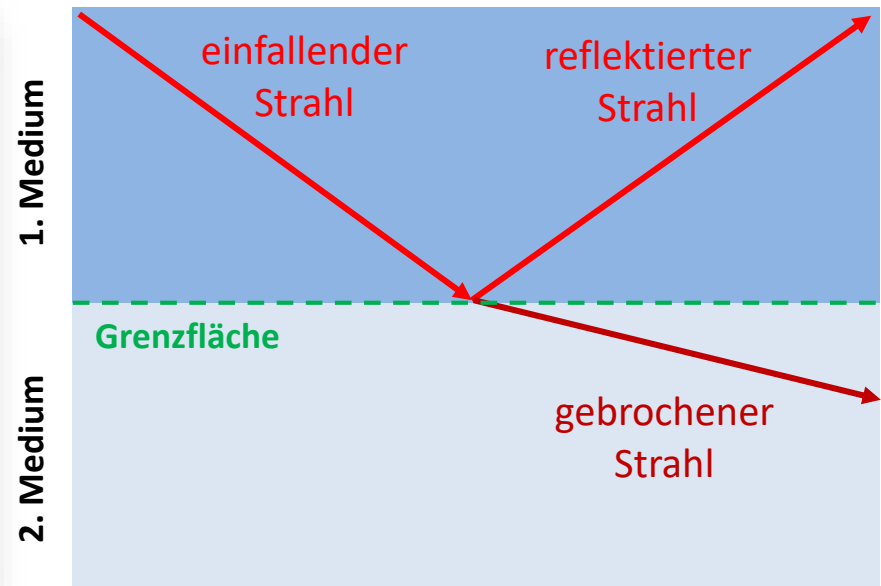
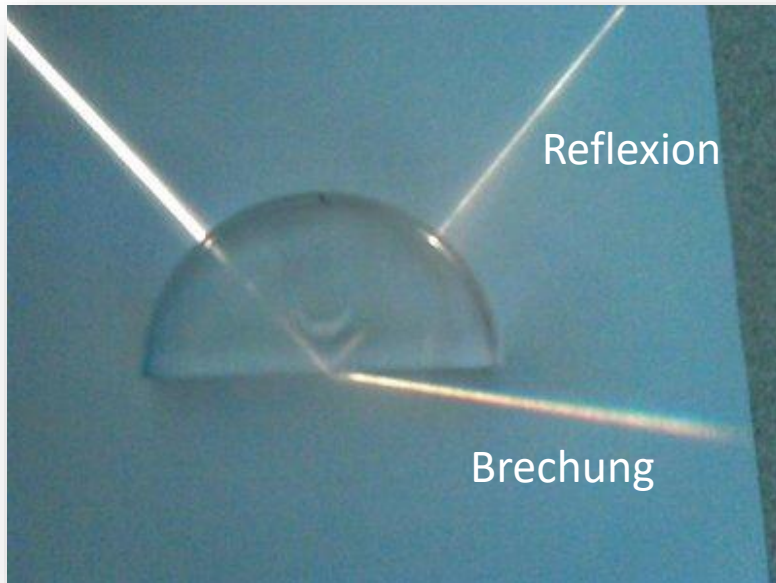
## Lichtstrahl

- Ein Lichtbündel mit einem sehr kleinen Durchmesser.
- Es wird als eine Linie gezeichnet.

## Grundprinzipien der geometrischen Optik

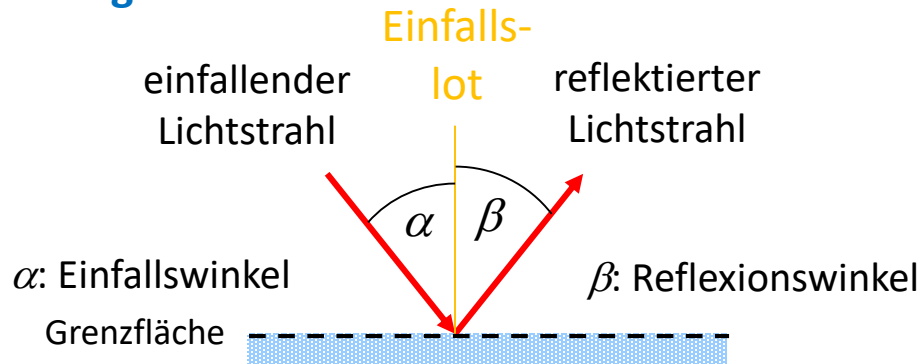
- geradlinige Ausbreitung des Lichtes
- Lichtwege sind umkehrbar
- kreuzende Lichtstrahlen beeinflussen einander nicht

## Erscheinungen an einer Grenzfläche



# Reflexion

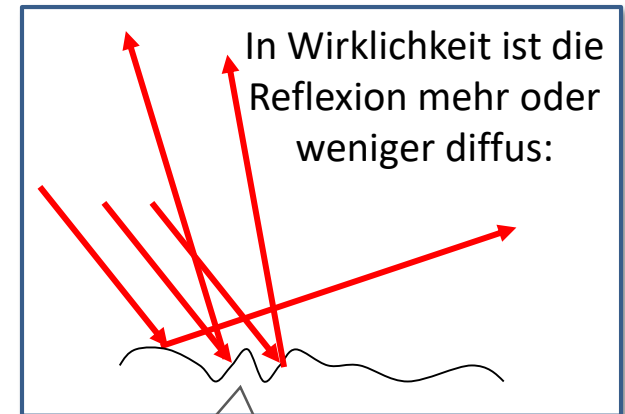
## Reflexionsgesetz



Reflexionsgesetz:  $\rightarrow \alpha = \beta$

- Einfallender strahl,
- Einfallslot und
- Reflektierter Strahl  
liegen in einer Ebene.

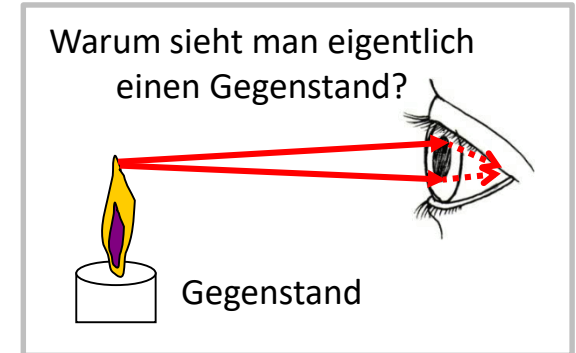
## Diffuse Reflexion



- unebene Grenzfläche
- makroskopisch
  - mikroskopisch



# Abbildung durch Reflexion



## Bildpunkt:

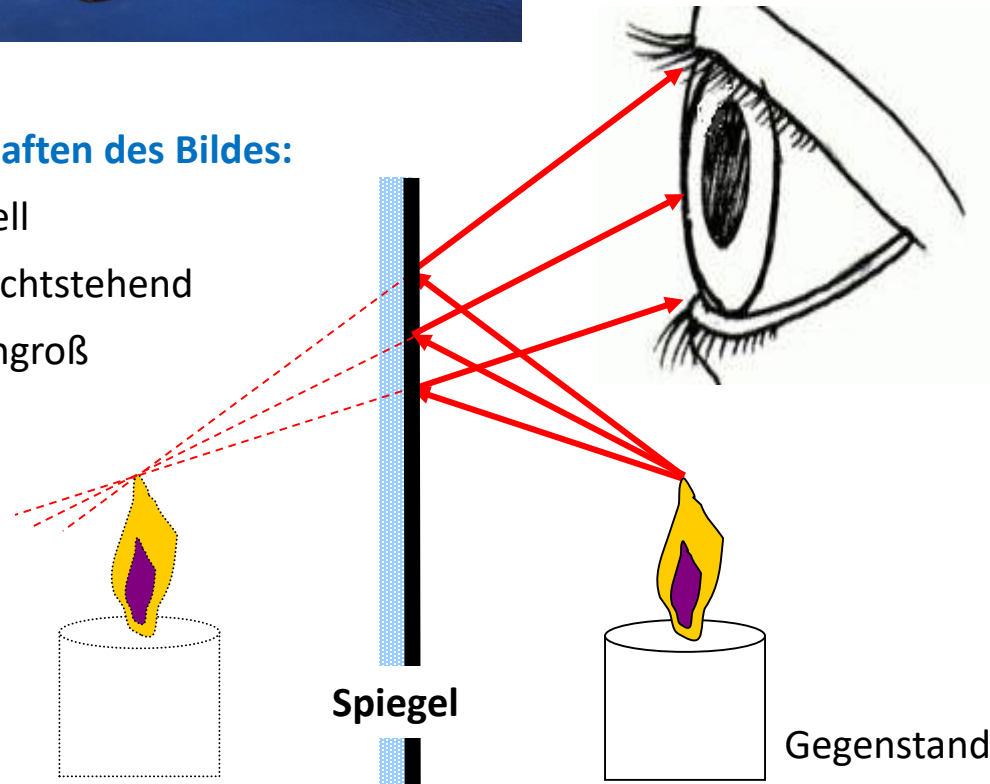
wo die aus dem Gegenstandspunkt ausgehende Lichtstrahlen (oder ihre Verlängerungen) einander kreuzen.

## Virtuelles Bild:

die Lichtstrahlen sind divergent, nur ihre Verlängerungen (in Richtung der Rückseite des Spiegels) kreuzen einander.

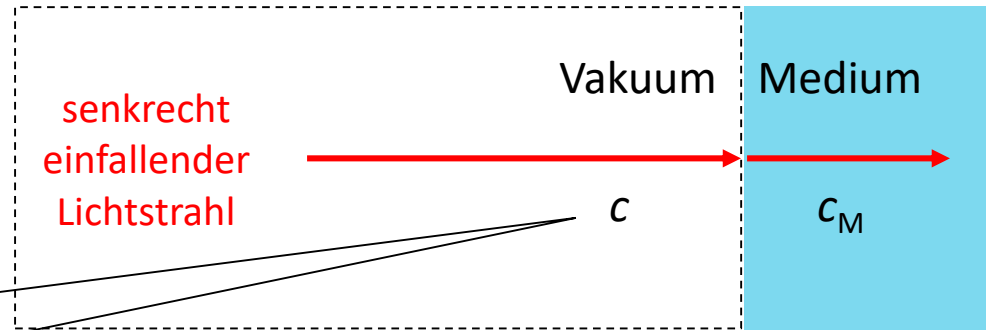
## Eigenschaften des Bildes:

- virtuell
- aufrechtstehend
- gleichgroß



# Brechung

## Brechzahl (Brechungsindex)



Lichtgeschwindigkeit im Vakuum

$$c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

## 1) absolute Brechzahl (n):

$$n = \frac{c}{c_M} \geq 1$$

c: Lichtgeschwindigkeit im Vakuum  
c<sub>M</sub>: Lichtgeschwindigkeit in der Materie oder Medium)

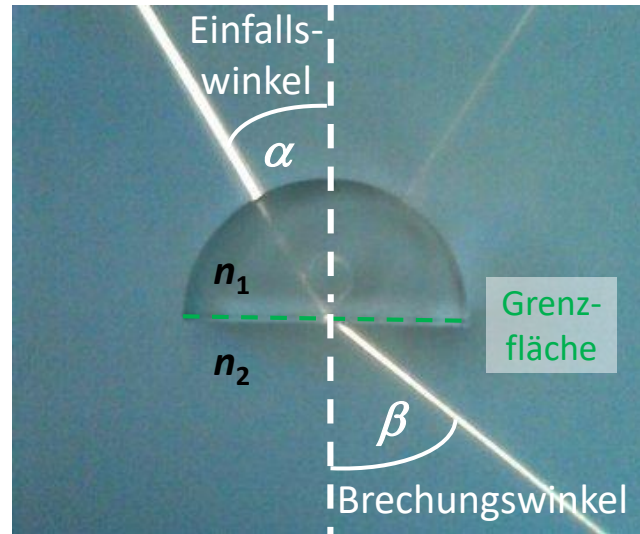
(Ist  $n_1 > n_2$ , so heißt Medium 1 **optisch dichter**, als Medium 2)

Material	n (20 °C und 589 nm)
Vakuum	1
Luft (1 atm)	1,00027
Wasser	1,333
Augenlinse	≈1,34
Ethylalkohol	1,361
Quarzglas	1,459
Flintglas	1,613
Diamant	2,417

# Brechungsgesetz

## Fermatsches Prinzip:

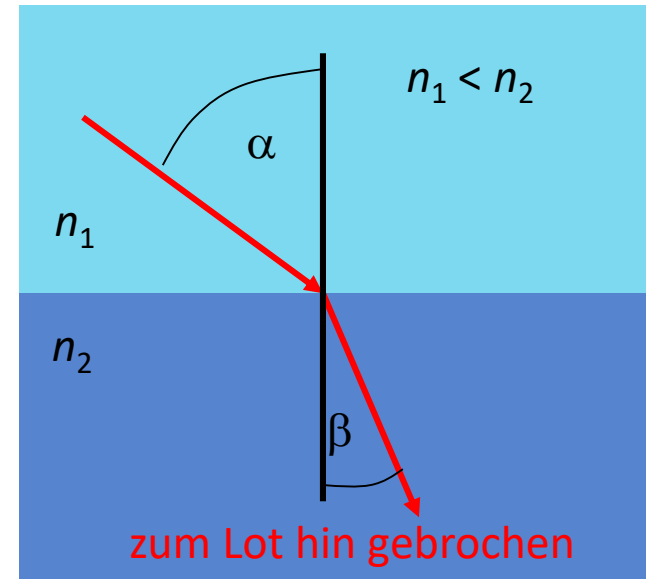
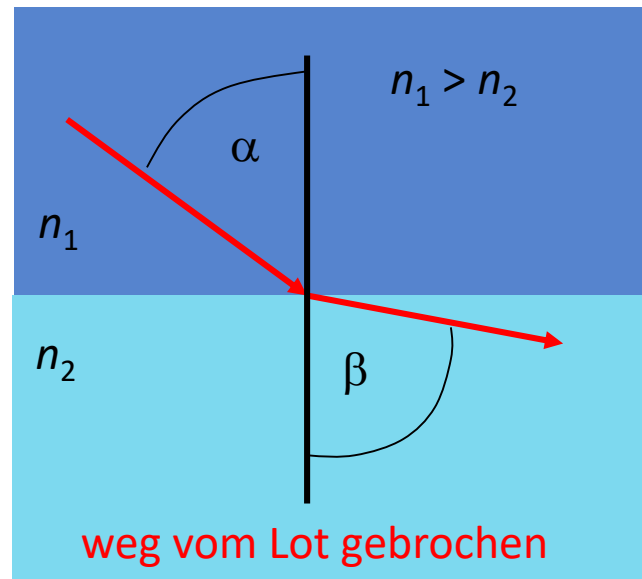
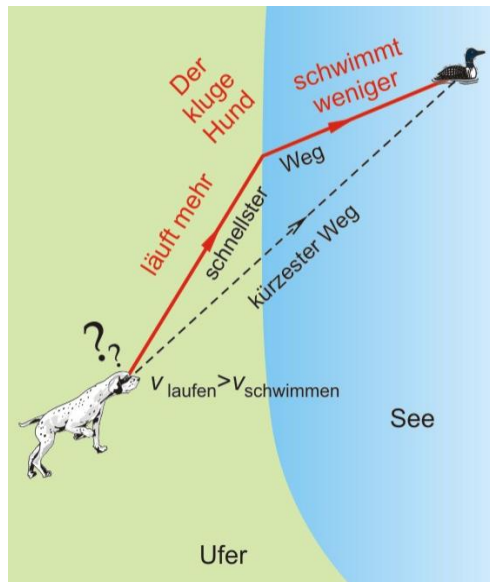
Das Licht wählt zw. zwei Punkten den schnellsten und nicht den geometrisch kürzesten Weg.



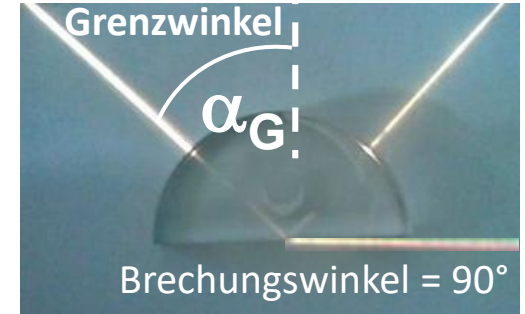
## Snellius-Descartes-Gesetz:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21} = \frac{c_1}{c_2}$$

2) relative Brechzahl



# Grenzwinkel, Totalreflexion

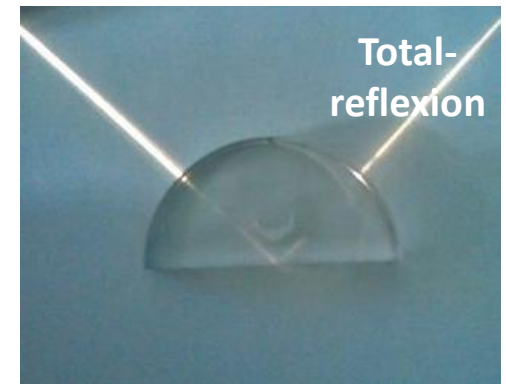
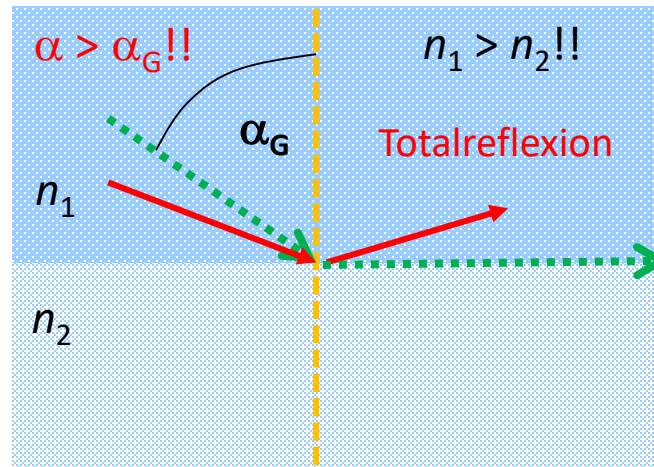


**Grenzwinkel:** Einfallswinkel des aus dem optisch dichteren Medium kommenden Lichtstrahles wozu ein Brechungswinkel von  $90^\circ$  gehört.



s. Praktikum  
„Refraktometer“

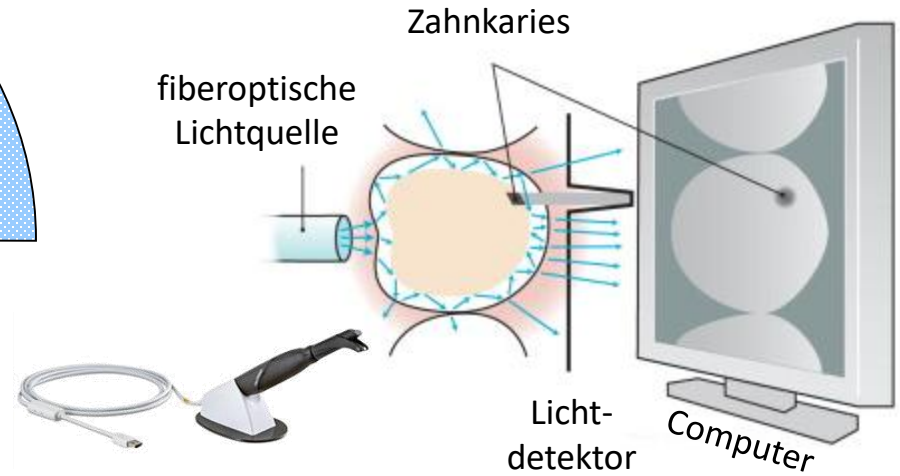
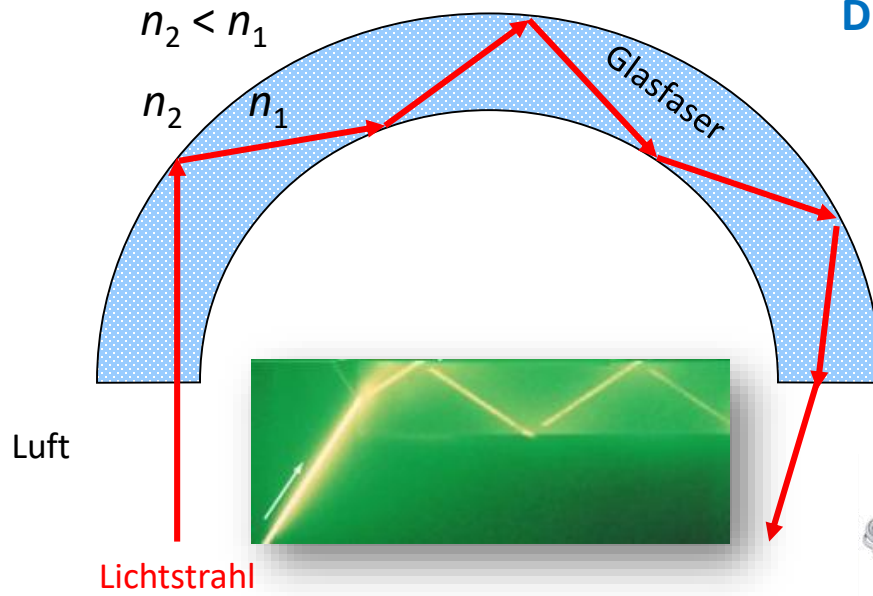
**Totalreflexion:**  
Reflexion eines aus dem optisch dichten Medium kommenden Lichtstrahles wenn der Einfallswinkel grösser ist als der Grenzwinkel.



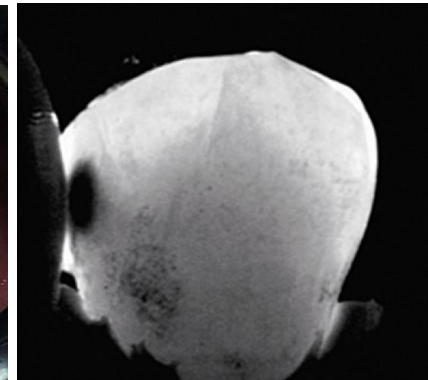
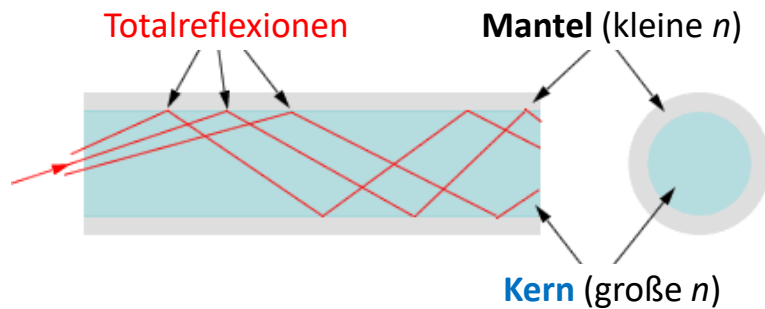
optisches Kabel, Endoskop

# Optisches Kabel, DIFOTI

## Digital Imaging Fiber-Optic Trans-Illumination (DIFOTI)

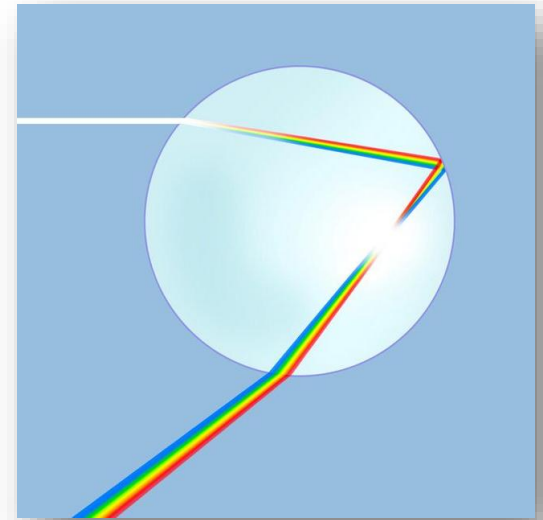
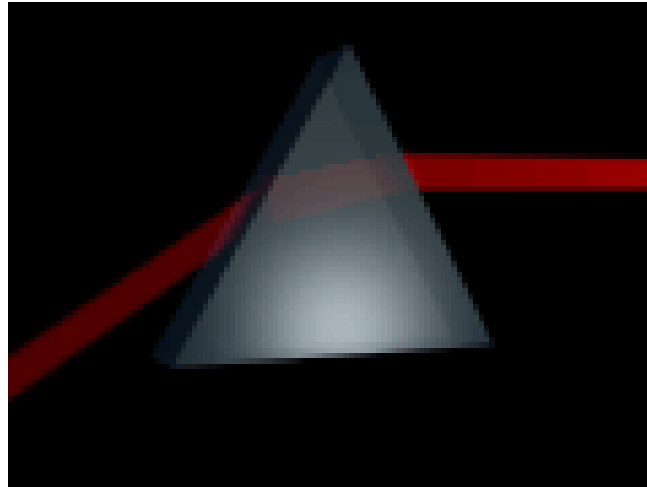


## Optisches Kabel



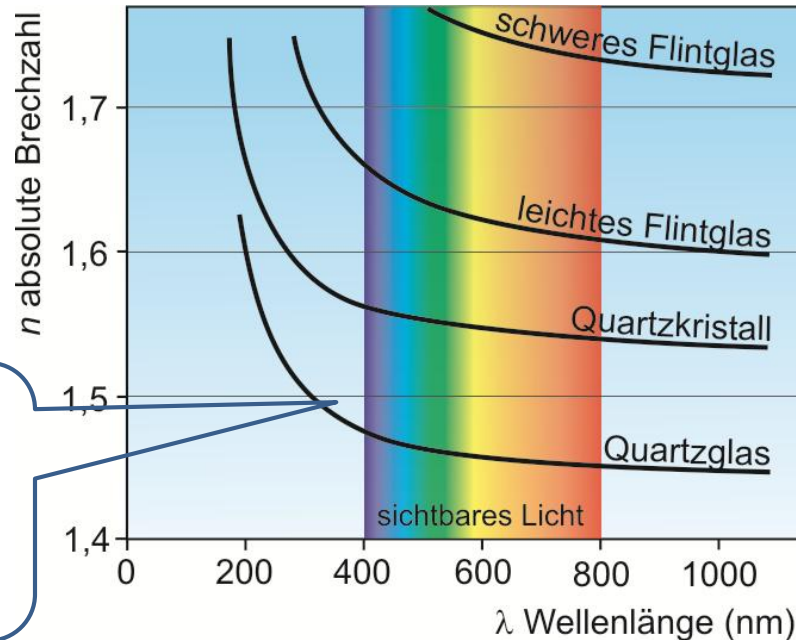
# Dispersion

**Dispersion:**  
Wellenlänge-  
abhängigkeit der  
Brechzahl

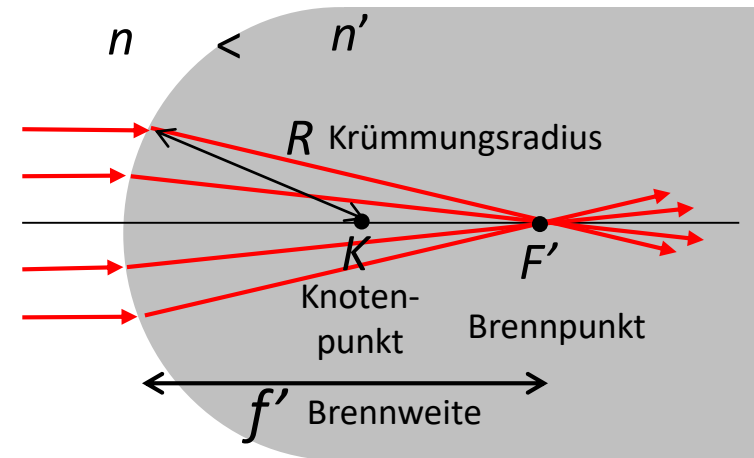
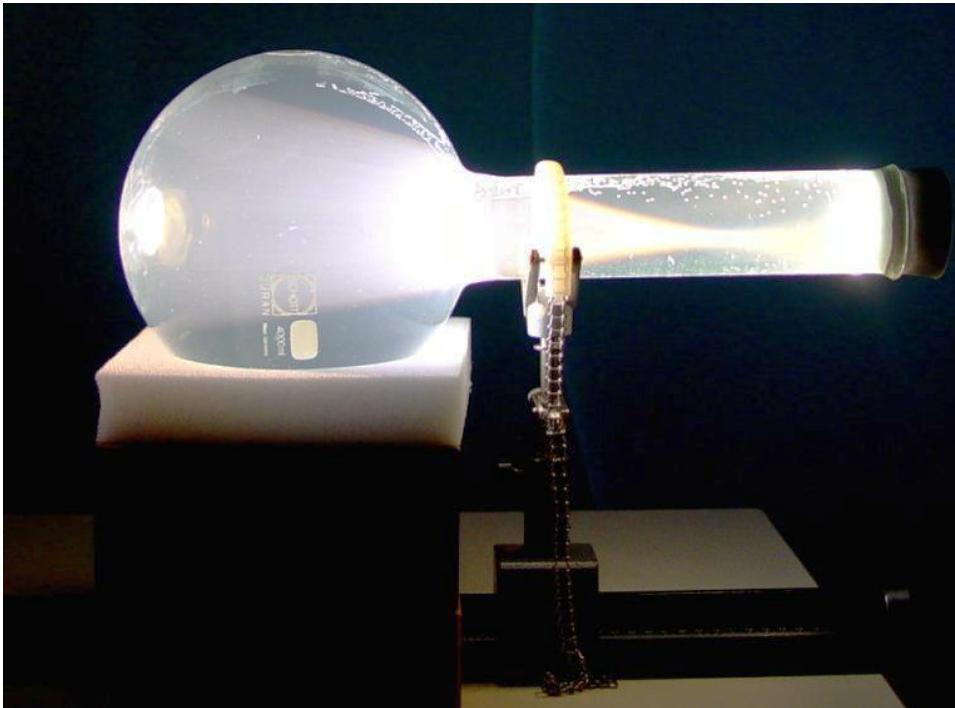


Die Brechzahl ist  
eine Funktion der  
Wellenlänge:  
 $n = n(\lambda)$

**Normale Dispersion:**  
wenn  $n$  mit  
zunehmender  
Wellenlänge  
abnimmt.



# Brechung an einer sphärischen Grenzfläche



Weil  $n' > n$ :

- Brechkraft: positiv
- Brennweite: positiv (Fokussierung)

**Brechkraft ( $D$ ):**

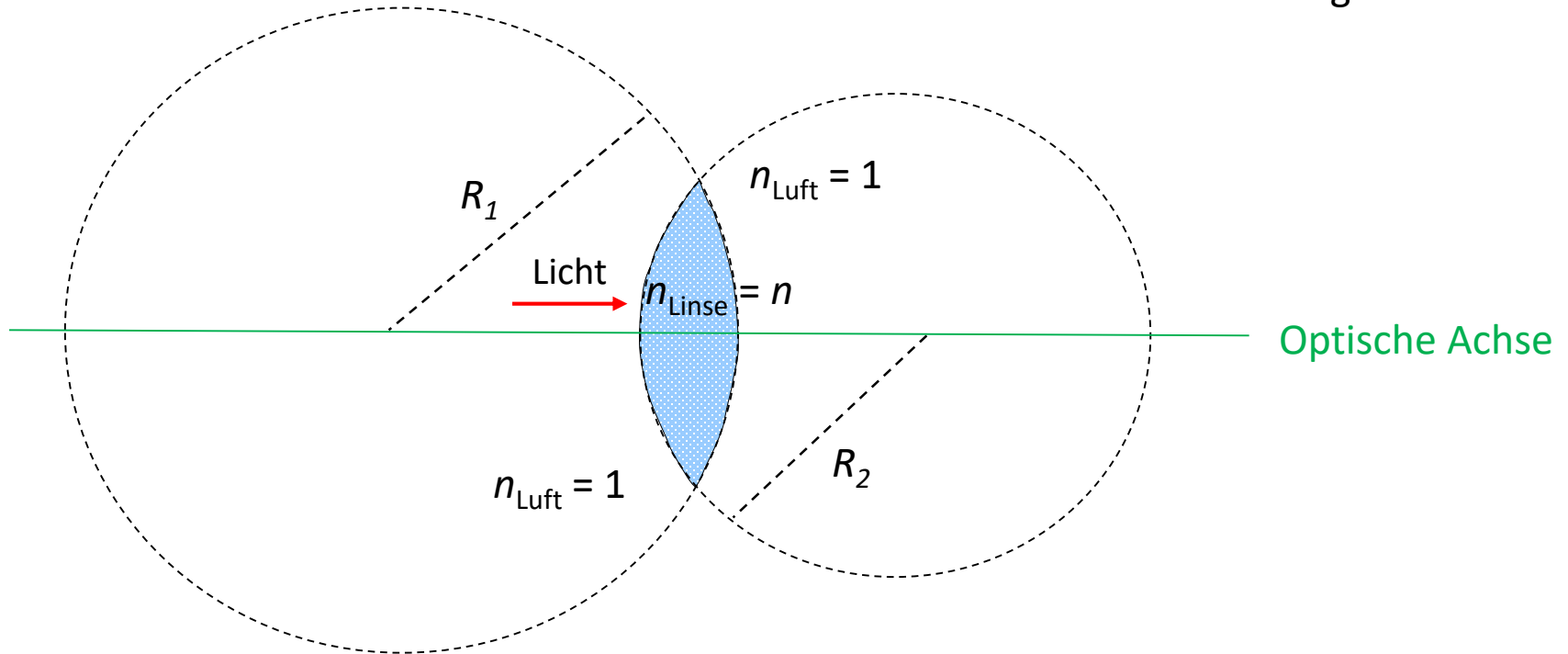
$$D = \frac{n'}{f'} = \frac{n}{f} = \frac{n' - n}{R} \quad \left( \frac{1}{\text{m}} = \text{dpt (Dioptrie)} \right)$$

Die Formel gilt genau nur für achsennahe Strahlen!

# Sphärische Linsen

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

**Sphärische bikonvexe Linsen:**

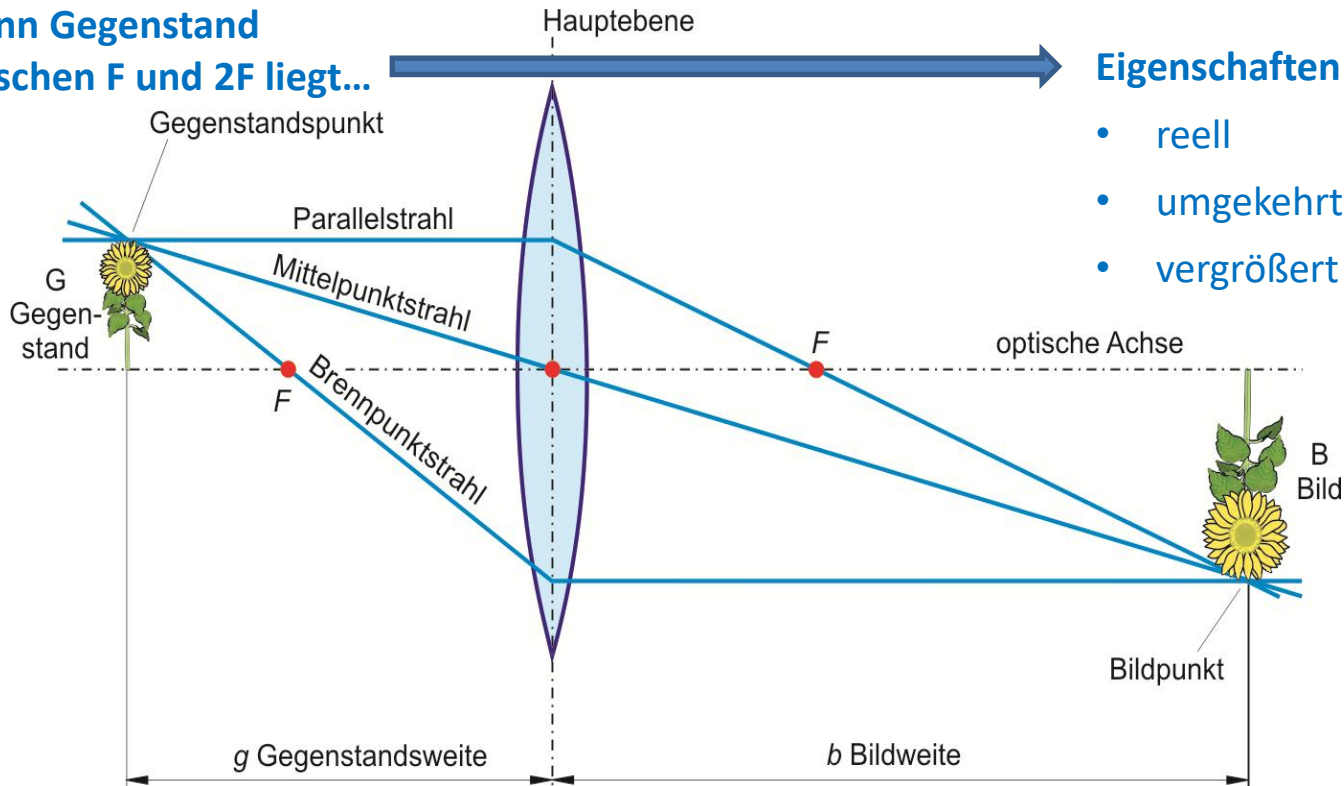


**Linsefleierformel, Brechkraft einer Linse:**

$$\left. \begin{aligned} D_{\text{gesamt}} &= D_1 + D_2 + D_3 + \dots \\ D &= \frac{n_2}{f_2} \left( = \frac{n_1}{f_1} \right) = \frac{n_2 - n_1}{R} \end{aligned} \right\} \longrightarrow D = \frac{1}{f} = (n_{21} - 1) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

# Abbildung durch eine Linse

Wenn Gegenstand  
zwischen  $F$  und  $2F$  liegt...



Eigenschaften des Bildes:

- reell
- umgekehrt
- vergrößert

Linsengleichung (Abbildungsgesetz):

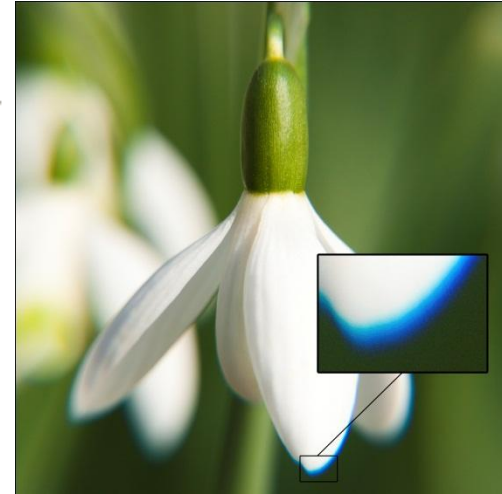
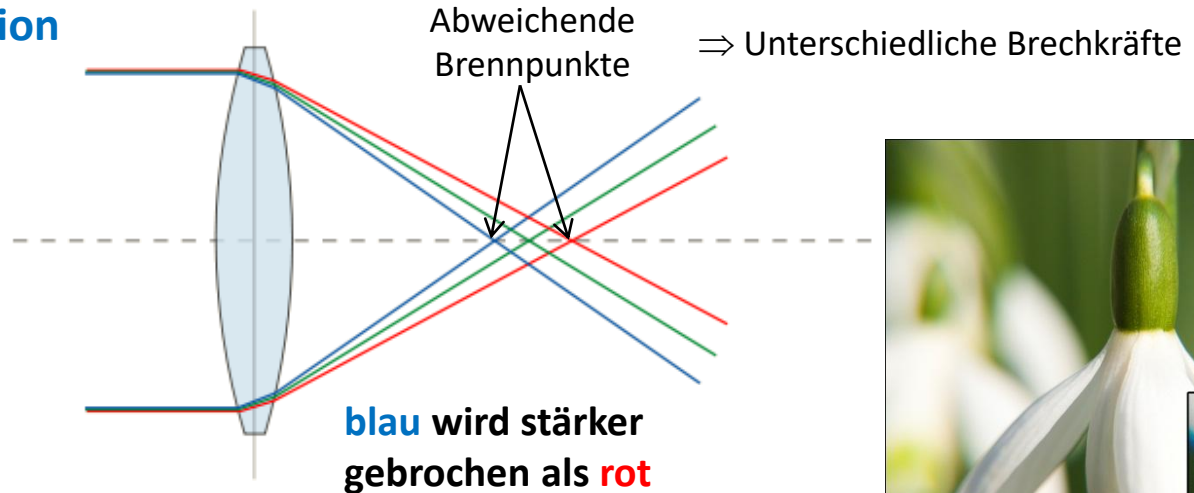
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b} \quad (\text{Bei einem virtuellen Bild ist } b \text{ negativ.})$$

Vergrößerung ( $V$ ):  $V = \frac{B}{G} = \frac{b}{g}$

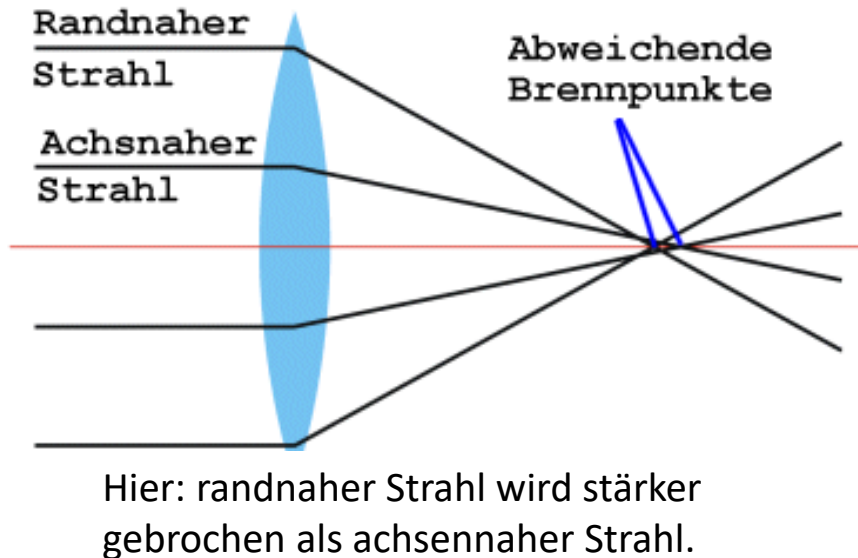
(Bei einem virtuellen Bild ist  $B$  und  $b$  und dadurch auch  $V$  negativ.)

# Linienfehler

## Chromatische Aberration



## Sphärische Aberration



## Verallgemeinerung:

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

# Hausaufgaben

## Aufgabensammlung

2. 10-17, 20, 22, 24

## Feedback