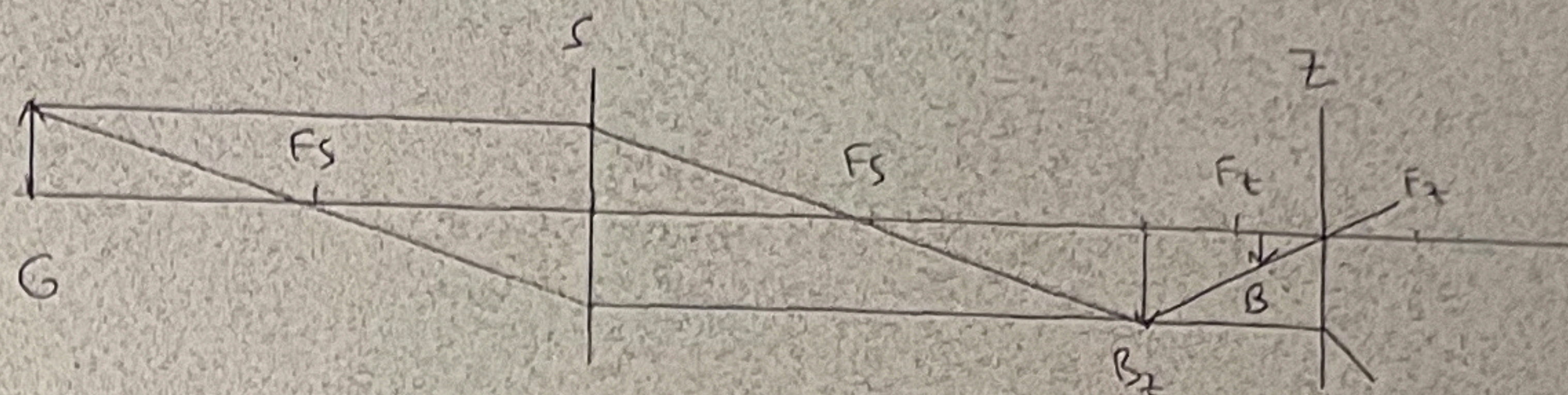


Note	Punkte
1,0	60 - 54
1,3	53,5 - 50,5
1,7	50 - 47
2,0	46,5 - 43,5
2,3	43 - 40
2,7	39,5 - 36,5
3,0	36 - 33
3,3	32,5 - 29,5
3,7	29 - 26
4,0	25,5 - 22,5
5,0	22 - 0

a)



b) Abbildungsgleichung: $\frac{1}{g} = \frac{1}{f} + \frac{1}{B}$ $\Rightarrow g = \frac{f \cdot B}{B - f}$

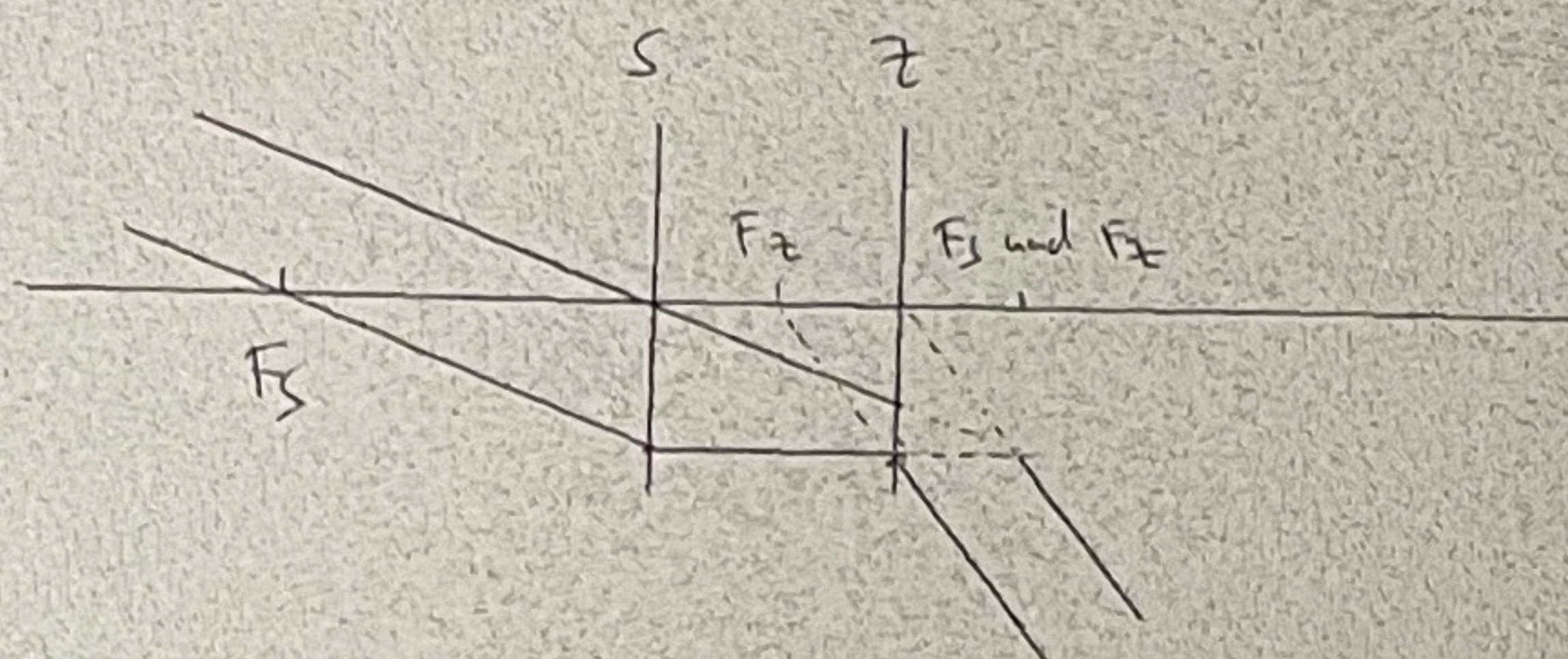
$\bullet \quad B_z = \frac{g \cdot f_z}{g - f_z} = \frac{6 \cdot 3 \text{ (cm)}^2}{(6-3) \text{ cm}} = \frac{18}{3} \text{ cm} = 6 \text{ cm}$

$\bullet \quad g = \frac{g_z \cdot f_z}{g_z - f_z} = \frac{(8 \text{ cm} - g_z) \cdot f_z}{(8 \text{ cm} - g_z) - f_z} = \frac{(8-6) \text{ cm} \cdot (-1) \text{ cm}}{(8-6) \text{ cm} - (-1) \text{ cm}}$
 $= \frac{-2}{3} \text{ cm} = -\frac{2}{3} \text{ cm}$

c) Das Bild ist virtuell, da $g < 0$ bzw. da es nicht durch konvergierende Lichtstrahlen gebildet wird, die auf einem Schirm aufgefangen werden könnten. Anstatt dessen scheinen die divergierenden Strahlen vom Bild her zu kommen, wenn man sie rückwärts verlängert.

d) Der Abstand von S (objektiv) und Z (okular) ist $f_s + f_z$. [Achtung: $f_z < 0$]
 $= 3 \text{ cm} - 1 \text{ cm} = 2 \text{ cm}$

e)



f) Bei Abbildung selbst leuchtender Objekte wie Sterne ist das Auflösungsvermögen durch das Rayleigh-Kriterium gegeben:

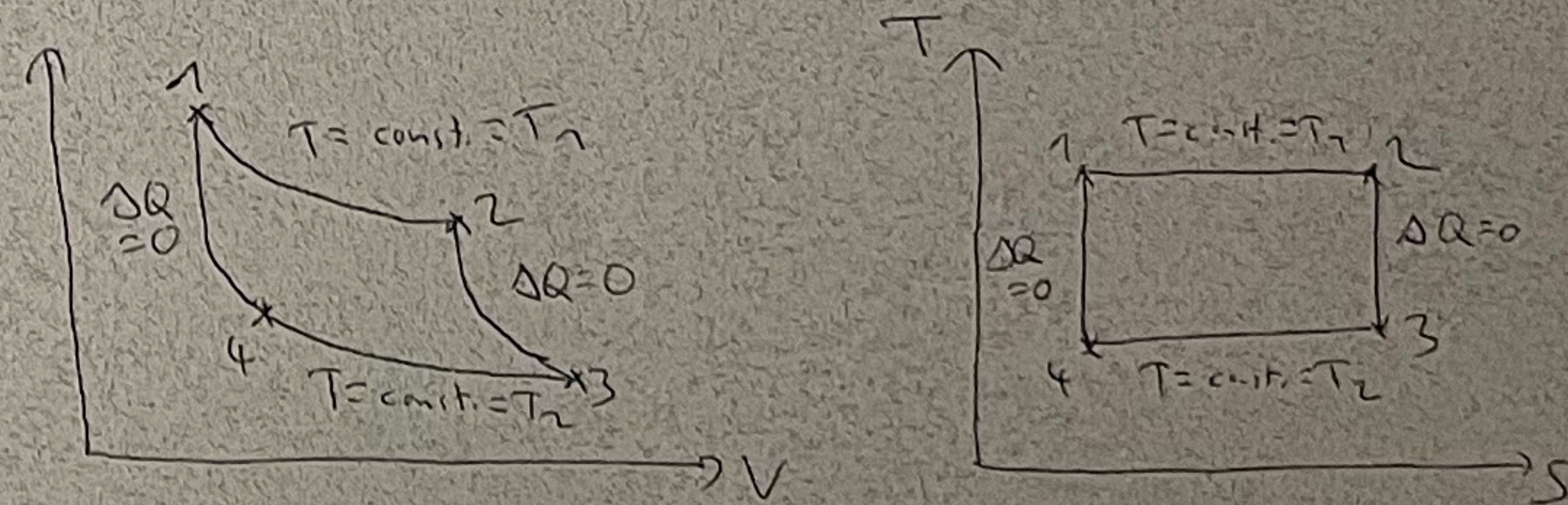
$$\Delta \theta_{\text{min}} = 1,22 \frac{\lambda}{D}$$

Bestimmende Größen sind also die Lichtwellenlänge λ und der Öffnungsdurchmesser D des Teleskops.



Aufgabe 2

a)



b) allgemeine Gasgleichung: $pV = N k_B T$ oder $pV = nRT$

c) • isotherme Expansion (1→2)

$$\Delta W = - \int_{V_1}^{V_2} p dV = - \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT_1}{V} dV = -nRT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$\Delta U = \frac{f}{2} nR \Delta T = 0, \text{ da } \Delta T = 0$$

$$\Rightarrow \Delta Q = -\Delta W = nRT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

• adiab. Expansion (2→3)

$$\Delta Q = 0 \text{ (da adiabatisch)}$$

$$\Rightarrow \Delta W = \Delta U = \int_{T_1}^{T_2} \frac{f}{2} nR dT = \frac{f}{2} nR (T_2 - T_1)$$

• isoth. Kompression (3→4)

$$\Delta W = - \int_{V_3}^{V_4} p dV = - \int_{V_3}^{V_4} \frac{nRT_2}{V} dV = -nRT_2 \ln \frac{V_4}{V_3}$$

$$\Delta Q = -\Delta W = nRT_2 \ln \frac{V_4}{V_3}$$

• adiab. Kompression (4→1)

$$\Delta Q = 0$$

$$\Delta W = \Delta U = \int_{T_2}^{T_1} \frac{f}{2} nR dT = \frac{f}{2} nR (T_1 - T_2)$$

$$d) \Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$$

• isotherme Expansion: $\Delta S = \frac{nRT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}}{T_1} = nR \ln \frac{V_2}{V_1}$
(1→2)

• adiab. Expansion: $\Delta S = 0$
(2→3)

• isoth. Kompr. (3→4): $\Delta S = nR \ln \frac{V_4}{V_3}$

• adiab. Kompr. (4→1): $\Delta S = 0$

e) $TV^{K-1} = \text{const.}$

f) • für die adiab. Prozesse gilt:

$$2 \rightarrow 3: T_1 V_2^{K-1} = T_2 V_3^{K-1}$$

$$4 \rightarrow 1: T_1 V_4^{K-1} = T_2 V_3^{K-1}$$

• Division beider Gleichungen ergibt:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4} \quad (*)$$

• $\Delta S_{\text{ges}} = \sum \Delta S = nR \ln \frac{V_2}{V_1} + nR \ln \frac{V_4}{V_3}$

$$= nR \ln \frac{V_2}{V_1} + nR \ln \frac{V_1}{V_2} \quad (\text{aus } *)$$

$$= nR \ln \frac{V_2}{V_1} - nR \ln \frac{V_2}{V_1} = 0$$

g) $\Delta W_{\text{ges}} = \sum \Delta W = -nRT_1 \ln \frac{V_2}{V_1} - nRT_2 \ln \frac{V_4}{V_3}$
 $= -nRT_1 \ln \frac{V_2}{V_1} - nRT_2 \ln \frac{V_1}{V_2} \quad (\text{mit } *)$
 $= nR(T_1 - T_2) \ln \frac{V_2}{V_1}$

h) $\eta = \left| \frac{\Delta W_{\text{ges}}}{\Delta Q_{1 \rightarrow 2}} \right| = \left| \frac{nR(T_1 - T_2) \ln \frac{V_2}{V_1}}{nRT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}} \right| = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$

Aufgabe 3

a) $E_i = E_0 e^{i(k_0 x - \omega t)}$

$$E_{r1} = E_0 \frac{1-n}{1+n} e^{i(-k_0 x - \omega t)} \quad [n_{\text{Luft}} = 1]$$

< 0 , da $n > 1$

$\Rightarrow$ Phasensprung von π , da $-1 = e^{i\pi}$

b) $E_{r2} = E_0 t' r' e^{i(-k_0 x - \omega t + 2dnk_0)}$ $[k_0 = \frac{2\pi}{\lambda_0}]$

$$t = \frac{2}{1+n} \quad (\text{Luft} \rightarrow \text{Glas}) > 0$$

$$t' = \frac{2n}{1+n} \quad (\text{Glas} \rightarrow \text{Luft}) > 0$$

$$r' = \frac{n-1}{1+n} \quad (\text{Glas} \rightarrow \text{Luft}) > 0$$

$\Rightarrow$ kein Phasensprung; Phasenverschl. $2dnk_0$

c) Phasenunterschied zwischen E_{r1} und E_{r2} :

$$\Delta \varphi = 2dn \frac{2\pi}{\lambda_0} - \pi$$

• konstruktive Interferenz für $\Delta \varphi = 2m\pi, m \in \mathbb{Z}$

$$\Rightarrow 2dn \frac{2\pi}{\lambda_0} - \pi = 2m\pi$$

$$d = \frac{(2m+1)\lambda_0}{4n}$$

d) • destruktive Interferenz für $\Delta \varphi = (2m-1)\pi, m \in \mathbb{Z}$

$$\Rightarrow 2dn \frac{2\pi}{\lambda_0} - \pi = (2m-1)\pi$$

$$d = \frac{\lambda_0 m}{2n}$$

d) Ein **Fabry-Pérot-Interferometer** (auch Fabry-Pérot-Resonator) besteht aus zwei teildurchlässigen, hochreflektierenden Spiegeln, die parallel zueinander angeordnet sind. Dazwischen befindet sich ein Medium, das meist Luft oder ein transparenter Festkörper ist.

Lichtwellen, die in das Interferometer eintreten, werden zwischen den Spiegeln mehrfach reflektiert und interferieren konstruktiv oder destruktiv. Dies führt zu einer Serie von scharfen transmittierten oder reflektierten Peaks. Die Interferenz hängt von der Wellenlänge, dem Einstrahlwinkel, dem Spiegelabstand und dem Brechungsindex ab.

Anwendungen:

- Spektralanalysator, optischer Filter (lässt Licht bestimmter Wellenlängen passieren)
- Laserresonator
- Messungen von Brechungsindizes und dadurch von Gaskonzentrationen oder Druckveränderungen

- e) • Weißes Sonnenlicht besteht aus Licht verschiedener Farben mit jeweils eigener Wellenlänge. Durch konstruktive und destruktive Interferenz von an Ober- und Unterseite der Ölschicht reflektiertem Licht werden manche Farben verstärkt, andere verschwinden.
- Welche Farben sich durchsetzen, hängt vom Einfallswinkel des Lichts und der Dicke der Ölschicht ab. Letztere ändert sich ständig, z.B. durch Wind und Erschütterungen. Dadurch ändern sich auch die Farben.

Aufgabe 4

a) **Hohlraumstrahlung**: die Strahlung, die ein Hohlraum mit strahlungsdurchlässigen Wänden konstanter Temperatur durch eine kleine Öffnung emittiert. Die Öffnung ist klein genug, dass das Strahlungsgleichgewicht im Inneren nicht gestört wird. Der Hohlraum approximiert einen schwarzen Körper (den es in idealer Form in der Natur nicht gibt) mit beliebiger Genauigkeit.

b) • **Plancksche Quantenhypothese**: Die Wände des Hohlraums bestehen aus Oszillatoren (Atome, Moleküle), die nur ganzzahlige Vielfache der Energie $h\nu$ absorbieren und emittieren.

c) • **Spektrale Energiedichte**: $w(\nu) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \cdot U_{\text{vib}}$
 $\uparrow$
 Zustandsdichte ρ
 mittlere Schwingungsenergie
 eines Oszillators

* mit Quantenhypothese: $U_{\text{vib}} = \frac{h\nu}{e^{h\nu/k_B T} - 1}$ (Planck)

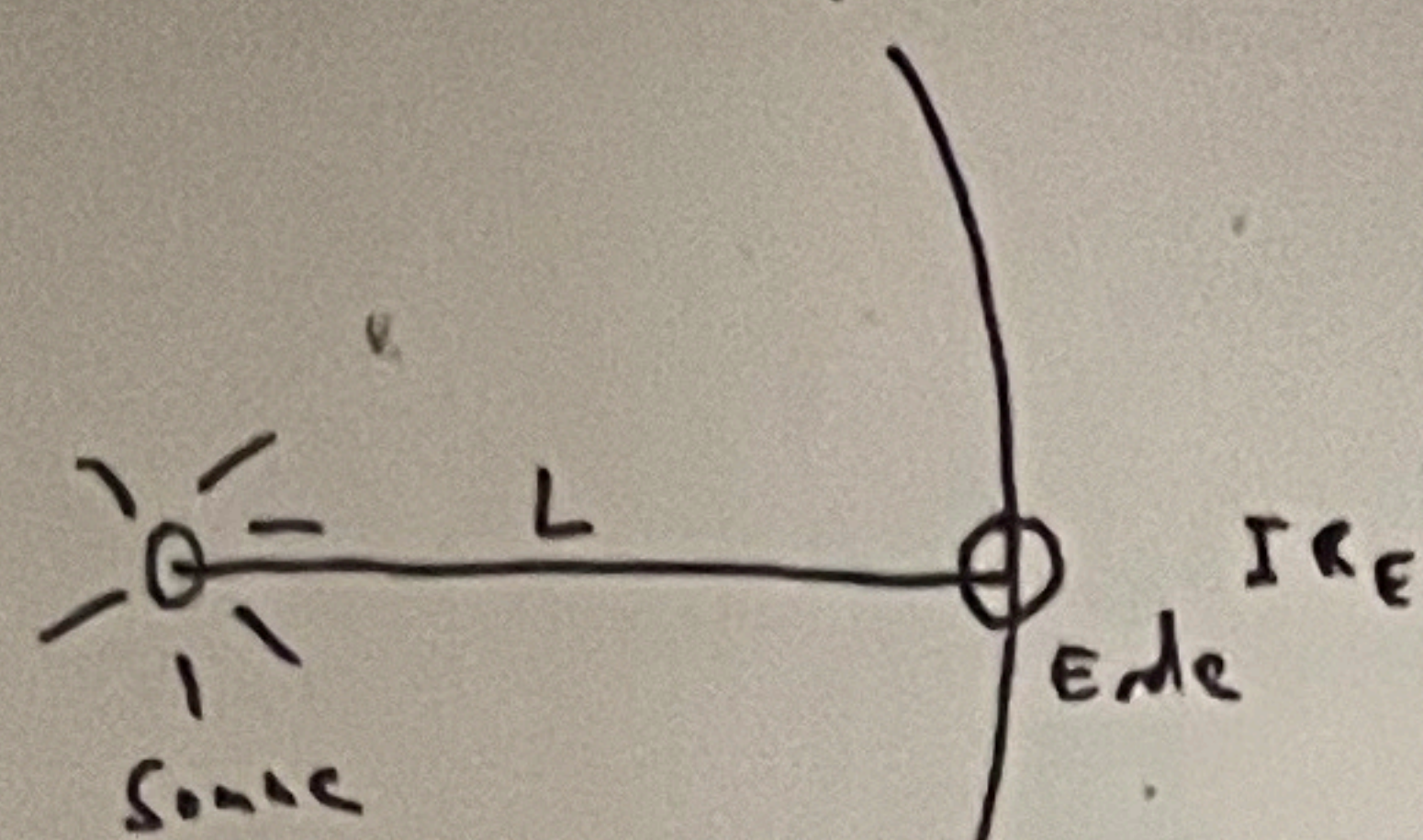
* ohne Quantenhypothese: $U_{\text{vib}} = k_B T$ (Klassik (Joules))

$\Rightarrow w(\nu) \sim \nu^2 \rightarrow \infty$ für $\nu \rightarrow \infty$
 "UV-Katastrophe"



d) • Strahlungsleistung der Sonne: $P_s = \sigma A_s T_s^4 = \sigma 4\pi R_s^2 T_s^4$

• Strahlungsanteil, der auf die Erde trifft:



$$\eta = \frac{\text{Erdmittelkreuzfläche}}{\text{Kugeloberfläche mit Radius L}} \\ = \frac{\pi R_E^2}{4\pi L^2} = \frac{R_E^2}{4L^2}$$

• von Erde absorbierte Leistung: $P_{abs} = \eta P_s = \frac{R_E^2}{4L^2} \sigma 4\pi R_s^2 T_s^4$

• von Erde abgestrahlte Leistung: $P_{em} = \sigma A_E T_E^4 = \sigma 4\pi R_E^2 T_E^4$

• therm. Gleichgewicht: $P_{abs} = P_{em}$

$$\Rightarrow T_E = \sqrt{\frac{R_s}{2L}} T_s$$

e) Wiensches Verschiebungsgesetz: $\lambda_{max} = \frac{2897,8 \mu m K}{T_E}$

Aufgabe 5

a)

1. Hauptsatz:
 - Die Änderung der inneren Energie eines geschlossenen Systems ist gleich der Summe der Änderung der Wärme und der Änderung der Arbeit.
 - $\Delta U = \Delta Q + \Delta W$ (U: innere Energie, Q: Wärme, W: Arbeit)
2. Hauptsatz:
 - In einem abgeschlossenen, sich selbst überlassenen System kann sich die Entropie niemals verkleinern. Sie kann nur konstant bleiben oder zunehmen.
 - $\Delta S \geq 0$ (S: Entropie)
 - Es gibt kein Perpetuum mobile 2. Art.
Ein Perpetuum mobile 2. Art wäre eine Anordnung, die unaufhörlich Wärme aus einem großen Wasserbehälter konstanter Temperatur entnimmt und sie in mechanische Arbeit umwandelt. Ein solcher Vorgang steht nicht im Widerspruch zum Energieerhaltungssatz, geht aber nicht von allein vor sich.
 - Die Natur strebt aus einem unwahrscheinlicheren dem wahrscheinlicheren Zustand zu (L. BOLTZMANN). Der wahrscheinlichste Zustand ist immer der der größtmöglichen Unordnung.
 - Es gibt keine periodisch arbeitende Maschine, deren Wirkungsgrad höher ist als der der Carnot-Maschine.
 - Wärme fließt von selbst immer nur vom wärmeren zum kälteren Körper, nie umgekehrt.
 - Es ist unmöglich, eine periodisch arbeitende Maschine zu bauen, die nichts weiter bewirkt, als eine Last zu heben und einen Wärmespeicher abzukühlen (MAX PLANCK).
3. Hauptsatz:
 - Die Entropie eines geschlossenen Systems geht für $T \rightarrow 0$ gegen eine von thermodynamischen Parametern unabhängige Konstante, woraus folgt, dass der absolute Nullpunkt der Temperatur nicht durch eine endliche Anzahl von Zustandsänderungen erreichbar ist.
 - $\lim_{T \rightarrow 0} S(T) = 0$ für $T \rightarrow 0$ (S: Entropie, T: Temperatur)
 - Der thermodynamische Gleichgewichtszustand am absoluten Nullpunkt ist ein Zustand maximaler Ordnung, der nur eine Realisierungsmöglichkeit $W = 1$ hat.

b) $dU = \delta Q + \delta W = \delta Q - p dV$ (*)

c) $U = \frac{f}{2} n R T$

d) • $V = \text{const.} \Rightarrow dV = 0$

$\Rightarrow dU = \delta Q$

• $c_v = \frac{\delta Q}{dT} = \frac{dU}{dT} = \frac{f}{2} n R$

e) $H = U + pV = \frac{f}{2} n R T + n R T$

f) • $dH = dU + p dV + V dp = \delta Q + V dp$ (mit *)

• $p = \text{const.} \Rightarrow dp = 0$

$\Rightarrow dH = \delta Q$

• $c_p = \frac{\delta Q}{dT} = \frac{dH}{dT} = \frac{f}{2} n R + n R$

g)

- $f_{\text{Trans}} = 3$ Bewegung in 3 Raumrichtungen

- $f_{\text{Rot}} = 2$

nicht (weil sehr kleinen Trägheitsmoment)

- $\bar{E}_{\text{Trans}} = \frac{1}{2} k_B T$ pro Freiheitsgrad

$\bar{E}_{\text{rot}} = \frac{1}{2} k_B T$ " "

- $f_{\text{vib}} = 1$

$\bar{E}_{\text{vib}} = k_B T$ ($\bar{E}_{\text{vib}} = \bar{E}_{\text{kin}} + \bar{E}_{\text{pot}}$
pro Freiheitsgrad $\bar{E}_{\text{kin}} = \bar{E}_{\text{pot}} = \frac{1}{2} k_B T$)

(auch richtig: $f_{\text{vib}} = 2$, $\bar{E}_{\text{vib}} = \frac{1}{2} k_B T$ pro Freiheitsgrad, da oft verwendete Konvention)

- Temperatureinfluss: bei niedrigen Temperaturen hat das Molekül nur die Translationsfreiheitsgrade, bei mittlerem T kommt die Rotation dazu, bei hohen T die Schwingung.