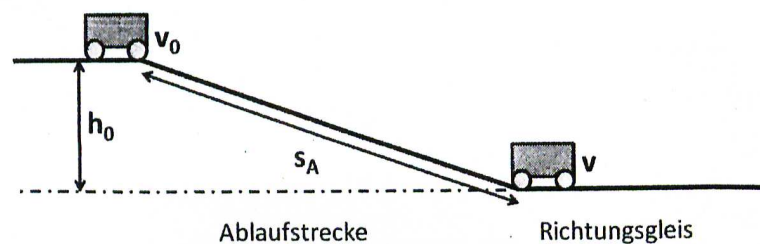


Teilaufgabe 1:**Ablaufberg im Rangierbahnhof**

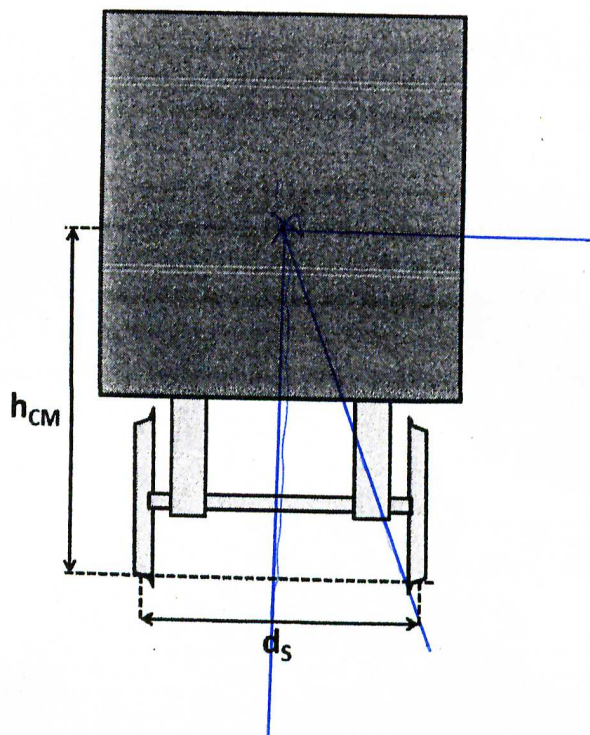
Zur Zusammenstellung von Güterzügen werden die Waggons von einer Rangierlokomotive auf einen Ablaufberg hinaufgefahren und am höchsten Punkt entkuppelt. Sie rollen dann eigenständig das Gefälle hinab und gelangen nach Bestimmungsbahnhöfen geordnet auf die sogenannten Richtungsgleise. Im Folgenden soll der Ablaufberg (Höhendifferenz $h_0 = 1,10$ m, Länge der Ablaufstrecke bis zum Beginn der horizontalen Richtungsgleise $s_A = 62,0$ m) vereinfacht als schiefe Ebene betrachtet werden. Ein mit Kohlen randvoll beladener, 2-achsiger Güterwagen der Gesamtmasse $m = 42,0$ t wird von der Rangierlokomotive mit der konstanten Geschwindigkeit $v_0 = 0,560 \frac{m}{s}$ über den Ablaufpunkt geschoben.



- a) Berechnen Sie zunächst unter Vernachlässigung aller Reibungseffekte die Geschwindigkeit v des Güterwagens am Anfang des Richtungsgleises!
(2 Punkte)
- b) Berücksichtigen Sie nun den Fahrwiderstand (Rollreibung und Lagerreibung) mit der Fahrwiderstandszahl $\mu = 0,008$! Zeigen Sie rechnerisch, dass die Geschwindigkeit des Güterwagens am Anfang des Richtungsgleises $v = 3,49 \frac{m}{s}$ beträgt und berechnen Sie die Länge der Strecke s , die der Güterwagen auf dem horizontalen Richtungsgleis zurücklegt, bevor er, durch Reibung abgebremst, zum Stillstand kommt!
(5 Punkte)
- c) Zeigen Sie durch Rechnung, dass die Rotationsenergie der Wagenräder in Relation zur Translationsenergie des Güterwagens stets vernachlässigbar ist! Nehmen Sie dazu ein Rad als Vollzylinderscheibe mit dem Durchmesser $2r = 840$ mm, der Dicke $d = 72,0$ mm und der Masse $m_R = 450$ kg an und vernachlässigen Sie die Radachse!
(3 Punkte)
- d) Der durch die Reibung gebremste Güterwagen (vgl. Teilaufgabe b) prallt nun $20,0$ m nach Beginn des Richtungsgleises auf 2 stehende, baugleiche, identisch beladene und zusammengekuppelte Güterwagen und kuppelt selbst an diese an. Berechnen Sie die Geschwindigkeit v' der verbundenen Güterwagen nach dem Zusammenprall sowie den Anteil der kinetischen Energie des auftreffenden Wagens, der durch das Kuppeln verloren geht!
(6 Punkte)

- e) Ein Güterwagen fahre durch eine Kurve ohne Kurvenüberhöhung. Er habe die in der Skizze angegebenen Maße (Abstand zwischen den Auflagepunkten der Räder $d_s = 1400$ mm, Höhe des Schwerpunkts über der Gleisebene $h_{CM} = 2300$ mm). Der minimale Kurvenradius für diesen Güterwagen ist mit $R_{min} = 35,0$ m angegeben. Skizzieren Sie die Kräfte, die auf den Wagen wirken und berechnen Sie die maximale Geschwindigkeit v_{max} , mit der eine Kurve vom Radius R_{min} durchfahren werden kann, ohne dass der Wagen kippt!

(4 Punkte)



Fortsetzung nächste Seite!

Teilaufgabe 2:**Helium- und Heißluftballone (20 Punkte)**

Um Wettersensoren in die Stratosphäre zu tragen, werden Helium-Ballone eingesetzt, die eine nicht dehnbare Plastikhülle besitzen. Die Hülle der Masse $m_{\text{Hülle}} = 50 \text{ kg}$ umschließe ein maximales Volumen $V_{\text{max}} = 3000 \text{ m}^3$ gasdicht und werde mit Heliumgas der Gesamtmasse $m_{\text{He}} = 30 \text{ kg}$ befüllt. Bei den Temperatur- und Druckbedingungen am Erdboden füllt das Heliumgas nur einen Teil des verfügbaren Volumens aus, so dass Außen- und Innendruck im Ballon identisch sind. In großer Höhe nimmt der Ballon aufgrund der veränderten Atmosphärenbedingungen sein maximales Volumen ein. In beiden Fällen sei die Temperatur des Heliumgases im Inneren gleich der Temperatur der umgebenden Luft. Verwenden Sie als Molmasse für Helium $M_{\text{He}} = 4,0 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ und für Luft

$M_{\text{Luft}} = 29 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ und betrachten Sie alle Gase als ideale Gase!

Höhe über Erdboden	Luftdruck (10^{-3} bar)	Lufttemperatur ($^{\circ}\text{C}$)
0 km	1013	18
40 km	10	-30

- a) Berechnen Sie das Teilvolumen V_T , das am Erdboden vom Heliumgas eingenommen wird, sowie den Überdruck Δp , der im Ballon in einer Höhe von 40 km herrschen würde! (4 Punkte)
- b) Berechnen Sie die effektive zum Anheben einer Nutzlast verfügbare Kraft, die der Ballon am Boden und in 40 km Höhe zur Verfügung stellt! Kann der Ballon die Höhe von 40 km unter diesen Bedingungen erreichen? (4 Punkte)

Betrachten Sie nun einen Heißluftballon. Die Hülle ist im Betrieb stets auf das maximale Volumen $V_{\text{HB}} = 5000 \text{ m}^3$ aufgebläht. Mittels eines Gasbrenners kann die Luft im Inneren des Ballons erwärmt werden. Da die Ballonhülle am unteren Ende offen ist, gleicht der Innendruck im Heißluftballon näherungsweise dem Umgebungsdruck. Ballonhülle, Gondel und Brenner führen zu einer Gesamtmasse von $m_{\text{Ballon}} = 210 \text{ kg}$.

- c) In Bodennähe betrage die Außentemperatur $\vartheta_a = 18 \text{ }^{\circ}\text{C}$, der Luftdruck $p_a = 1013 \text{ mbar}$. Berechnen Sie mit diesen Angaben die als homogen zu betrachtende mittlere Lufttemperatur ϑ_{HB} im Inneren der Ballonhülle, wenn die effektive Kraft zum Anheben einer Nutzlast in Bodennähe 6500 N betragen soll! (Ersatzlösung: $\vartheta_{\text{HB}} = 65 \text{ }^{\circ}\text{C}$) (4 Punkte)
- d) Die Ballonhülle bestehe aus 2,5 mm dickem, beschichtetem Nylonstoff mit einer Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,04 \text{ W}(\text{m}\cdot\text{K})^{-1}$. Nehmen Sie näherungsweise an, dass der Ballon kugelförmig sei, und berechnen Sie die Wärmeleistung P_w , die erforderlich ist, um den Temperaturunterschied zwischen Balloninnerem (ϑ_{HB} siehe Aufgabe (c)) und Umgebungsluft ($\vartheta_a = 18 \text{ }^{\circ}\text{C}$) aufrecht zu erhalten! (4 Punkte)

- e) In Druckbehältern werden 78 kg flüssiges Propan vorgehalten. An der Brennerdüse strömt es gasförmig aus und verbrennt. Nehmen Sie für Propangas bei Raumtemperatur einen Heizwert von $H_{\text{Propan}} = 92 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3}$ und ein mittleres Molekulargewicht von $M_{\text{Propan}} = 44 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ an und nähern Sie das Volumen von Propangas mit dem eines idealen Gases. Berechnen Sie damit, wie lange der vorhandene Gasvorrat ausreicht, um den Heißluftballon bei einer Umgebungstemperatur $\vartheta_a = 18^\circ \text{C}$ und einer Innenluft-Temperatur ϑ_{HB} (siehe Aufgabe (c)) zu betreiben!
Hinweis: Falls Sie Teilaufgabe (d) nicht lösen konnten, verwenden Sie als Ersatzlösung für die nötige Wärmeleistung $P_w = 1051 \text{ kW}$.

(4 Punkte)

Fortsetzung nächste Seite!

Teilaufgabe 3:**Messung von Hochspannungen**

In einem Hochspannungslabor soll eine Spannung von $U_0 = 300 \text{ kV}$ erzeugt und gemessen werden. Der Innenwiderstand R_i der Spannungsquelle beträgt $250 \text{ k}\Omega$. Zur Messung der Spannung steht ein Voltmeter mit einem Vollausschlag von $U_2 = 30 \text{ V}$ zur Verfügung. Es muss also ein geeigneter Spannungsteiler aus R_1 und R_2 (siehe Skizze) dimensioniert werden.

- a) Berechnen Sie, wie groß der Strom I_0 maximal sein darf, wenn die Klemmenspannung um nicht mehr als 1% von der Leerlaufspannung U_0 abweichen soll! Geben Sie den mindestens erforderlichen Gesamtwiderstand $R_{\text{ges}} = R_1 + R_2$ für diese Bedingung an!
(Ersatzlösung: $I_0 = 10 \text{ mA}$)

(4 Punkte)

- b) Berechnen Sie den Wert des Widerstandes R_2 so, dass bei maximal zulässigem Strom I_0 die an R_2 abfallende Spannung $U_2 = 30 \text{ V}$ beträgt! Berechnen Sie, welche Leistung im Widerstand R_2 in Wärme umgesetzt wird!

(3 Punkte)

- c) Das verwendete Voltmeter basiere auf einem Drehspulmesswerk. Nennen Sie seine wichtigsten Bauteile und erläutern Sie die Funktionsweise anhand einer einfachen Skizze! Zeigen Sie, dass für kleine Auslenkungen aus der Ruhelage der Drehwinkel proportional zum Strom ist!

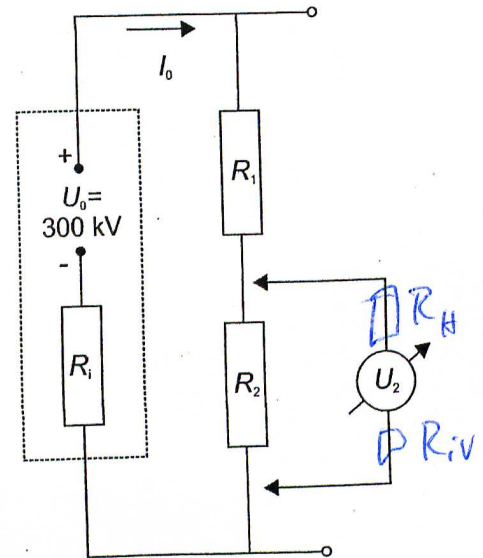
(4 Punkte)

- d) Das Drehspulmesswerk erreiche bei einem Strom von $I_V = 10 \mu\text{A}$ seinen Vollausschlag. Sein Innenwiderstand betrage $R_{iV} = 20 \text{ k}\Omega$. Mit einem Hilfswiderstand R_H lässt sich erreichen, dass das Messwerk bei $U_2 = 30 \text{ V}$ gerade Vollausschlag zeigt. Muss der Hilfswiderstand seriell oder parallel zum Drehspulmesswerk geschaltet werden? Begründen Sie Ihre Antwort! Berechnen Sie dann den Wert des Hilfswiderstandes R_H !

(4 Punkte)

- e) Nehmen Sie für die Widerstände im Schaltkreis $R_1 = 30 \text{ M}\Omega$, $R_2 = 2,4 \text{ k}\Omega$ und $R_i = 250 \text{ k}\Omega$ an. Der Innenwiderstand des Voltmeters betrage $R_{iV} = 20 \text{ k}\Omega$, der Hilfswiderstand $R_H = 3,0 \text{ M}\Omega$. Berechnen Sie den Gesamtstrom I bei angeschlossenem Voltmeter (siehe Skizze)!

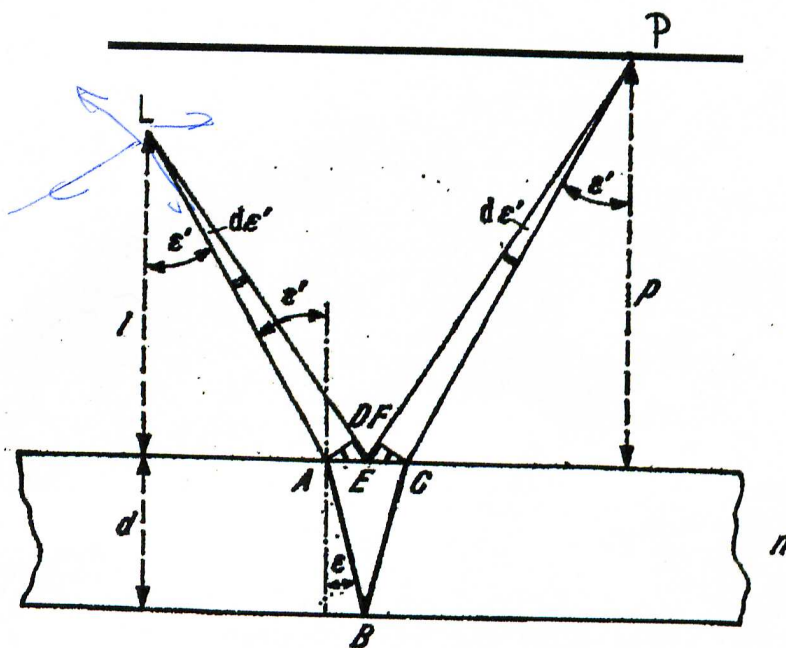
(5 Punkte)



Fortsetzung nächste Seite!

Teilaufgabe 4:**Reflexion an planparallelen Platten (20 Punkte)**

In der schematischen Skizze wird ein $d = 40 \mu\text{m}$ dickes, planparalleles Glimmerplättchen (Brechungsindex $n = 1.56$, die Doppelbrechung sei vernachlässigt) aus einem Abstand l von einigen Zentimetern von einer punktförmigen Lichtquelle L bestrahlt. Auf einem Schirm im Abstand von $p = 5 \text{ m}$ entsteht dann eine Interferenzfigur.



- a) Beschreiben und begründen Sie qualitativ das sich ergebende Bild auf dem Schirm, wenn keine Blenden verwendet werden! (3 Punkte)
- b) Geben Sie zunächst den geometrischen Wegunterschied der Lichtwege LEP und LBP an, die an der Ober- bzw. Unterseite reflektiert werden! Verwenden Sie dabei die Bezeichnungen in der Figur und die Annahme, dass der Winkel $\angle ADE = 90^\circ$ sei! (3 Punkte)
- c) Zeigen Sie, dass für diese Lichtwege der Unterschied δ der optischen Weglänge zwischen den an der Vorder- und Rückseite reflektierten Strahlen (Einfallswinkels ε') gegeben ist durch:
- $$\delta = 2 \cdot d \cdot \sqrt{n^2 - \sin^2 \varepsilon'} \quad (6 \text{ Punkte})$$
- (Hinweis: Berücksichtigen Sie, dass der Winkel $\angle EAD = \varepsilon'$ ist)
- d) Geben Sie eine Bedingung für δ an, damit sich auf dem Schirm ein Intensitätsmaximum am Punkt P ergibt und erläutern Sie die physikalische Begründung dafür! (4 Punkte)
- e) Für die Fraunhofer D_2 -Linie ($\lambda = 598 \text{ nm}$) einer Natriumdampfampe ergibt sich für eines der Intensitätsmaxima auf dem Schirm ein Ringdurchmesser $D = 5,842 \text{ m}$. Welche Ordnungszahl hat dieses Maximum? (Hinweis: Vernachlässigen Sie bei der Rechnung den Abstand zwischen Lichtquelle L und Glimmerplättchen).