

Medizinische Biophysik

2. Vorlesung
16. 09. 2020

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

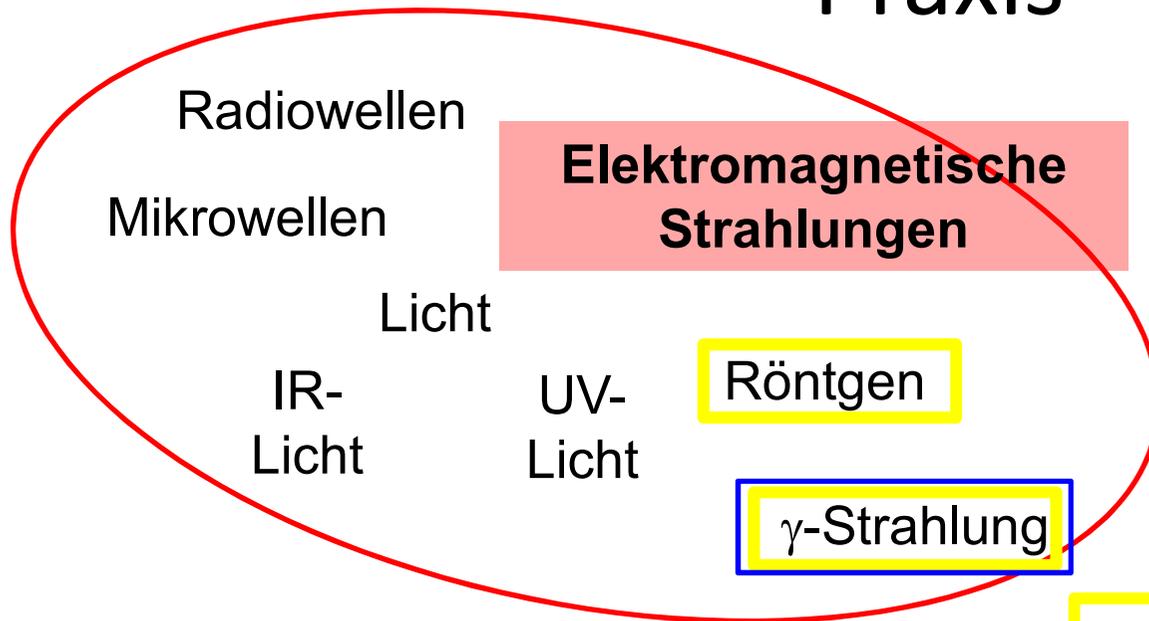
- a) Brechkraft einer Linse, Linsenschleiferformel
- b) Abbildung durch eine Linse, Linsengleichung

Strahlungen in der medizinischen Praxis

Andere Klassifizierungen:

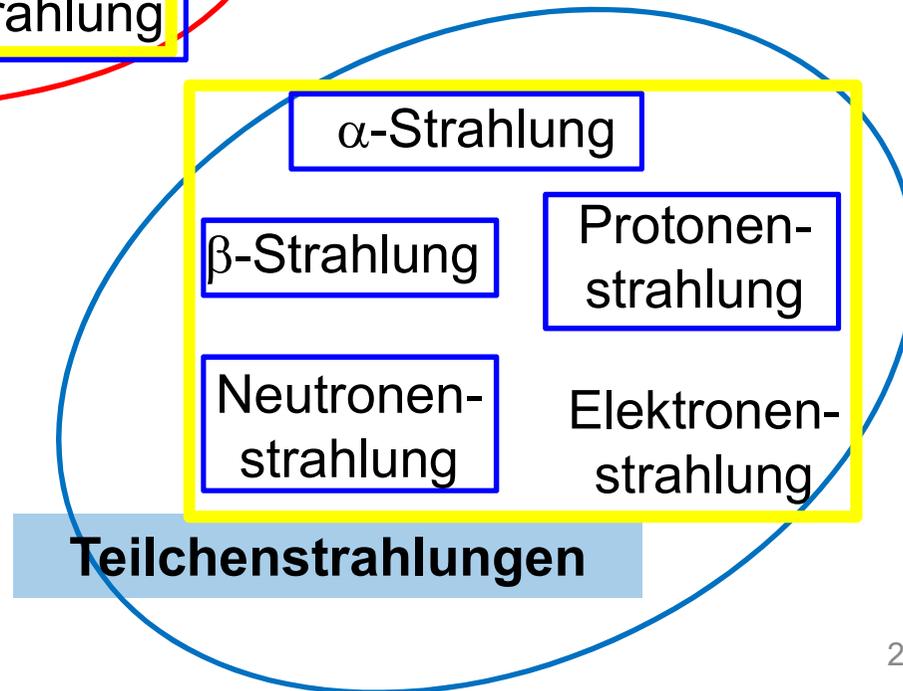
nach Wirkung / nichtionisierend
\ **ionisierend**

nach Entstehungsort – z.B. **Kernstrahlung**



Mechanische Strahlungen

Schall
Ultraschall



1. Gemeinsame Eigenschaften

- Strahlung = Energietransport !

(Strahlungsintensität (J), ...)

$$J = \frac{\Delta P}{\Delta A} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right] \quad \Delta P = \text{die Leistung, die auf} \\ \Delta A \text{ Fläche senkrecht fällt.}$$

- Doppelcharakter = Wellencharakter & Teilchencharakter

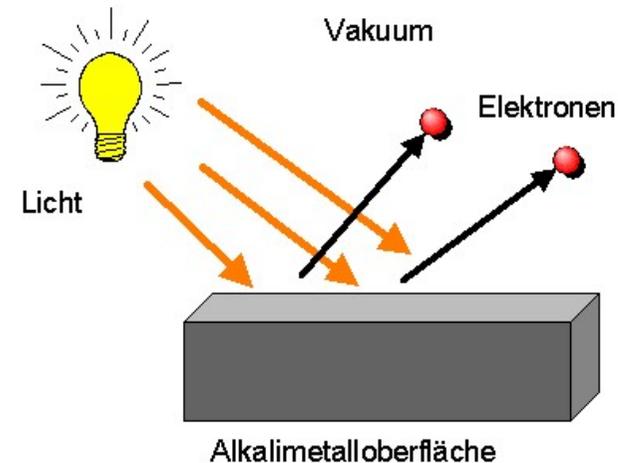
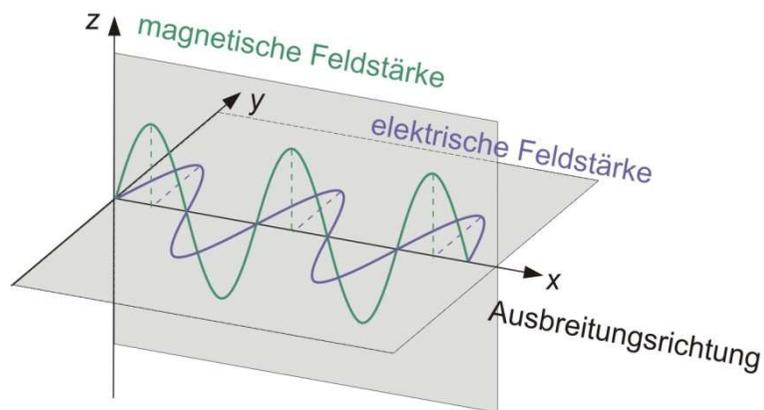
2. Elektromagnetische Strahlungen

Elektromagnetische Wellen – Transversalwellen & Teilchen - Photonen

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

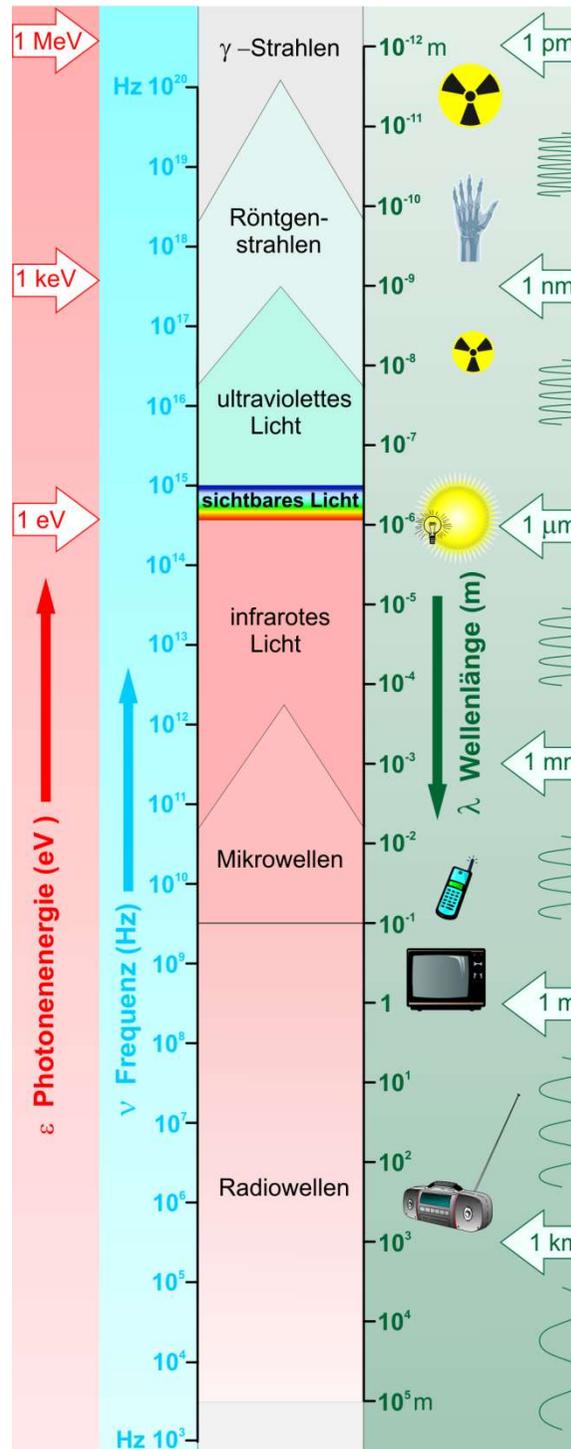
elektromagnetische Welle

$$\varepsilon = h \cdot f$$



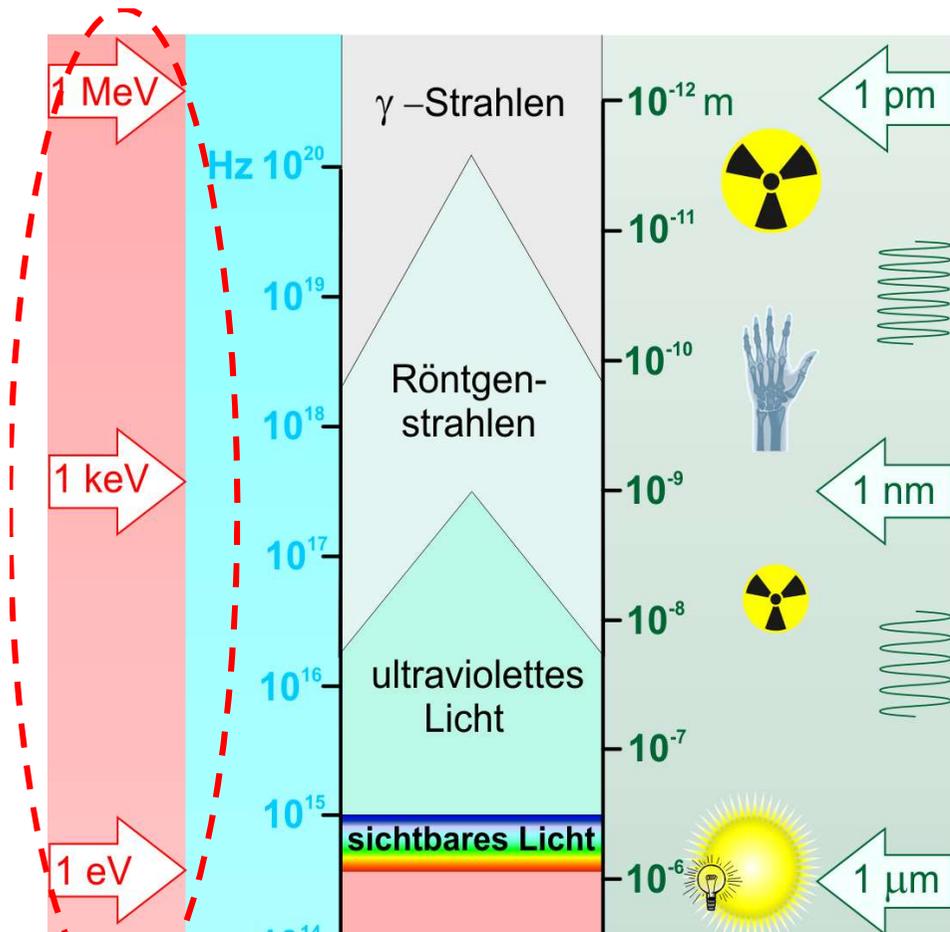
○ 7 Bereiche:

- γ -Strahlen
- Röntgenstrahlen
- UV-Licht
- VIS-Licht
- IR-Licht
- Mikrowellen
- Radiowellen



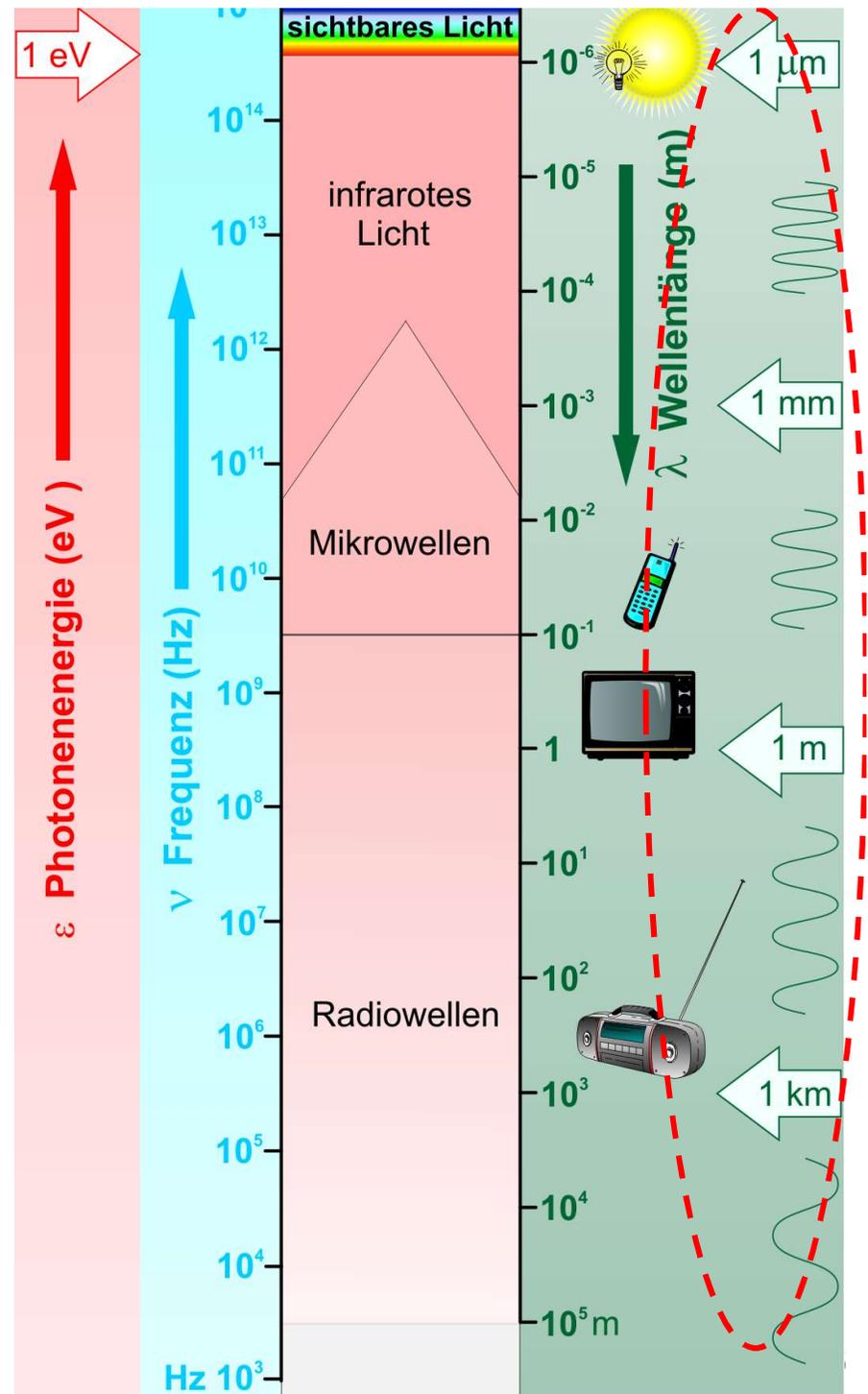
○ Anwendungsbeispiele:

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



Einige typische Größenordnungen:

γ -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 (α , β , e^- , e^+ , p^+ , n^0 , ...)

- Materiewellen



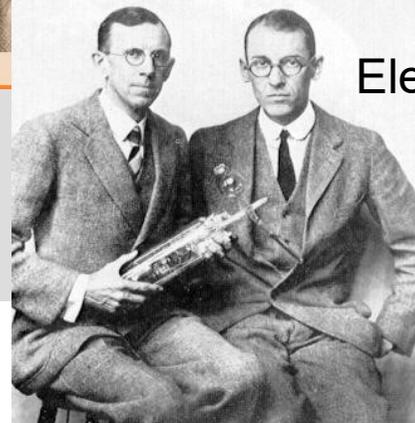
de Broglie (1923): Materiewellen

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

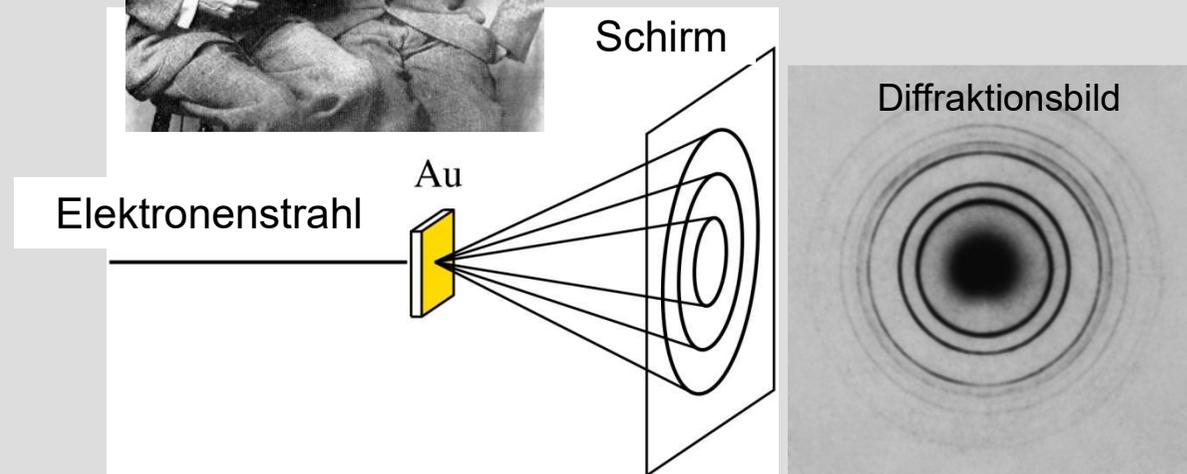
λ Wellenlänge der Materialwelle
des Körpers mit Masse m und
Geschwindigkeit v

- Anwendungs-
beispiele:

- Elektronenmikroskop
- Neutronendiffraktion
- Strahlentherapie



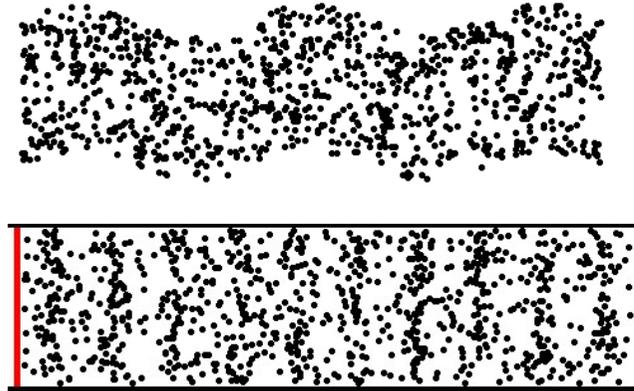
Davisson & Germer (1927):
Elektronenbeugungsexperiment



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

- Mechanische Wellen

$$c = \lambda \cdot f$$
$$c = 330 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (\text{in der Luft})$$
$$c = 1500 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (\text{im Wasser und im Weichteilgewebe})$$

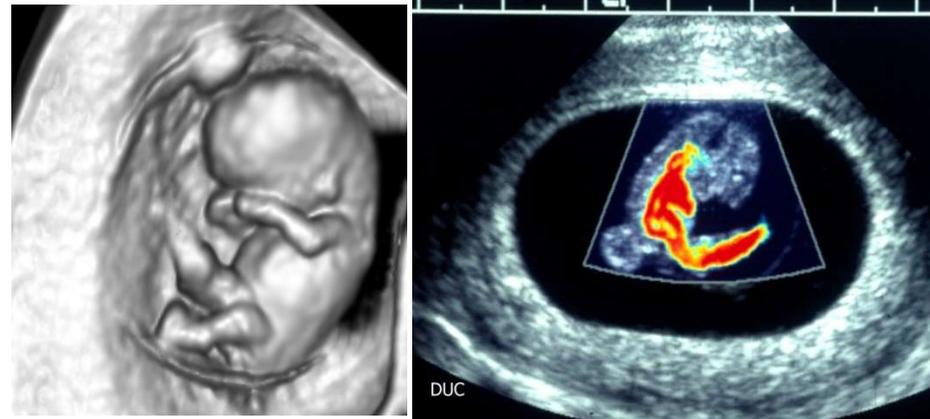


- transversale/longitudinale Wellen

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**



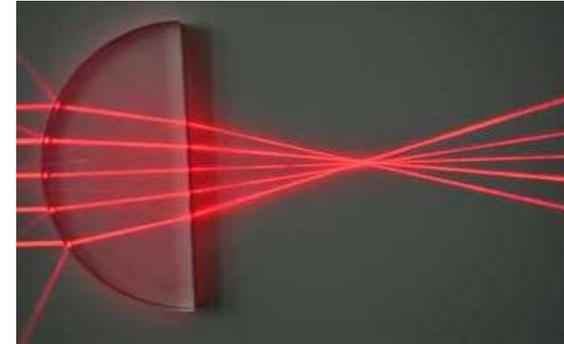
- **Wellennatur**
- **Teilchennatur**

Geometrische Optik

I. Geometrische Optik

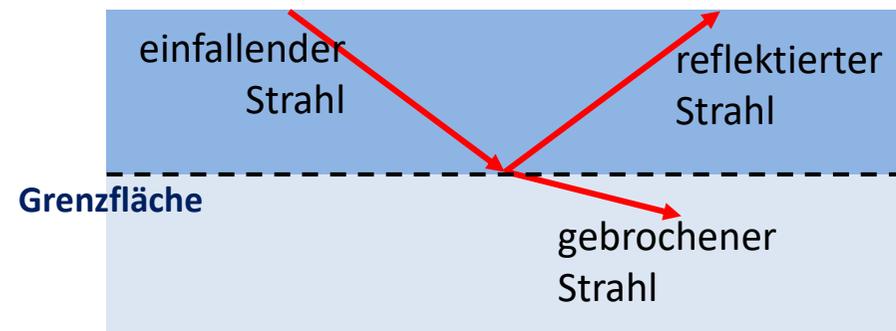
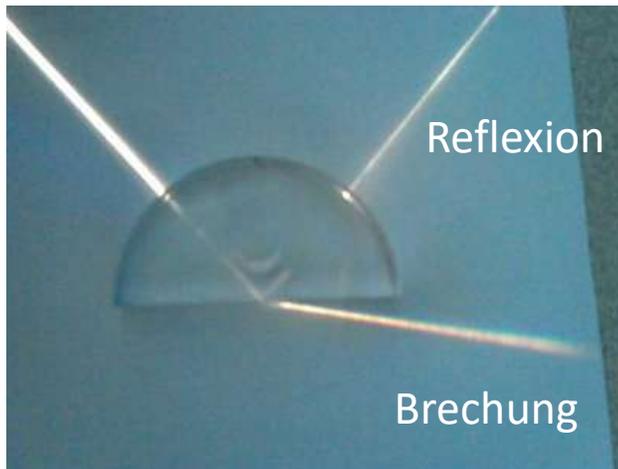
Geradlinige Ausbreitung -> Lichtstrahl

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



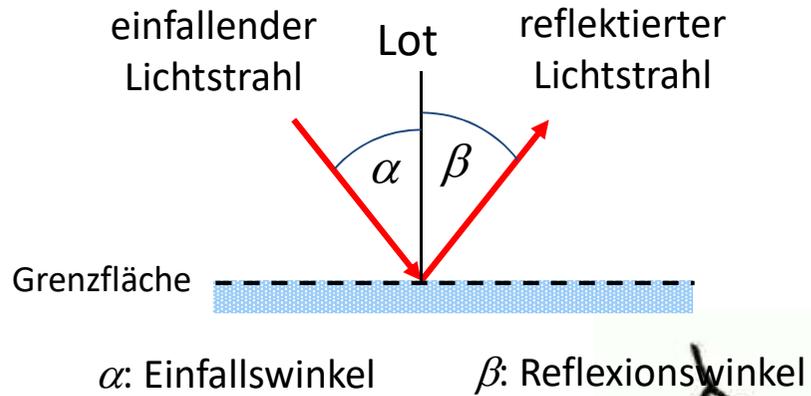
Grundprinzipien der geometrischen Optik:

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

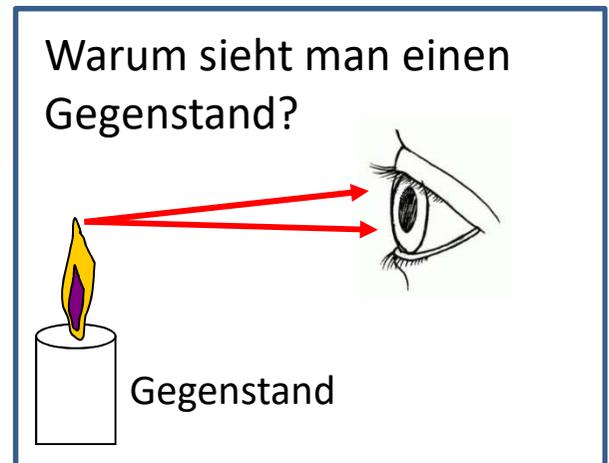
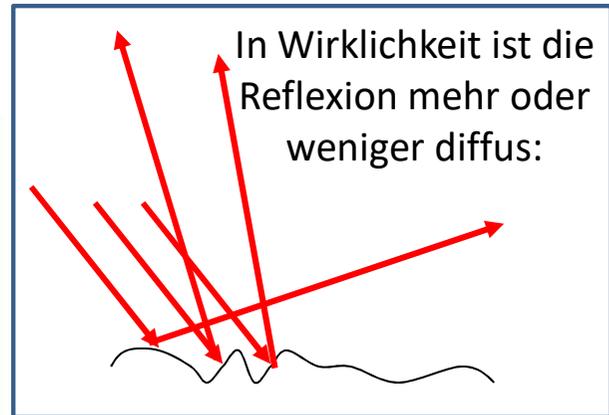
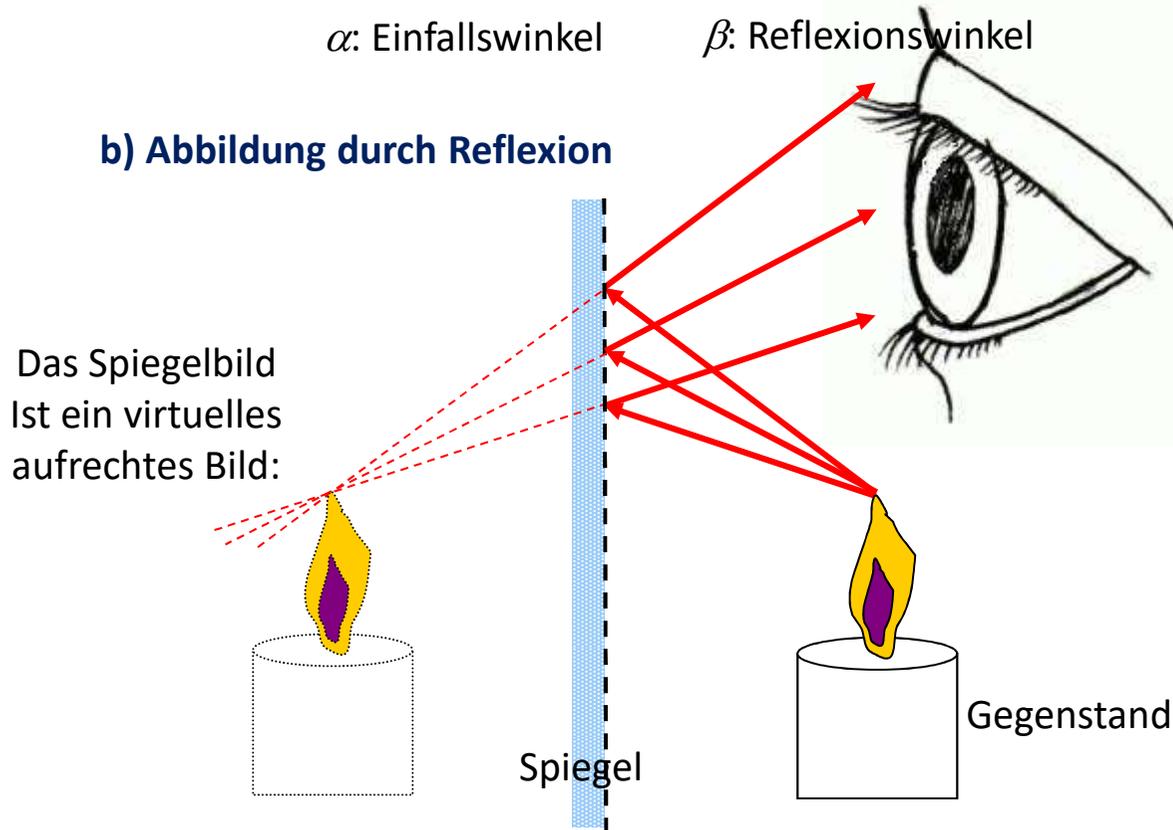


1. Reflexion (im Rahmen der geometrischen Optik)

a) Reflexionsgesetz: $\alpha = \beta$

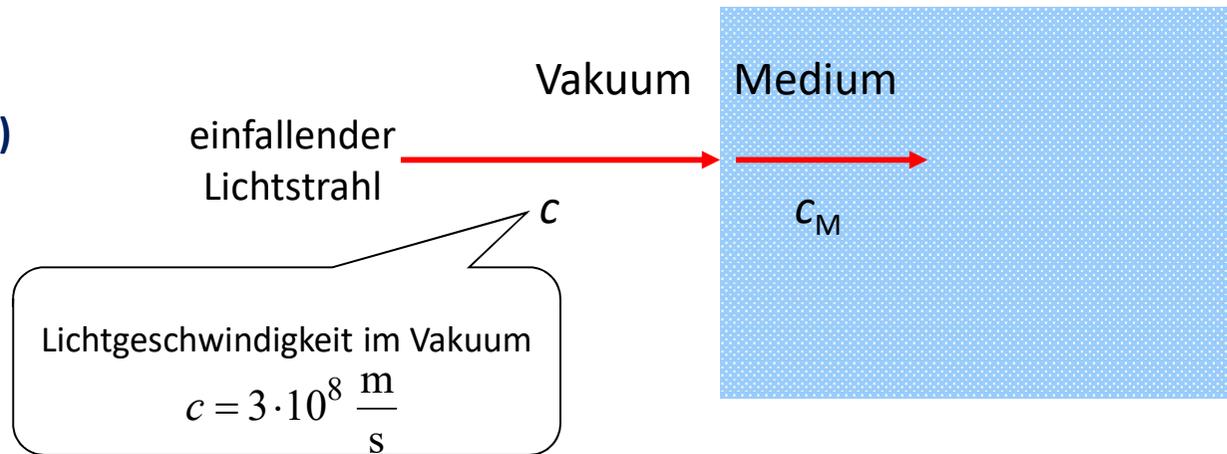


b) Abbildung durch Reflexion



2. Brechung

a) Brechzahl (Brechungsindex)



absolute Brechzahl (n):

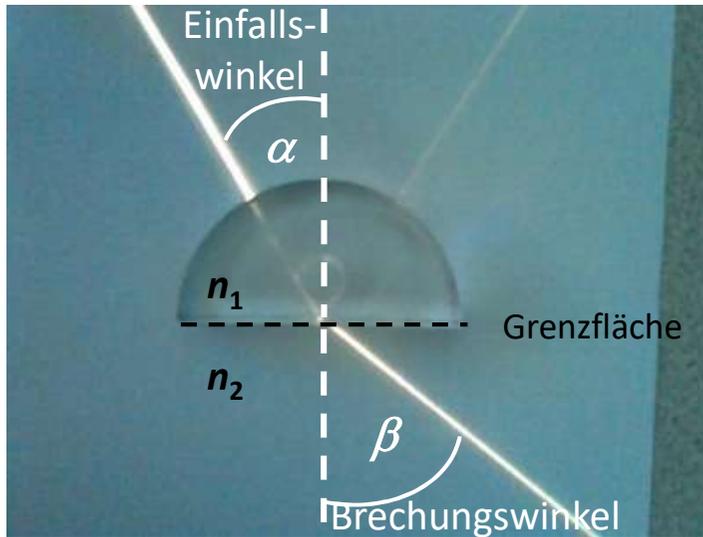
$$n = \frac{c}{c_M} \geq 1$$

c : Lichtgeschwindigkeit im Vakuum

c_M : Lichtgeschwindigkeit in der Matrie

(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



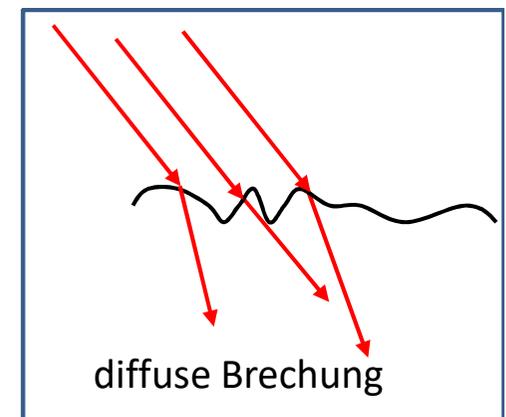
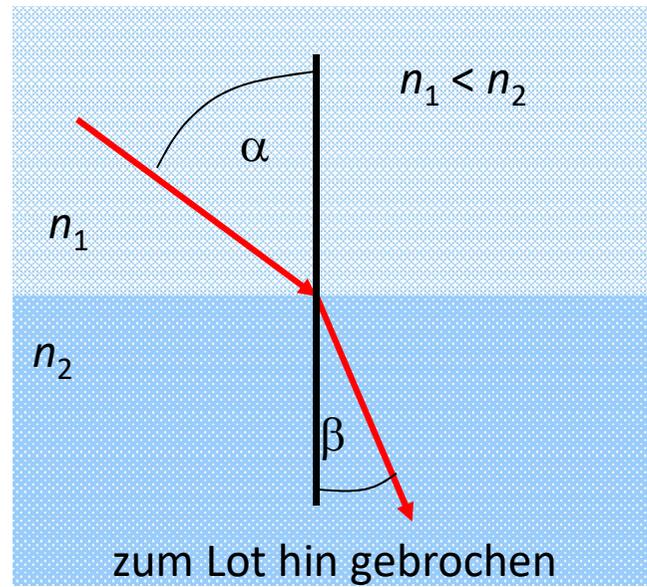
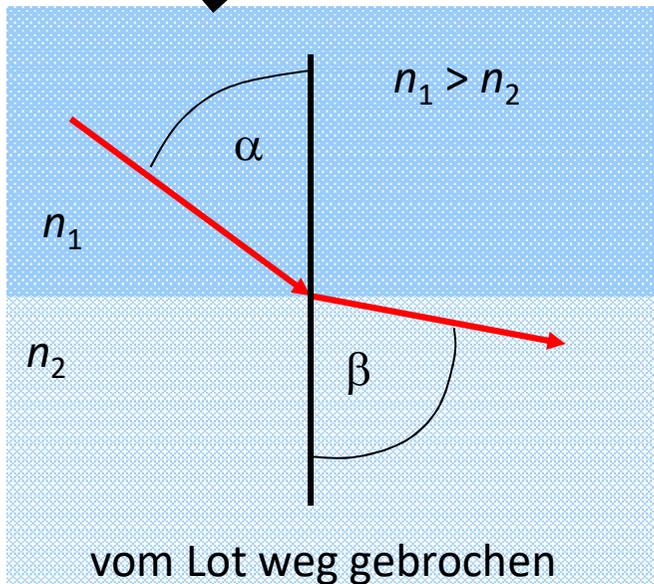
Brechungsgesetz
(Snellius-Descartes-Gesetz):

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

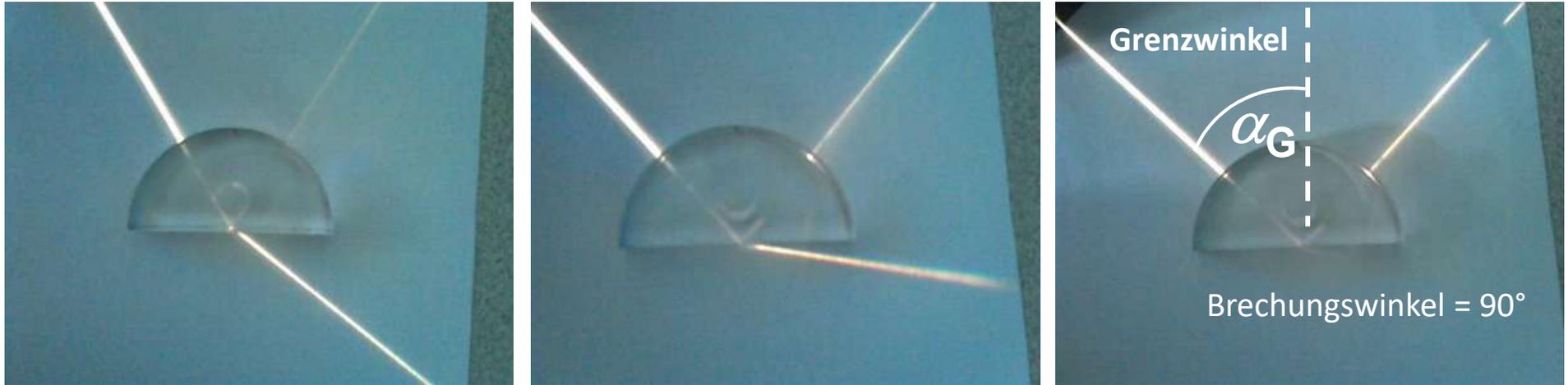
relative Brechzahl



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



c) Grenzwinkel

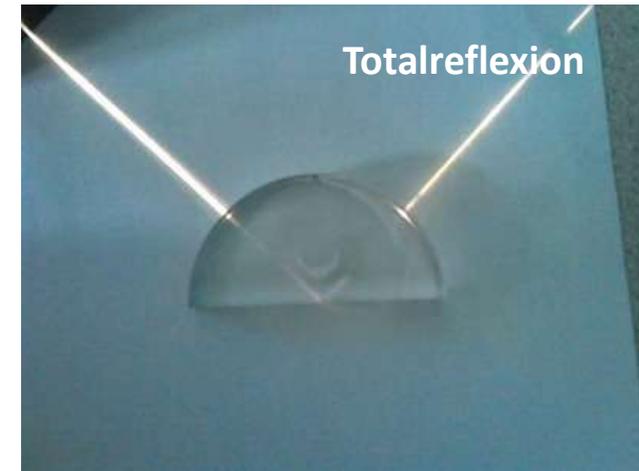
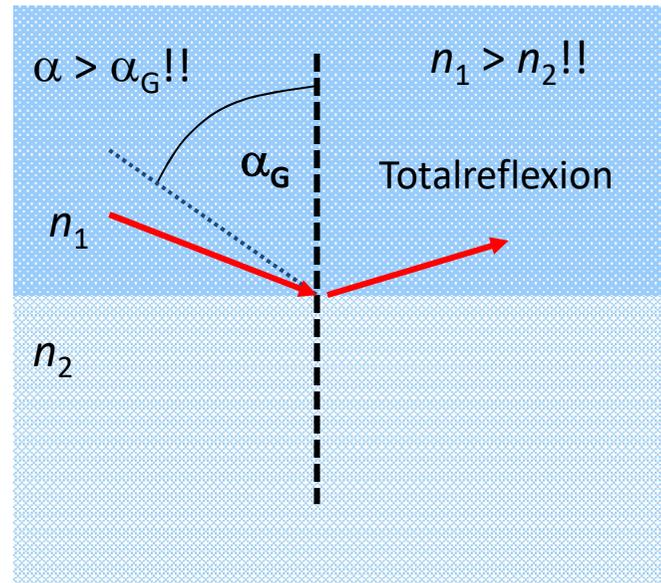


Grenzwinkel: Einfallswinkel des aus dem optisch dichteren Medium kommenden Lichtstrahles wozu ein Brechungswinkel von 90° gehört.

→ siehe Refraktometer im Praktikum

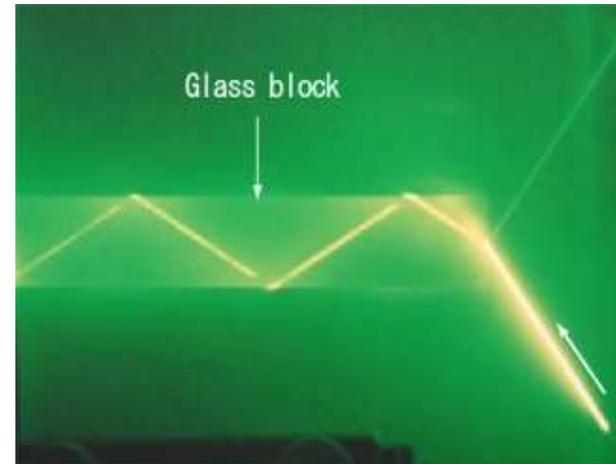
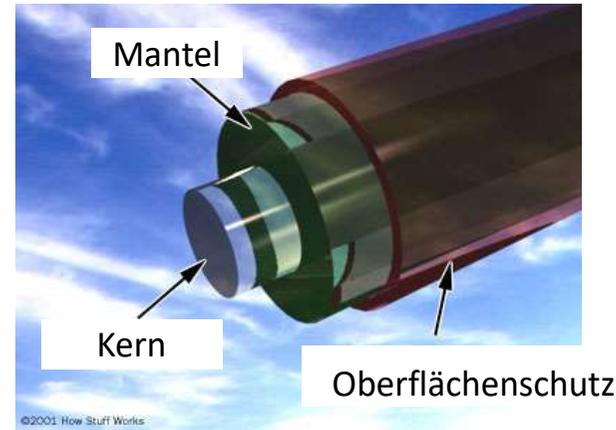
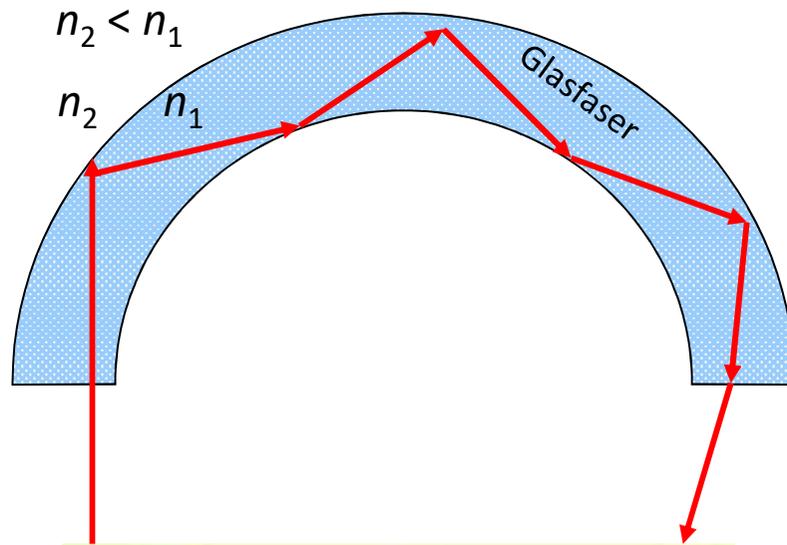
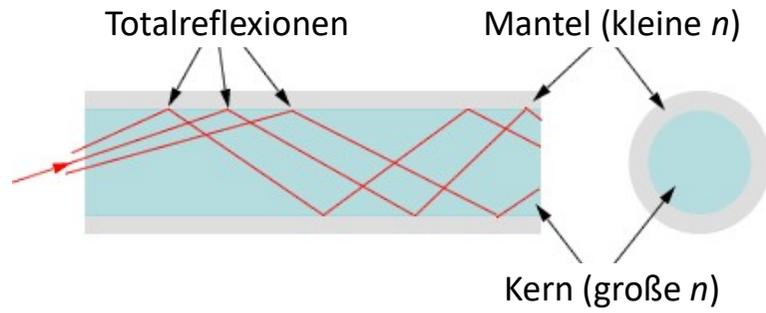
d) Totalreflexion

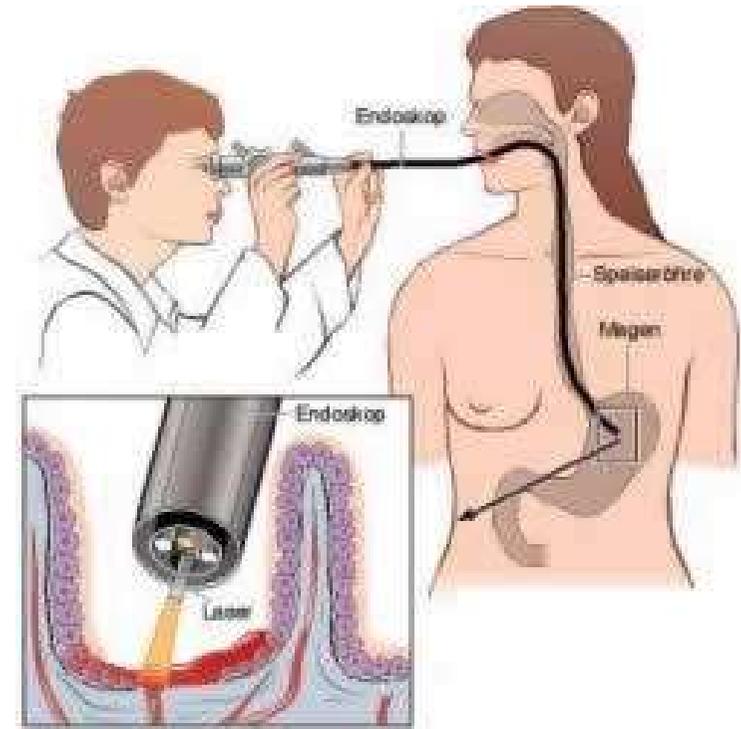
Totalreflexion: Reflexion eines aus dem optisch dichten Medium kommenden Lichtstrahles wenn der Einfallswinkel grösser ist als der Grenzwinkel



→ optisches Kabel, Endoskop

optisches Kabel, Endoskop

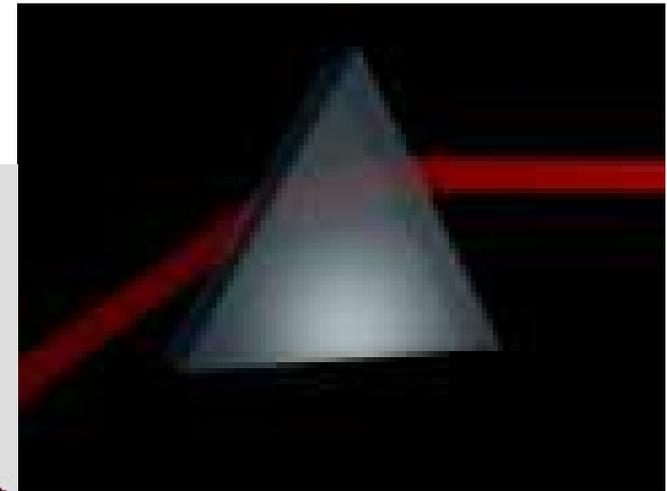
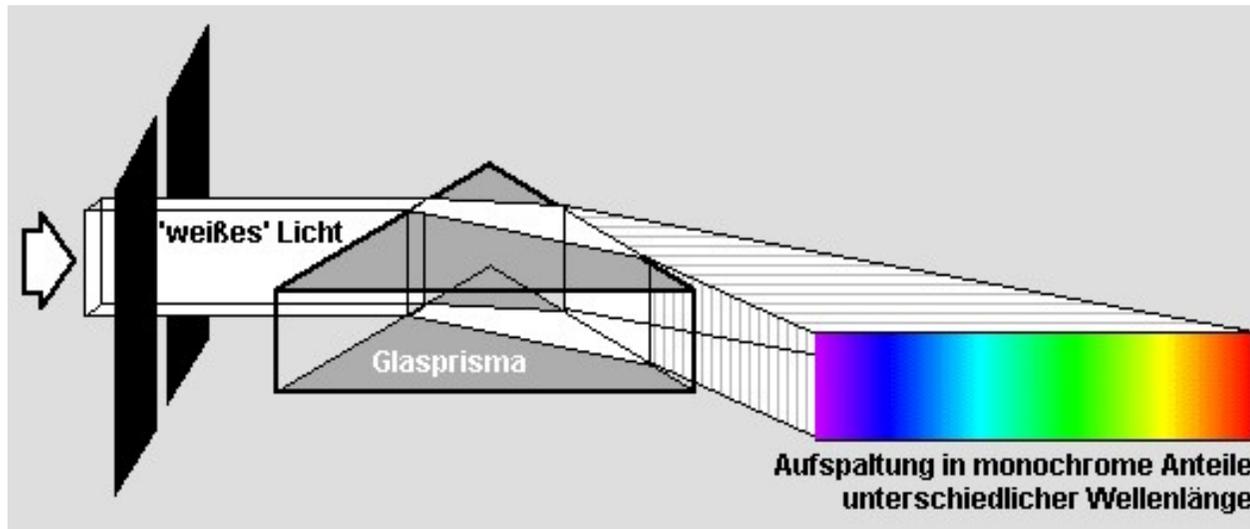




Endoskop, Fata Morgana



e) Dispersion

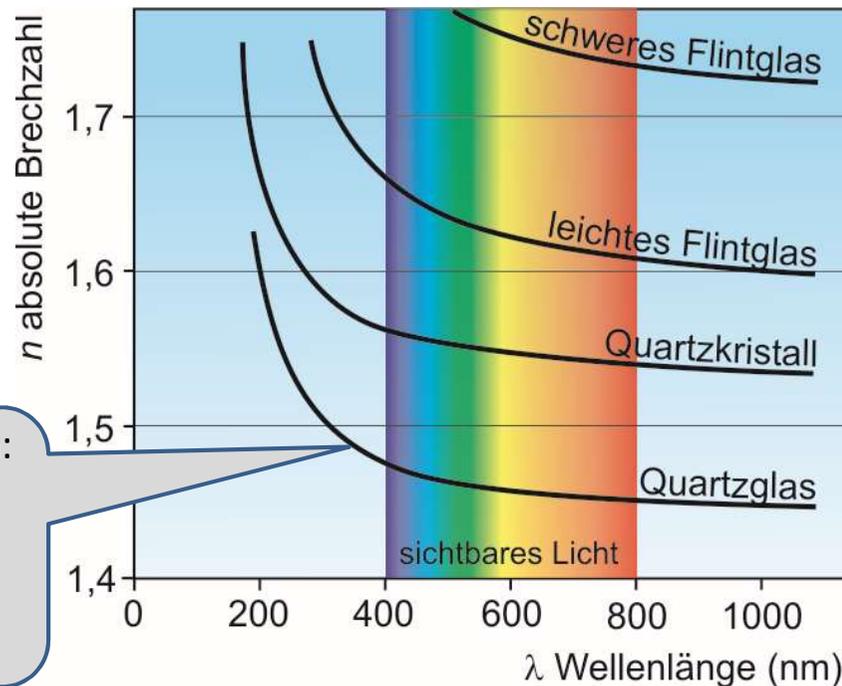


Dispersion:
Wellenlängeabhängigkeit der Brechzahl

Die Brechzahl ist eine Funktion der Wellenlänge:

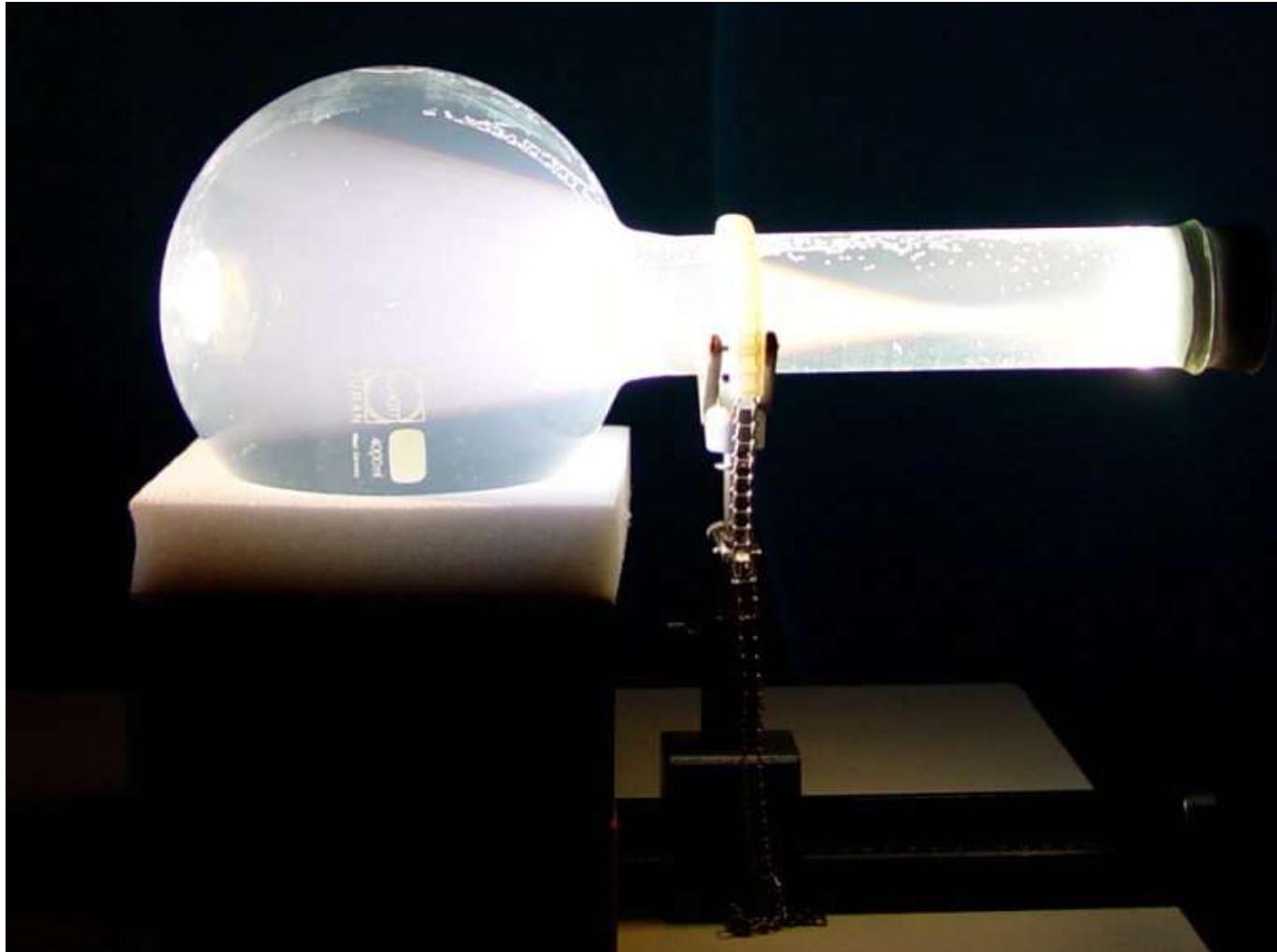
$$n = n(\lambda)$$

Normale Dispersion:
wenn n mit wachsender Wellenlänge abnimmt.



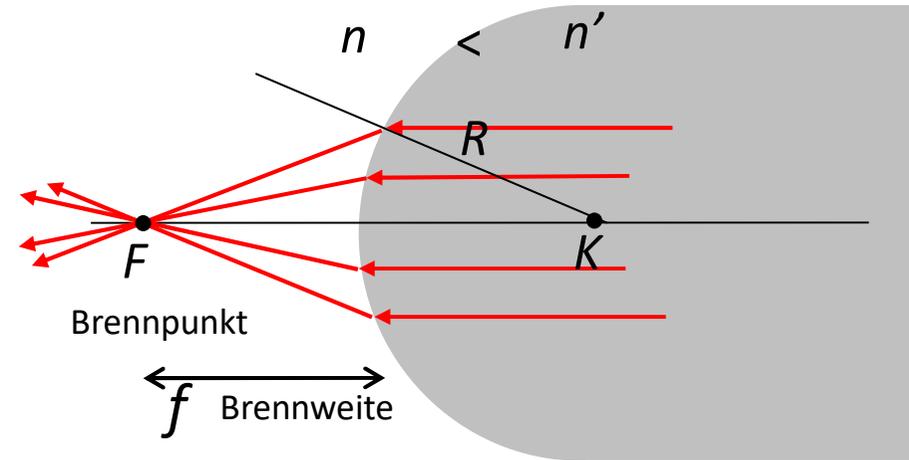
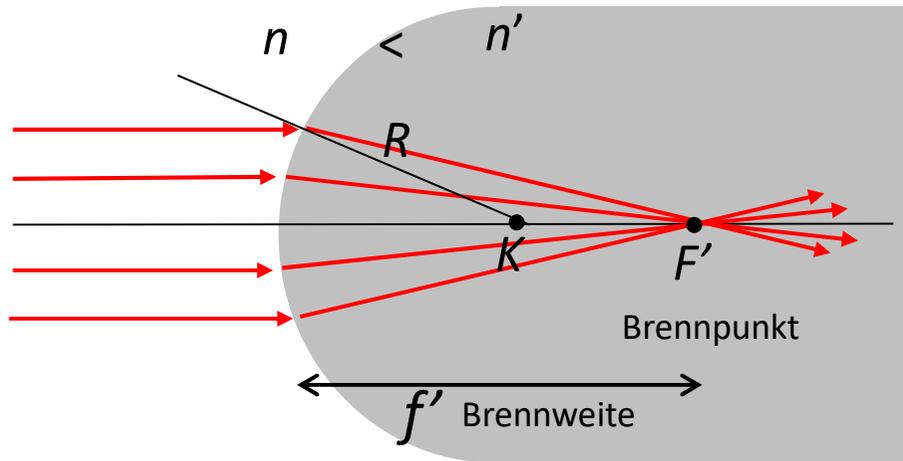
→ siehe später Monochromator

Brechung durch eine sphärische Grenzfläche:



(R. Keller, Universität Ulm)

3. Brechung an einer sphärischen Grenzfläche

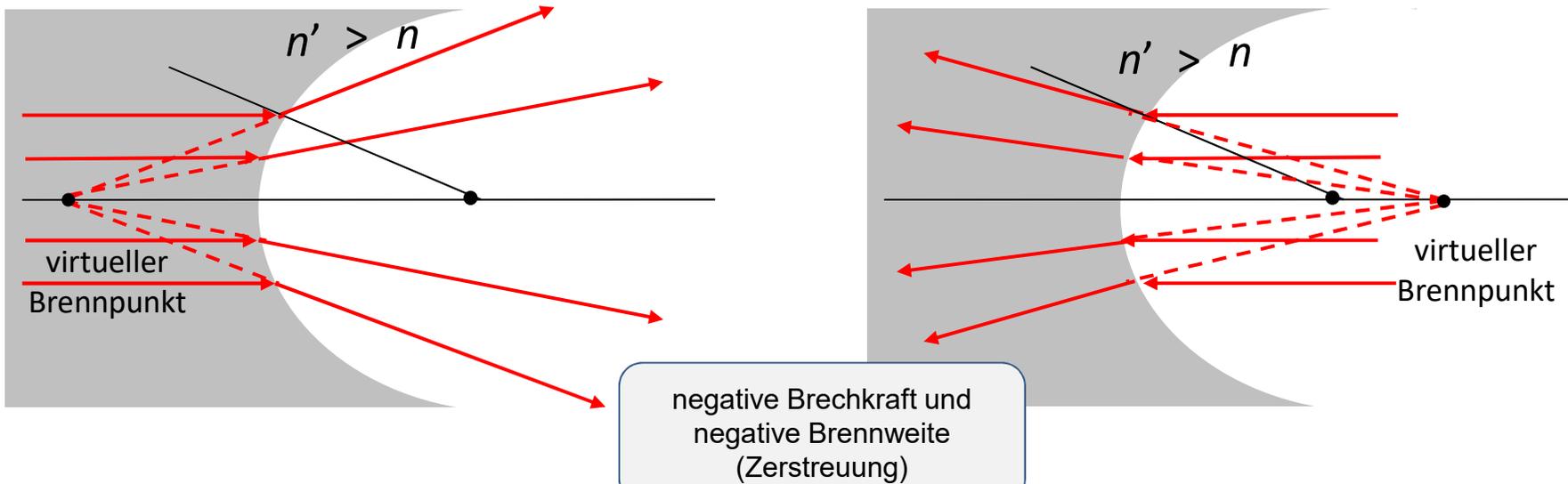


a) Brechkraft (D):

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

positive Brechkraft und
positive Brennweite
(Fokussierung)

Die Formel gilt genau nur für achsennahe Strahlen!



Die Brechkraft (D):

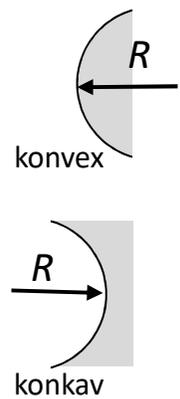
Brechzahlen ($n' > n$)

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

Krümmungsradius (R)

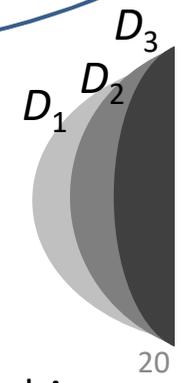
	R	D	
	positiv	positiv	Fokussierung
	negativ	negativ	Zerstreuung

- 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:

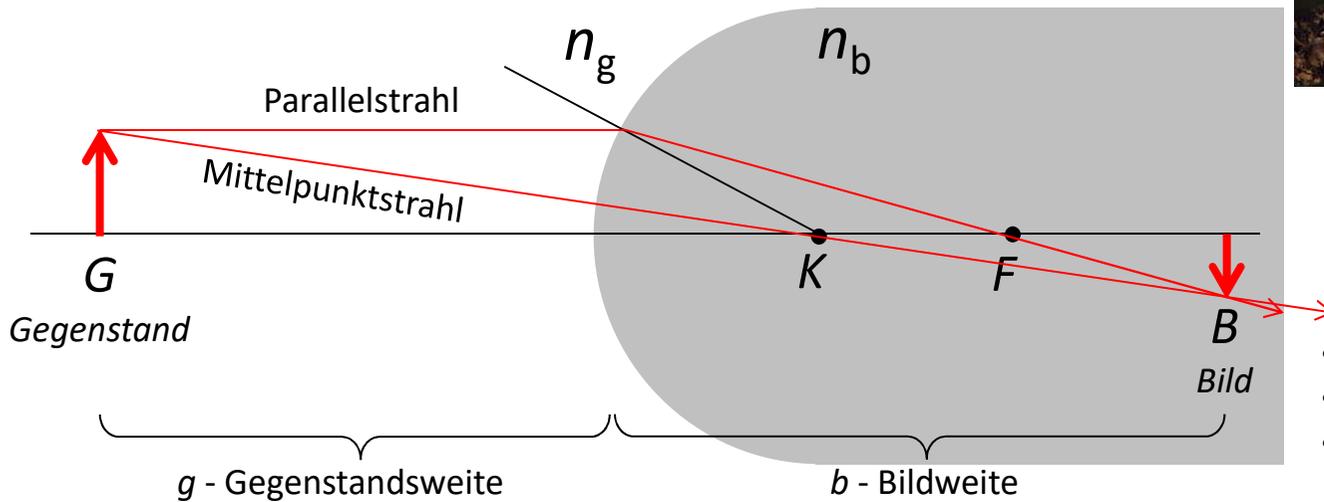
$$D_{\text{gesamt}} = D_1 + D_2 + D_3 + \dots$$



→ 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

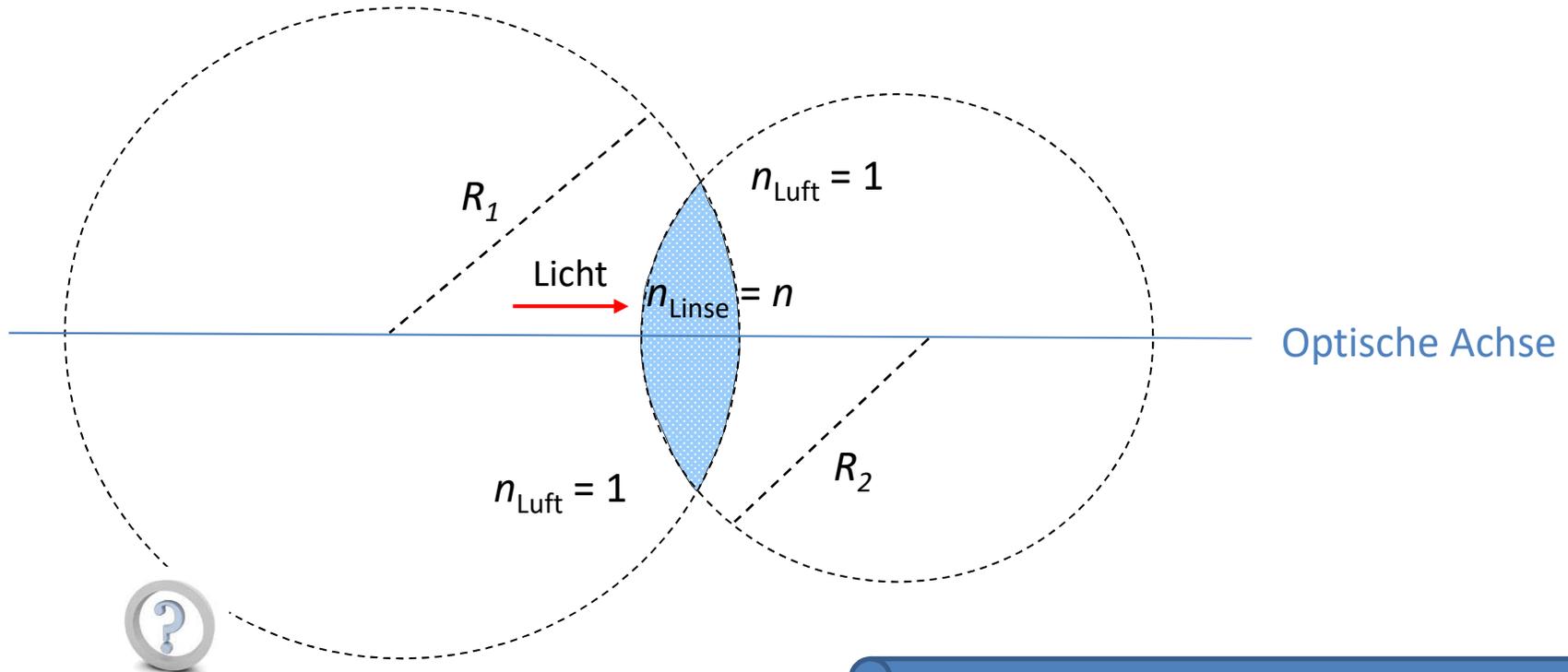
▪ **Abbildungsgesetz:** $\left(\frac{n_g}{f_g} = \frac{n_b}{f_b} \right) = D = \frac{n_g}{g} + \frac{n_b}{b}$

Gilt nur für achsennahe Strahlen!

4. Linsen

a) Brechkraft einer Linse, Linsenschleiferformel

Sphärische bikonvexe Linsen:

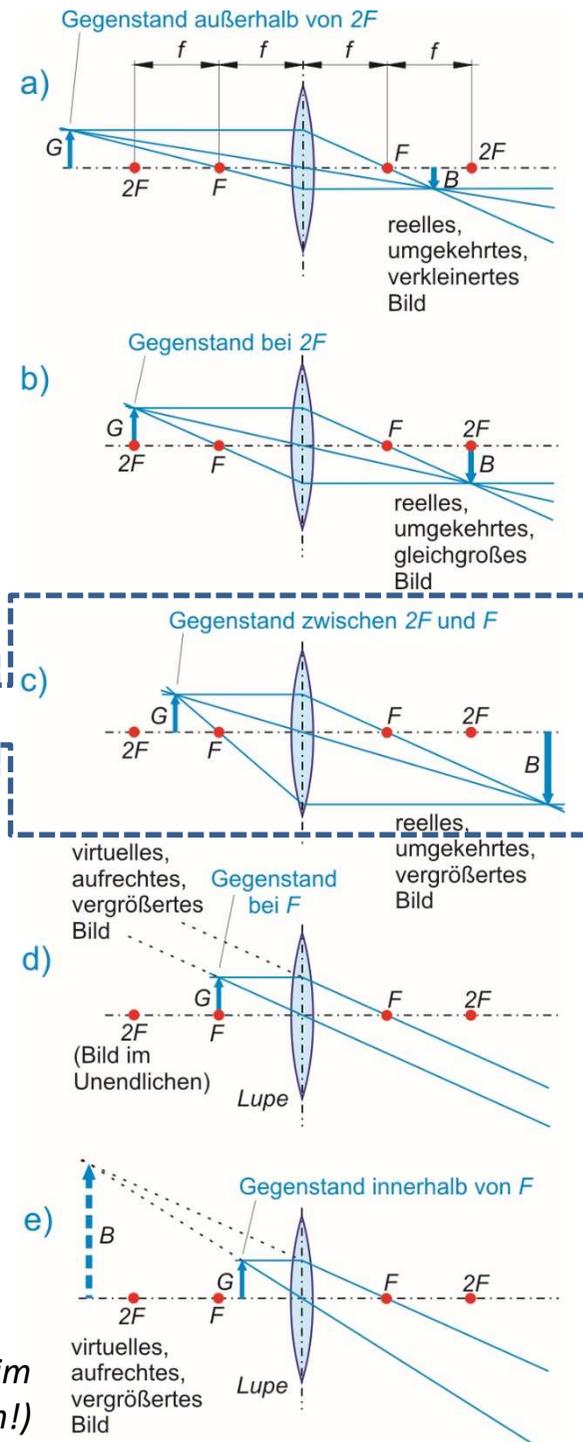
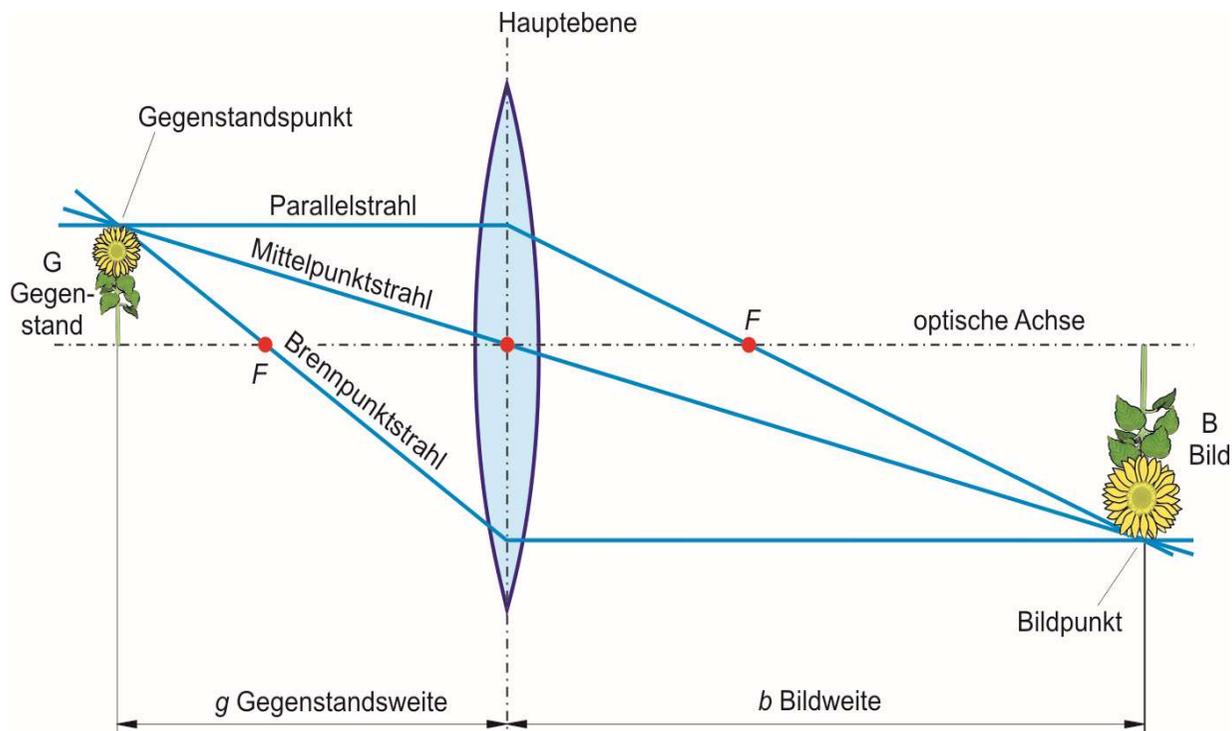


▪ Linsenschleiferformel:

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

Sphärische Linse ist ein durch Kugelflächen umgrenzte Brechungsmedium

c) Abbildung durch eine Linse, Linsengleichung



(s. Abbildung 3.7 im Praktikumsbuch!)

▪ **Linsengleichung (Abbildungsgesetz):**

Luft: $n_g = n_b = 1$
 $f_g = f_b = f$

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

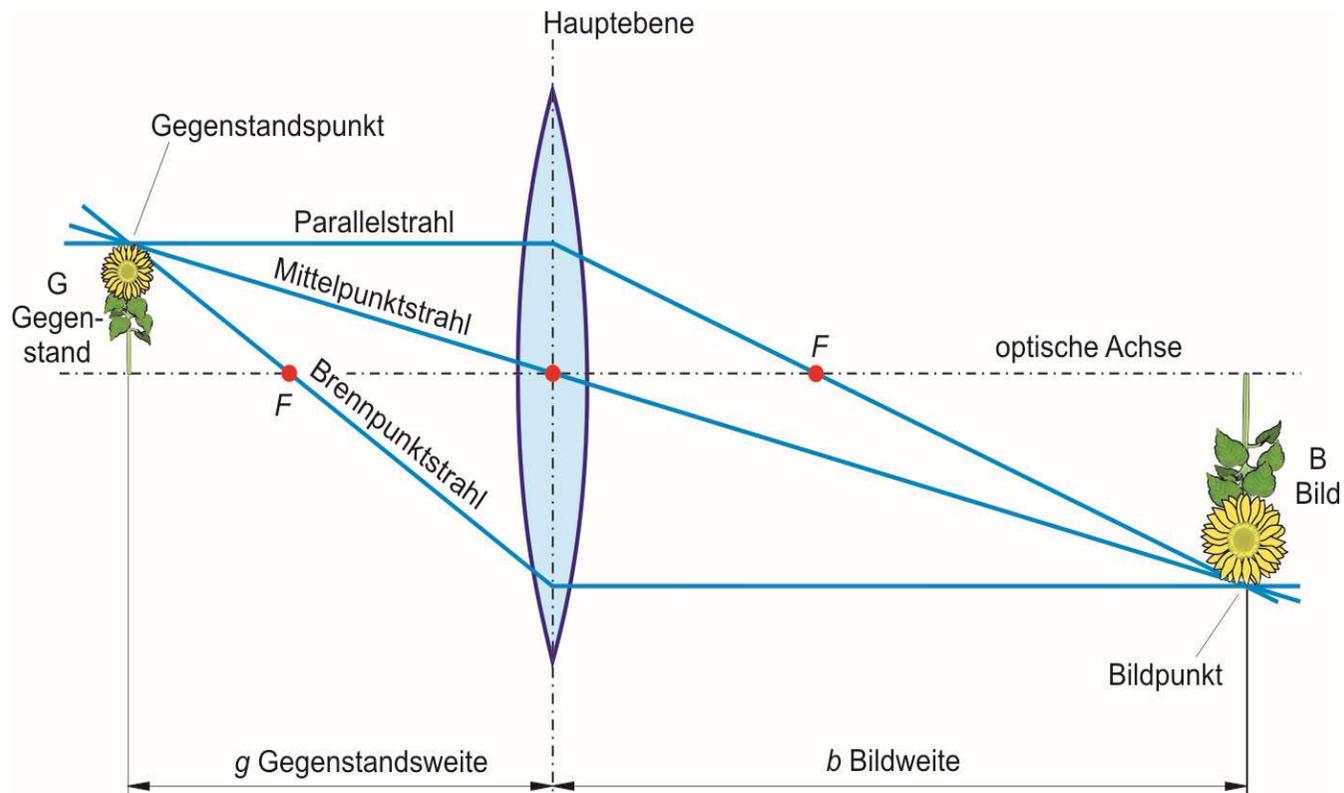
(Bei einem virtuellen Bild ist b negativ.)

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

▪ **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

