

## Strahlungen

1. Gemeinsame Eigenschaften
2. Elektromagnetische Strahlungen
3. Teilchenstrahlungen

## Licht in der Medizin. Medizinische Optik

### I. Geometrische Optik

#### 1. Reflexion (im Rahmen der geometrischen Optik)

- a) Reflexionsgesetz
- b) Abbildung durch Reflexion

#### 2. Brechung

- a) Brechzahl (Brechungsindex)
- b) Brechung, Brechungsgesetz
- c) Grenzwinkel
- d) Totalreflexion
- e) Dispersion

#### 3. Brechung an einer sphärischen Grenzfläche

- a) Brechkraft ( $D$ )
- b) Optische Abbildung durch eine sphärische Grenzfläche, Abbildungsgesetz

#### 4. Linsen

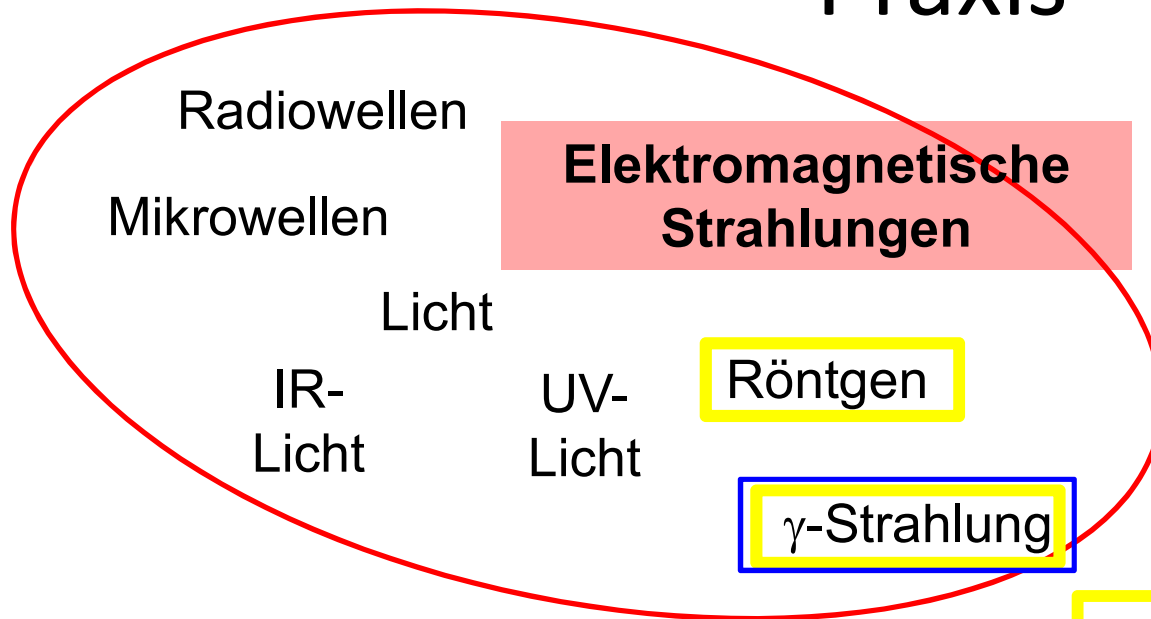
- a) Brechkraft einer Linse, Linsenschleiferformel
- b) Abbildung durch eine Linse, Linsengleichung

# Strahlungen in der medizinischen Praxis

Andere Klassifizierungen:

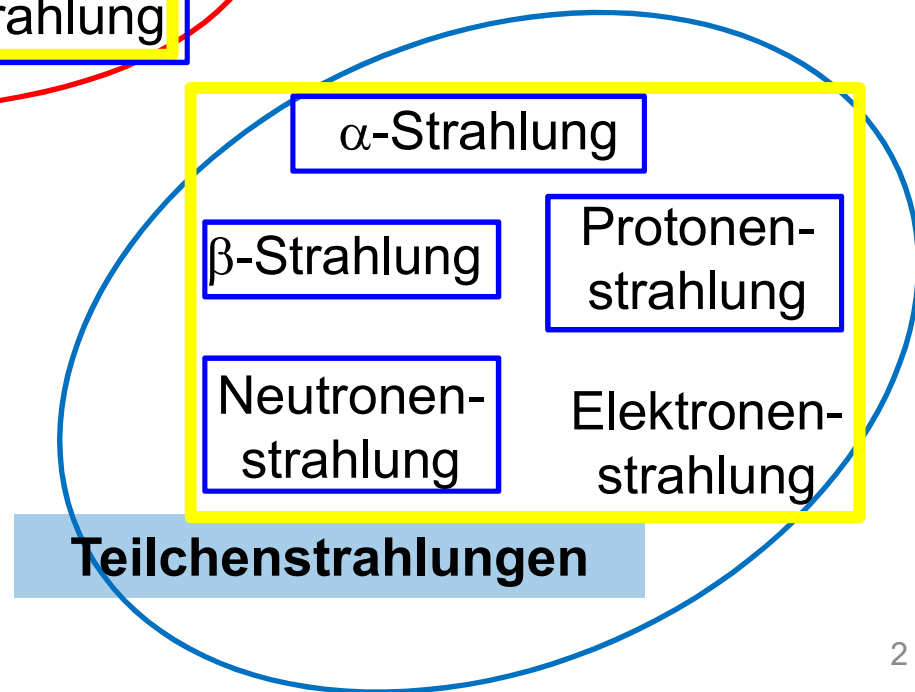
nach Wirkung nichtionisierend  
ionisierend

nach Entstehungsort — z.B. Kernstrahlung



**Mechanische Strahlungen**

Schall  
Ultraschall



## 1. Gemeinsame Eigenschaften

- Strahlung = Energietransport !

Strahlungsintensität ( $J$ )

$$J = \frac{\Delta P}{\Delta A} \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$

$\Delta P$  = die Leistung, die auf  
 $\Delta A$  Fläche senkrecht fällt.

- Doppelcharakter = Wellencharakter & Teilchencharakter

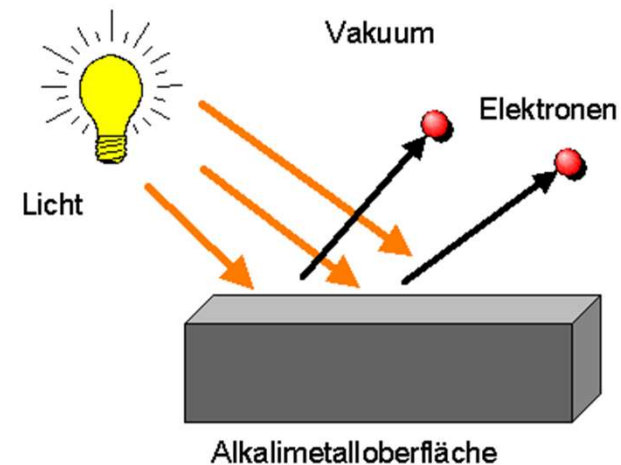
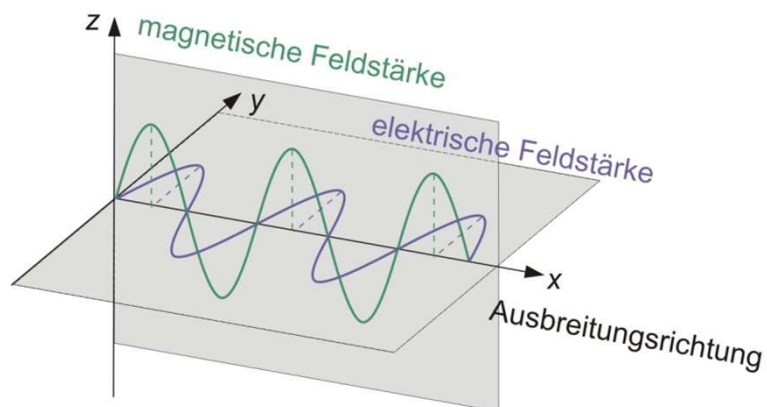
## 2. Elektromagnetische Strahlungen

Elektromagnetische Wellen – Transversalwellen & Teilchen - Photonen

$$c = \lambda \cdot f \quad c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (\text{im Vakuum})$$

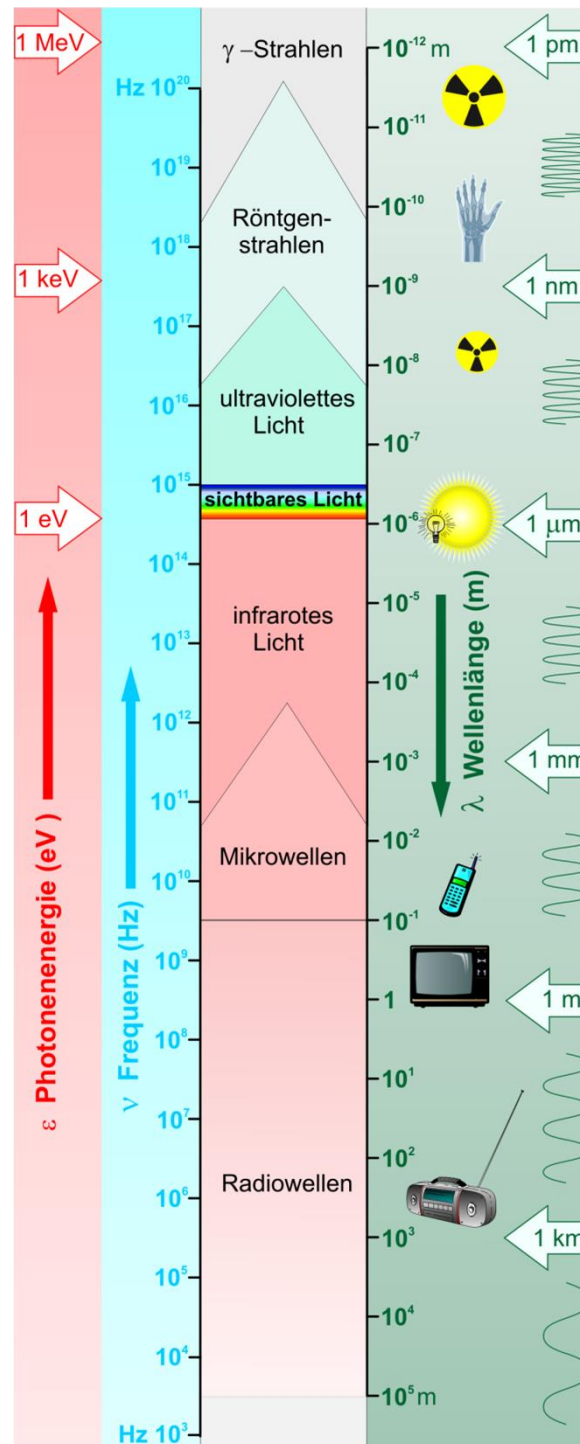
elektromagnetische Welle

$$\varepsilon = h \cdot f$$



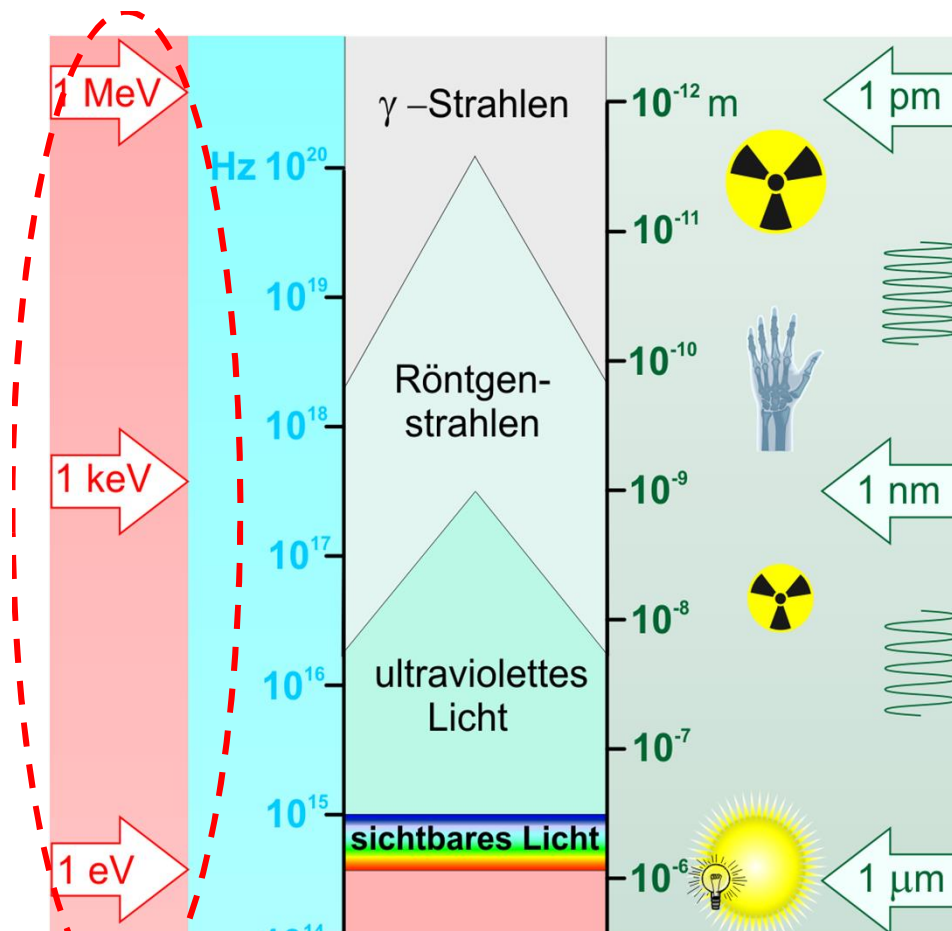
7 Bereiche:

- $\gamma$ -Strahlen
- Röntgenstrahlen
- UV-Licht
- VIS-Licht
- IR-Licht
- Mikrowellen
- Radiowellen



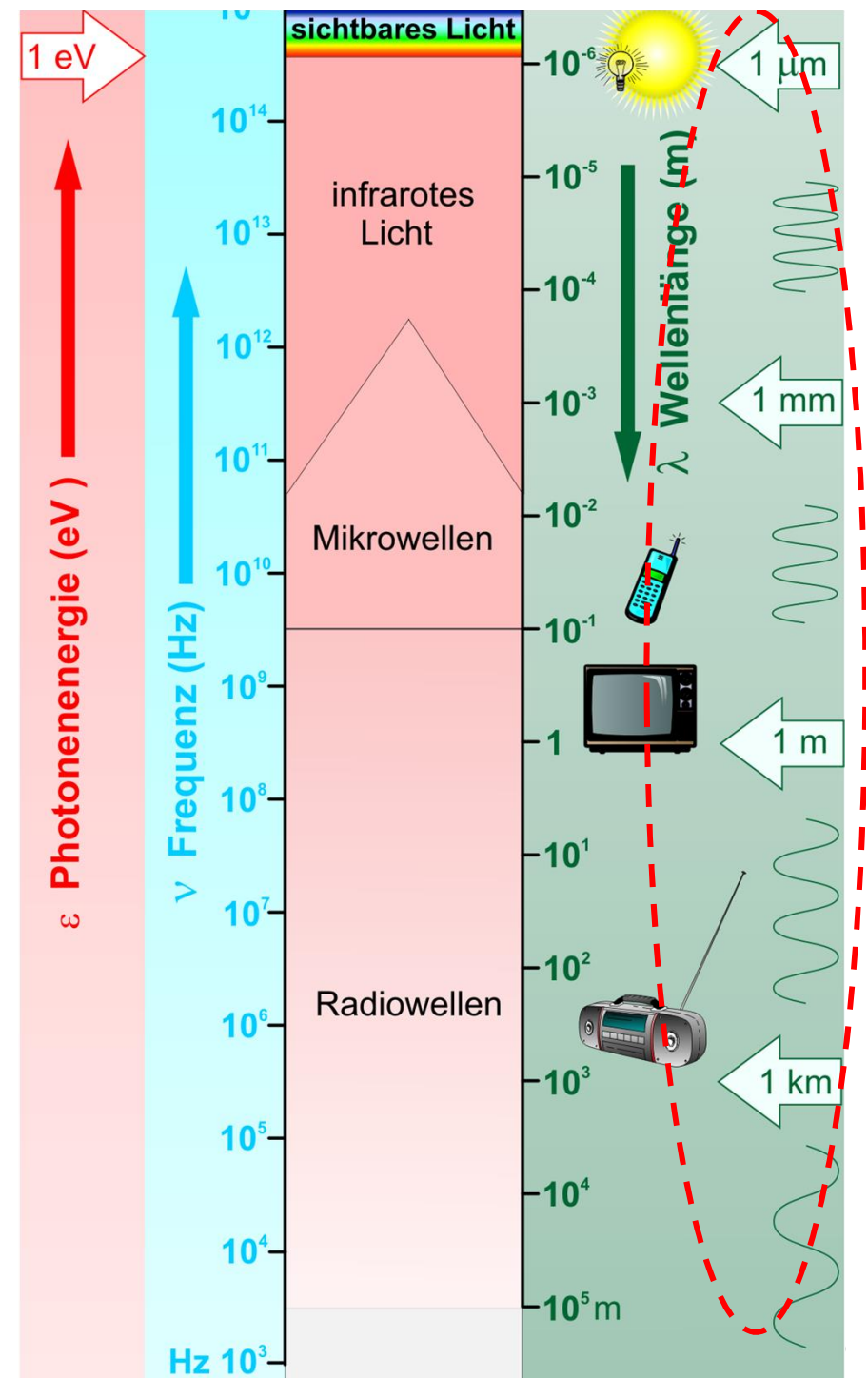
Anwendungsbeispiele:

- Gamma-Messer
- Röntgendiagnostik
- UV-Phototherapie
- Mikroskopie/Sehen
- Infrarotdiagnostik
- MRI



### Einige typische Größenordnungen:

$\gamma$ -Strahlung	MeV
Rtg-Strahlung	einige 10 keV
UV Licht	einige eV
Sichtbares Licht	eV
Sichtbares Licht	400-800 nm
IR	800 nm-1mm
Mikrowellen	cm
Radiowellen	m-km



### 3. Teilchenstrahlungen

- Teilchen ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $e^-$ ,  $e^+$ ,  $p^+$ ,  $n^0$ , ...)

- Materiewellen

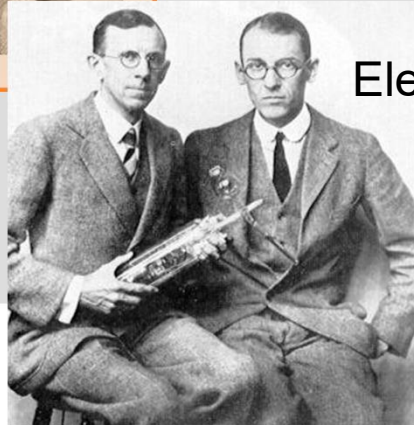


de Broglie (1923): Materiewellen

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v}$$

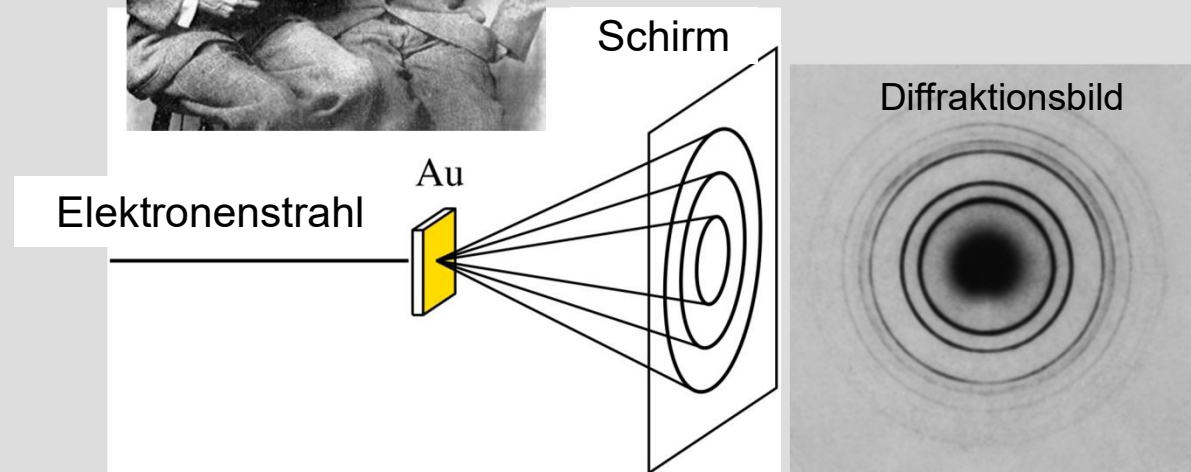
$\lambda$  Wellenlänge der Materialwelle des Körpers mit Masse  $m$  und Geschwindigkeit  $v$ ,  $h$  ist die Plancksche Wirkungskonstante

Davisson & Germer (1927):  
Elektronenbeugungsexperiment



- Anwendungsbeispiele:

- Elektronenmikroskop
- Neutronendiffraktion
- Strahlentherapie





## 4. Mechanische Strahlungen (Schall, Ultraschall, ...)

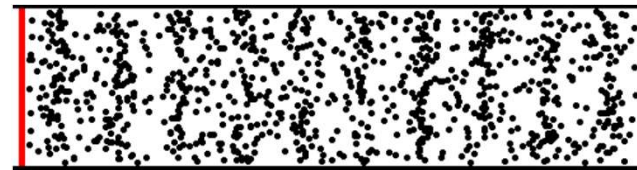
- Mechanische Wellen

$$c = \lambda \cdot f$$

$$c = 330 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (\text{in der Luft})$$

$$c = 1500 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (\text{im Wasser und im Weichteilgewebe})$$

Meistens Longitudinalwellen:



- transversale/longitudinale Wellen

• 3 Bereiche:	Infraschall	–	Hörschall	–	Ultraschall
	< 20 Hz		20 Hz – 20 kHz		20 kHz <

- Anwendungsbeispiele:

- Sonographie
- Ultraschalltherapie
- Hören



# Licht in der Medizin. Medizinische Optik

## **Optik**

behandelt die Eigenschaften elektromagnetischer Strahlung im sichtbaren Bereich.

### **1. Geometrische Optik**

Typische Abmessungen des abbildenden Systems (Blenden, Linsen) sind groß gegen die Wellenlänge des Lichts.

→ Ausbreitung des Lichtes wird mit Hilfe der Lichtstrahlen beschrieben.

### **2. Wellenoptik**

Typische Abmessungen des abbildenden Systems (Blenden, Gittern) sind vergleichbar mit der Wellenlänge des Lichts.

→ Wellencharakter des Lichts führt zu Erscheinungen wie Beugung und Interferenz.

### **3. Quantenoptik**

Teilchencharakter des Lichts ist dominant → Photon

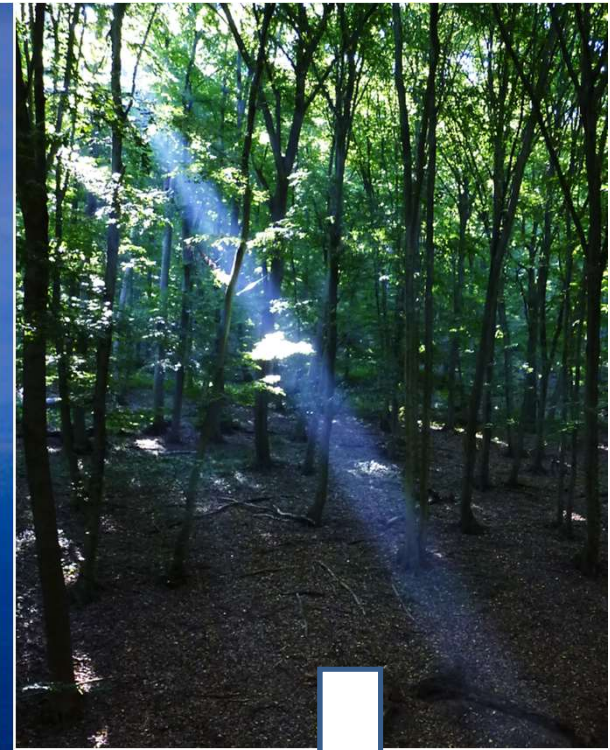


# Eigenschaften des Lichtes

- **Energietransport**



- **Geradlinige Ausbreitung**



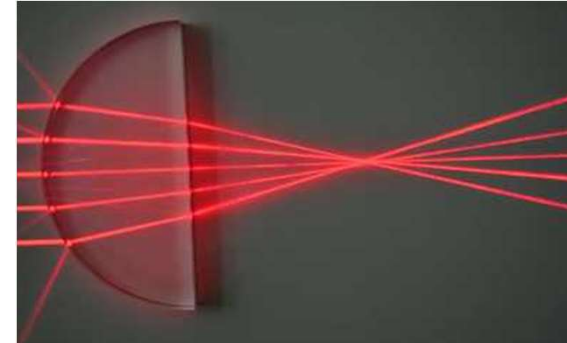
Geometrische Optik

- **Wellennatur**
- **Teilchennatur**

# I. Geometrische Optik

Geradlinige Ausbreitung -> Lichtstrahl

**Lichtstrahl:** Ein Lichtbündel mit einem sehr kleinen Durchmesser.  
Es wird als eine Linie gezeichnet.

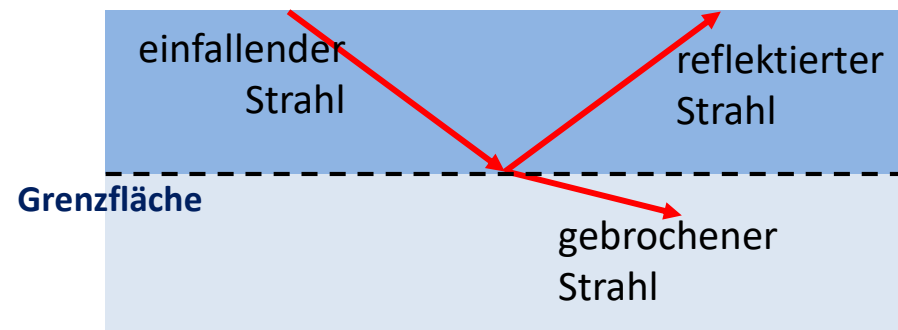


Grundereignisse d. geom. Optik



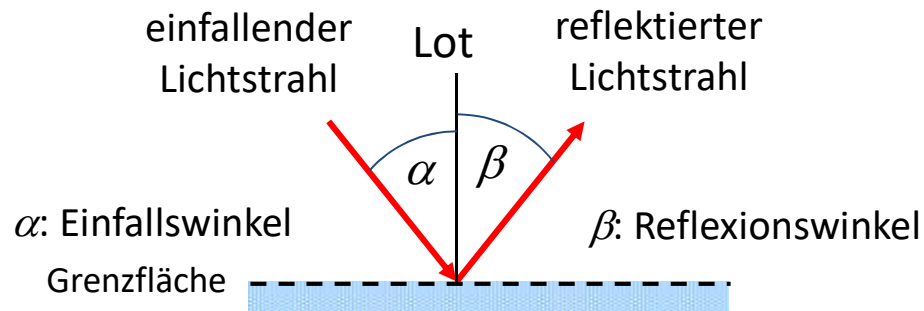
**Grundprinzipien der geometrischen Optik:**

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



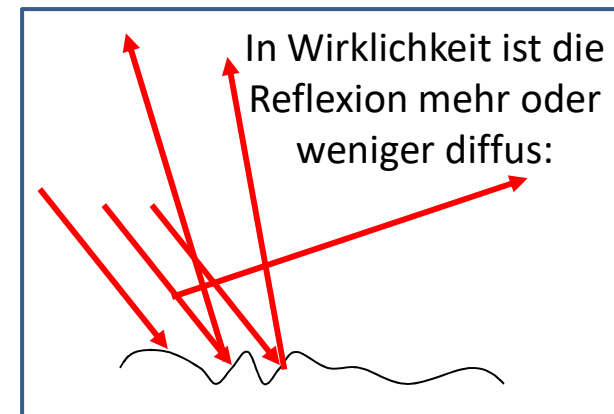
# 1. Reflexion (im Rahmen der geometrischen Optik)

## a) Reflexionsgesetz



Reflexionsgesetz:  $\alpha = \beta$

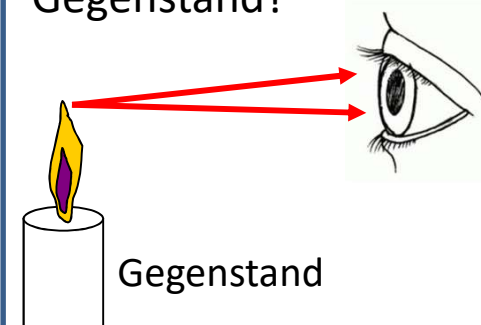
Einfallender strahl,  
Einfallslot und  
Reflektierter Strahl  
liegen in ener Ebene.



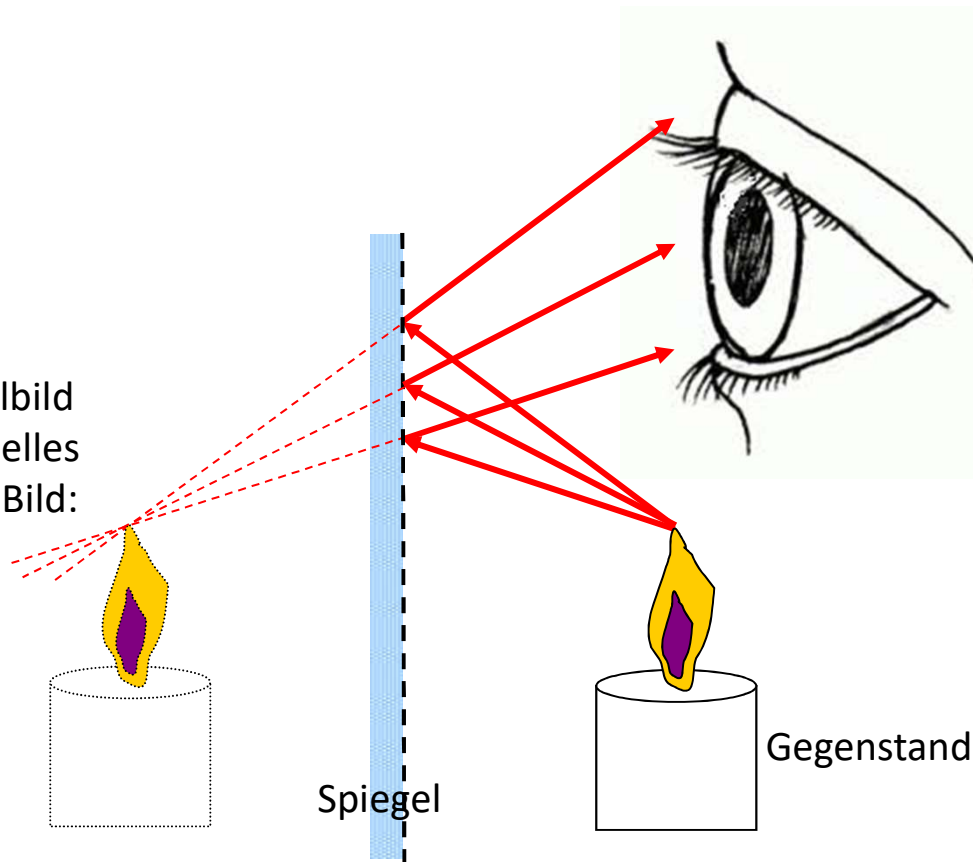
## b) Abbildung durch Reflexion



Warum sieht man einen Gegenstand?



Das Spiegelbild  
Ist ein virtuelles  
aufrechtes Bild:



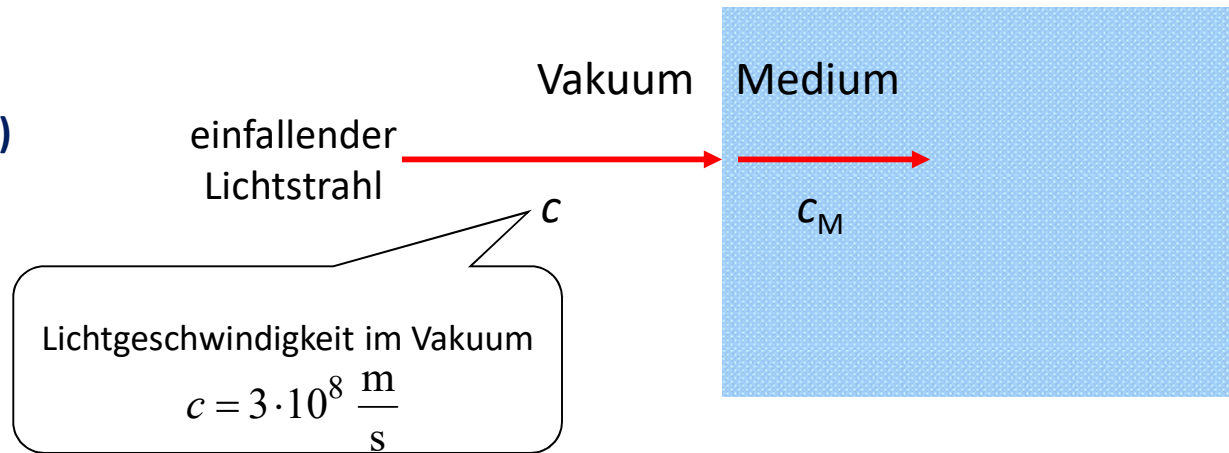
Bildpunkt: wo die aus dem Gegenstandspunkt ausgehende Lichtstrahlen (oder ihre Verlängerungen) vereinigt werden.

Virtuelles Bild: die Lichtstrahlen sind divergent, nur ihre Verlängerungen kreuzen einander in dem Bildpunkt.



## 2. Brechung

### a) Brechzahl (Brechungsindex)



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

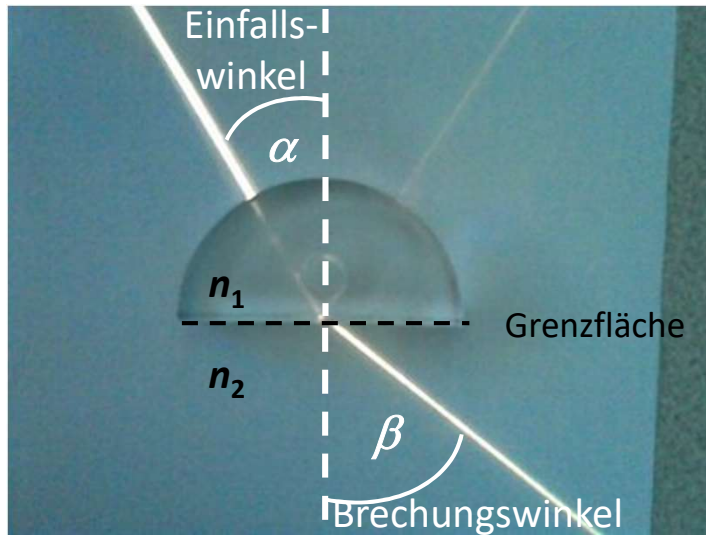
$$n = \frac{c}{c_M} \geq 1$$

$c$ : Lichtgeschwindigkeit im Vakuum

$c_M$ : Lichtgeschwindigkeit in der Matrice

(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



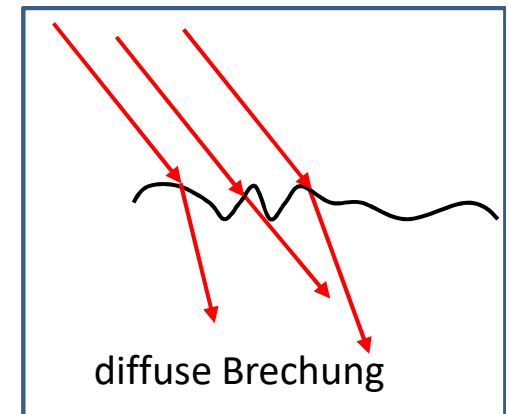
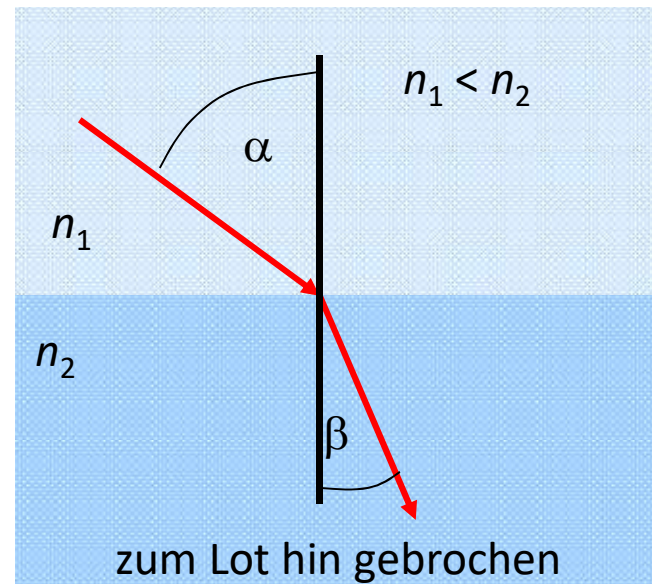
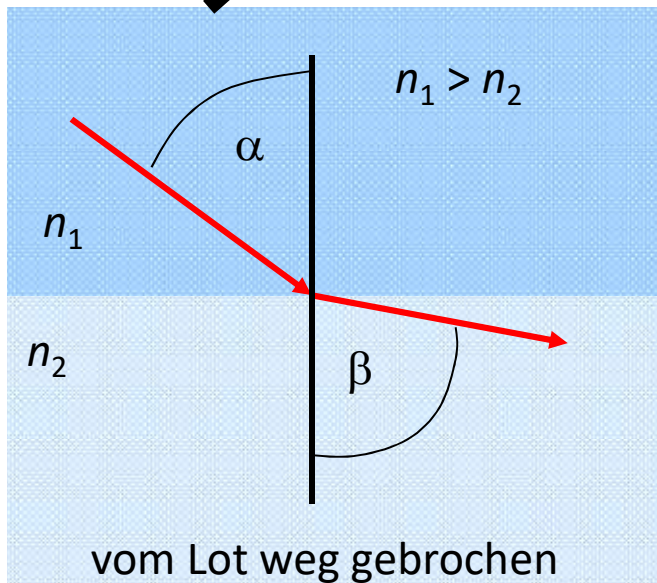
**Brechungsgesetz**  
(Snellius-Descartes-Gesetz):

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

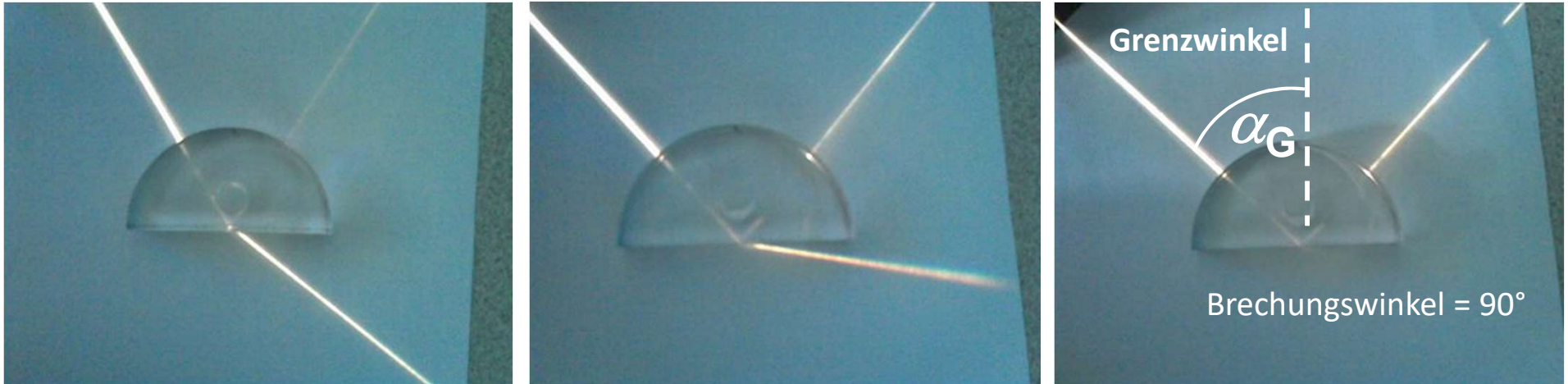
relative Brechzahl



**Fermatsches Prinzip:**  
das Licht wählt zw.  
zwei Punkten den  
schnellsten und nicht  
den geometrisch  
kürzesten Weg.



### c) Grenzwinkel

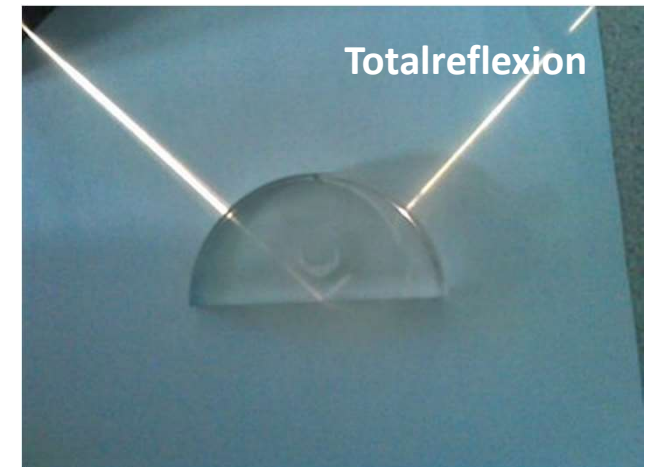
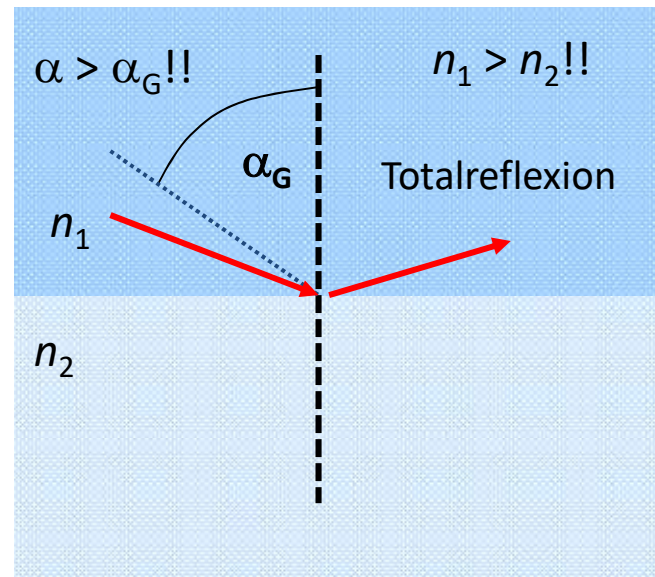


**Grenzwinkel:** Einfallswinkel des aus dem optisch dichteren Medium kommenden Lichtstrahles wozu ein Brechungswinkel von 90° gehört.

→ siehe Refraktometer im Praktikum

### d) Totalreflexion

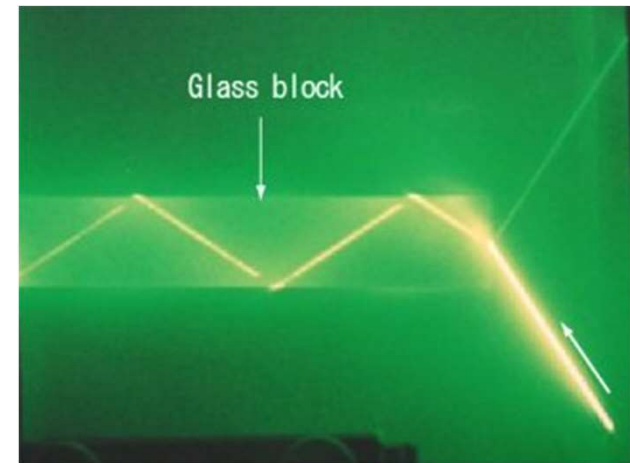
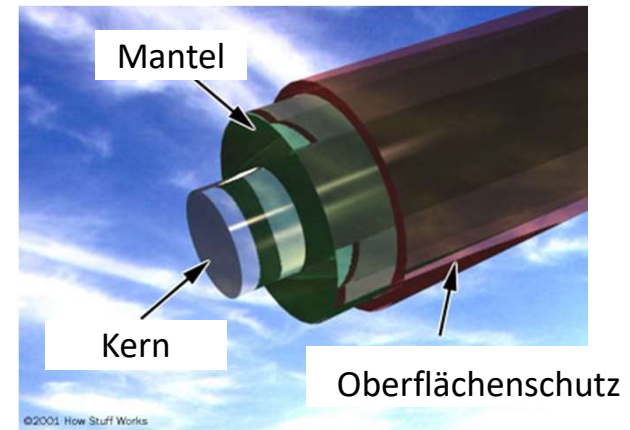
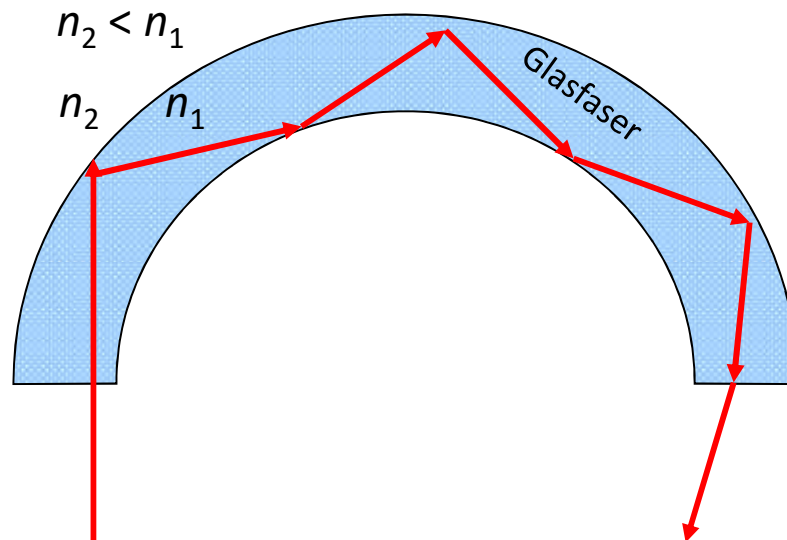
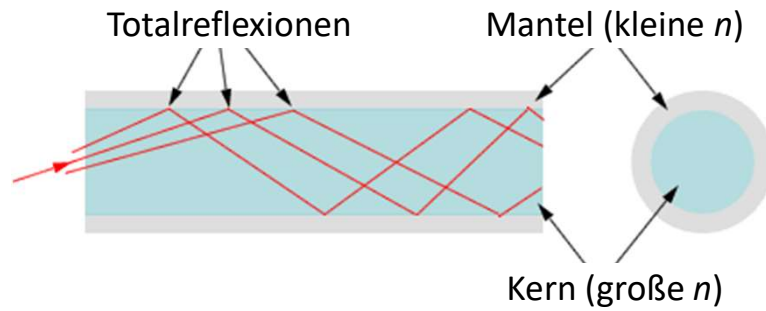
**Totalreflexion:** Reflexion eines aus dem optisch dichten Medium kommenden Lichtstrahles wenn der Einfallswinkel grösser ist als der Grenzwinkel

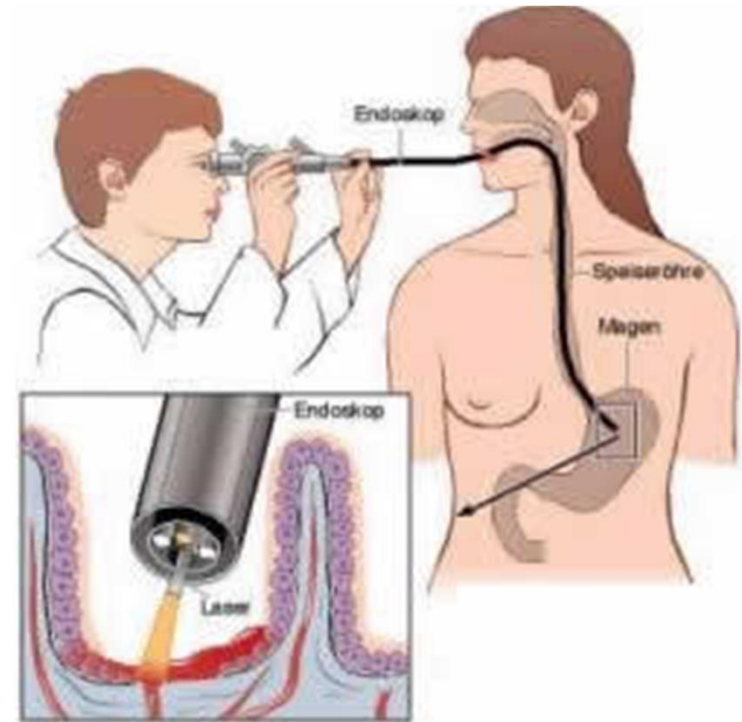
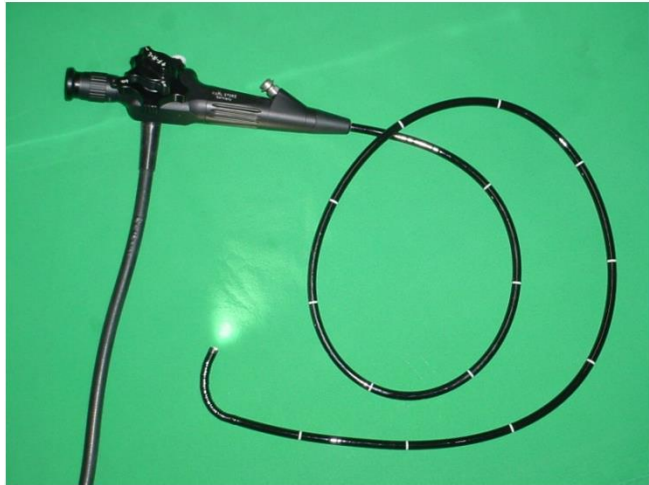


→ optisches Kabel, Endoskop

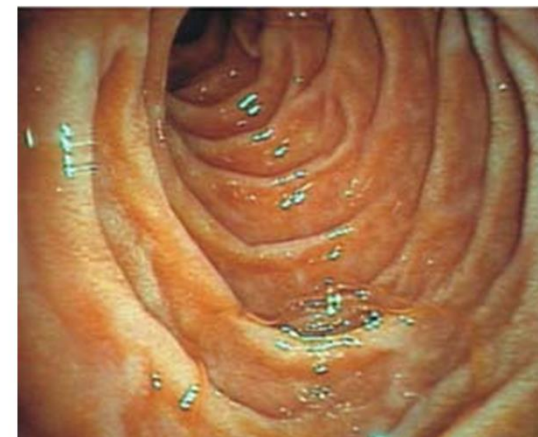


## optisches Kabel, Endoskop

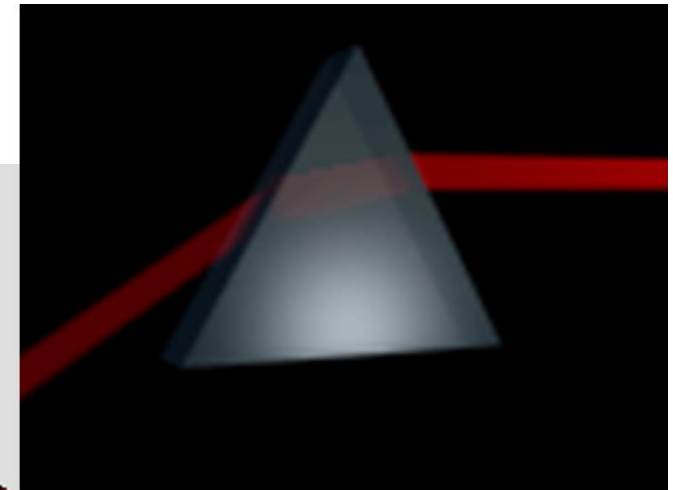
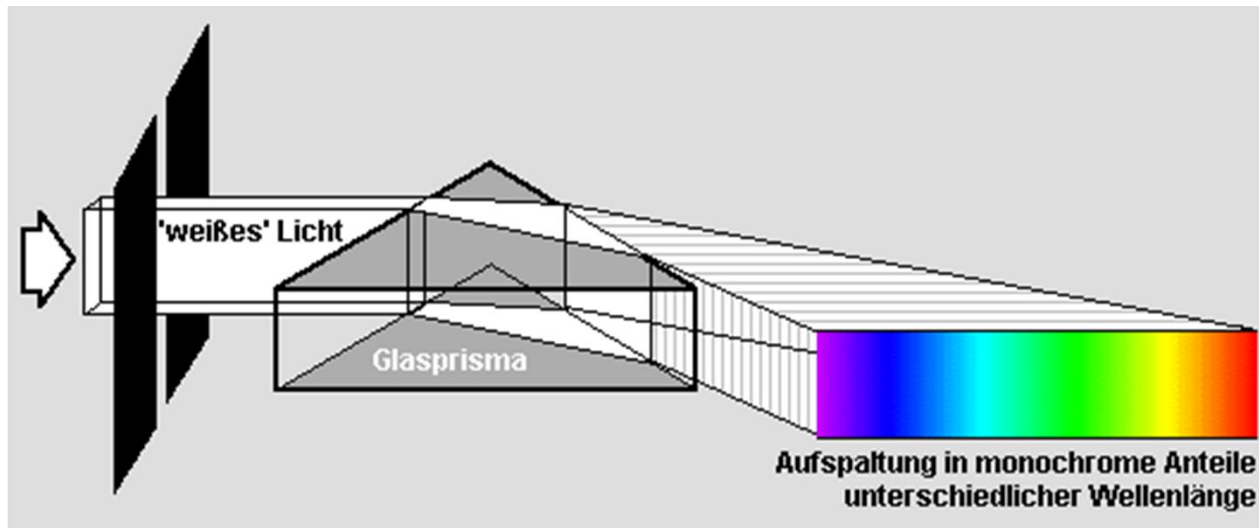




Endoskop, Fata Morgana



## e) Dispersion



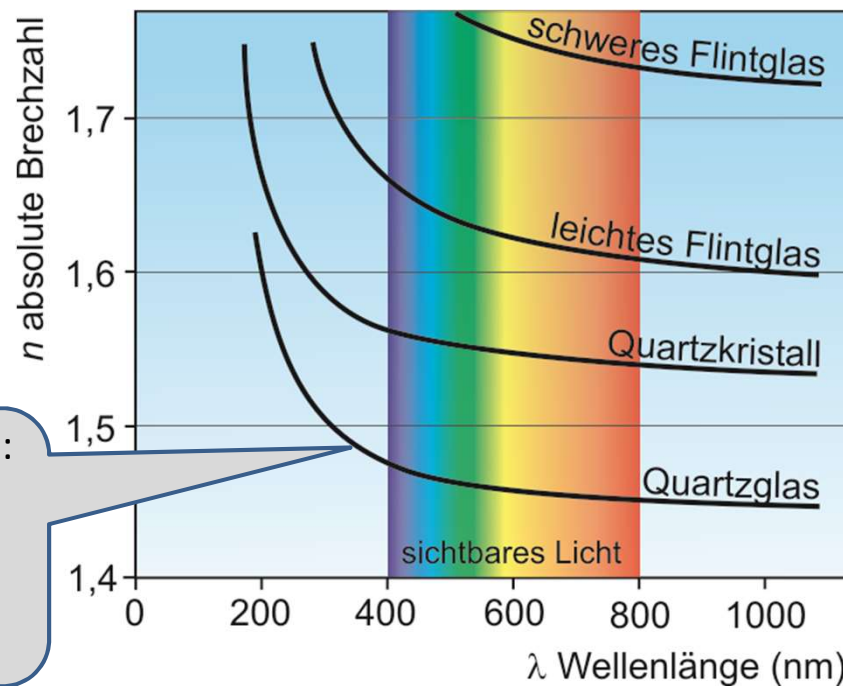
**Dispersion:**  
Wellenlängeabhängigkeit der Brechzahl

Die Brechzahl ist eine Funktion der Wellenlänge:

$$n = n(\lambda)$$

### Normale Dispersion:

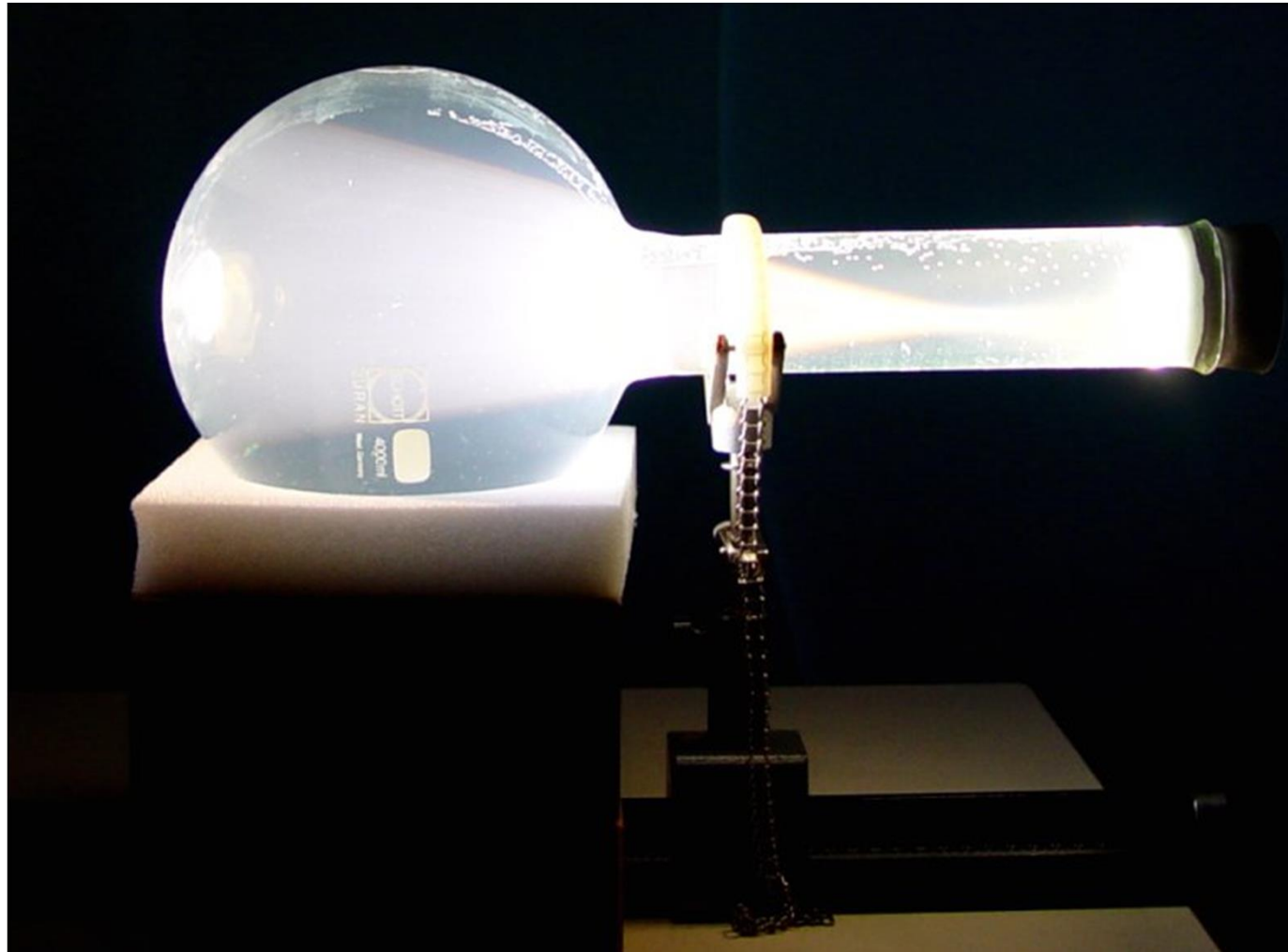
wenn  $n$  mit wachsender Wellenlänge abnimmt.



→ siehe später Monochromator

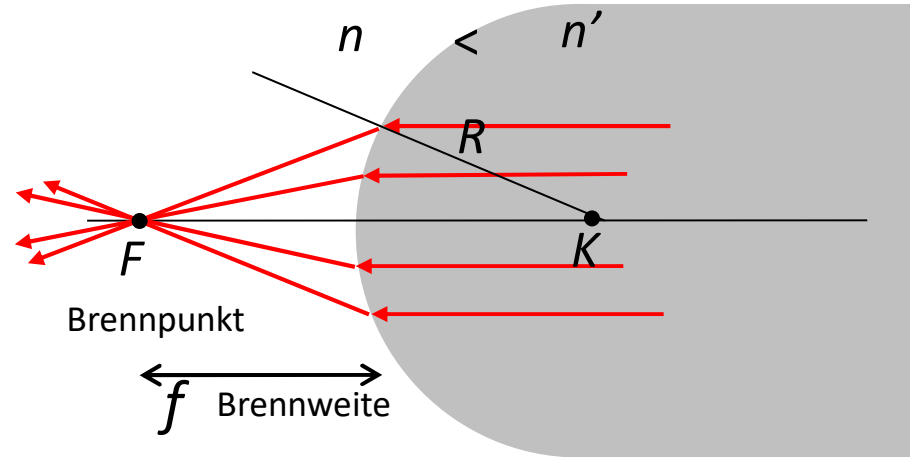
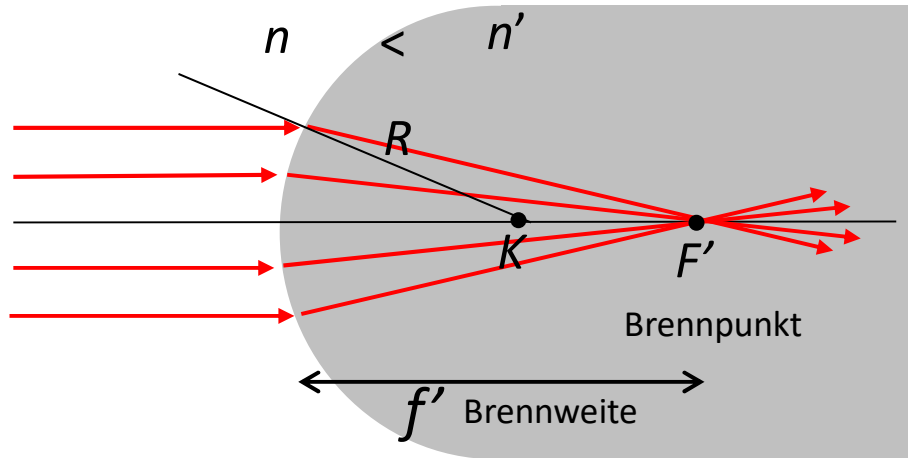


Brechung durch eine sphärische Grenzfläche:



*(R. Keller, Universität Ulm)*

### 3. Brechung an einer sphärischen Grenzfläche

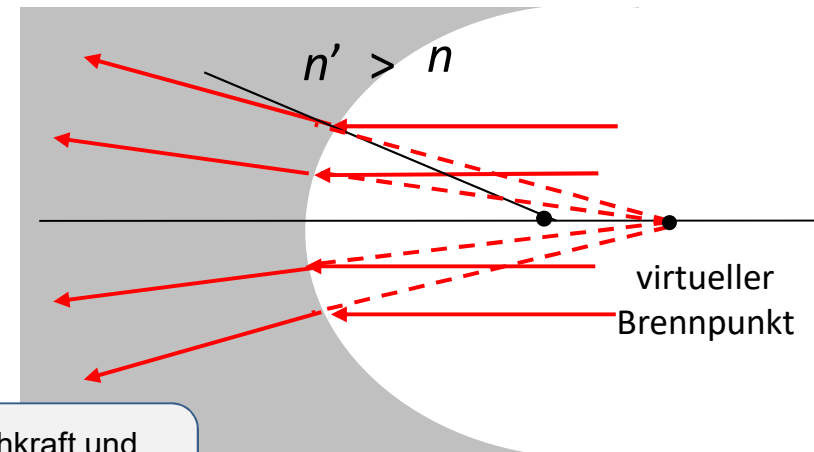
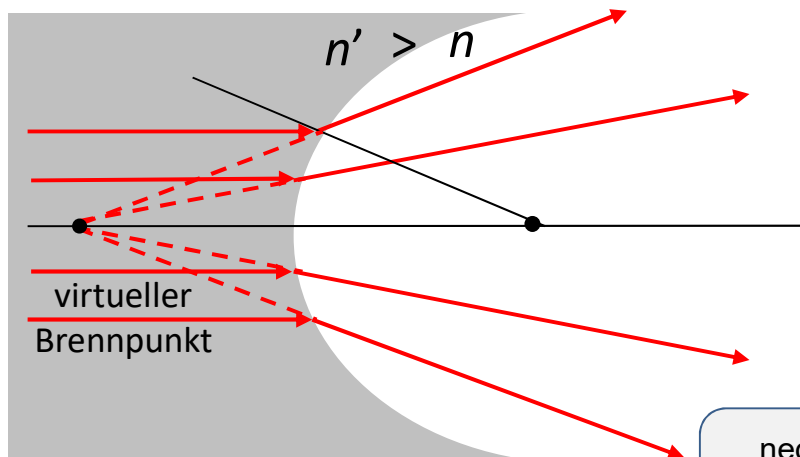


a) Brechkraft ( $D$ ):

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

positive Brechkraft und  
positive Brennweite  
(Fokussierung)

Die Formel gilt genau nur für achsennahe Strahlen!



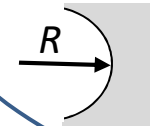
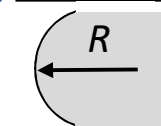
negative Brechkraft und  
negative Brennweite  
(Zerstreuung)

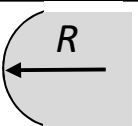
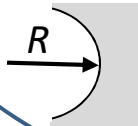
### Die Brechkraft ( $D$ ):

Brechzahlen ( $n' > n$ )

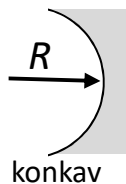
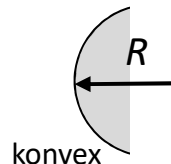
$$D = \frac{n' - n}{R}$$

Krümmungsradius ( $R$ )



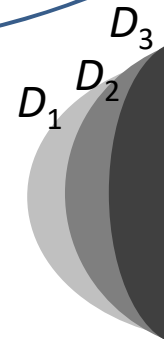
	$R$	$D$	
	positiv	positiv	Fokussierung
	negativ	negativ	Zerstreuung

- $R$  ist positiv ( $0 < R$ ), wenn die Grenzfläche (aus dem Medium von größerer Brechzahl gesehen) konvex ist:
- $R$  ist negativ ( $R < 0$ ), wenn die Grenzfläche konkav ist:



Für mehrere naheliegenden  
Grenzflächen gilt:

$$D_{\text{gesamt}} = D_1 + D_2 + D_3 + \dots$$

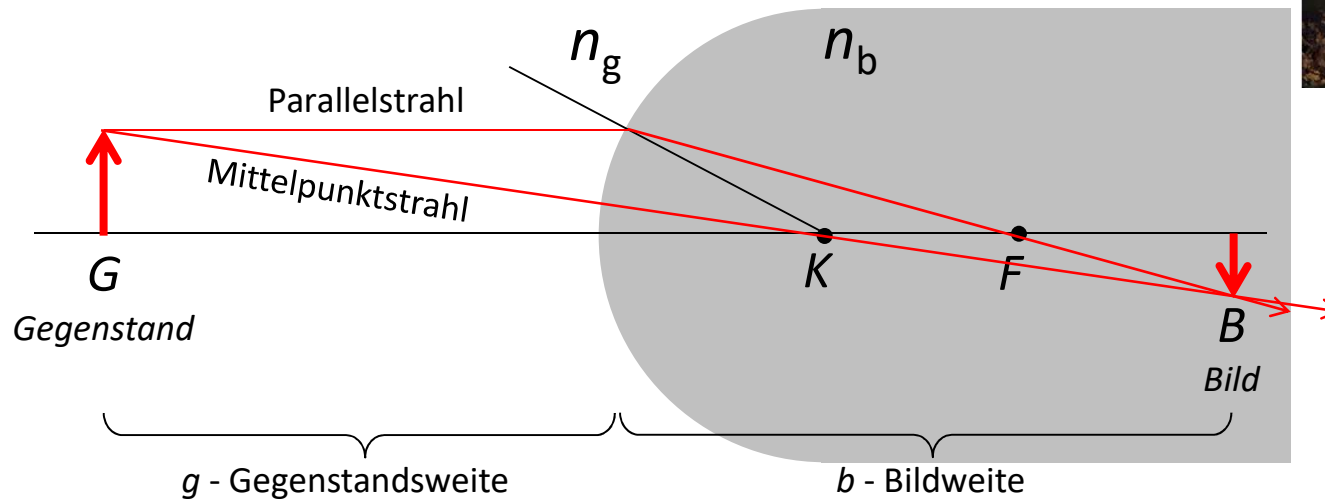


21

→ siehe Linse und Auge

## b) Optische Abbildung durch eine sphärische Grenzfläche, Abbildungsgesetz

$$\left( \frac{n_g}{f_g} = \frac{n_b}{f_b} \right) = D$$



- umgekehrt
- verkleinert
- reell

▪ **Abbildungsgesetz:** 
$$\left( \frac{n_g}{f_g} = \frac{n_b}{f_b} \right) = D = \frac{n_g}{g} + \frac{n_b}{b}$$

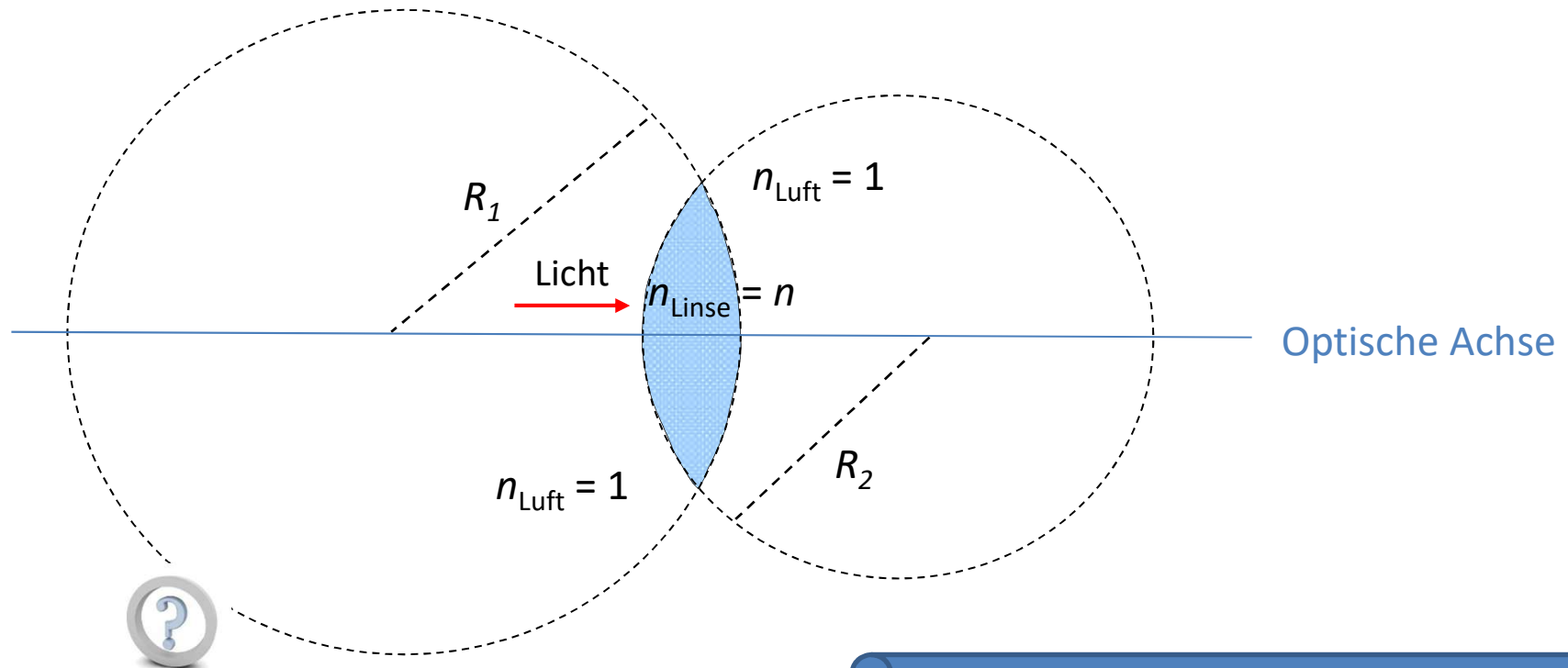
Gilt nur für achsennahe Strahlen!



## 4. Linsen

### a) Brechkraft einer Linse, Linsenschleiferformel

Sphärische bikonvexe Linsen:



#### ▪ Linsenschleiferformel:

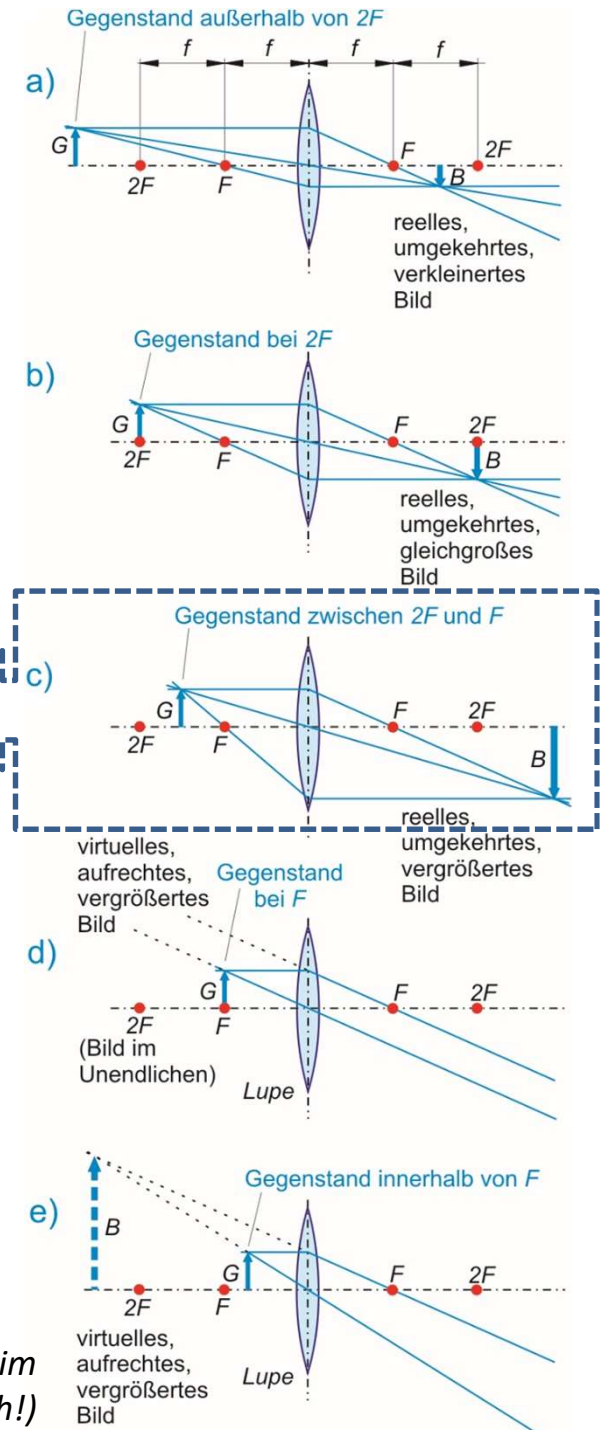
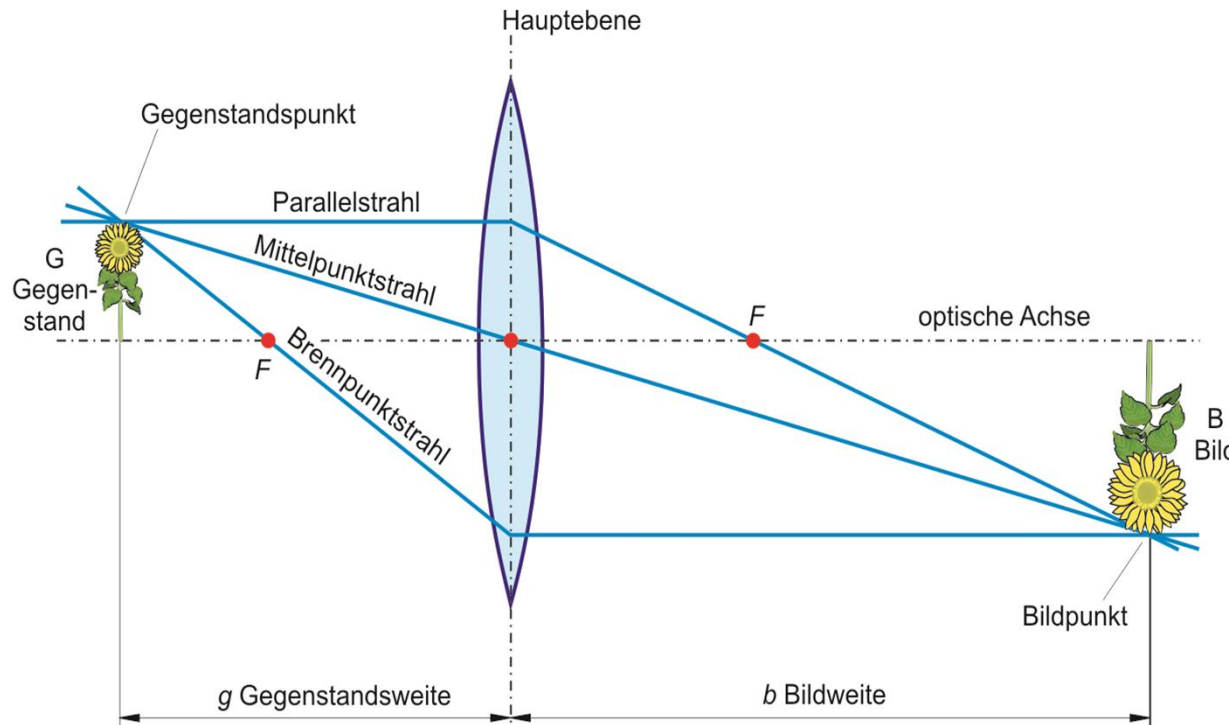
$$D_{\text{Linse}} =$$

$$D_{\text{gesamt}} = D_1 + D_2 + D_3 + \dots$$

$$D = \frac{n_2}{f_2} \left( = \frac{n_1}{f_1} \right) = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

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

## c) Abbildung durch eine Linse, Linsengleichung



(s. Abbildung 3.7 im  
Praktikumsbuch!)

▪ **Linsengleichung (Abbildungsgesetz ):**

Luft:

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

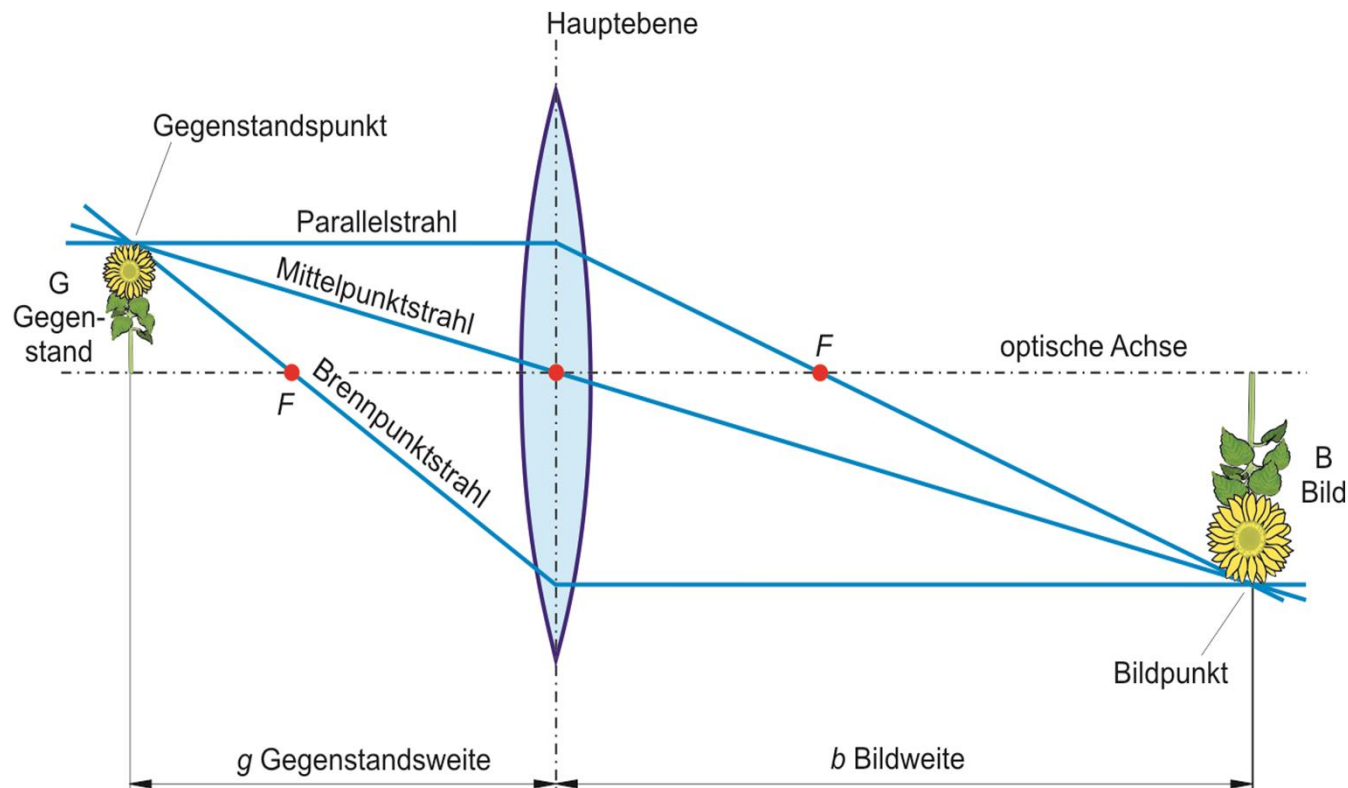
(Bei einem virtuellen Bild ist  $b$  negativ.)

$$\left( \frac{n_g}{f_g} = \frac{n_b}{f_b} \right) = D = \frac{n_g}{g} + \frac{n_b}{b}$$

▪ **Vergrößerung (V):**

$$V = \frac{B}{G} = \frac{b}{g}$$

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



Hausaufgaben:



Aufgabensammlung

2. 10-17, 20, 22, 24

