

Strahlungen

1. Gemeinsame Eigenschaften
2. Elektromagnetische Strahlungen
3. Teilchenstrahlungen
4. Mechanische Strahlungen (Schall, Ultraschall, ...)

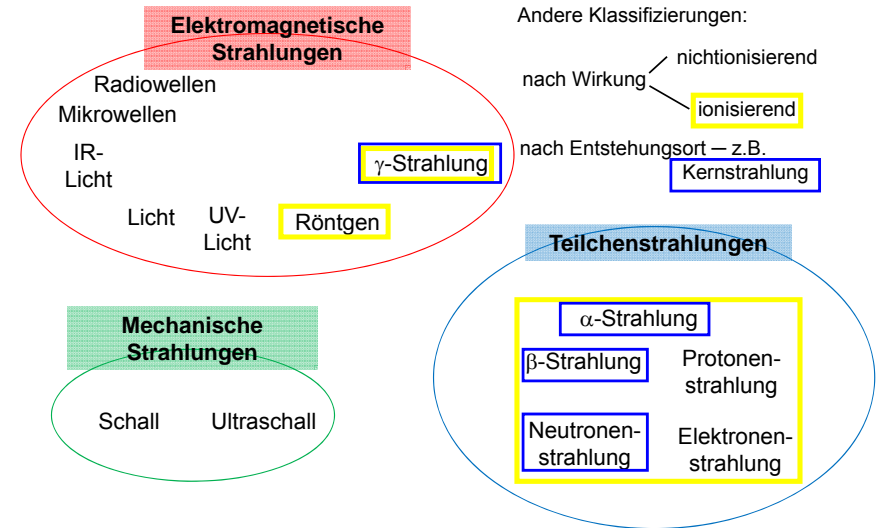
Licht in der Medizin. Medizinische Optik

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, Linsenschleierformel
 - b) Linsenfehler
 - c) Abbildung durch eine Linse, Linsengleichung
5. Lichtmikroskop

1

Strahlungen in der Medizin



2

1. Gemeinsame Eigenschaften

- Strahlung: Energietransport!

$$\text{Energiestromdichte} = \frac{1}{A} \frac{\Delta E}{\Delta t} = \text{Leistungsdichte} = \frac{\Delta P}{\Delta A} = \text{Intensität} = J$$

- Beschreibung mit 2 Modellen: Wellenmodell und Teilchenmodell

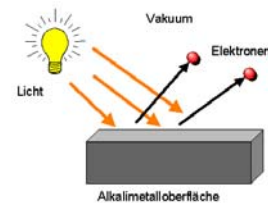
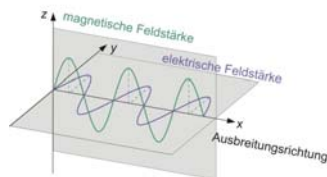
2. Elektromagnetische Strahlungen

Elektromagnetische Wellen – Transversalwellen und Teilchen - Photonen

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

elektromagnetische Welle

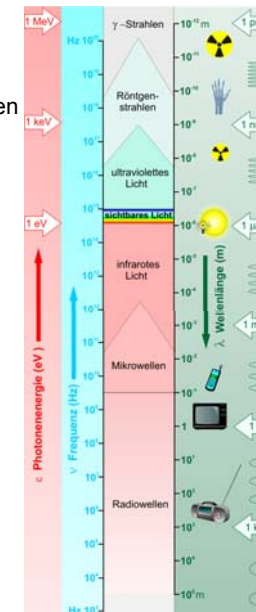
$$\varepsilon = h \cdot f = h \frac{c}{\lambda}$$



3

7 Bereiche:

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



Anwendungsbeispiele:

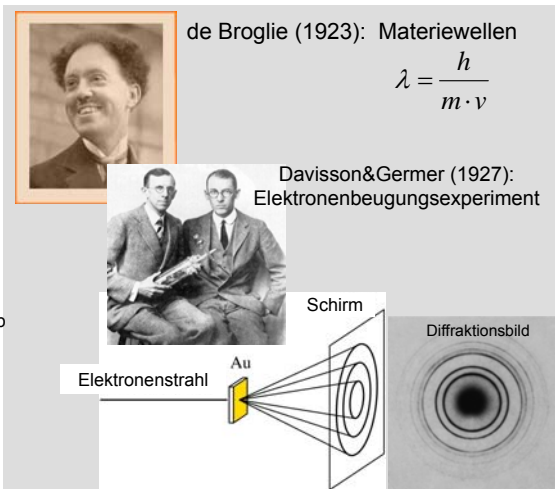
- Gamma-Messer
- Röntgendiagnostik
- UV-Phototherapie
- Mikroskopie/Sehen
- Infrarotdiagnostik
- MRI

4

3. Teilchenstrahlungen

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

Materiewellen



Anwendungsbeispiele:

- Elektronenmikroskop
- Neutronendiffraktion
- Strahlentherapie

5

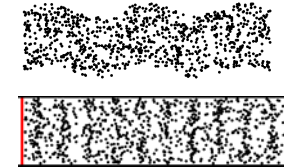
4. Mechanische Strahlungen (Schall, Ultraschall, ...)

- Mechanische Wellen

$$cT = \lambda; \quad c = \lambda \cdot f$$

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

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



- transversale/longitudinale Wellen

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

- Anwendungsbeispiele:

- Hören
- Sonographie
- Ultraschalltherapie



6

Eigenschaften des Lichtes

- Energietransport



- Geradlinige Ausbreitung



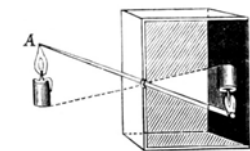
- Wellennatur
- Teilchennatur

Geometrische Optik

7

I. Geometrische Optik

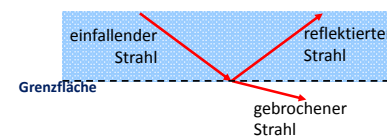
Geradlinige Ausbreitung



camera obscura



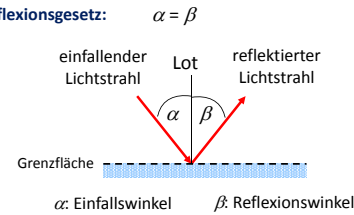
Reelles umgekehrtes Bild



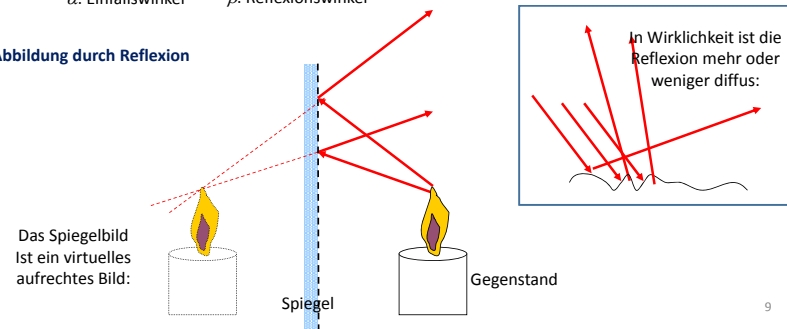
8

1. Reflexion (im Rahmen der geometrischen Optik)

a) Reflexionsgesetz:



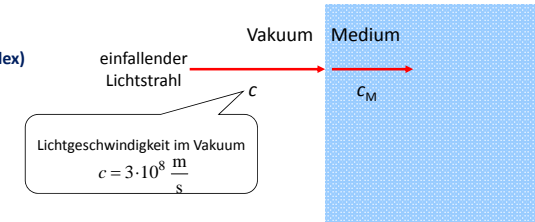
b) Abbildung durch Reflexion



9

2. Brechung

a) Brechzahl (Brechungsindex)



absolute Brechzahl (n): $n = \frac{c}{c_M} \geq 1$ z.B.

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

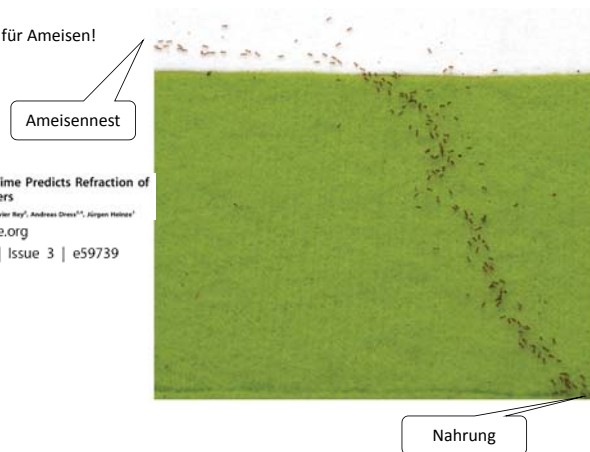
Material	n (20 °C und 589 nm)
Vakuum	1
Luft (1 atm)	1,00027
Wasser	1,333
Augenlinse	≈ 1,34
Ethylalkohol	1,361
Quarzglas	1,459
Flintglas	1,613
Diamant	2,417

10

b) Brechung, Brechungsgesetz

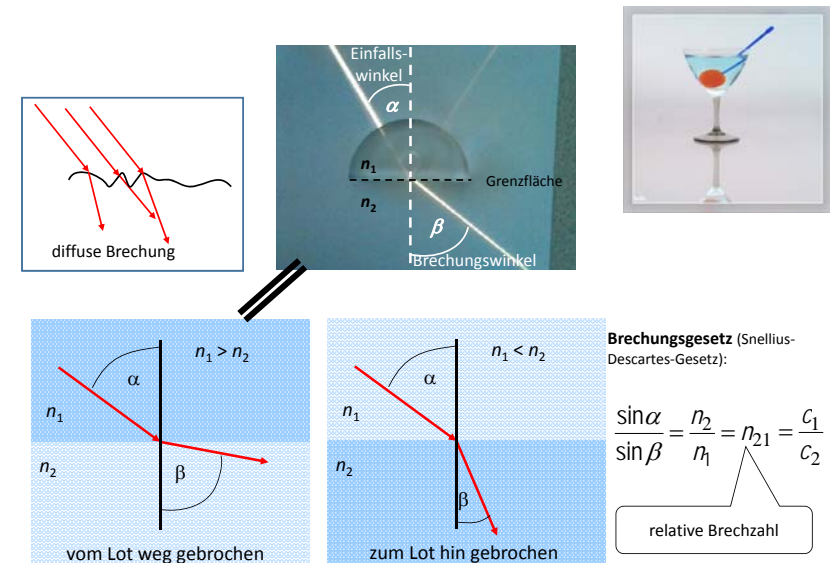
Fermatsches Prinzip: das Licht wählt zwischen zwei Punkten den schnellsten und nicht den geometrisch kürzesten Weg. Aus diesem Prinzip ergibt sich das bekannte **Gesetz von Snellius-Descartes (Brechungsgesetz)**.

Das Prinzip gilt auch für Ameisen!



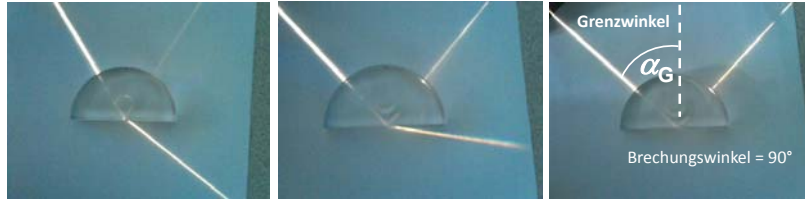
Fermat's Principle of Least Time Predicts Refraction of Ant Trails at Substrate Borders
Jan Oettler^{1,2}, Volker S. Schmidt^{1,2}, Niko Zandt¹, Oliver Reij¹, Andreas Dresch^{1,2}, Jürgen Heister¹
PLOS ONE | www.plosone.org
March 2013 | Volume 8 | Issue 3 | e59739

11



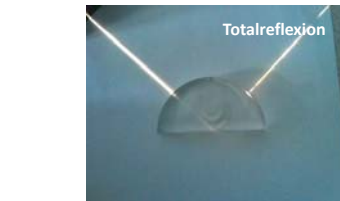
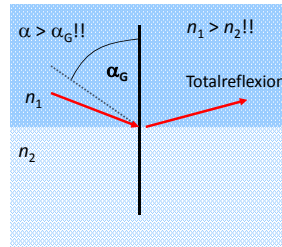
12

c) Grenzwinkel



→ siehe Refraktometer im Praktikum

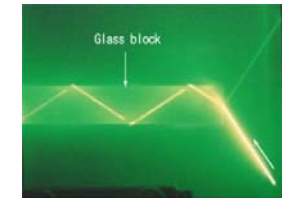
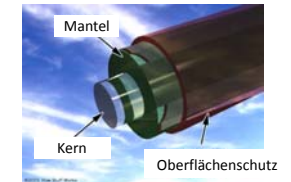
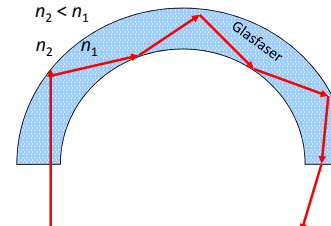
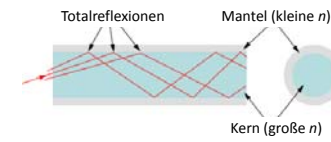
d) Totalreflexion



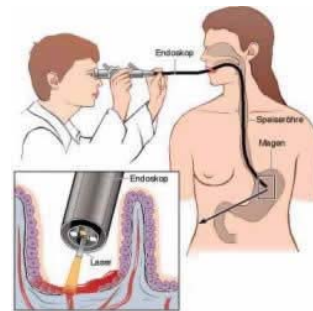
→ optisches Kabel, Endoskop

13

optisches Kabel, Endoskop



14

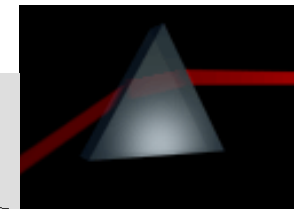
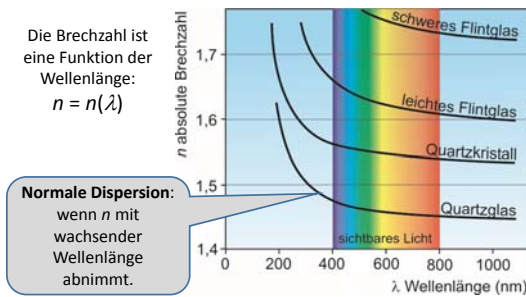
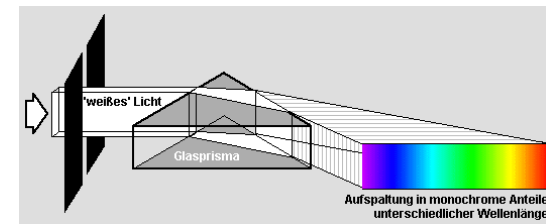


Endoskop, Fata Morgana



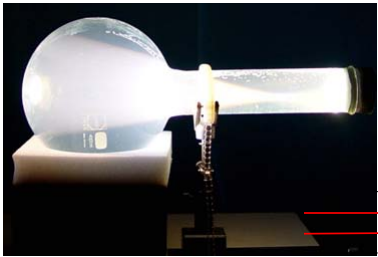
15

e) Dispersion



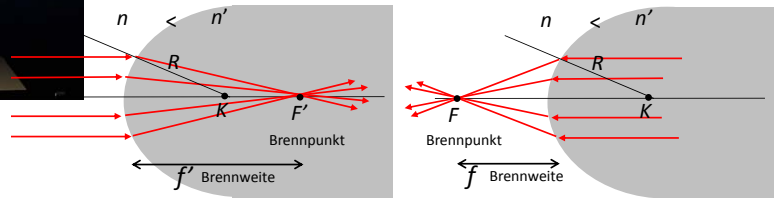
→ siehe später Monochromator

16



(R. Keller, Universität Ulm)

3. Brechung an einer sphärischen Grenzfläche

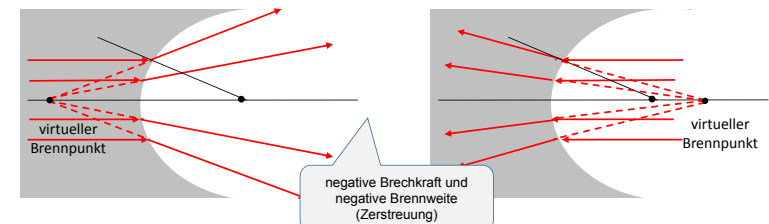


a) Brechkraft (D):
$$D = \frac{n'}{f'} = \frac{n}{f} = \frac{n' - n}{R} \quad \left(\frac{1}{\text{m}} = \text{dpt (Dioptrie)} \right)$$

positive Brechkraft und positive Brennweite (Fokussierung)

Die Formel gilt genau nur für achsennahe Strahlen!

17



negative Brechkraft und negative Brennweite (Zerstreuung)

Allgemein:

Brechzahl des zweiten Mediums n_2
Brechkraft des ersten Mediums n_1
Krümmungsradius (R)

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

$n_2 - n_1$	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:

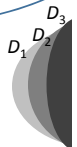


○ R ist negativ ($R < 0$), wenn die Grenzfläche konkav ist:



Für mehrere nahegelegenen Grenzflächen gilt:

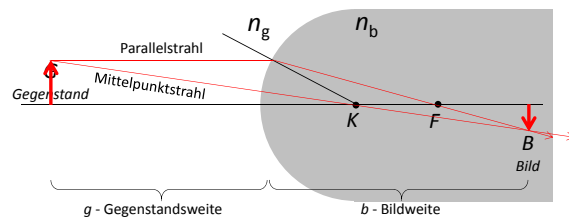
$$D_{\text{gesamt}} = D_1 + D_2 + D_3 + \dots$$



→ 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!

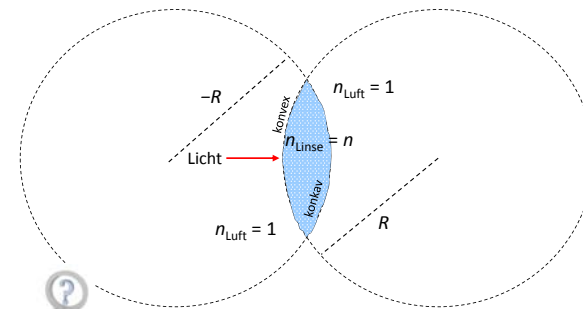


19

4. Linsen

a) Brechkraft einer Linse, Linsenschleierformel

Symmetrische sphärische bikonvexe Linsen:



▪ Linsenschleierformel:

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

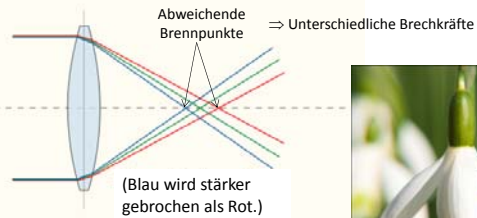
$$D_{\text{gesamt}} = D_1 + D_2 + D_3 + \dots$$

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

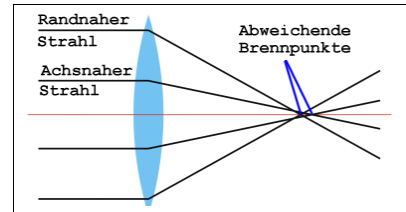
20

b) Linsenfehler

Chromatische
Aberration



(Blau wird stärker
gebrochen als Rot.)



(Randnaher Strahl wird stärker gebrochen als
achsener Strahl.)

Verallgemeinerung:

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

21

c) Abbildung durch eine Linse, Linsengleichung

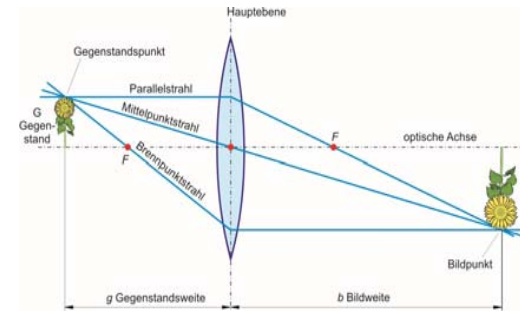


Abb.6. Praktikumbuch, Mikroskopie I.

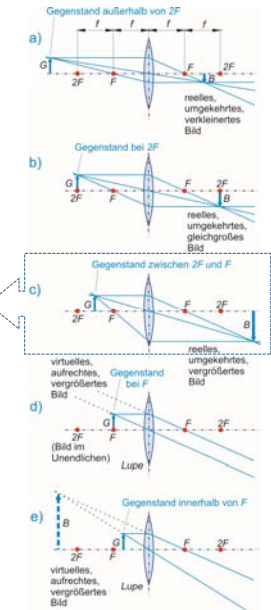


Abb.7. Praktikumbuch, Mikroskopie I.

22

▪ Linsengleichung (Abbildungsgesetz):

Luft:

$$\left. \begin{array}{l} n_g = n_b = 1 \\ f_g = f_b = f \end{array} \right\} \frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b} \quad (\text{Bei einem virtuellen Bild ist } b \text{ negativ.})$$

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

▪ Vergrößerung (V):

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

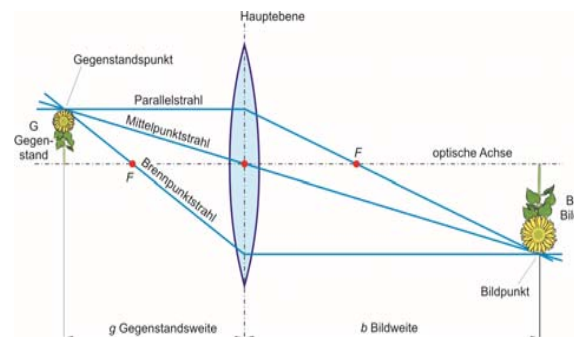


Abb.6. Praktikumbuch, Mikroskopie I.

23

5. Lichtmikroskop

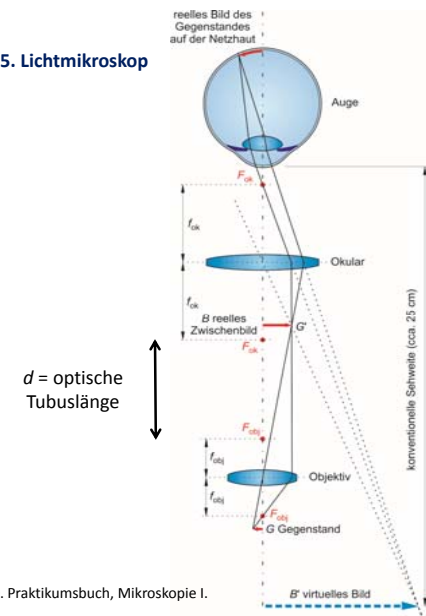


Abb.10. Praktikumbuch, Mikroskopie I.

▪ 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 10.1, 2.10-17, 20, 22, 24, 27

