

# Optik



Ausschließlich für den Unterrichtsgebrauch

1



Optik ist ein Spezialgebiet der Physik, das Eigenschaften elektromagnetischer Strahlung im sichtbaren Bereich behandelt.

2

# Optik

1. „**Geometrische Optik**“ (optische Geräte)
  - Typische Abmessungen  $d$  der abbildenden System (Blenden, Linsen) sind groß gegen die Wellenlänge  $\lambda$  des Lichts
2. „**Wellenoptik**“
  - Typische Abmessungen  $d$  der abbildenden System (Blenden, Linsen) sind klein gegen die Wellenlänge  $\lambda$  des Lichts
  - Wellencharakter des Lichts führt zu Erscheinungen wie Beugung und Interferenz
3. „**Quantenoptik**“
  - Teilchencharakter des Lichts  $\rightarrow$  Photon

3

# Licht

## Eigenschaften des Lichts

• Antikes Modell: Sehstrahlen, vom Auge ausgehend, tasten die Gegenstände ab



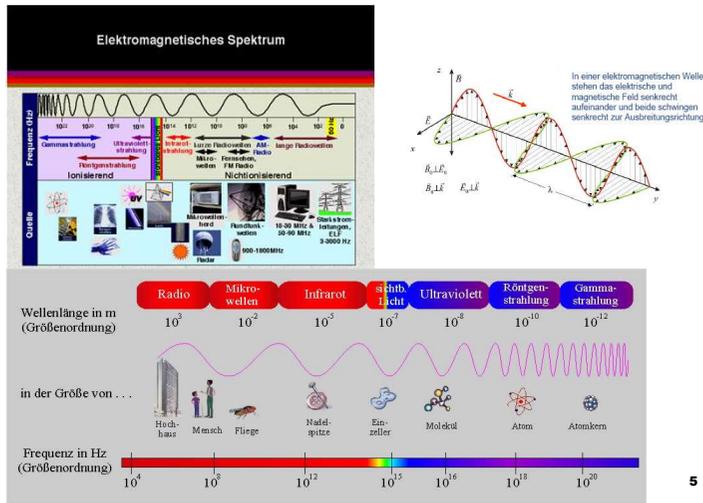
• Heute: Teilchen- und Wellenmodell

Licht kann entweder als Strahl von **Teilchen** oder als elektromagnetische **Welle** betrachtet werden



4

## Licht als EMW (elektromagnetische Welle)



5

## Licht als EMW (elektromagnetische Welle)

Das Licht ist eine elektromagnetische Welle, das sich geradlinig mit der Lichtgeschwindigkeit  $c$  ausbreitet.

Im Vakuum ist die Geschwindigkeit für alle elektromagnetische Wellen gleich:

$$c_0 = (299\,792,46 \pm 0,018) \text{ km/s} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

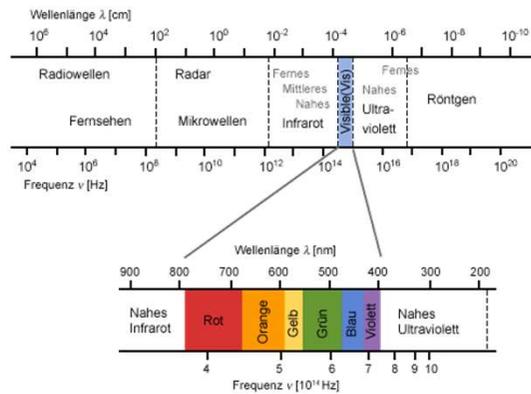
Olaf Römer - 1676: Verfinsterungen des Jupitermondes Io  
 $c \approx 2,3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

Bradley - 1727: Aberration des Sternenlichtes

6

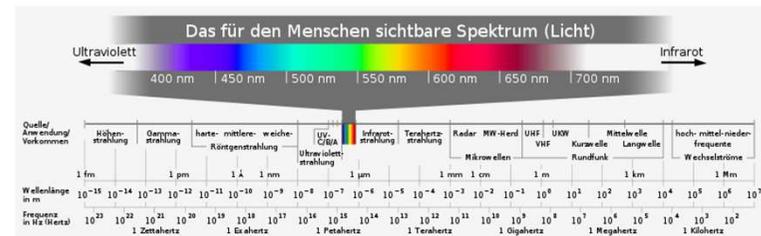
## Licht als elektromagnetische Welle

$$c = \lambda \cdot f$$



7

## Licht als elektromagnetische Welle



8

## Geometrische Optik

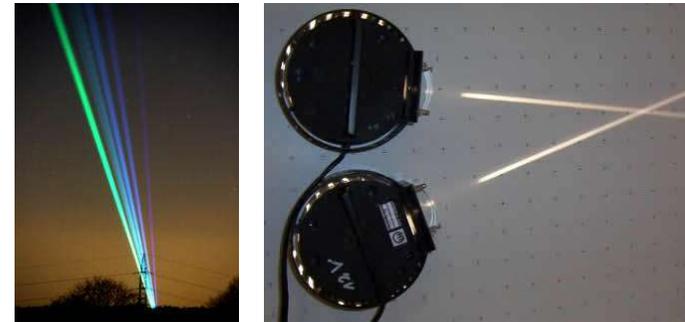
Typische Abmessungen  $d$  der abbildenden System (Blenden, Linsen) sind groß gegen die Wellenlänge  $\lambda$  des Lichts

$$d \gg \lambda$$

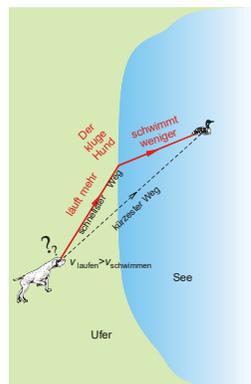
9

## Das Modell „Lichtstrahl“

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

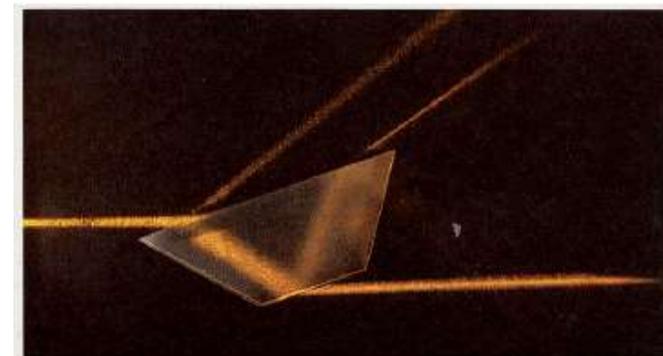


## Das Fermatsche Prinzip



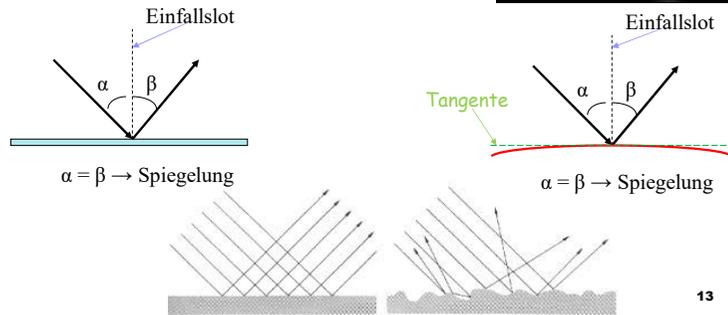
Die Ausbreitung des Lichtes zwischen zwei Punkten verläuft so, daß die verbrauchte Zeit minimal ist.

## Reflexion und Brechung



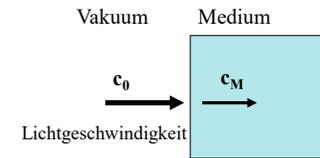
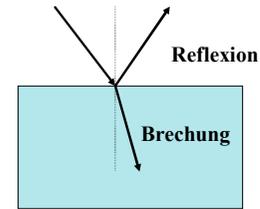
12

## Reflexion des Lichtes



13

## Brechzahl



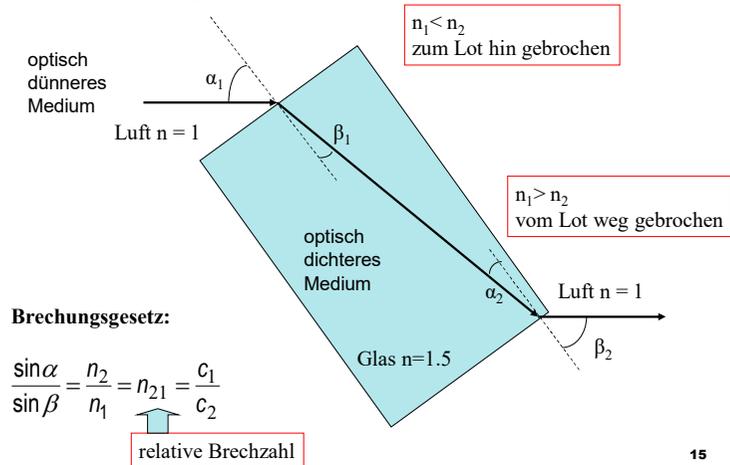
Material	$n$
Vakuum	1
Luft (1 atm)	1,00027
Wasser	1,333
Augenlinse	$\approx 1,34$
Ethylalkohol	1,361
Quarzglas	1,459
Flintglas	1,613
Diamant	2,417

bei 20° C  
und 584 nm

absolute Brechzahl:  $n = \frac{c_0}{c_M} \geq 1$

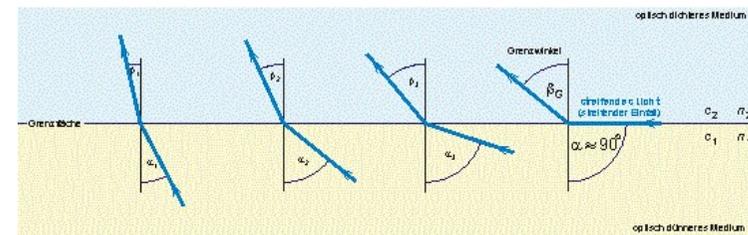
14

## Brechung



15

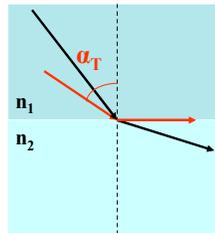
## Totalreflexion



siehe Refraktometer

16

## Totalreflexion

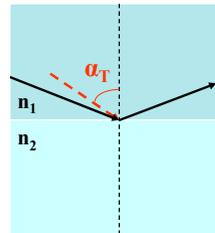


$$n_1 > n_2$$

$\alpha_T$ ...Grenzwinkel

optisch  
dichteres  
Medium

optisch  
dünneres  
Medium

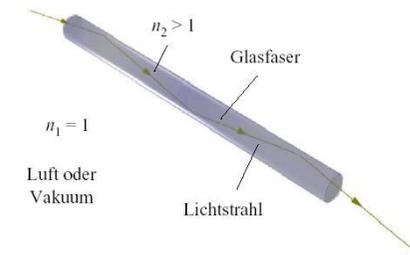


$$n_1 > n_2$$

$\alpha > \alpha_T$  Totalreflexion

17

## Totalreflexion

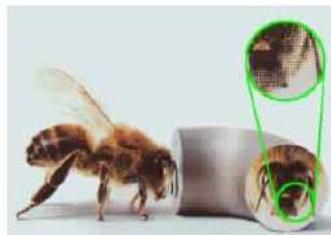
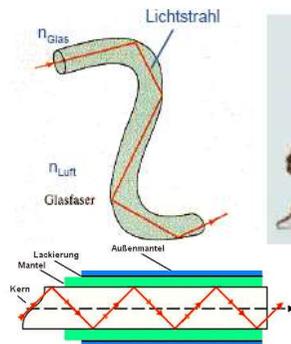


**Anwendung:**

- Lichtleiter – Endoskopie
- Faseroptik – optische Informationsübertragung

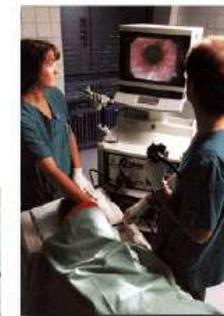
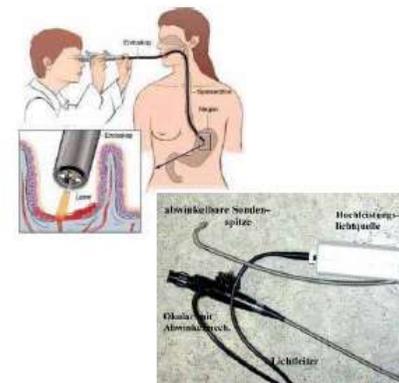
18

## Totalreflexion & Endoskopie



19

## Totalreflexion & Endoskopie



20

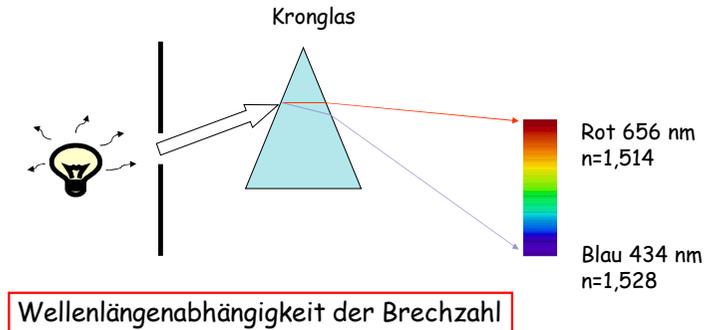
## Dispersion und Prisma



Weißes Licht wird zerlegt  
Kurzwelliges Licht (violett) wird stärker gebrochen als langwelliges (rot)

21

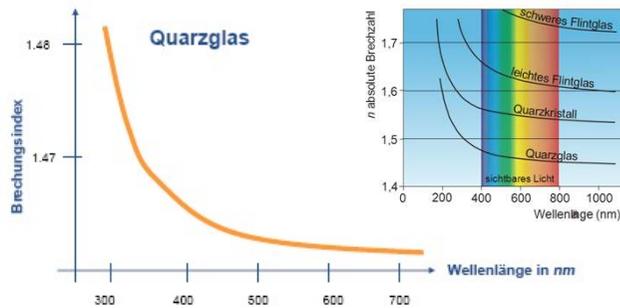
## Dispersion und Prisma



22

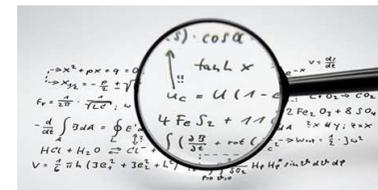
## Dispersion

Der Brechungsindex ist für alle Gläser wellenlängenabhängig, d.h.  $n = n(\lambda)$ .  
Für die meisten Gläser nimmt  $n$  mit abnehmender Wellenlänge zu,  
d.h. **BLAU** wird stärker gebrochen als **ROT** (normale Dispersion)



23

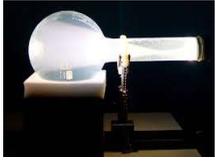
## Brechung an gekrümmten Flächen



Ausschließlich für den Unterrichtsgebrauch

24

## Brechung an einer sphärischen Fläche



<http://vorsam.uni-ulm.de/>

$$h = R \sin \alpha = f \sin \gamma$$

$$\gamma = \alpha - \beta$$

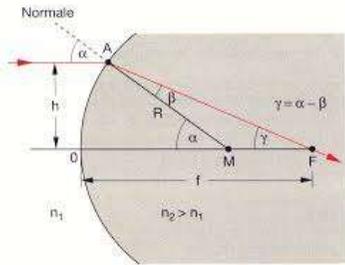
$$\Rightarrow f = \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha - \beta)} \cdot R$$

Mit Brechungsgesetz und unter der Annahme paraxialer Strahlen ergibt sich dann für die Brennweite:

$$f = \frac{n_2}{n_2 - n_1} \cdot R$$

Brechkraft (D)

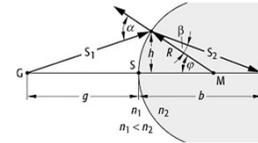
$$D = \frac{n_2}{f} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$



$n_2 - n_1$	R	D	
+	+	+	Fokussierung
-	+	-	Zerstreuung
+	-	-	Zerstreuung
-	-	+	Fokussierung

25

## Optische Abbildung durch eine sphärische Grenzfläche



Abbildungsgesetz:

$$D = \frac{n_1}{g} + \frac{n_2}{b}$$

Für dünne, naheliegende Grenzflächen:

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

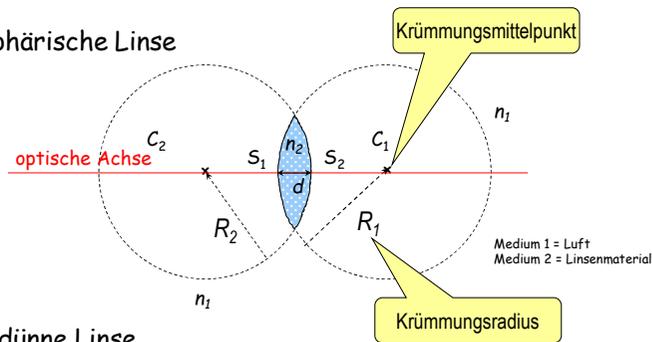
Siehe Praktikum „Optik des Auges“



26

## Linsen

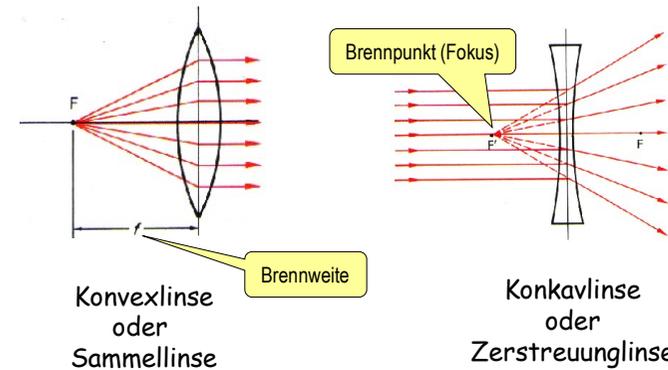
• sphärische Linse



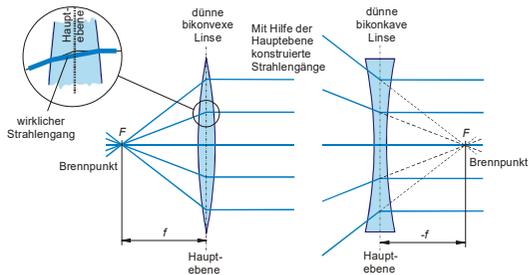
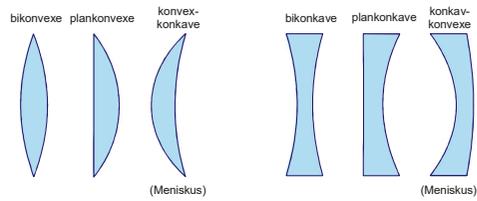
• dünne Linse  
 $d \ll R_1$  und  $R_2$

27

## Linsenarten



28



29

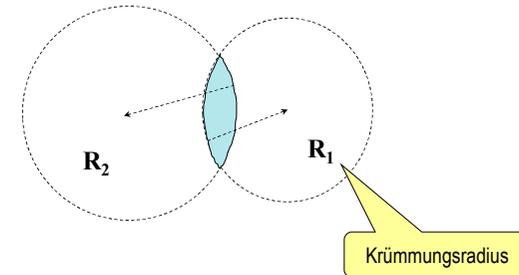
## Linsenschleiferformel der dünnen Linsen

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

$$R_1 > 0$$

$$R_2 < 0$$

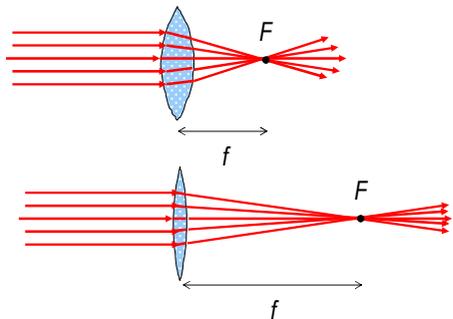
$$-R_2 > 0$$



$$\frac{1}{f} = (n_{rel} - 1) \cdot \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

$$n_{rel} = \frac{n_{Linse}}{n_{Umgebung}}$$

30



$$D = \frac{1}{f} = (n-1) \frac{2}{R}$$

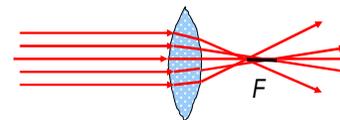
**Linsenschleiferformel symmetrischer Linsen**

siehe Akkomodation der Augenlinse

31

## Linsenfehler

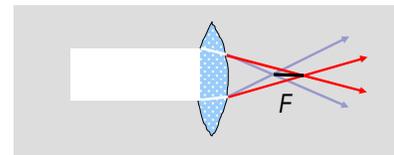
### Spärische Aberration – Öffnungsfehler



Ursache: Teilnahme der achsenfernen Strahlen in der Bildentstehung

Ergebnis: eine abweichende Brennweite der nicht paraxialen Strahlen

### Chromatische Aberration – Farbabweichung

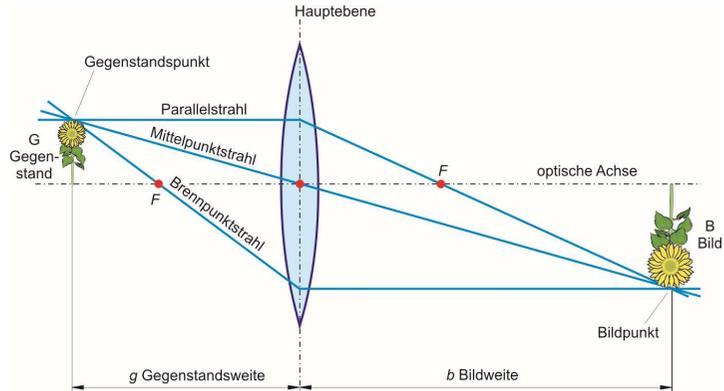


Ursache: Dispersion

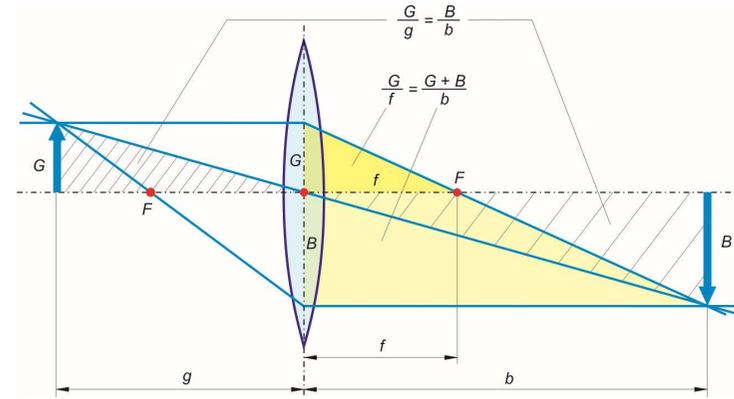
Ergebnis: eine etwas abweichende Brennweite der verschiedenen Farben

32

## Abbildung mit Linsen

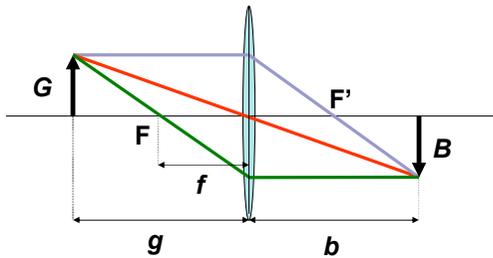


33



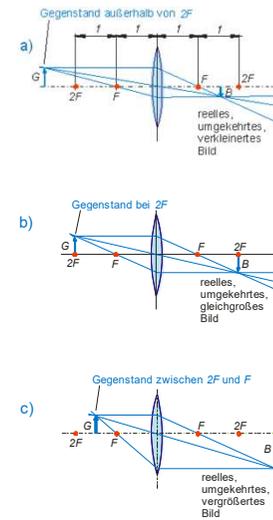
34

## Abbildung durch Sammellinse

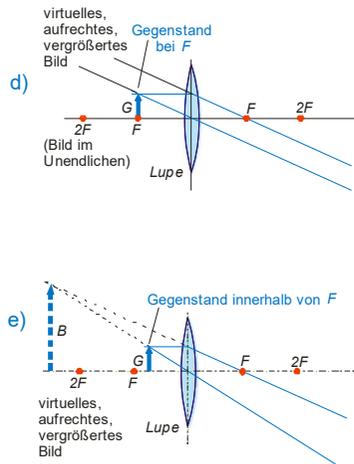


Brechkraft:  $D = \frac{1}{f}$   $[D] = \frac{1}{m} = \text{dpt (Dioptrie)}$

Abbildungsgleichung:  $\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$  Abbildungsmaßstab:  $V = \frac{B}{G} = \frac{b}{g}$



36

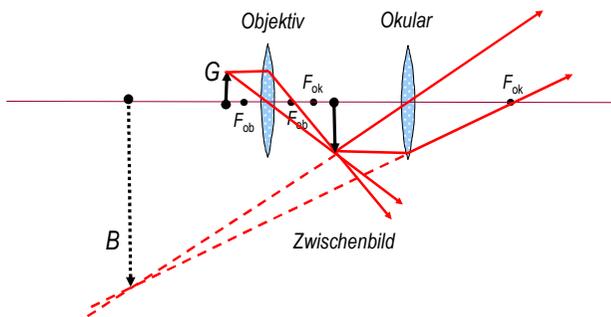


37

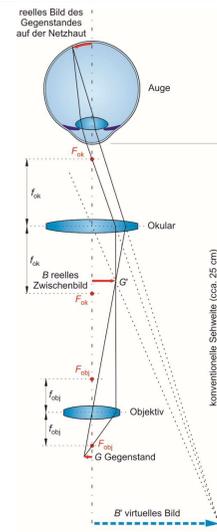
Gegenstand		Bild		
Lage	Lage	Art	Stellung	Größe
$g > 2f$	$f < b < 2f$	reell	umgekehrt, seitenvertauscht	verkleinert $B < G$
$g = 2f$	$b = 2f$	reell	umgekehrt, seitenvertauscht	gleichgroß $B = G$
$f < g < 2f$	$b > 2f$	reell	umgekehrt, seitenvertauscht	vergrößert $B > G$
$g < f$	auf der Gegenstandsseite	virtuell	aufrecht, seitenrichtig	vergrößert $B > G$

38

## Das Lichtmikroskop



39



optische Tubuslänge

deutliche Sehweite (25 cm)

$$V_M = V_{ob} \cdot V_{ok} \approx -\frac{d}{f_{ob}} \cdot \frac{a}{f_{ok}}$$

Maximale Vergrößerung  $\approx 500\times$  !  
(über 500 leere Vergrößerung)

siehe Wellenoptik

40