

Medizinische Biophysik

2. Vorlesung
13. 09. 2023

Licht in der Medizin. Medizinische Optik

0. Einführung

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
- c) Linsenfehler

5. Lichtmikroskop

0. Einführung: allgemein über Optik und Licht

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

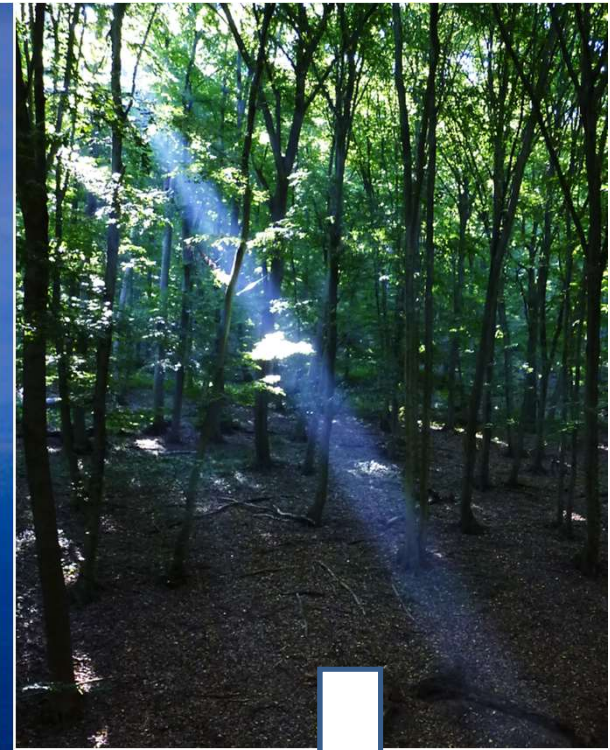
Teilchencharakter des Lichts ist dominant → Photon

Eigenschaften des Lichtes

- **Energietransport**



- **Geradlinige Ausbreitung**



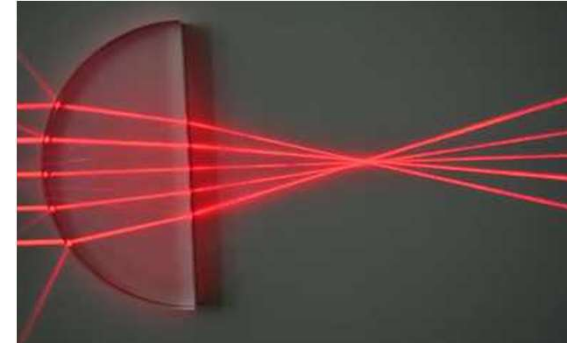
Geometrische Optik

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

I. Geometrische Optik

Geradlinige Ausbreitung -> Lichtstrahl

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

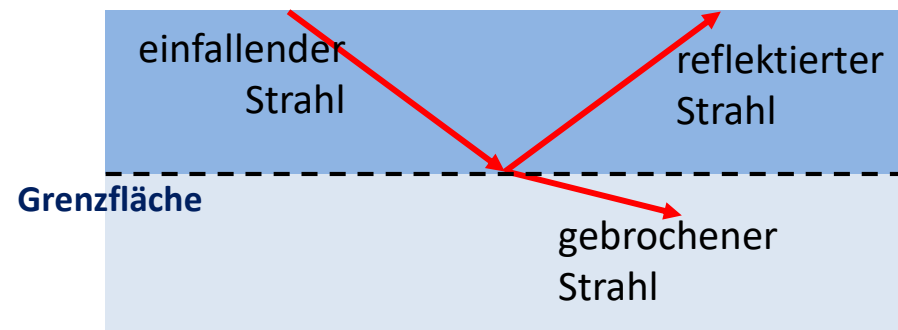


Grundereignisse d. geom. Optik



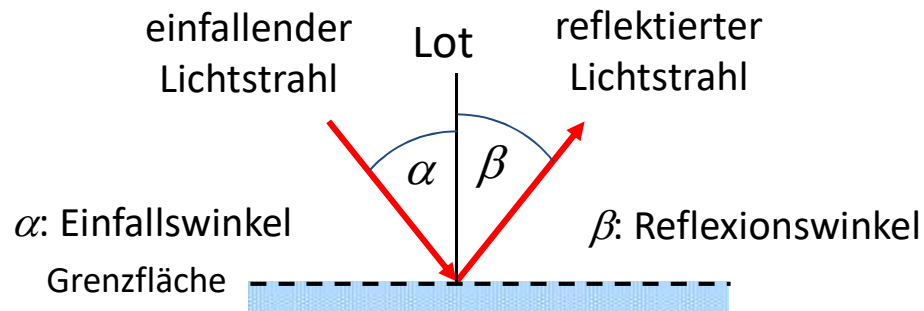
Grundprinzipien der geometrischen Optik:

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



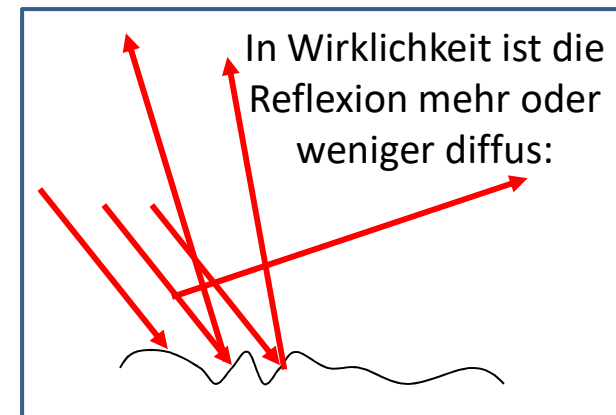
1. Reflexion (im Rahmen der geometrischen Optik)

a) Reflexionsgesetz



Reflexionsgesetz: $\alpha = \beta$

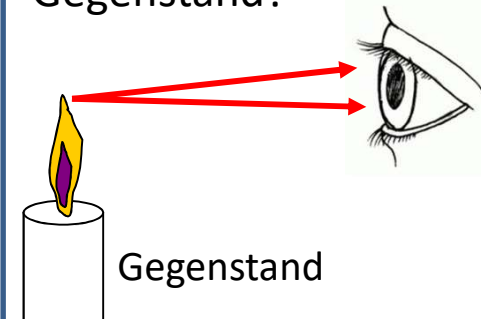
Einfallender strahl,
Einfallslot und
Reflektierter Strahl
liegen in ener Ebene.



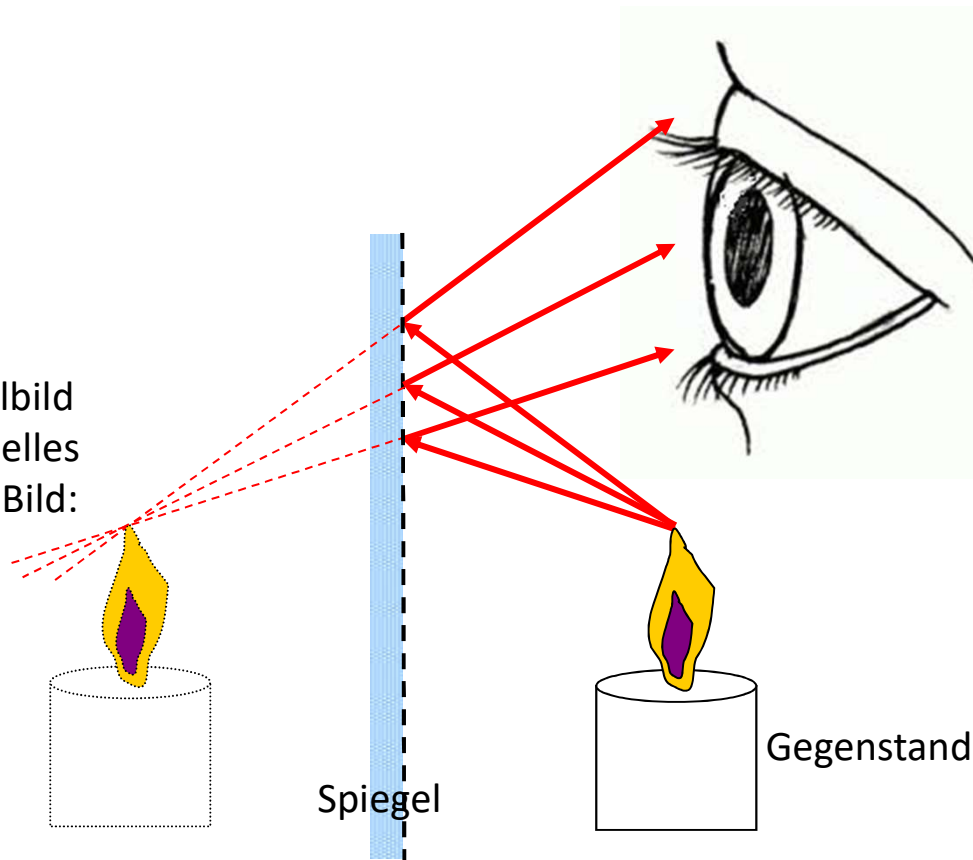
b) Abbildung durch Reflexion



Warum sieht man einen Gegenstand?



Das Spiegelbild
Ist ein virtuelles
aufrechtes Bild:

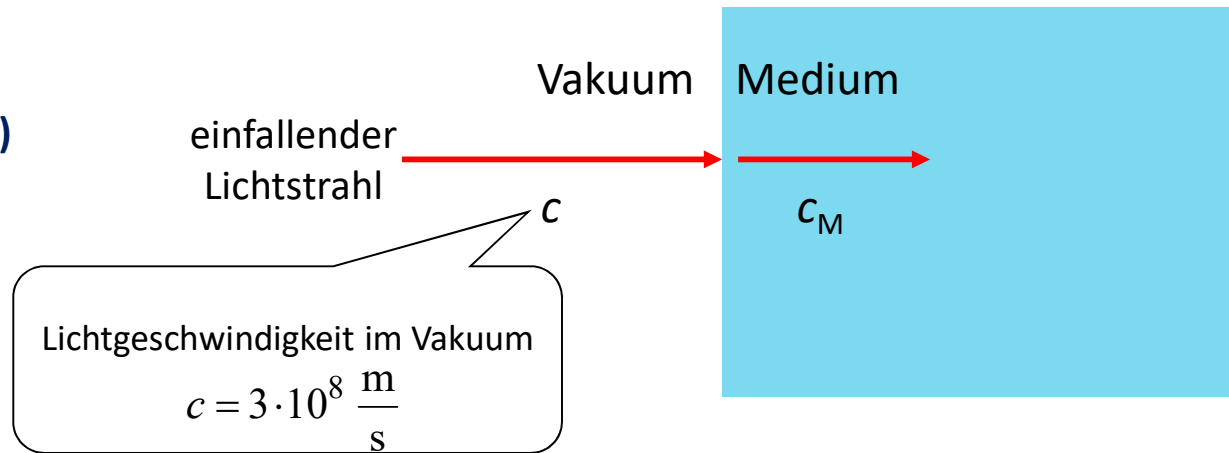


Bildpunkt: wo die aus dem Gegenstandspunkt ausgehende Lichtstrahlen (oder ihre Verlängerungen) einander kreuzen.

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

2. Brechung

a) Brechzahl (Brechungsindex)



absolute Brechzahl (n):

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

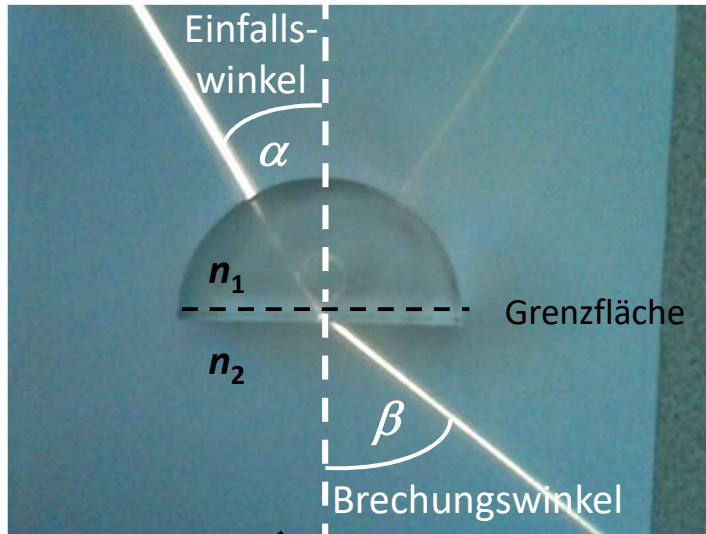
c : Lichtgeschwindigkeit im Vakuum

c_M : Lichtgeschwindigkeit in der Materie

(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

b) Brechung, Brechungsgesetz



Brechungsgesetz

(Snellius-Descartes-Gesetz):

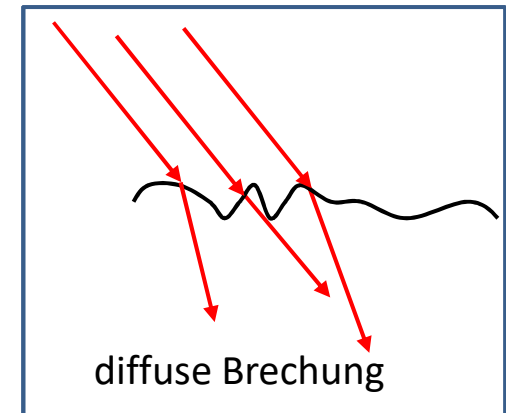
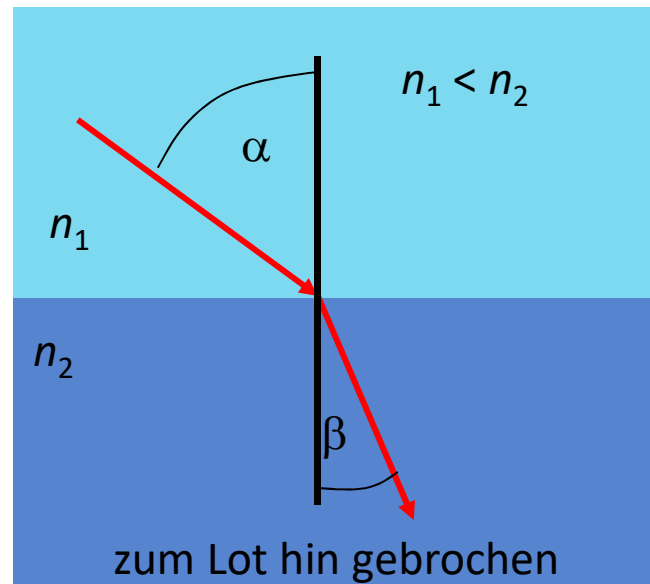
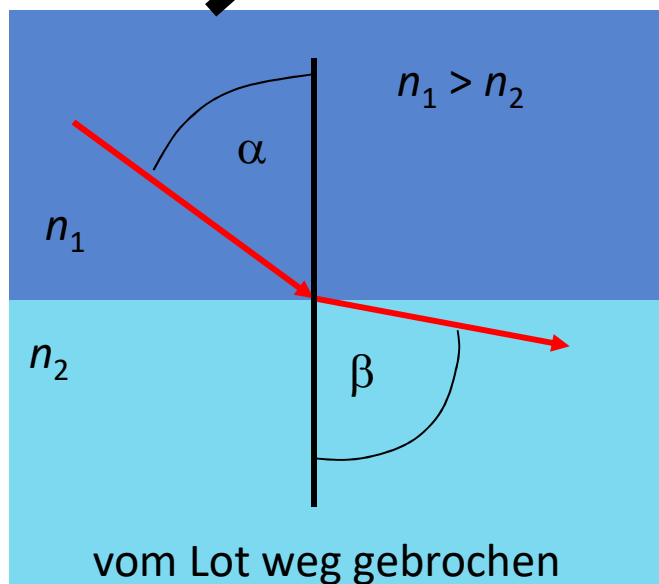
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21} = \frac{c_1}{c_2}$$

relative Brechzahl



Fermatsches Prinzip:

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



Fermatsches Prinzip: das Licht wählt zwischen zwei Punkten den schnellsten und nicht den geometrisch kürzesten Weg. Aus diesem Prinzip ergibt sich das bekannte **Gesetz von Snellius-Descartes (Brechungsgesetz)**.

Das Prinzip gilt auch für Ameisen!

Ameisennest

Fermat's Principle of Least Time Predicts Refraction of Ant Trails at Substrate Borders

Jan Oettler^{1,2}, Volker S. Schmid^{1,3}, Niko Zankl¹, Olivier Rey², Andreas Dress^{3,4}, Jürgen Heinze¹

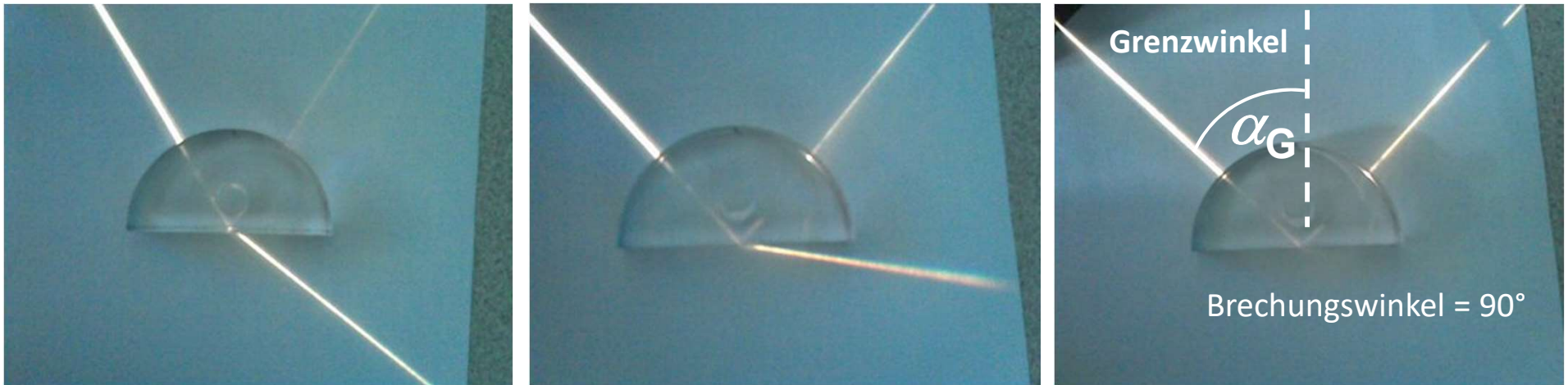
PLOS ONE | www.plosone.org

March 2013 | Volume 8 | Issue 3 | e59739



Nahrung

c) Grenzwinkel

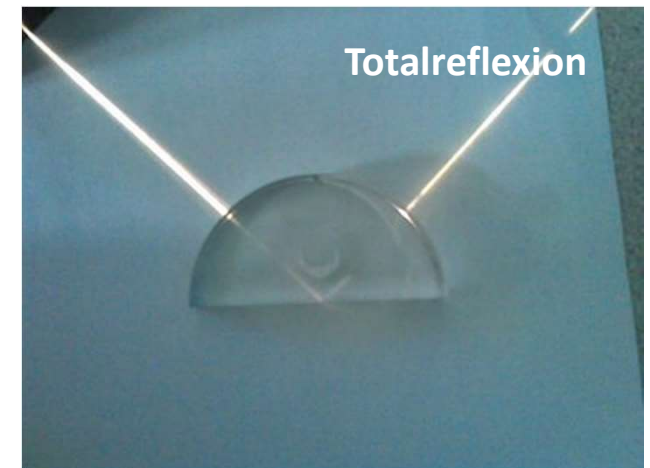
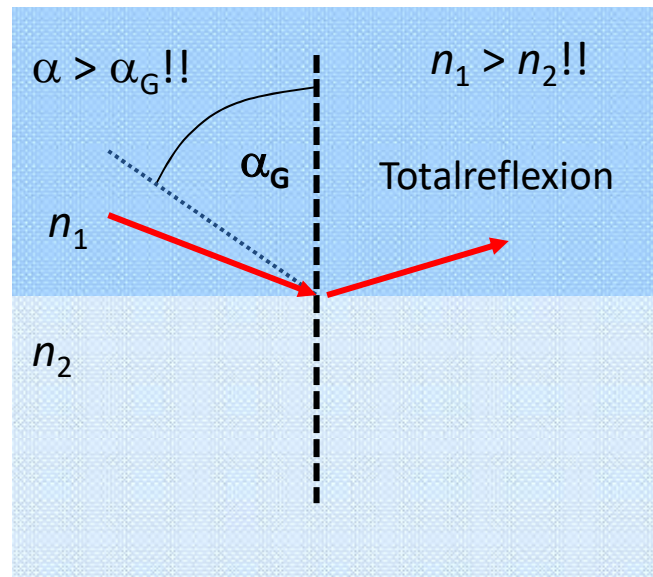


Grenzwinkel: Einfallswinkel des aus dem optisch dichteren Medium kommenden Lichtstrahles wozu ein Brechungswinkel von 90° gehört.

→ siehe Refraktometer im Praktikum

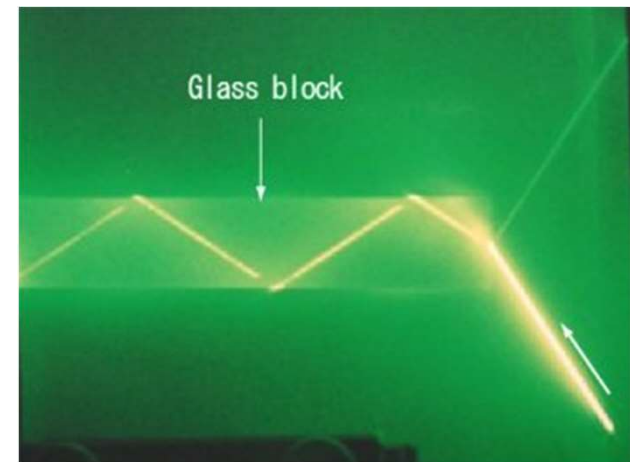
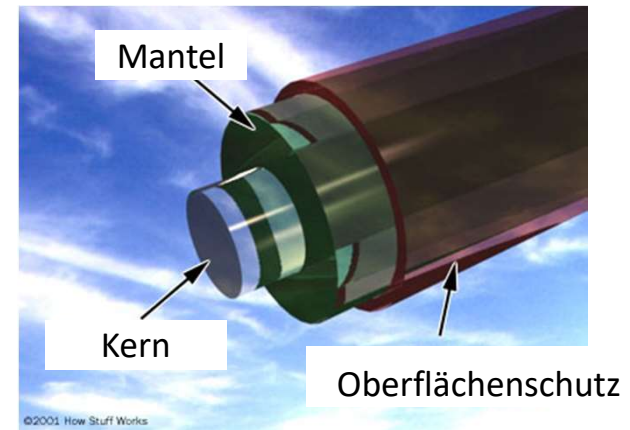
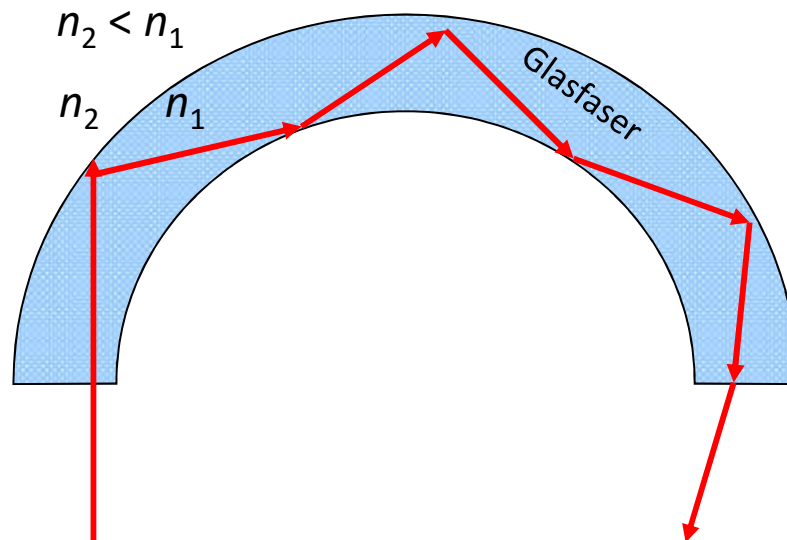
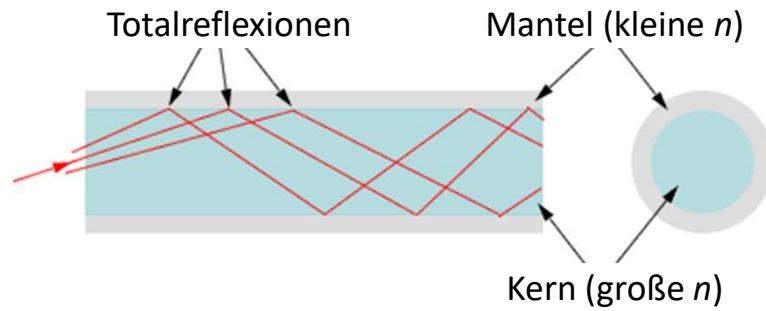
d) Totalreflexion

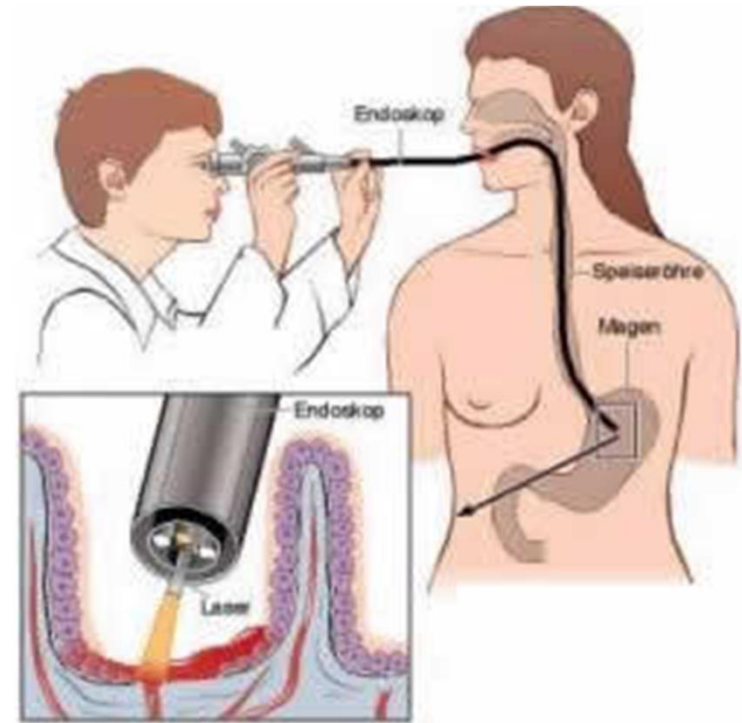
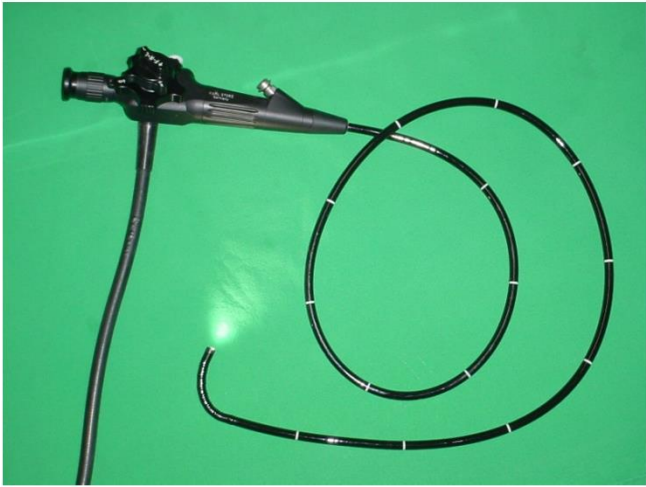
Totalreflexion: Reflexion eines aus dem optisch dichten Medium kommenden Lichtstrahles wenn der Einfallswinkel grösser ist als der Grenzwinkel



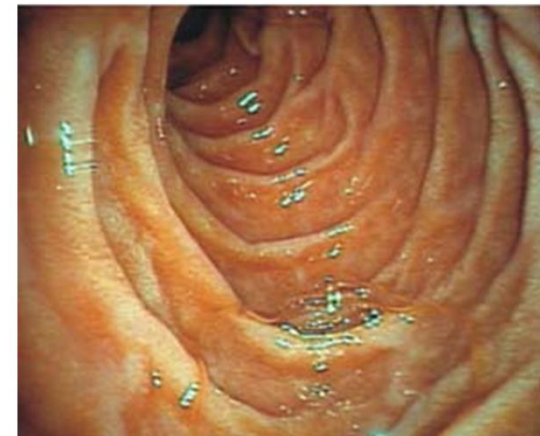
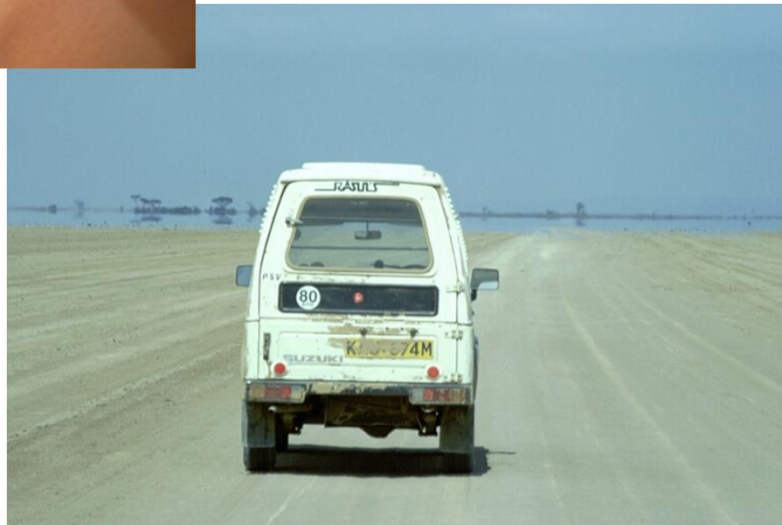
→ optisches Kabel, Endoskop

optisches Kabel, Endoskop

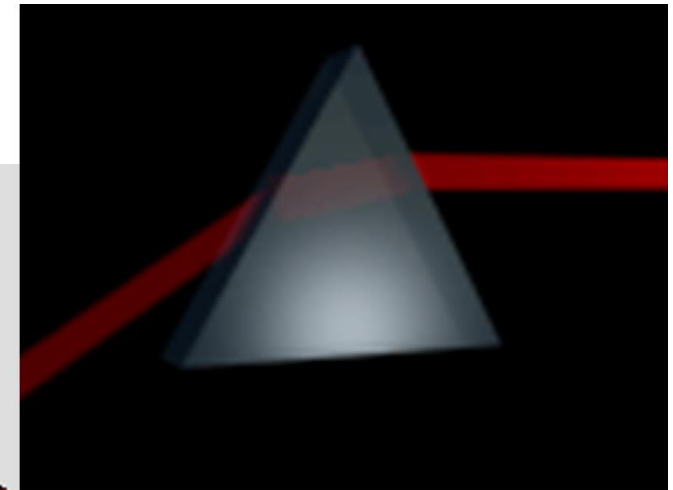
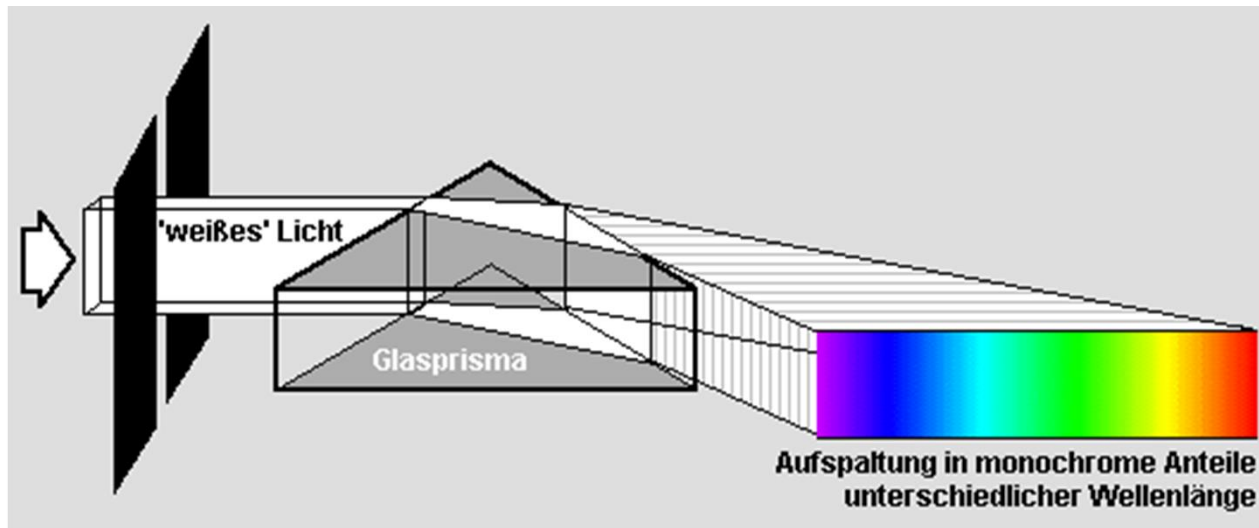




Endoskop, Fata Morgana



e) Dispersion



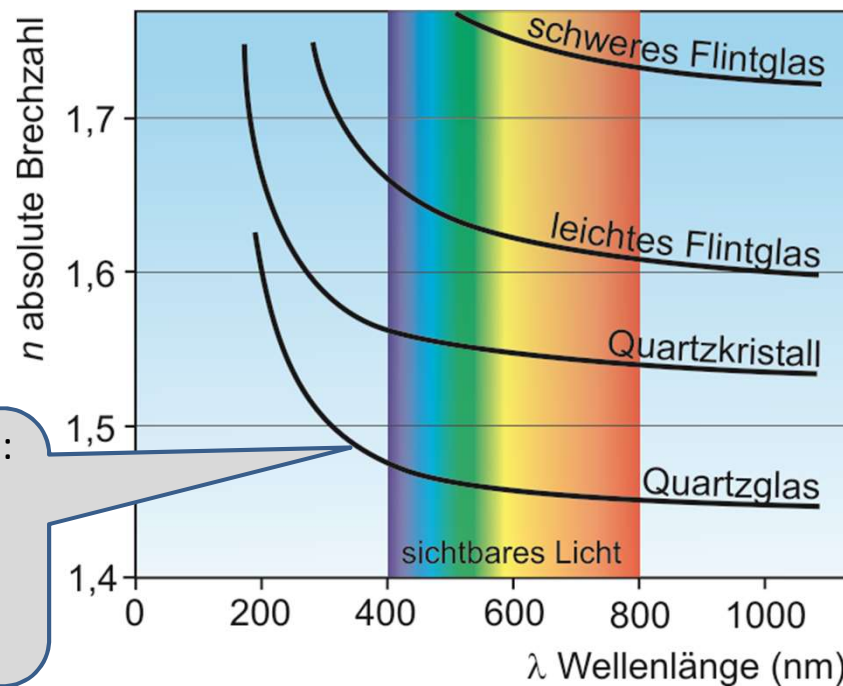
Dispersion:
Wellenlängeabhängigkeit der Brechzahl

Die Brechzahl ist eine Funktion der Wellenlänge:

$$n = n(\lambda)$$

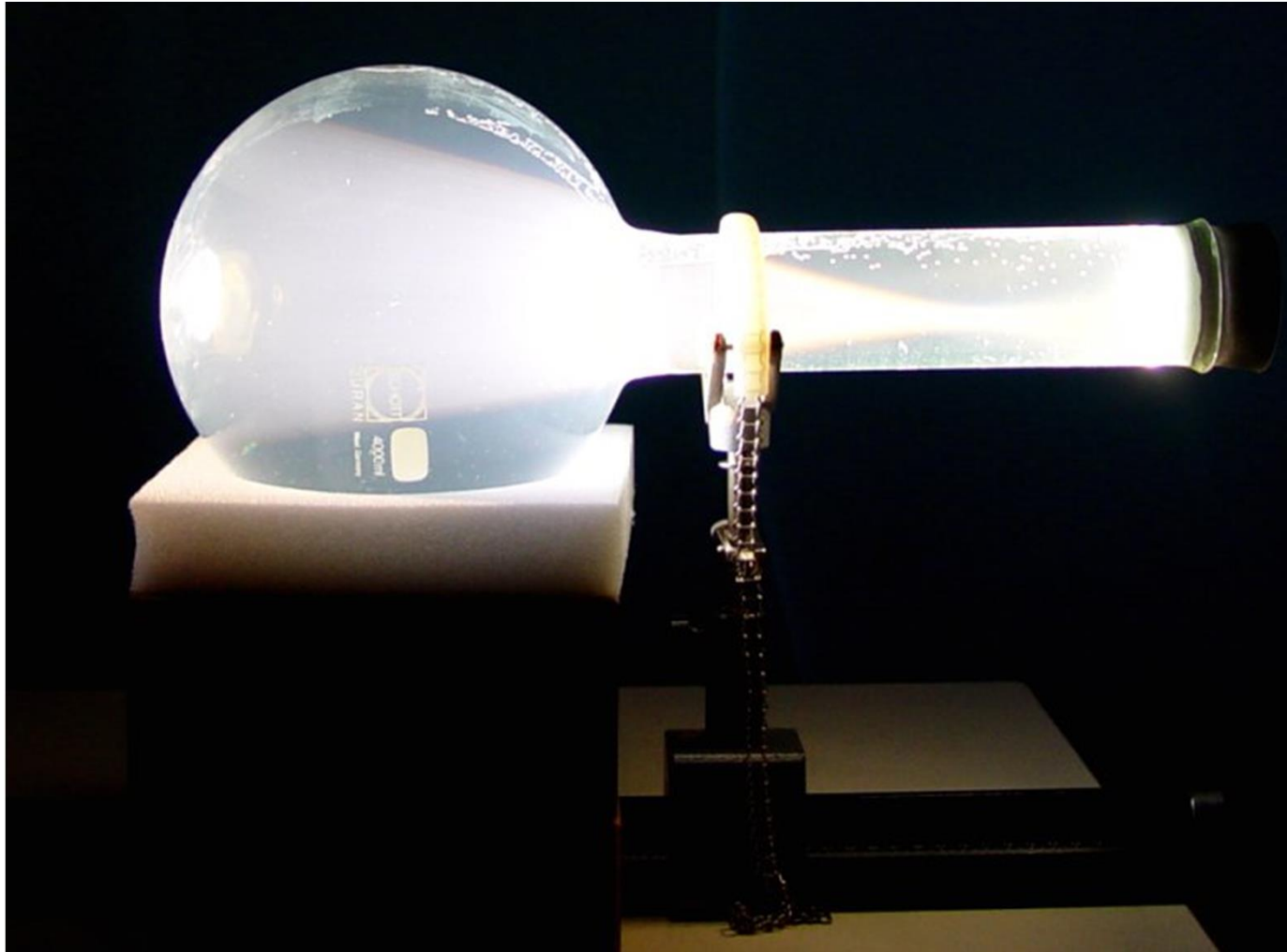
Normale Dispersion:

wenn n mit wachsender Wellenlänge abnimmt.



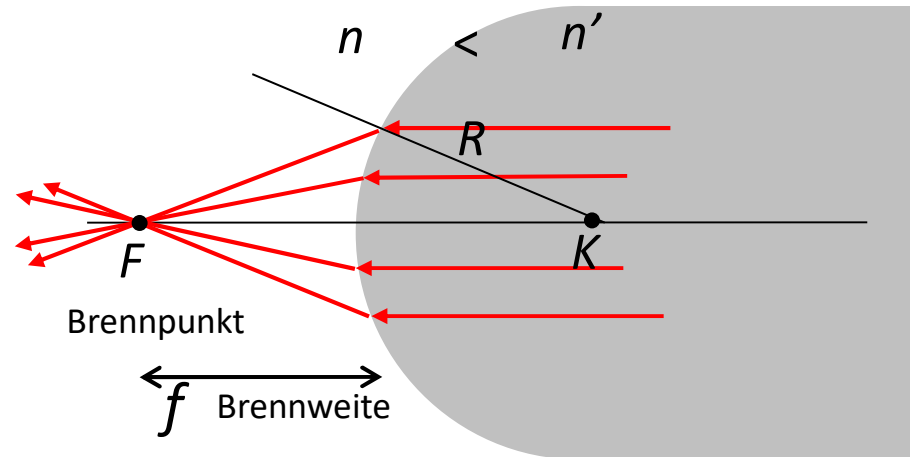
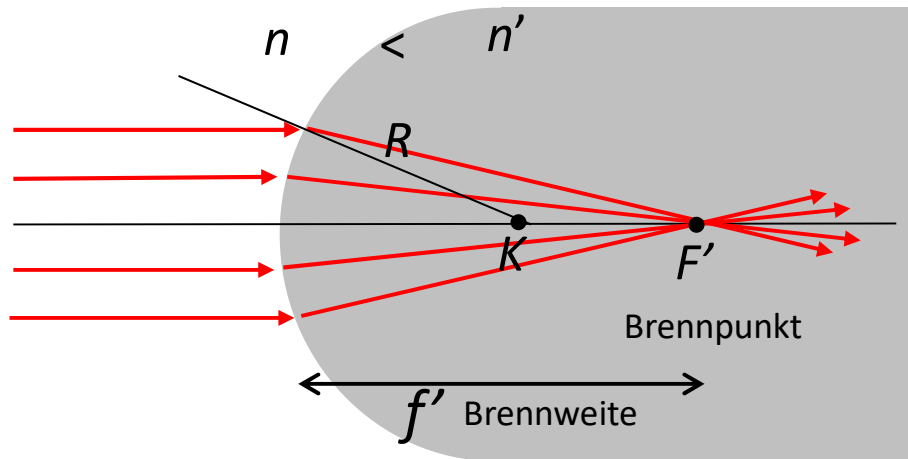
→ siehe später Monochromator

Brechung durch eine sphärische Grenzfläche:



(R. Keller, Universität Ulm)

3. Brechung an einer sphärischen Grenzfläche

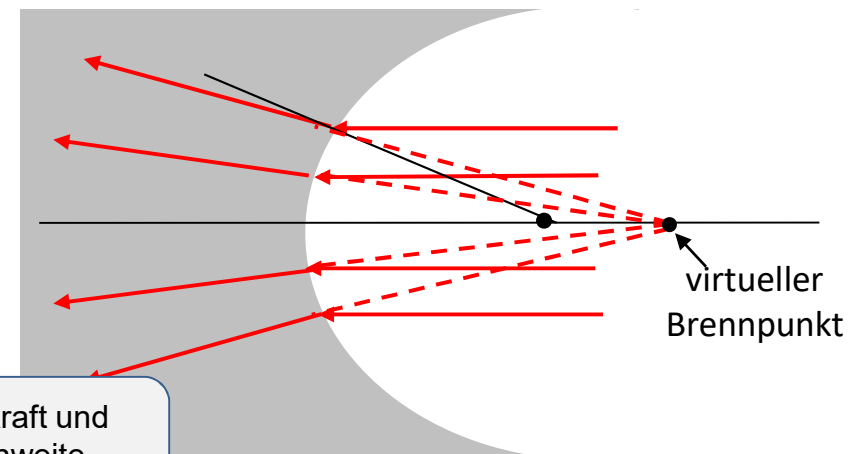
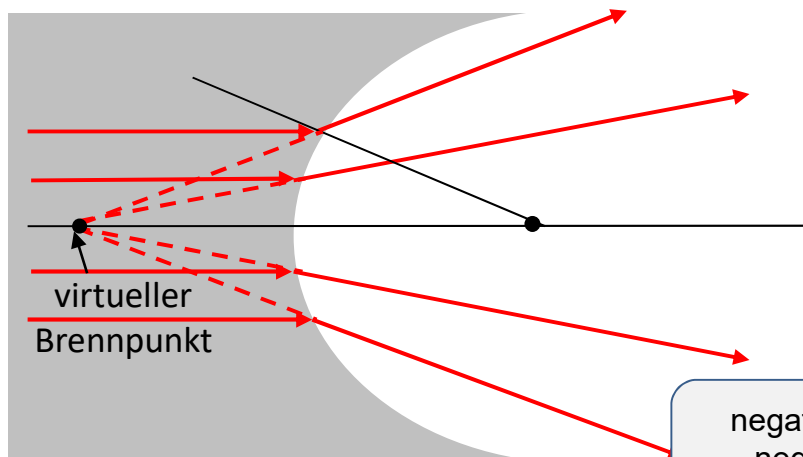


a) Brechkraft (D):

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

positive Brechkraft und
positive Brennweite
(Fokussierung)

Die Formel gilt genau nur für achsennahe Strahlen!



negative Brechkraft und negative Brennweite (Zerstreuung)

Allgemein:

Brechzahl des zweiten Mediums

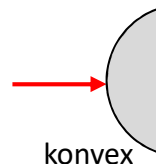
Brechzahl des ersten Mediums

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

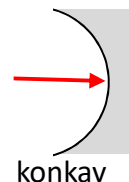
Krümmungsradius (R)

$n_2 - n_1$	R	D	
positiv	positiv	positiv	Fokussierung
negativ	positiv	negativ	Zerstreuung
positiv	negativ	negativ	Zerstreuung
negativ	negativ	positiv	Fokussierung

- R ist positiv ($0 < R$), wenn die Grenzfläche konvex ist:

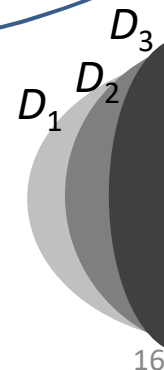


- R ist negativ ($R < 0$), wenn die Grenzfläche konkav ist:



Für mehrere naheliegenden Grenzflächen gilt:

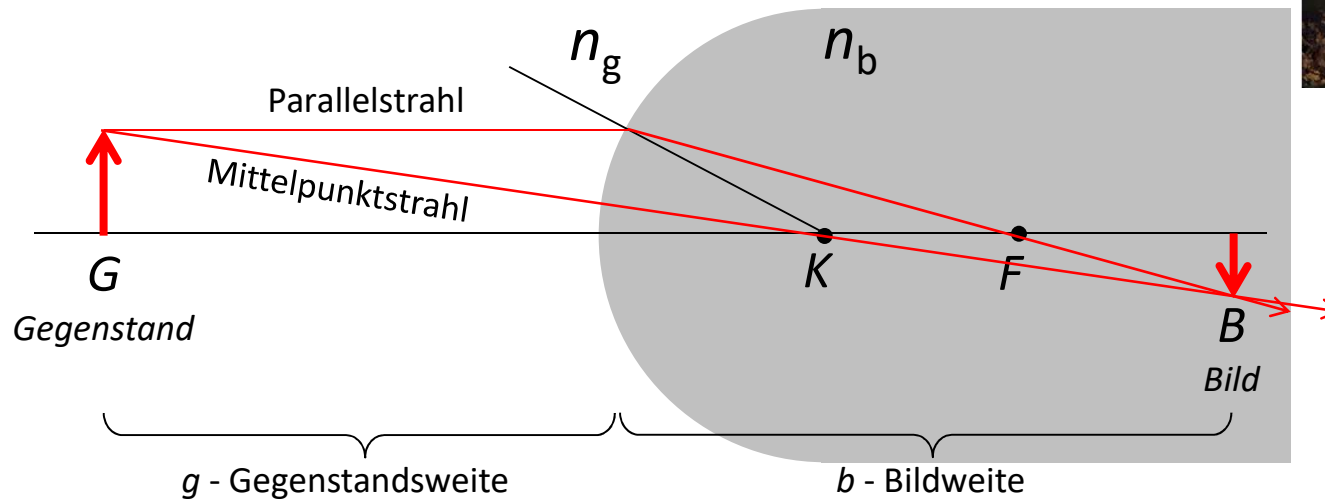
$$D_{\text{gesamt}} = D_1 + D_2 + D_3 + \dots$$



→ 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

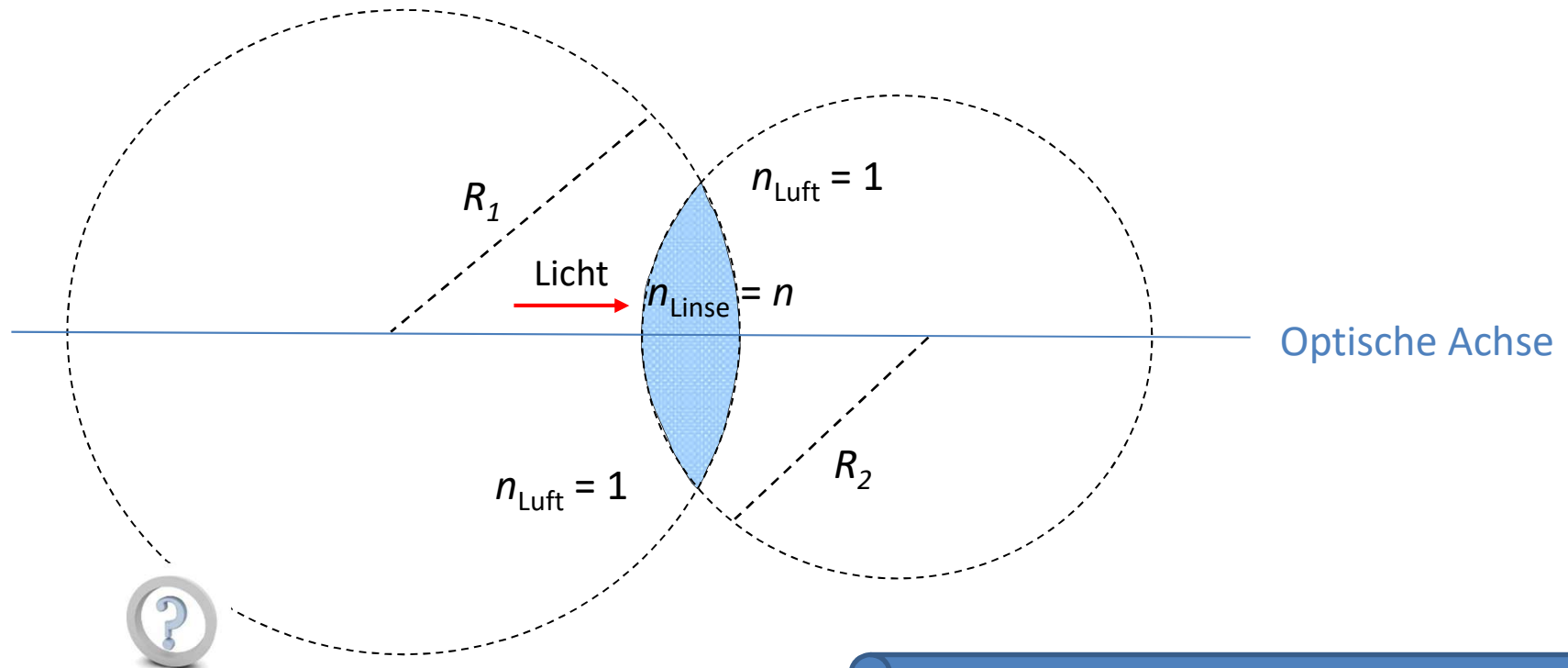
▪ **Abbildungsgesetz:**
$$\left(\frac{n_g}{f_g} = \frac{n_b}{f_b} \right) = D = \frac{n_g}{g} + \frac{n_b}{b}$$

Gilt nur für achsennahe Strahlen!

4. Linsen

a) Brechkraft einer Linse, Linsenschleiferformel

Sphärische bikonvexe Linsen:



▪ Linsenschleiferformel:

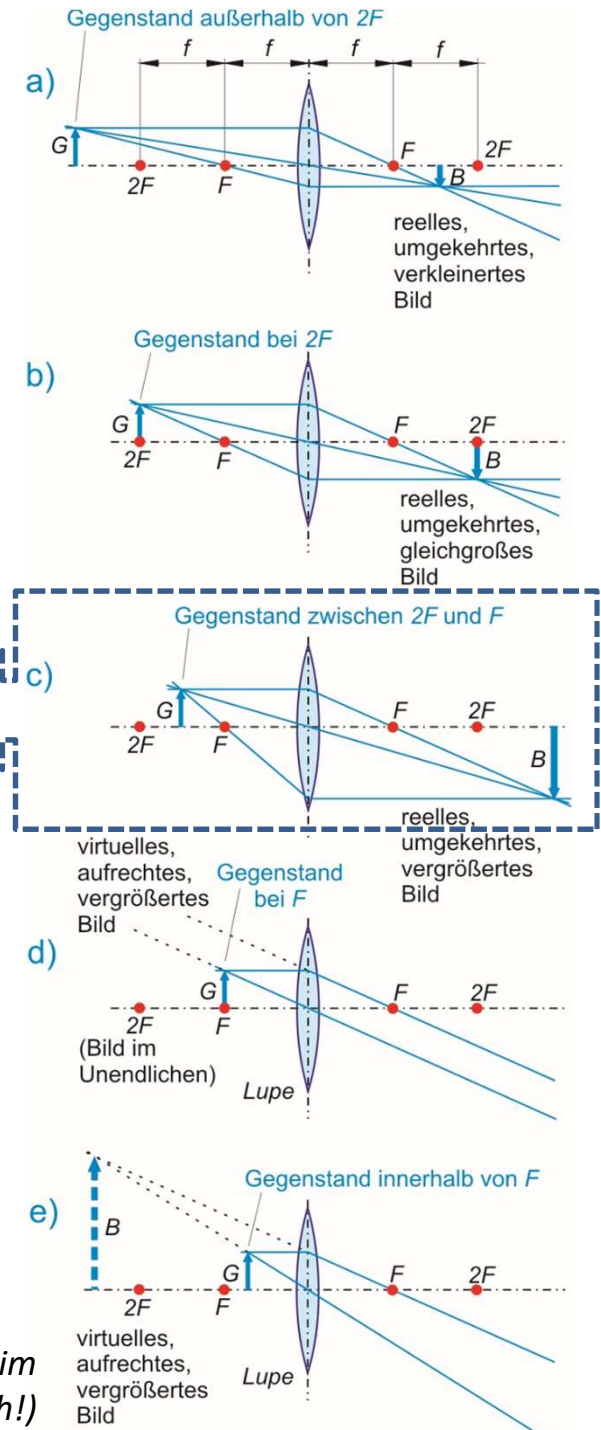
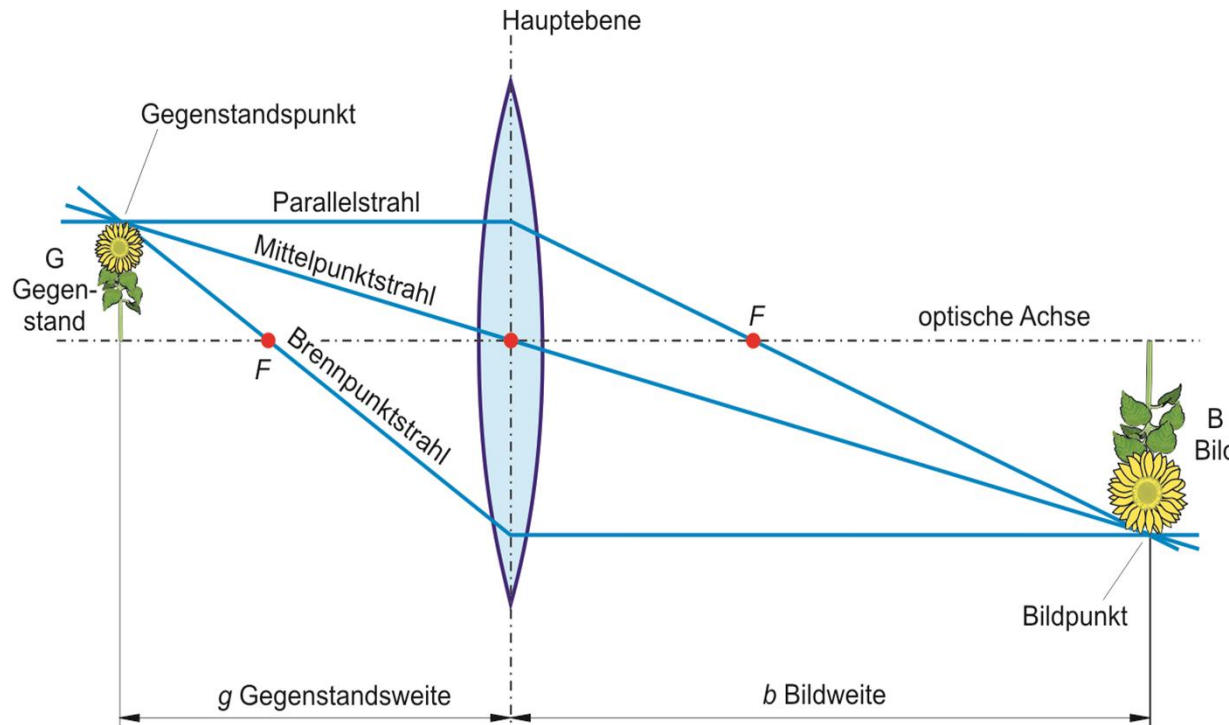
$$D_{\text{Linse}} =$$

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

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

Sphärische Linse ist ein durch Kugelflächen umgrenzte Brechungsmedium

c) Abbildung durch eine Linse, Linsengleichung



(s. Abbildung 3.7 im
Praktikumsbuch!)

▪ **Linsengleichung (Abbildungsgesetz):**

Luft:

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

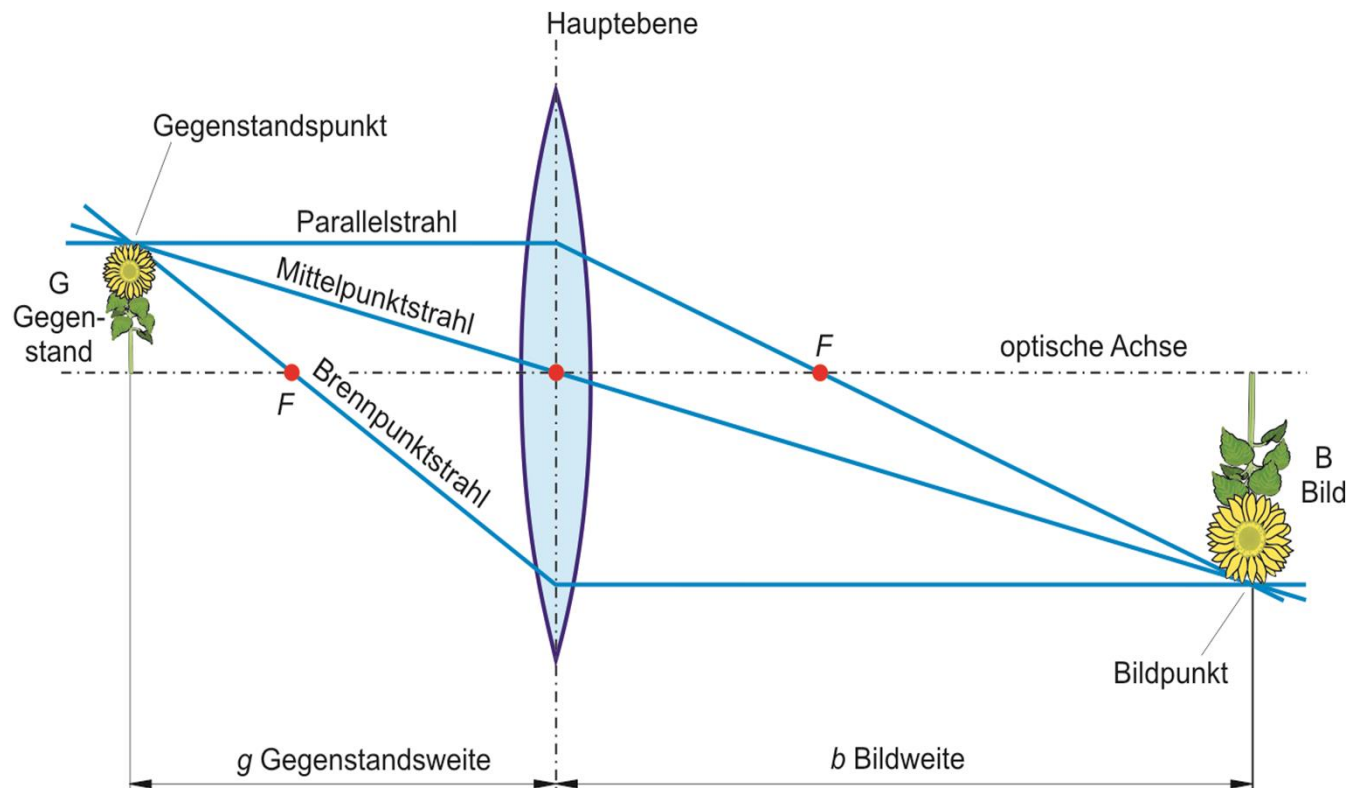
(Bei einem virtuellen Bild ist b negativ.)

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

▪ **Vergrößerung (V):**

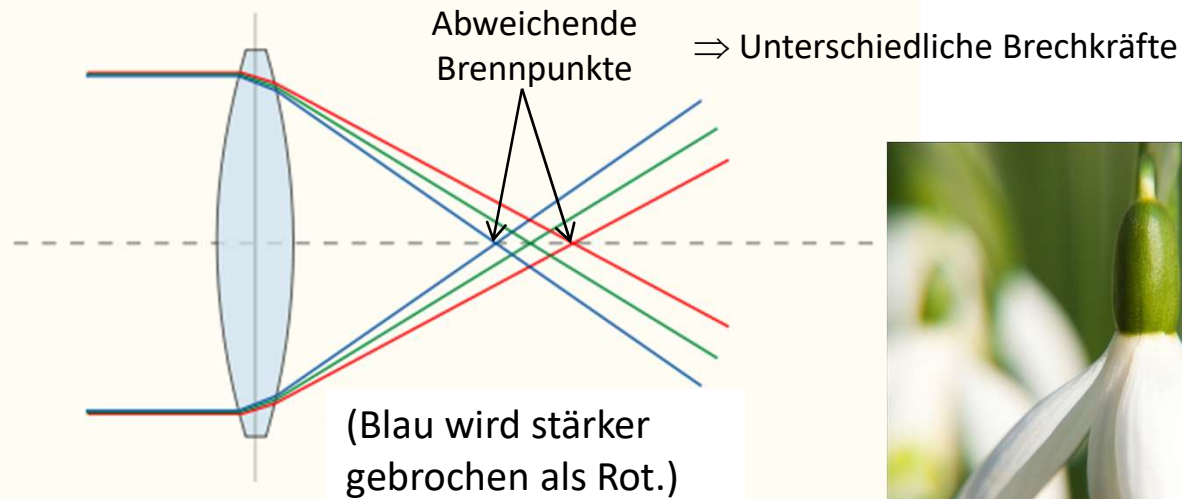
$$V = \frac{B}{G} = \frac{b}{g}$$

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

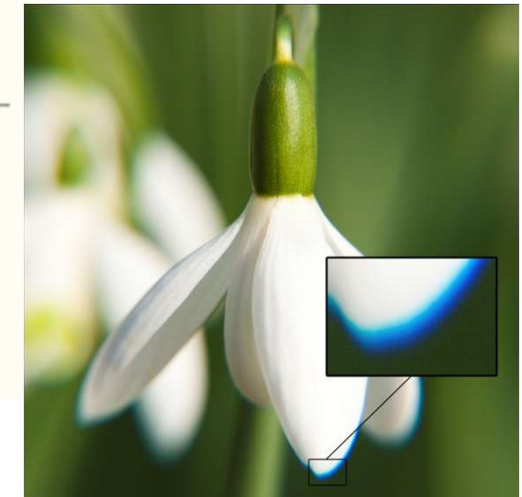
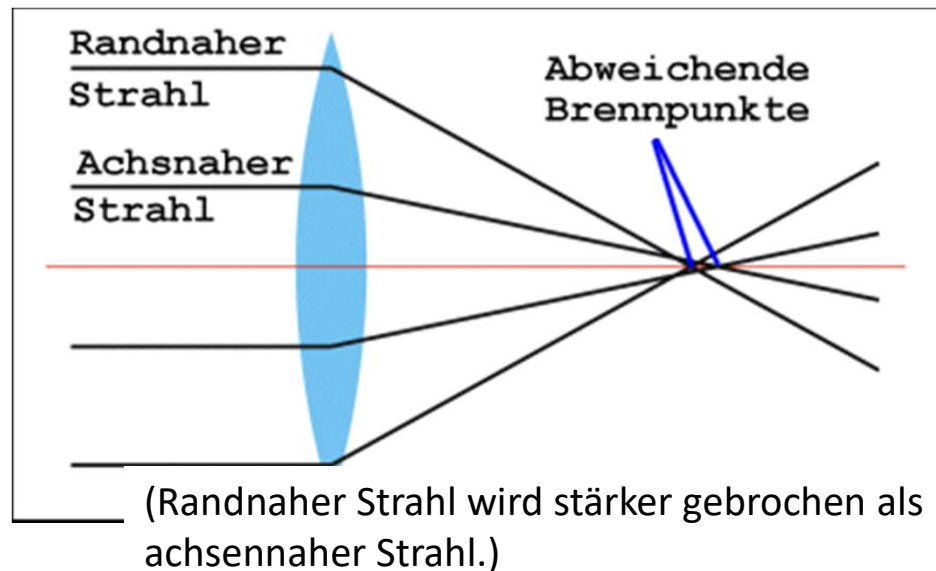


b) Linsenfehler

Chromatische
Aberration



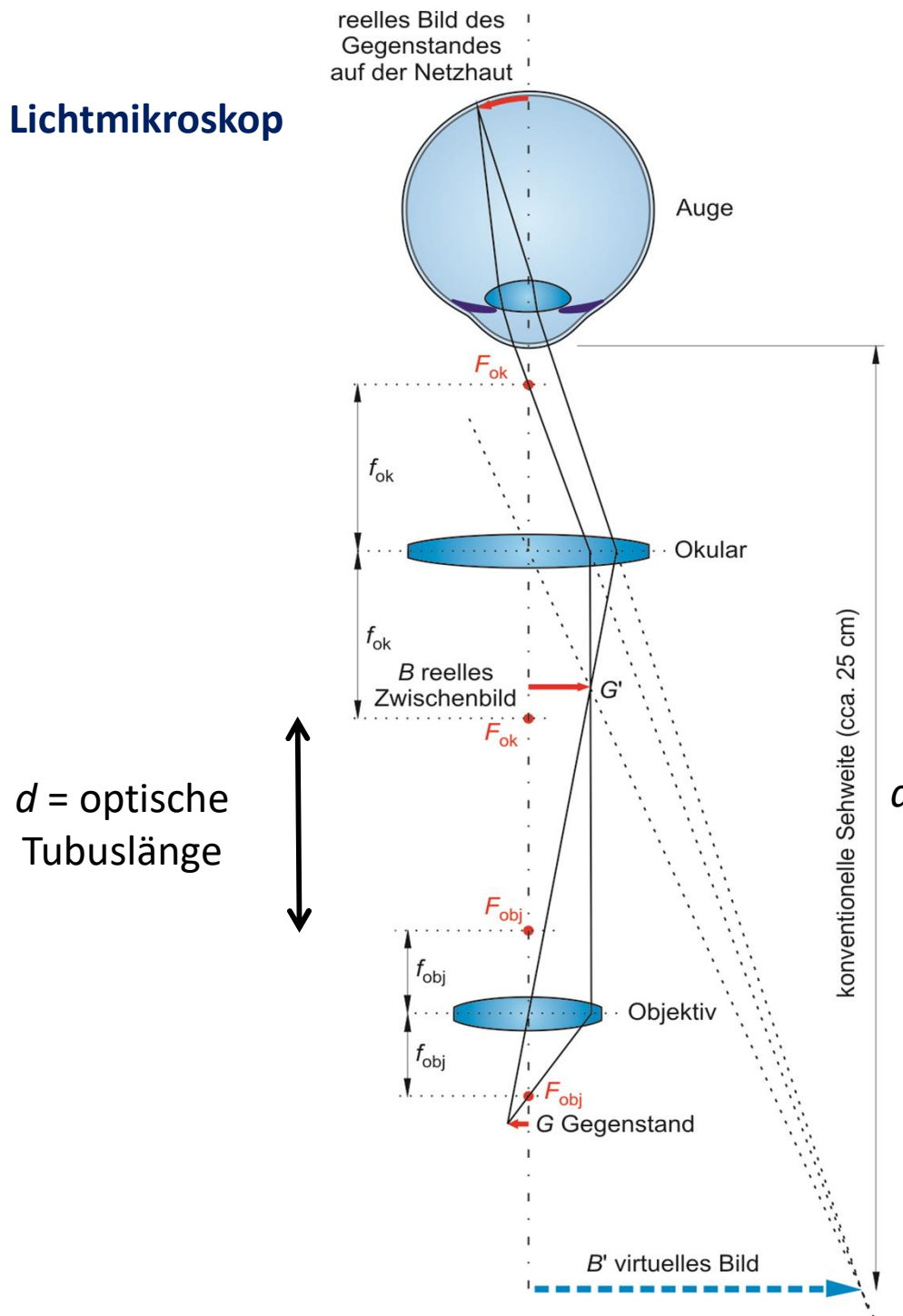
Sphärische Aberration



➡ 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

Hausaufgaben: ■ Aufgabensammlung

2. 10-17, 20, 22, 24

