

# Licht in der Zahnmedizin. Geometrische Optik.

**Balázs Kiss**

kissb3@gmail.com



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

*10. September 2024.*

# Eigenschaften des Lichtes

- Geradlinige Ausbreitung → Lichtstrahl



Geometrische Optik

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

- Energietransport



Wechselwirkung:

- biologische Wirkung
- medizinische Wirkung

# Geometrische Optik

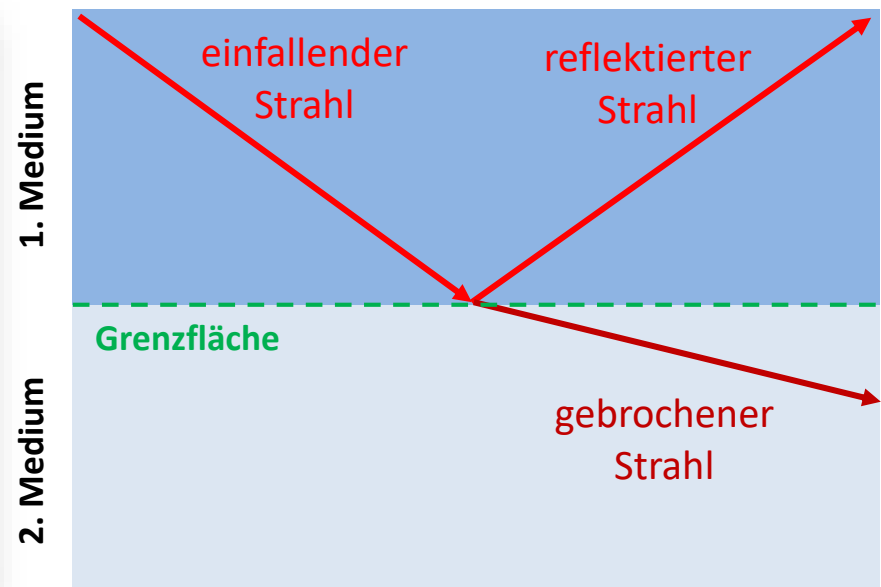
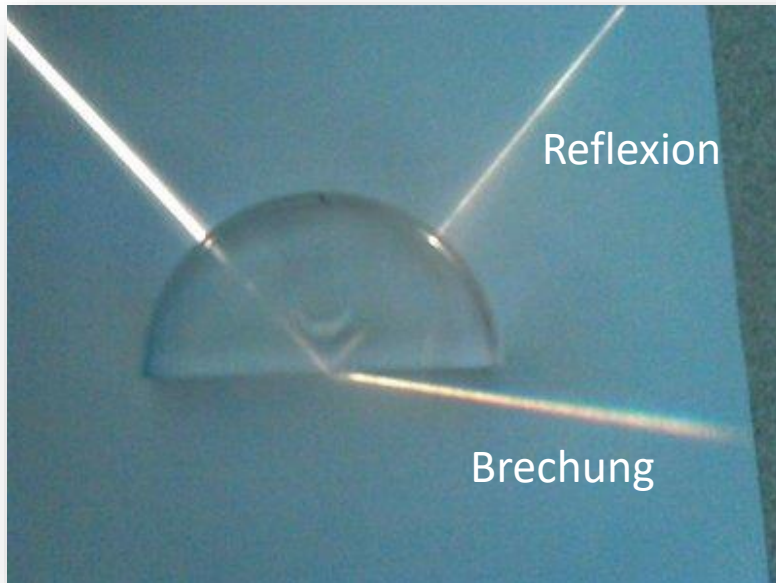
## Lichtstrahl

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

## Grundprinzipien der geometrischen Optik

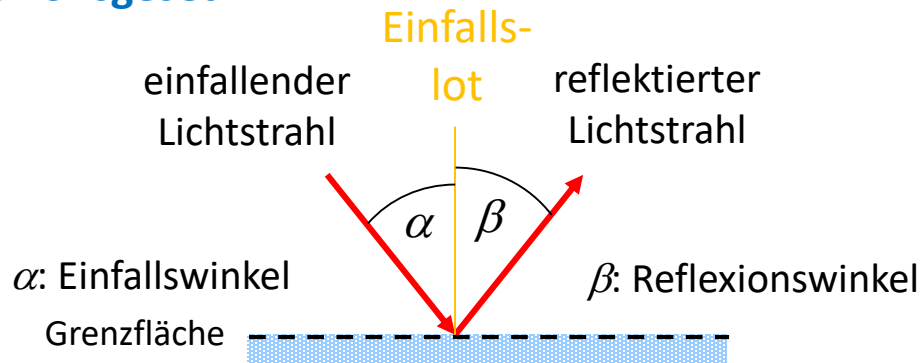
- geradlinige Ausbreitung des Lichtes
- Lichtwege sind umkehrbar
- kreuzende Lichtstrahlen beeinflussen einander nicht

## Erscheinungen an einer Grenzfläche



# Reflexion

## Reflexionsgesetz

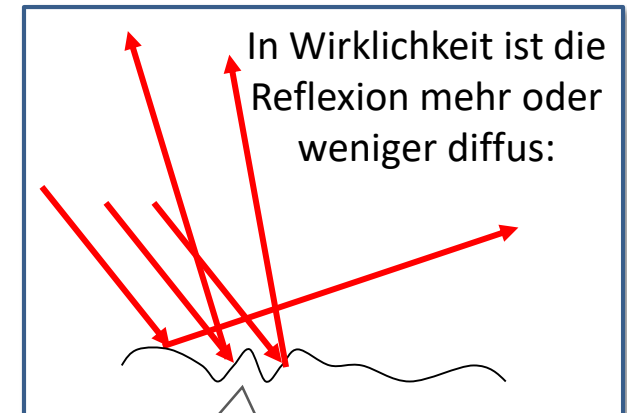


Reflexionsgesetz:  $\alpha = \beta$

- Einfallender strahl,
- Einfallslot und
- Reflektierter Strahl

liegen in einer Ebene.

## Diffuse Reflexion

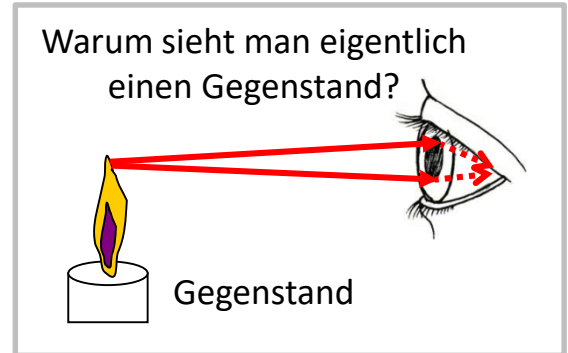


unebene Grenzfläche

- makroskopisch
- mikroskopisch



# Abbildung durch Reflexion



## Bildpunkt:

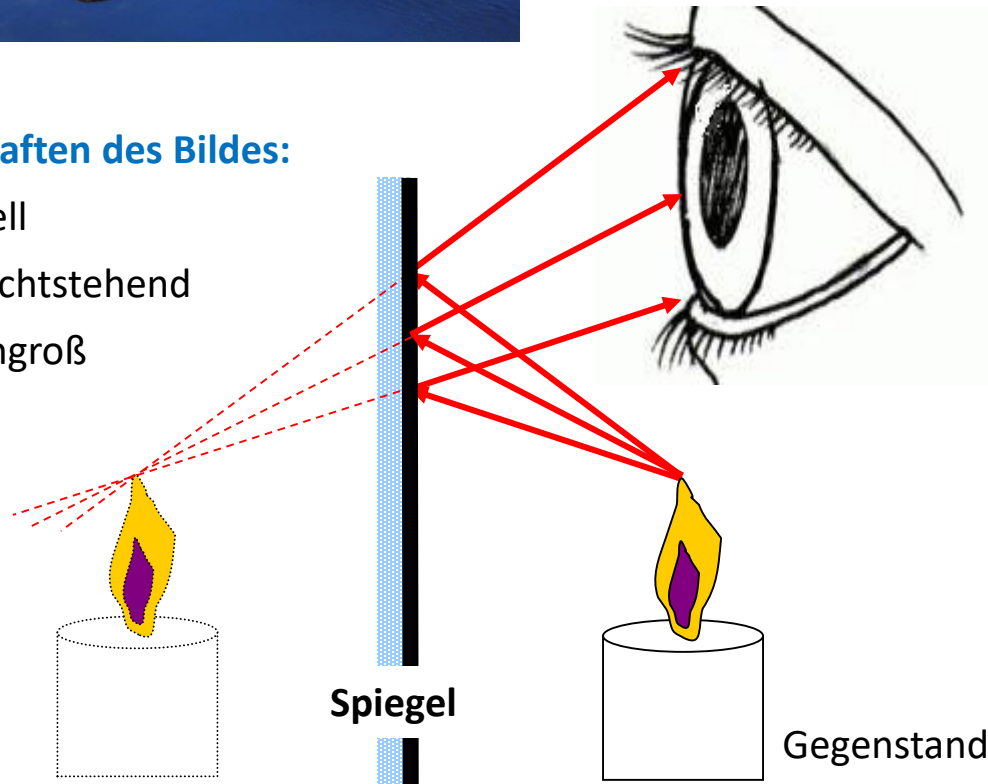
wo die aus dem Gegenstandspunkt ausgehenden Lichtstrahlen (oder ihre Verlängerungen) einander kreuzen.

## Virtuelles Bild:

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

## Eigenschaften des Bildes:

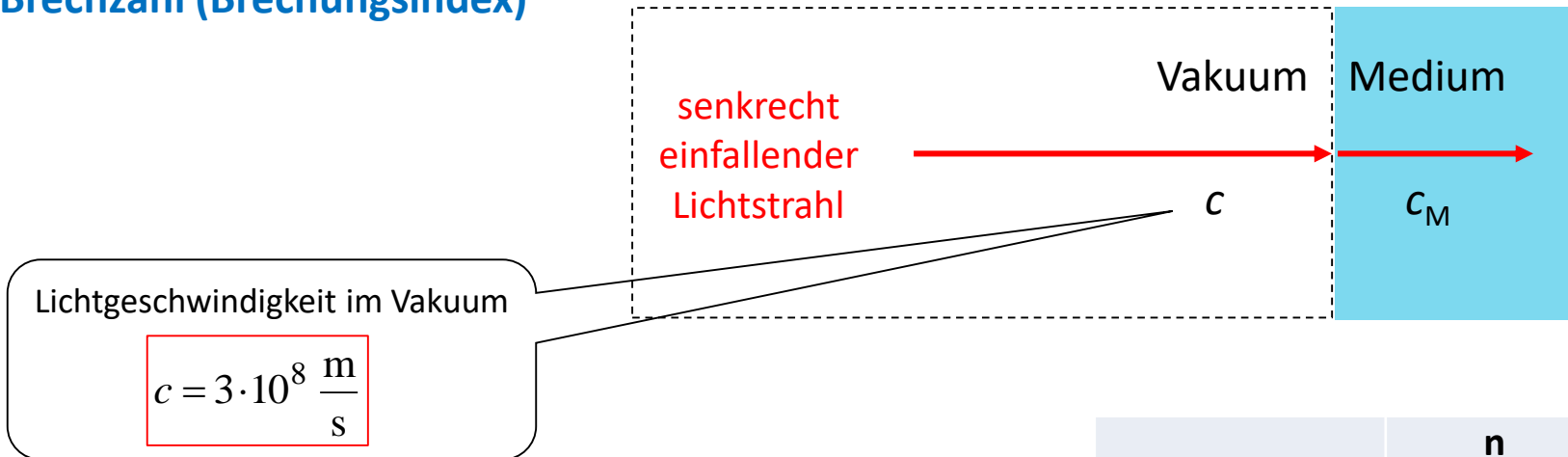
- virtuell
- aufrechtstehend
- gleichgroß





# Brechung

## Brechzahl (Brechungsindex)



### 1) absolute Brechzahl ( $n$ ):

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

$c$ : Lichtgeschwindigkeit im Vakuum

$c_M$ : Lichtgeschwindigkeit in der Materie oder Medium)

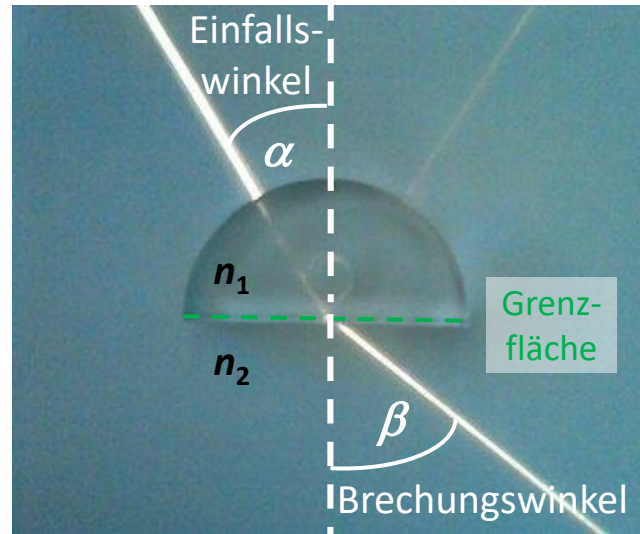
(Ist  $n_1 > n_2$ , so heißt Medium 1 **optisch dichter**, als Medium 2)

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

# Brechungsgesetz

## Fermatsches Prinzip:

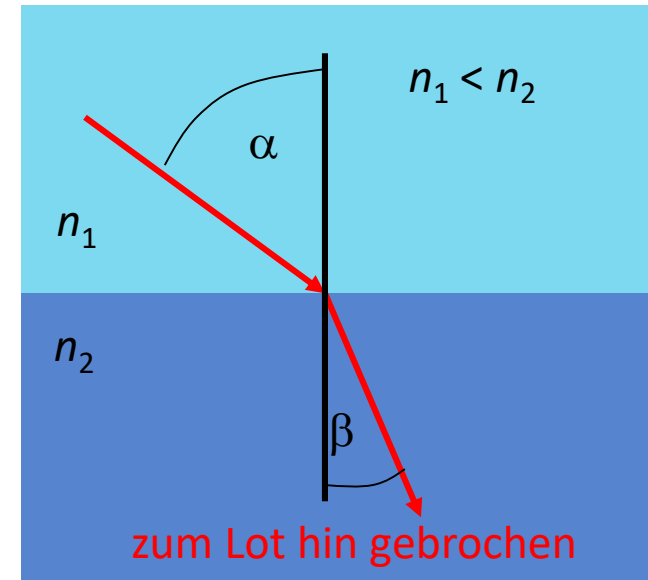
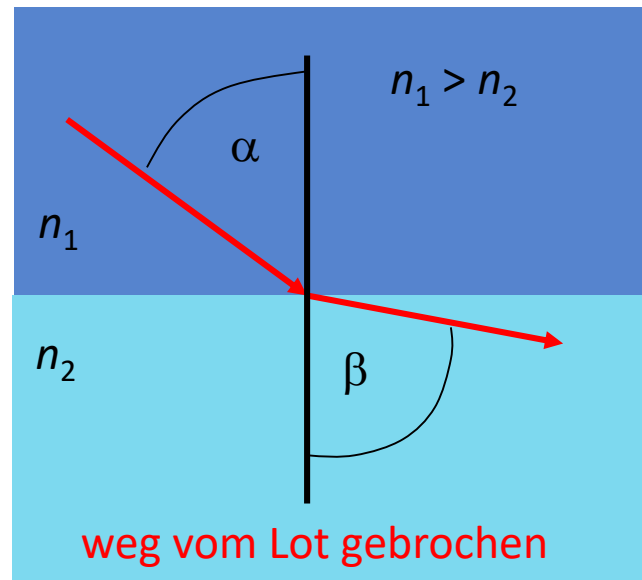
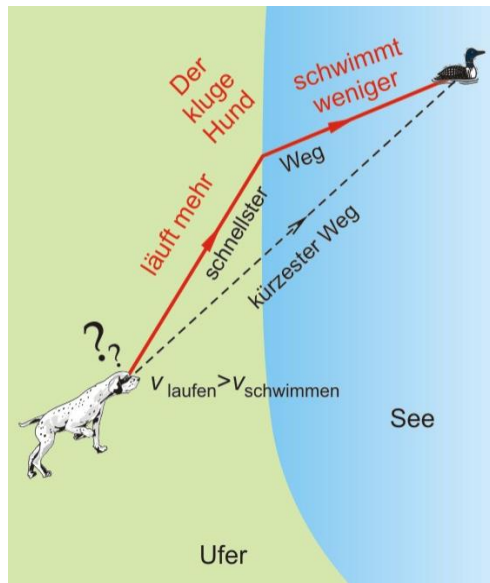
Das Licht wählt zw. zwei Punkten den schnellsten und nicht den geometrisch kürzesten Weg.



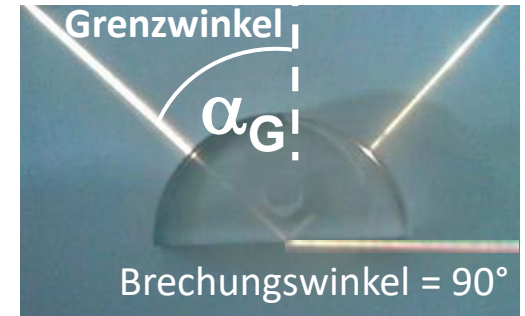
## Snellius-Descartes-Gesetz:

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

2) relative Brechzahl



# Grenzwinkel, Totalreflexion

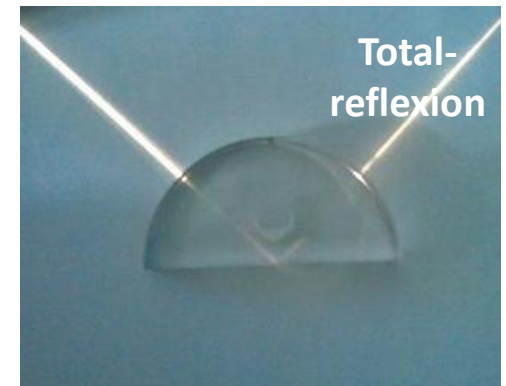
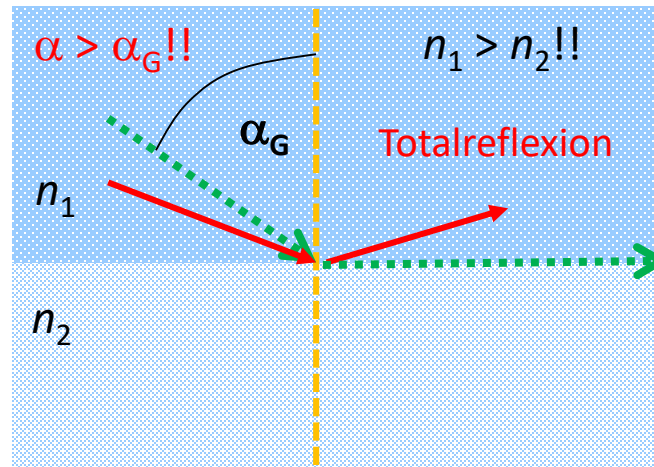


**Grenzwinkel:** Einfallswinkel des aus dem optisch dichteren Medium kommenden Lichtstrahles wozu ein Brechungswinkel von  $90^\circ$  gehört.



s. Praktikum  
„Refraktometer“

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

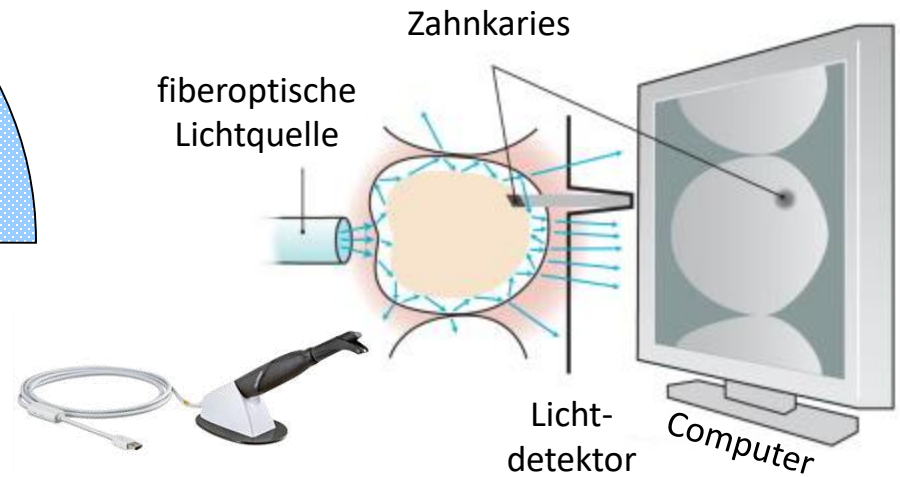
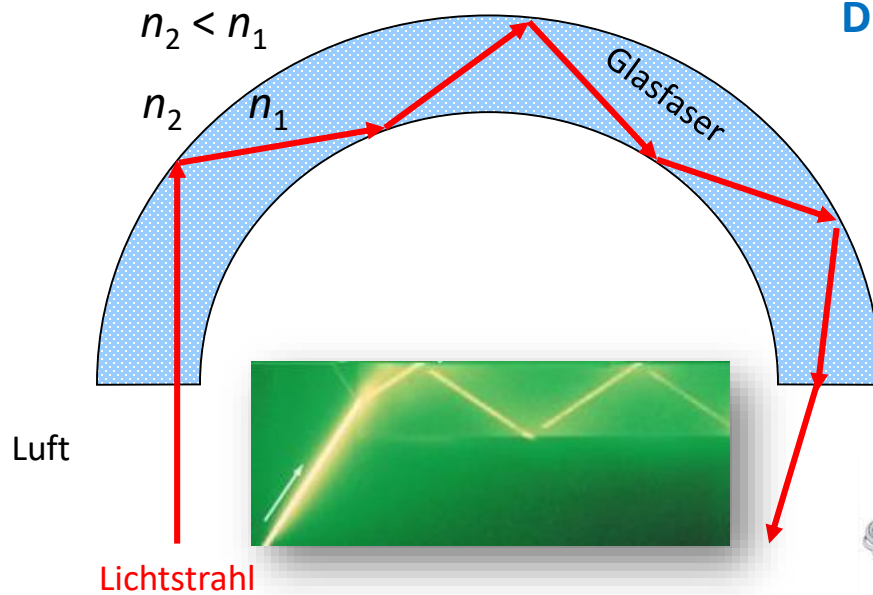


optisches Kabel, Endoskop

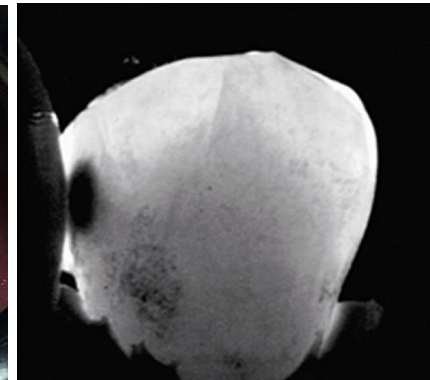
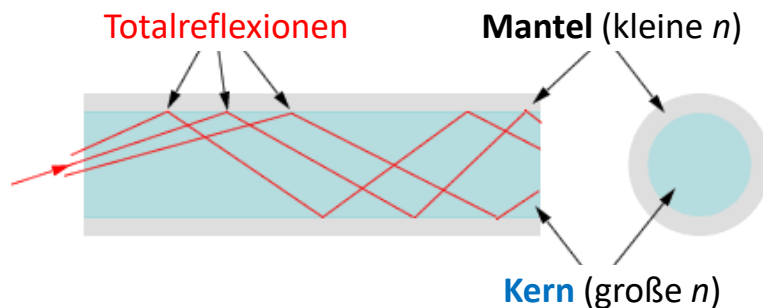


# Optisches Kabel, DIFOTI

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

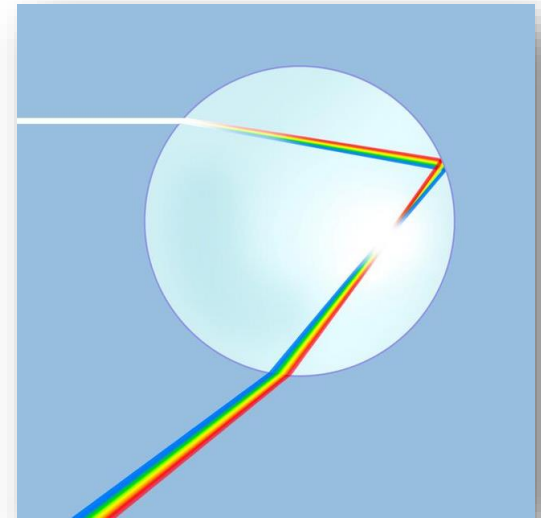
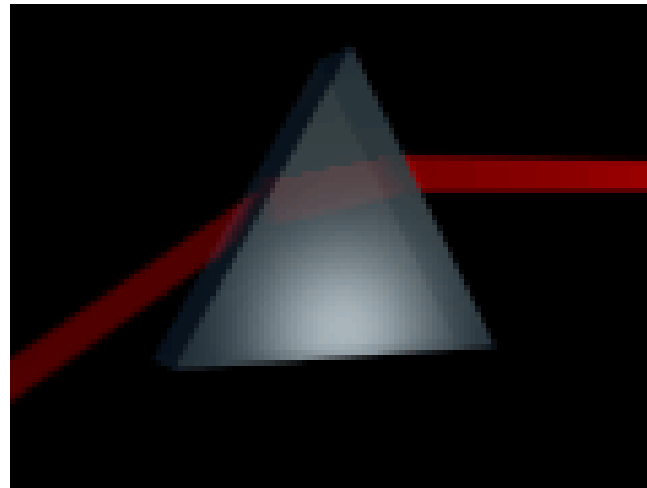


## Optisches Kabel



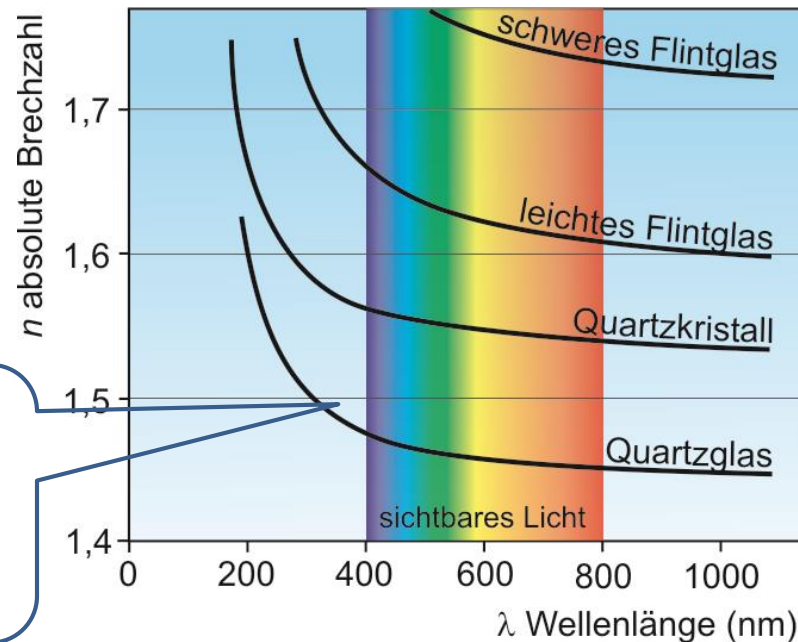
# Dispersion

**Dispersion:**  
Wellenlänge-  
abhängigkeit der  
Brechzahl

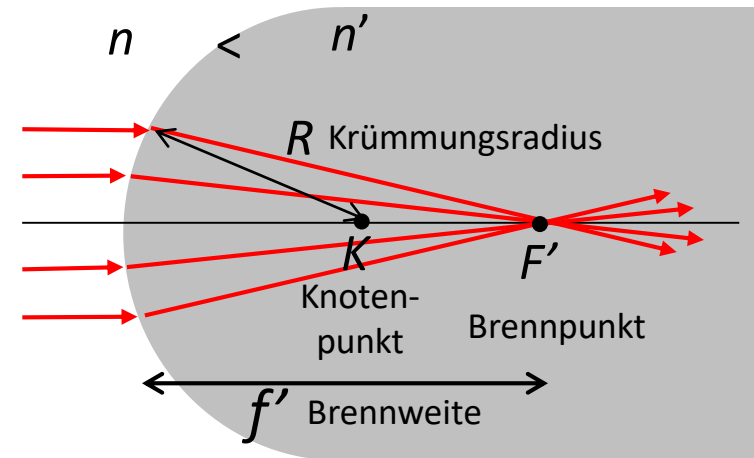
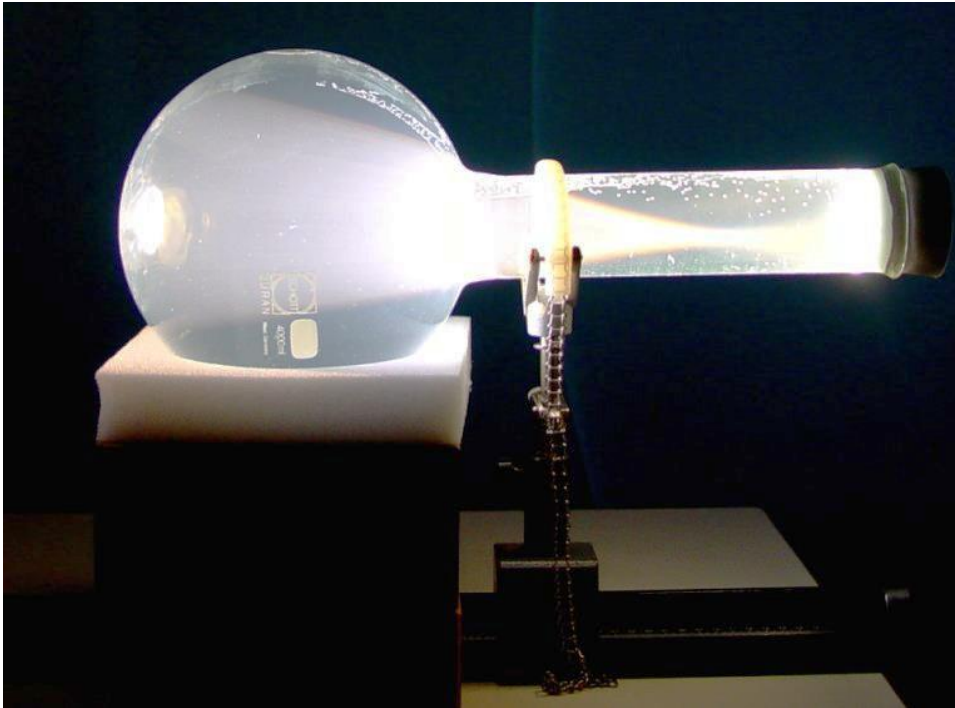


Die Brechzahl ist  
eine Funktion der  
Wellenlänge:  
 $n = n(\lambda)$

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



# Brechung an einer sphärischen Grenzfläche



positive Brechkraft und  
positive Brennweite  
(Fokussierung)

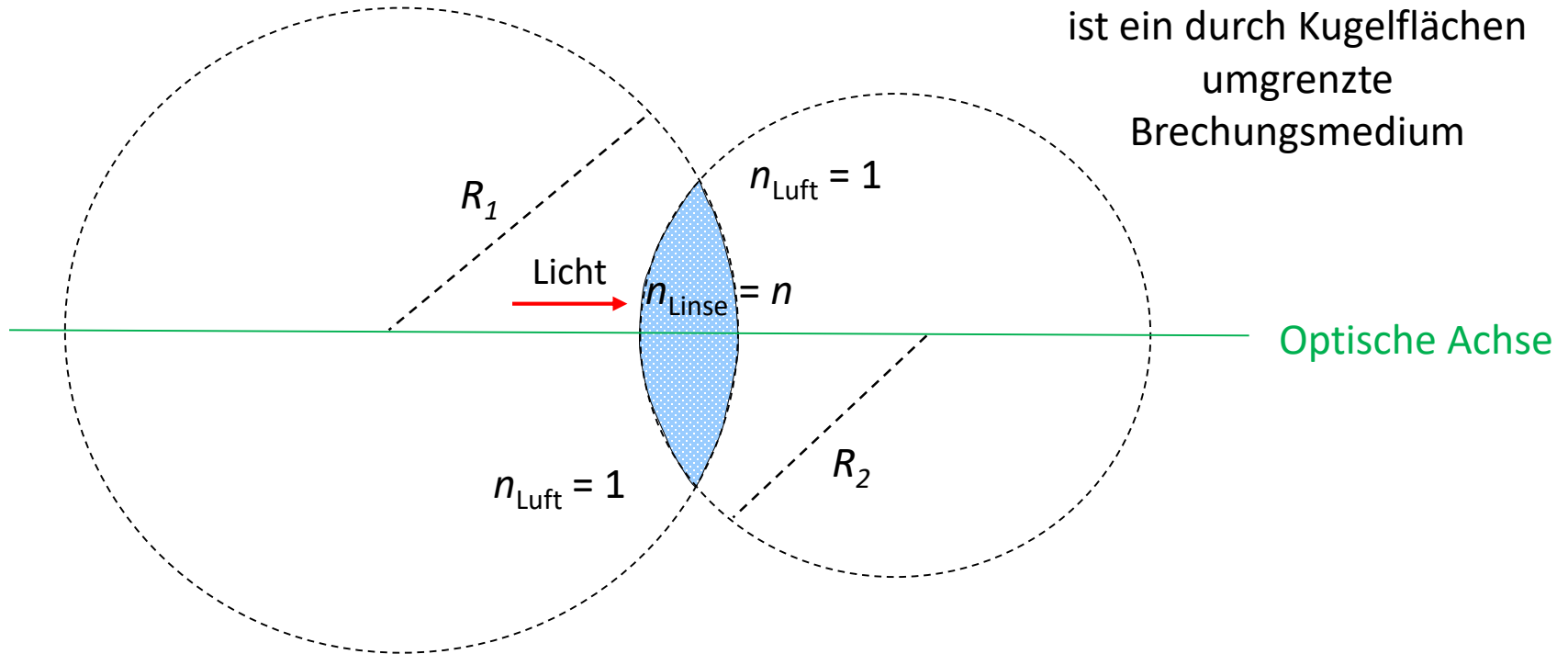
**Brechkraft ( $D$ ):**

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

Die Formel gilt genau nur für achsennahe Strahlen!

# Linsen

## Sphärische bikonvexe Linsen:



## Sphärische Linse

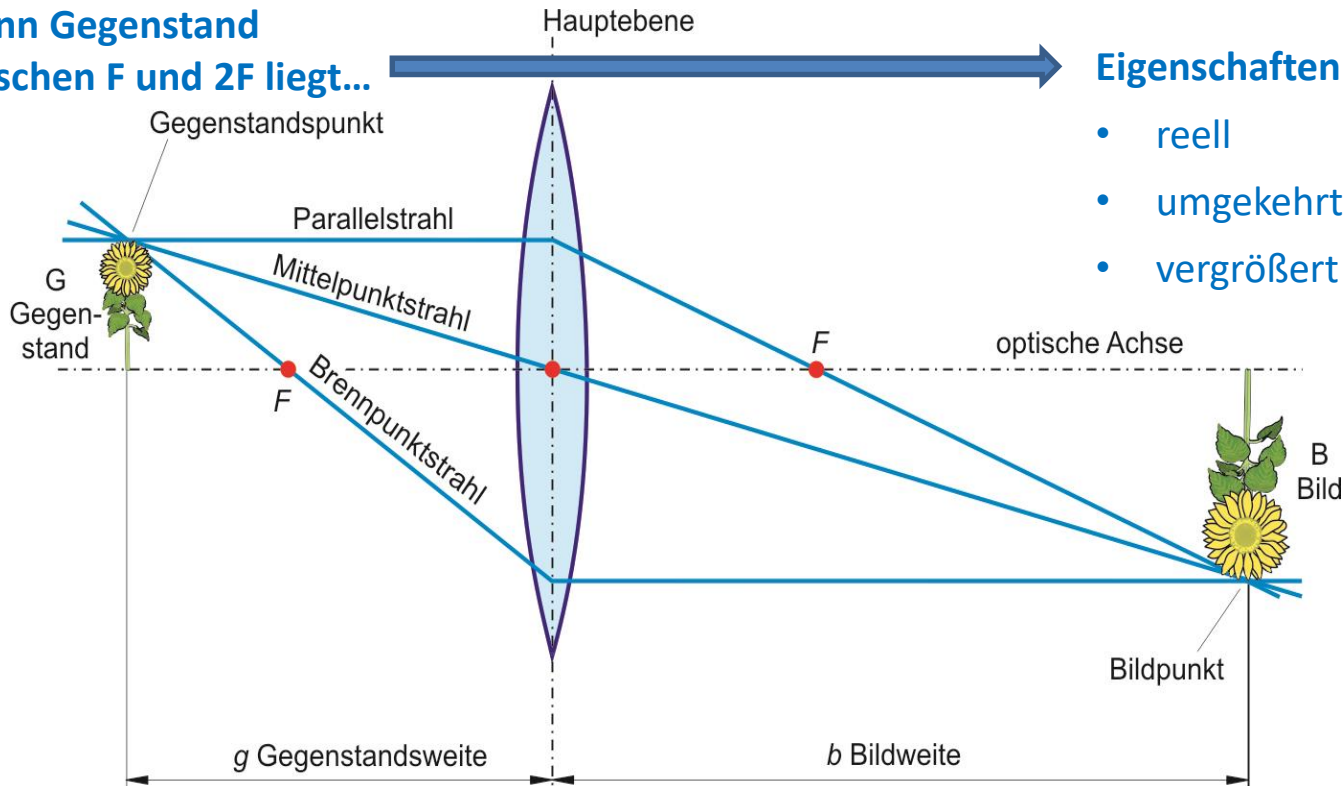
ist ein durch Kugelflächen  
umgrenzte  
Brechungsmedium

## Linsenschleiferformel, 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...



Linsengleichung (Abbildungsgesetz):

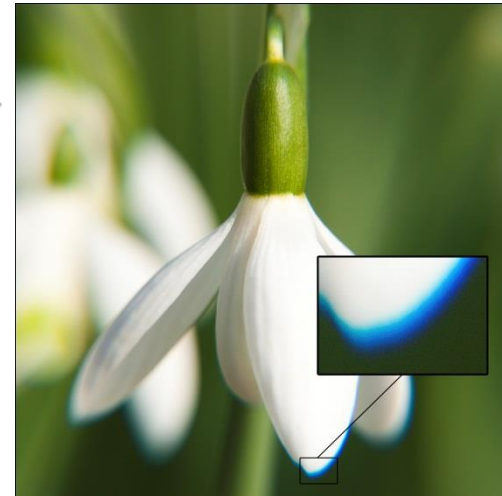
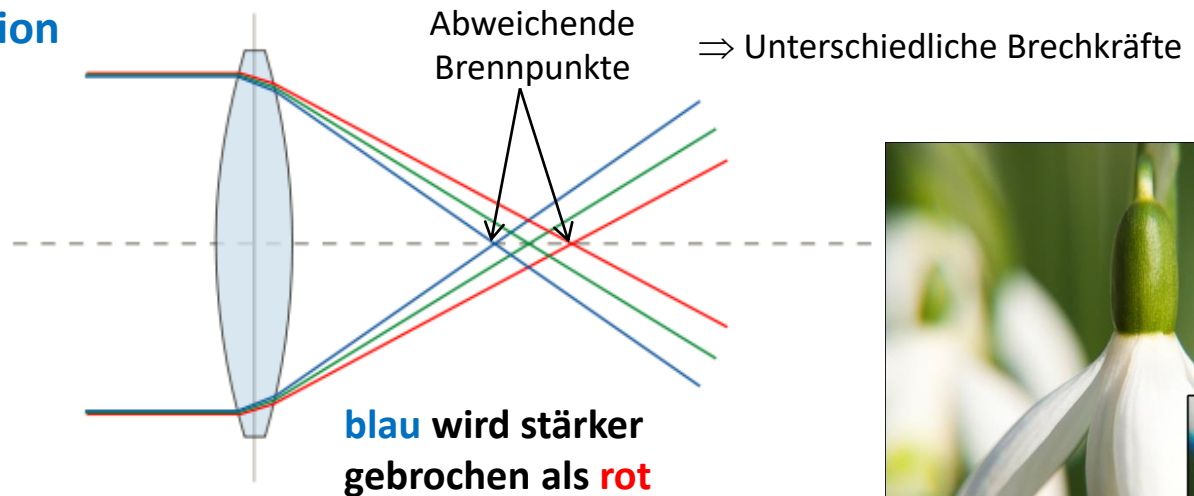
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b} \quad (\text{Bei einem virtuellen Bild ist } b \text{ negativ.})$$

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

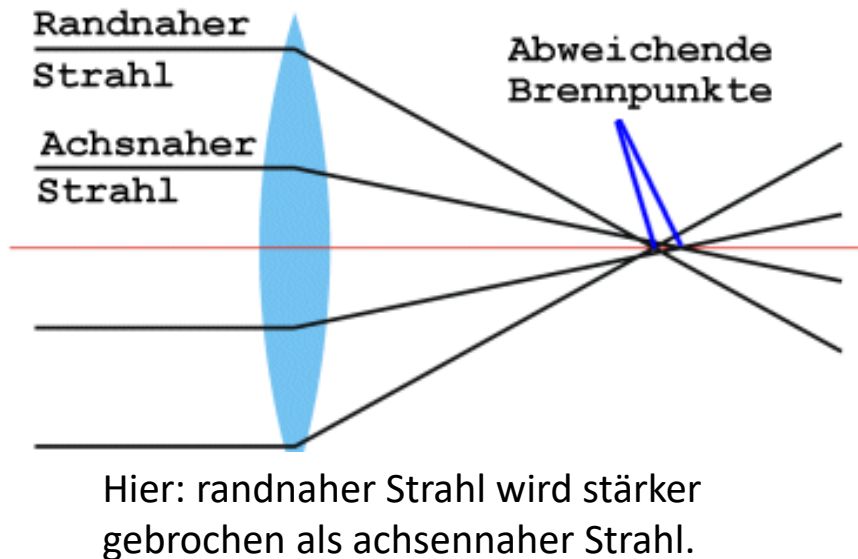


# Linsefehler

## 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