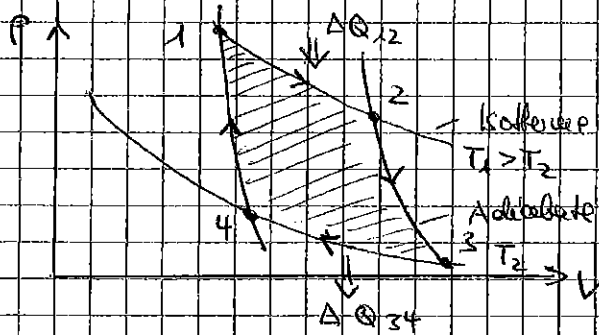


Carot-Wärtemaschine (≈ Kreisprozess):

→ ideale Kreisprozess aus 2 Isobaren und 2 Adiabaten



Fläche zwischen Kurven:
= geleistete (mechan.) Arbeit

1 → 2: Gas verrichtet Arbeit bei Expansion: $W_{12} < 0$

3 → 4: am Gas wird bei Kompression Arbeit geleistet: $W_{34} > 0$

$(W_{23} = -W_{41})$

$$\Rightarrow \Delta W_{ges} = R \cdot \underbrace{(T_1 - T_2)}_{> 0} \cdot \ln \underbrace{\frac{V_1}{V_2}}_{< 0} \Rightarrow < 0: \text{Arbeit wird frei}$$

Wärtemaschine η :

$\eta_{ideal} = \frac{\text{geleistete Arbeit}}{\text{zugeführte Wärme}}$ (Rest geht in kaltes Reservoir)

$$\Rightarrow \eta_c = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \text{maximaler Wärtemaschine für reversiblen Kreisprozess}$$

gut: hohe Temperaturerhöhung und hoher Temperaturunterschied
(→ Dampfmaschine)

Wärtemaschine:

Maschine, die unter Zufuhr mechanischer Arbeit Wärme von einem niedrigeren zu einem höheren Temperaturniveau transportiert: umgekehrt (links herum) laufendes Carot-Kreisprozess als Grenzfall

Leistung: $\epsilon < \frac{1}{\eta_c} = \frac{T_1}{T_1 - T_2} = \frac{\dot{Q}}{\dot{W}_{el,abg.}} = \frac{\text{an Heizkreis abgegeb. Wärme}}{\text{elektrische Arbeit}}$
 $= \frac{P_{Heiz}}{P_{WP}}$

Lösungsvorschlag: "Heizung" (2)

a) Außentemperatur: $\vartheta_A = -10^\circ\text{C}$

Innentemperatur: $\vartheta_i = 21^\circ\text{C}$

Wärmeverlust über Fenster mit $A = 35\text{ m}^2$

Wärmeverlustkoeffizient: $g = 1,50\text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

→ konstante Heizleistung aus Temperaturhöhe der Verluste:

$$P_{\text{Heiz}} = + \frac{dQ}{dt} = g \cdot A \cdot (\vartheta_i - \vartheta_A) = 1,5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 35\text{ m}^2 \cdot 31^\circ\text{C}$$
$$= 1627,5\text{ W} \approx \underline{\underline{1,63\text{ kW}}}$$

b) Wärmepumpe für Heizung: $\vartheta_B = 4,0^\circ\text{C}$ (Wärmeverlust)

$\vartheta_H = 70^\circ\text{C}$ Heizwasser

$$\varepsilon = \frac{1}{2} \frac{1}{\eta_c}, \quad P_{\text{Heiz}} = 1,63\text{ kW}$$

→ elektrische Leistungsaufnahme der Wärmepumpe $P_{\text{WP}} = ?$

$$\rightarrow \frac{P_{\text{Heiz}}}{P_{\text{WP}}} = \varepsilon = \frac{1}{2} \frac{1}{\eta_c} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\vartheta_H}{\vartheta_H - \vartheta_B} \quad \vartheta_H, \vartheta_B \text{ in K} \parallel$$

$$\Rightarrow P_{\text{WP}} = 2 \cdot P_{\text{Heiz}} \cdot (\vartheta_H - \vartheta_B) / (273^\circ\text{C} + \vartheta_H)$$
$$= 2 \cdot 1,63\text{ kW} \cdot 66\text{ K} / 343\text{ K} = \underline{\underline{0,63\text{ kW}}}$$

c) Innentemperatur nach Heizungsanfall: $\vartheta_s = 6^\circ\text{C}$

Wiederaufheizen: $\vartheta_i = 21^\circ\text{C}$

→ $p = \text{const.}$: Luft erwärmt keine Heizkörper, Molzahl ändert sich

→ Sei n (n') die Molzahl vor (nach) dem Aufheizen

$$p = \text{const.} \Rightarrow \frac{n \cdot R \cdot \vartheta_s}{V} = \frac{n' \cdot R \cdot \vartheta_i}{V} \Rightarrow n \cdot \vartheta_s = n' \cdot \vartheta_i$$

→ $l l' = n \cdot R \cdot T \cdot \frac{1}{2} \tau$; τ : Zahl d. Freiheitsgrade

$$\frac{l l'}{l'} = \frac{n \cdot R \cdot \vartheta_s \cdot \tau / 2}{n' \cdot R \cdot \vartheta_i \cdot \tau / 2} = \frac{n \cdot \vartheta_s}{n' \cdot \vartheta_i} = \underline{\underline{1}}$$

2. Aufgabe: Elektrizität (Plattenkondensator)
Optik (Dünne Linse)

- Wiederholung:
- Kapazität, Spannung
 - Plattenkondensator mit/ohne Dielektrikum
 - Feldstärke
 - gespeicherte elektrische Energie

Spannung:

→ Potential ϕ einer Ladung q auf einem isolierten Leiter:

$$\phi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r} \quad ; \quad \text{für kugelförmigen Leiter mit Radius } r, \text{ Ladung } q$$

→ Bei gegebenem Potential kann der Leiter also viele Ladungen tragen, je größer seine Oberflächeverhalt ist.

→ Konvention: $\phi(\infty) = 0$

→ Praktisch können wir nur einen Wert des Potentialdifferenz $\Delta\phi$ zwischen 2 im Inneren liegenden Punkten bestimmen:

$$\Delta\phi = \phi_b - \phi_a \equiv U \quad \text{elektrische Spannung}$$

Kapazität:

$$C = \frac{q}{U} \quad 1 \text{ F} = 1 \text{ C/V} \quad \text{"Farad"}$$

→ Maß für das "Ladungs-Fähigkeitsvermögen" bei gegebener Spannung.

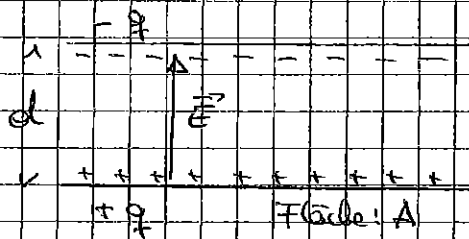
→ Hängt nur von Größe und Form des Leiters ab.

Kondensator:

→ Anordnung aus zwei Leitern, die beide gleich groß, aber entgegengesetzte Ladung tragen können.

Plattenkondensator:

- 10 -



=> 2 parallele leitende Platten im Abstand d

-> Praxis: dünne Folien, getrennt durch Kunststoffschicht aufgerollt

elekt. Feld zwischen Platten: $E = \frac{U}{d}$

Kapazität: $C = \frac{Q}{U} = \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d}$

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$$
$$= 8,85 \text{ pF/m}$$

Dielektrika:

- Nichtleiter

- Kapazität eines Kondensators steigt um Faktor ϵ_r , wenn das Raum zwischen den beiden Leitern mit einem Dielektrikum gefüllt ist.

=> Elektrisches Feld wird durch das Dielektrikum abgeschwächt, bei gegebener Ladung vergrößert sich U und damit steigt $C = Q/U$

=> $E_{\text{mit}} = \frac{E_{\text{Luft}}}{\epsilon_{\text{rel}}}$ ϵ_{rel} : „relative Dielektrizitätskonstante“

$$U = E \cdot d = \frac{\epsilon_0 \cdot d}{\epsilon_{\text{rel}}} = \frac{U_0}{\epsilon_{\text{rel}}}$$

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{Q}{U_0 / \epsilon_{\text{rel}}} = \epsilon_{\text{rel}} \cdot \frac{Q}{U_0} \Rightarrow \boxed{C = \epsilon_{\text{rel}} \cdot C_0}$$

=> Plattenkondensator mit Dielektrikum $\boxed{C = \epsilon_{\text{rel}} \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d} = \epsilon \cdot \frac{A}{d}}$

mit: $\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_{\text{rel}}$: „Dielektrizitätskonstante“
(aus gegebenem Dielektrikum)

Luft: $\epsilon_r = 1$

Elektrische Energie:

=> Beim Laden eines Kondensators wird Arbeit verrichtet (Verschieben von Ladungselementen). Ein Teil dieser Arbeit wird als elektrische Energie gespeichert:

$$W_{\text{el}} = \frac{1}{2} C U^2$$

Lösungsvorschlag: Plattenkondensator (1P)

-11-

- Luft: $\epsilon_r = 1$; $A = 625 \text{ cm}^2$; $d = 0,1 \text{ mm} \rightarrow 10 \text{ mm}$

a) minimale, maximale Kapazität:

$$C_{\text{min}} = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d_{\text{min}}} = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m} \cdot \frac{0,0625 \text{ m}^2}{10^{-4} \text{ m}} \\ = 5,53 \cdot 10^{-9} \text{ F} = \underline{\underline{5,53 \text{ nF}}}$$

$$C_{\text{max}} = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d_{\text{max}}} = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m} \cdot \frac{0,0625 \text{ m}^2}{10^{-2} \text{ m}} = \underline{\underline{55,3 \text{ pF}}}$$

b) bei C_{max} : $Q_0 = 1,1 \cdot 10^{-7} \text{ C}$: am Platten, wie Spannungsquelle messen

$$\rightarrow C_{\text{max}} = \frac{Q_0}{U_0} \quad \wedge \quad \text{Ladungsspannung } U_0 = \frac{Q_0}{C_{\text{max}}}$$

$$\Rightarrow U_0 = \frac{1,1 \cdot 10^{-7} \text{ C}}{5,53 \cdot 10^{-9} \text{ F}} = \underline{\underline{19,89 \text{ V}}}$$

dann: Plattenabstand so groß wie, bis C_{min} erreicht ($Q = \text{const.}$)

$$\rightarrow U_1 = \frac{Q}{C_{\text{min}}} = \frac{1,1 \cdot 10^{-7} \text{ C}}{55,3 \cdot 10^{-12} \text{ F}} = \underline{\underline{1989 \text{ V}}}$$

Feldstärke E :

$$i) E = \frac{U_1}{d_{\text{max}}} = \frac{1989 \text{ V}}{10^{-2} \text{ m}} = 1,989 \cdot 10^5 \text{ V/m}$$

$$ii) E = \frac{U_0}{d_{\text{min}}} = \frac{19,89 \text{ V}}{10^{-4} \text{ m}} = 1,989 \cdot 10^5 \text{ V/m}$$

c) gespeicherte Energie:

$$W_{\text{el}} = \frac{1}{2} C U^2$$

\Rightarrow Änderung der gespeicherten (feld-) Energie bei Verändern des Plattenabstands:

$$\Delta W_{\text{el}} = \frac{1}{2} C_{\text{min}} U_1^2 - \frac{1}{2} C_{\text{max}} U_0^2 \\ = \frac{1}{2} \cdot 55,3 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot (1,989 \cdot 10^5 \text{ V})^2 - \\ \frac{1}{2} \cdot 5,53 \cdot 10^{-9} \text{ F} \cdot (19,89 \text{ V})^2 \\ = 1,083 \cdot 10^{-4} \text{ F} \cdot \text{V}^2 = \underline{\underline{1,08 \cdot 10^{-4} \text{ J}}}$$

$\frac{C}{V} = \frac{A \cdot s}{V}$

Die Änderung der gespeicherten elektrischen Energie wird aufgebracht durch mechanische Arbeit, die gegen das elektrische Feld bewirkt wird, das die Kondensatorplatten geladene wird.

Die im elektrischen Feld des Plattenkondensators gespeicherte elektrische Energie misst bei Vergrößerung des Plattenabstands von $d_{min} = 0,1 \text{ mm}$ auf $d_{max} = 10 \text{ mm}$ von $W_1 = 1,094 \cdot 10^{-6} \text{ J}$ auf $W_2 = 1,094 \cdot 10^{-4} \text{ J}$ um einen Faktor 100 zu.

d) wieder bei $d_{min} = 0,1 \text{ mm}$ mit $Q_0 = 1,1 \cdot 10^{-7} \text{ C}$ laden, dann aber um Abstandsänderung nicht von der Spannungsquelle trennen.

$\rightarrow Q_1 = ?$ bei d_{max}

\rightarrow In diesem Fall ändert sich die Spannung während der Abstandsänderung nicht, weil aber die Ladungsmenge auf dem Kondensator.

$$Q_1 = C_{max} \cdot U_0$$
$$\Rightarrow Q_1 = 55,3 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot 19,85 \text{ V} = 1,1 \cdot 10^{-9} \text{ C}$$

e) In diesem Fall gespeicherte elektrische Energie:

$$\Delta W_{el} = \frac{1}{2} U_0^2 \cdot (C_{min} - C_{max}) = 0,5 \cdot (19,85 \text{ V})^2 \cdot (-5,475 \cdot 10^{-9} \text{ F})$$
$$= -1,08 \cdot 10^{-6} \text{ J}$$

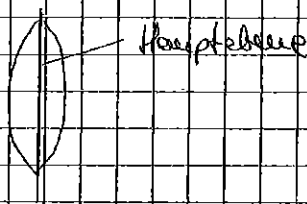
\rightarrow Obwohl diese mechanische Arbeit von einem System geleistet ist die gespeicherte elektrische Energie betragsmäßig kleiner als vorher. Größer als die geleistete mechanische Arbeit ist nämlich die elektrische Arbeit, die durch das Zurückfließen elektrischer Ladungen in die Spannungsquelle geleistet wird.

- Wellenoptik :
- geometrische Optik
 - Abbildungs-Strahlentheorie
 - reelle, virtuelle Bilder
 - Fernrohr
 - Mikroskop

Geometrische Optik :

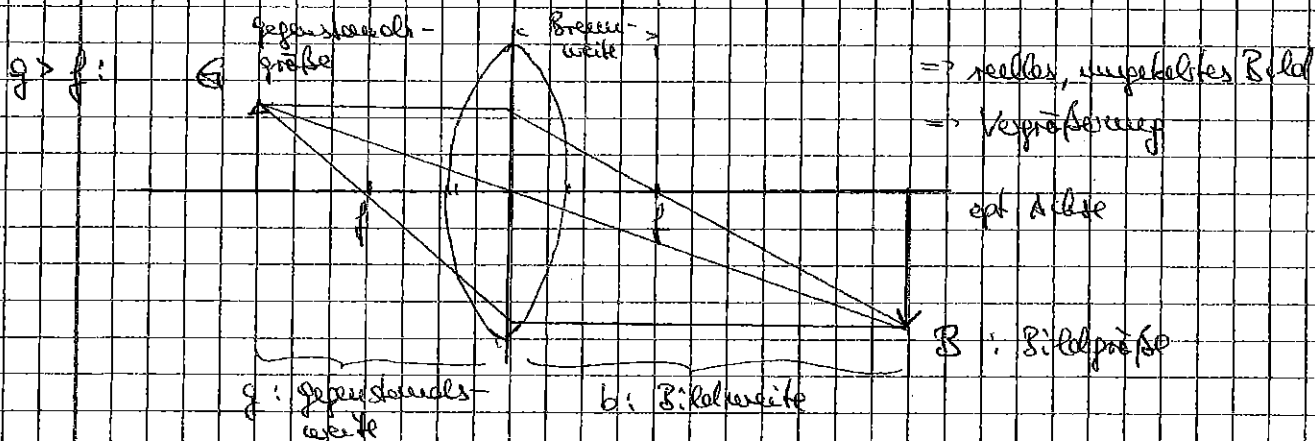
Vernachlässigung der Welleneigenschaften des Lichts, weil die Ausdehnungen des mit dem Licht wechselwirkenden Objekte groß sind im Verhältnis zur Lichtwellenlänge.

"Dünne Linse" :



→ Lichtbrechung tritt an der Vorder- und Rückseite der Linse auf, wenn diese jedoch dünn ist, dann vernachlässigt man die Dicke des Glases und betrachtet die optische Abbildung so, als ob alles an der ~~mittl~~ Hauptebene der Linse ("Hauptebene") gebrochen würde.

Abbildung mit Sammellinse :



Merke zur Bildkonstruktion:

- Parallelstrahl wird zum Brennpunkt
- Brennstrahl wird zum Parallelstrahl
- Mittelpunktstrahl wird nicht gebrochen

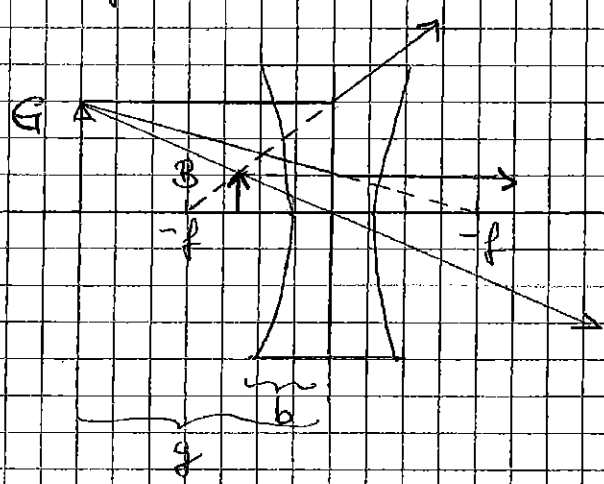
Linsegleichung :

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$$

Vergrößerung: $\beta = \frac{b}{g} = \frac{B}{G}$

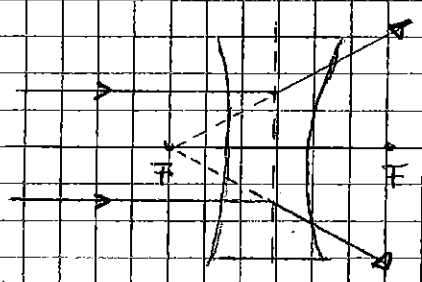
Konvergenz: Sammellinse : $f > 0$: Konvexlinse
 Zerstreuungslinse : $f < 0$: Konkavlinse

Abbildung mit Konkavlinse:

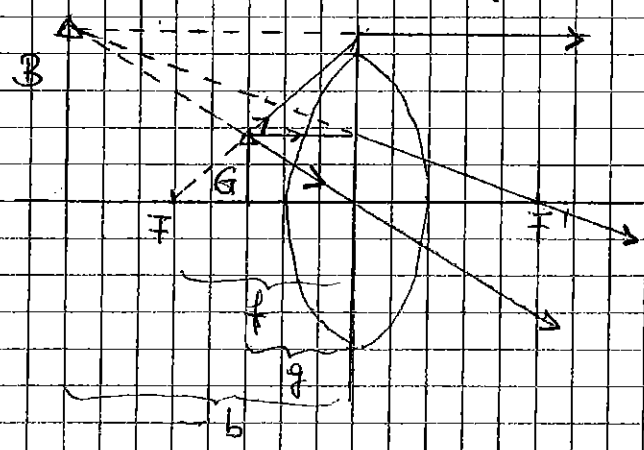


=> virtuelles, aufrechtes Bild
 => Verkleinerung

Bei einer Zerstreuungslinse werden parallele Strahlen zerstreut, als kämen sie von einem virtuellen Brennpunkt.



Lupe: Sammellinse, bei der der Gegenstand innerhalb des Brennpunkts steht ($0 < g < f$).



- virtuelles, aufrechtes Bild
 - Vergrößerung: $0 < g < f$

$$\frac{B}{G} = \frac{b}{g} = \frac{-b+f}{b} = \frac{f}{f-g}$$

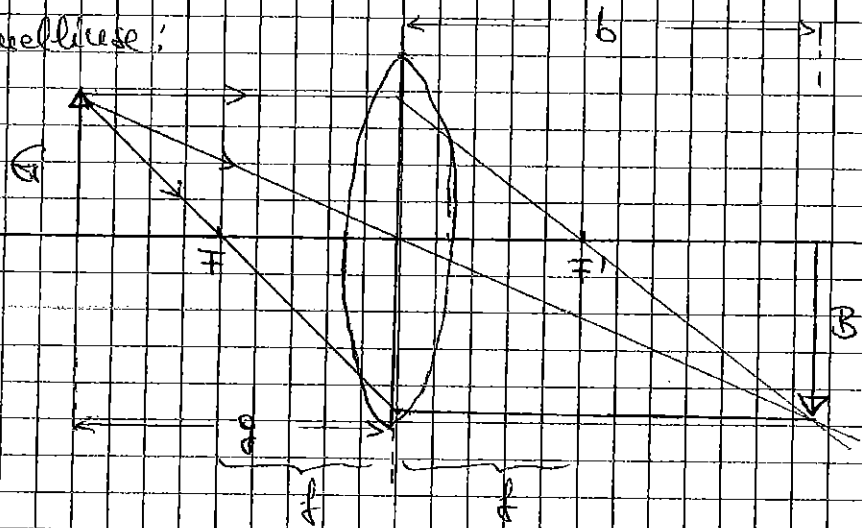
Lösungsvorschlag: 'Dünne Linse' (3U)

Konstruktive geometrische Abbildungsvorgänge für dünne Linse

Parameter: f , Gegenstand (Größe G , Entfernung g)

Bild (Größe B , Entfernung b)

a) Sammellinse:



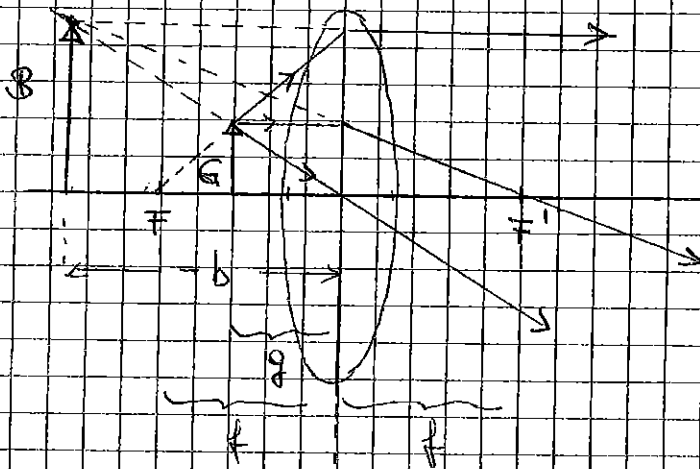
$g > f$: man erhält ein reelles, umgekehrtes Bild

Dabei gilt: $\frac{B}{G} = \frac{b}{g} = \frac{b-f}{f} = \frac{f}{g-f}$ (\rightarrow Strahlensätze)

$\infty > g > 2f$: Verkleinerung

$2f > g > f$: Vergrößerung

$g < f$:

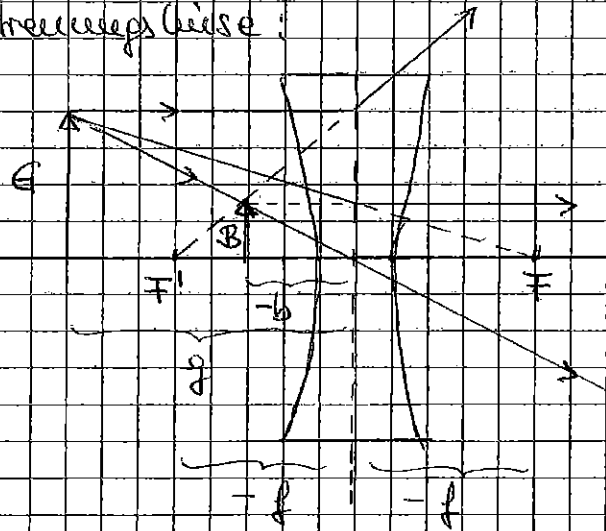


man erhält ein virtuelles, aufrechtes Bild:

$$\frac{B}{G} = \frac{-b}{g} = \frac{-b+f}{b} = \frac{f}{g-f}$$

$\rightarrow 0 < g < f$: Vergrößerung: $\hat{=}$ Lupe

b) Zerstreuungswegweise:



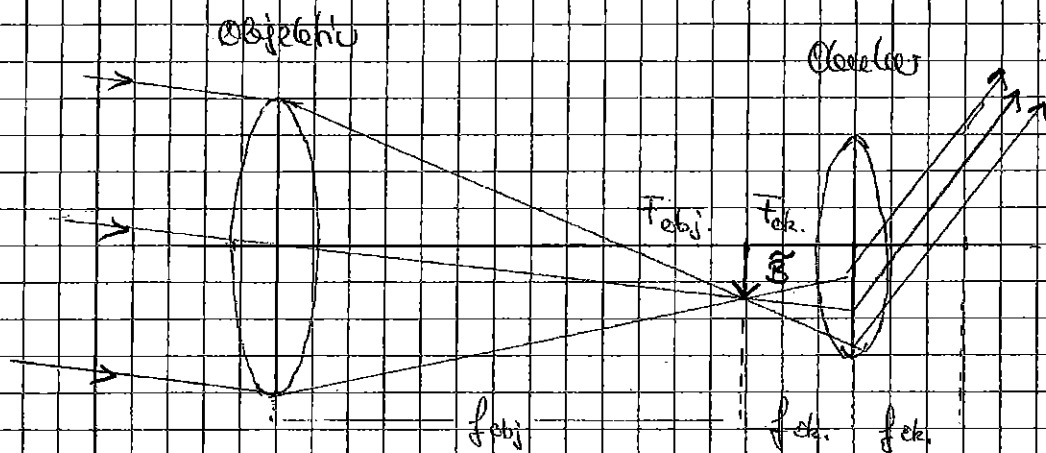
- negative Brennweite $f < 0$ & virtuelles, aufrechtes Bild

$$-\frac{B}{G} = \frac{-b}{g} = \frac{-f - (-b)}{-f} = \frac{-f}{-f + g}$$

=> in jedem Falle Verkleinerung des Gegenstands.

c) System aus 2 Sammellinsen: f_1, f_2

=> Anordnung als astronomisches Fernrohr:



- Der bildseitige Brennpunkt des Objektivs (Sammellinse mit großer Brennweite) fällt mit dem gegenstandsseitigen Brennpunkt des Okulars (Sammellinse mit kleiner Brennweite) zusammen.

- Gegenstandsweite ist sehr groß verglichen mit allen Brennweiten der Linsen.

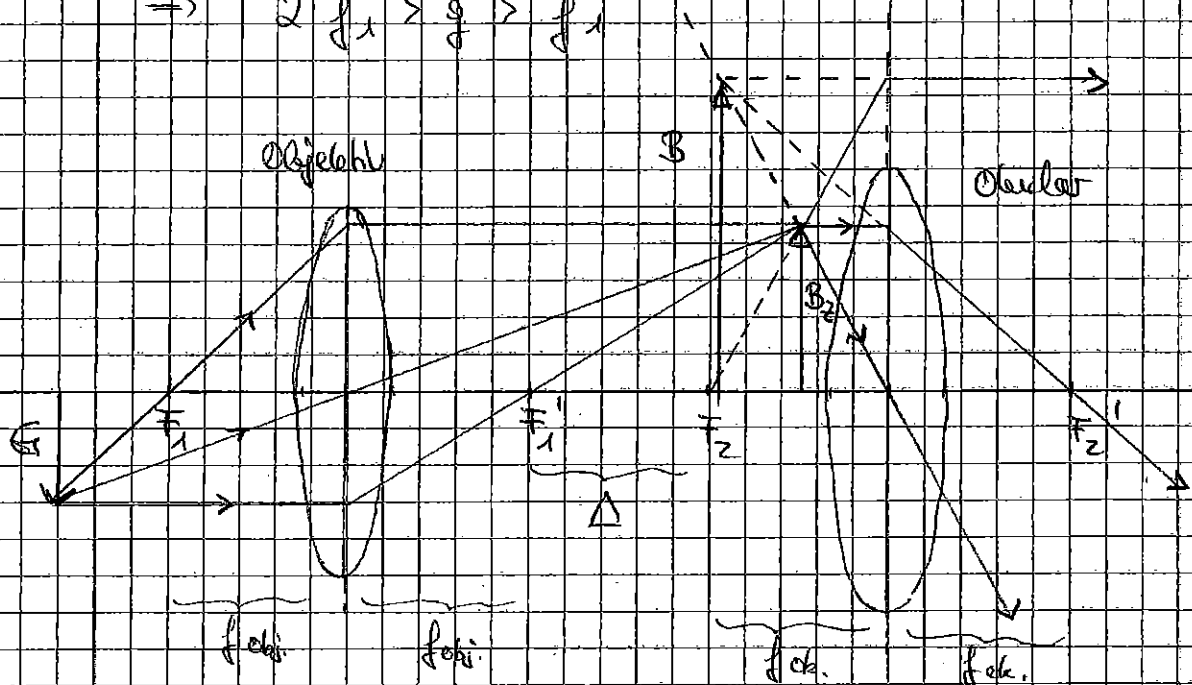
- Objektiv: erzeugt ein reelles, umgekehrtes, verkleinertes Zwischenbild

- Okular (= Lupe): vergrößert das Zwischenbild in ein virtuelles Bild

a) Strahlengang des Mikroskops zeichnen:

- Anordnung aus 2 Sammellinsen (Objektiv, Okular) wie bei Fernrohr, jedoch jetzt: Gegenstandsweite liegt zwischen einfacher und doppelter Objektivbrennweite.

$$\Rightarrow 2 f_1 > g > f_1$$



=> Objekt erzeugt ein reelles, umgekehrtes, vergrößertes Zwischenbild B_1

=> Der Abstand Δ zwischen F_1' und F_2 wird so gewählt, dass das Okular wieder als Lupe wirkt (Δ : "Tubenlänge")

=> es entsteht ein vergrößertes, virtuelles, aufrechtes Bild B_2 .

6

6

6

6