

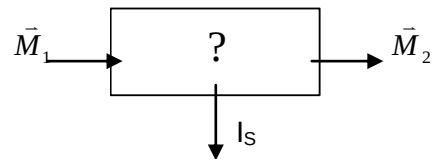
■ PHYSIK

■ Beispiel für eine schriftliche Prüfung

Allgemeine Aufgaben

- A. **Geben** Sie die allgemeinen **Zusammenhänge** zwischen der **Energie**, der **Energiestromstärke**, der **Energiestromdichte** und der vom Energiestrom **durchströmten Fläche** in mathematischer Form **an**.
(Die verwendeten Symbole müssen den oben genannten Begriffen eindeutig zugeordnet werden.)

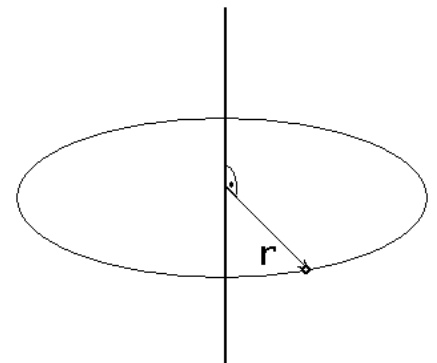
- B. Das nebenstehende Blockdiagramm zeigt einen Energieumwandler. Gegeben sind die STROMSTÄRKEN der jeweiligen Energieträger



- a. Nennen Sie die Energieträger und geben Sie mit Hilfe der zugeordneten INTENSIVEN Größen die Gleichungen für die ENERGIESTROMSTÄRKEN am Eingang und an den Ausgängen an.
- b. Ermitteln Sie aus den Ergebnissen von (a), um welchen Energiewandler es sich handelt und geben Sie einen mathematischen Ausdruck für den Wirkungsgrad an.

- C. Ein Punkt dreht sich im Abstand r entgegen dem Uhrzeigersinn mit sinkender Drehzahl um eine Achse.

- a. Zeichnen Sie die Vektoren der **Winkelgeschwindigkeit**, der **Tangentialgeschwindigkeit**, der **Winkelbeschleunigung**, der **Tangential-** und der **Zentripetalbeschleunigung** in die Skizze ein (am besten verschiedenfarbig!).
HINWEIS: Die Beträge ('Längen') der Vektoren sind frei wählbar.



- b. **Geben** Sie die vollständige Gleichung für den "**Kreisbeschleunigungsvektor**" des Punktes **an** und **zeichnen** Sie diese (in eine andere **Skizze** – auf dem Aufgabenblatt) **ein**.

- D. Beobachtung beim Versuch zur Definition der elektrischen Spannung:

Wird bei einem geladenen und isolierten (d.h. von der Spannungsquelle getrennten) Kondensator der Plattenabstand ein wenig vergrößert ($\vec{E}$ bleibt homogen), so steigt die Spannung zwischen den Platten an.

Begründen Sie mit Hilfe des im Unterricht gefundenen **Feldgesetzes**, **WARUM** die elektrische **Feldstärke** bei der oben beschriebenen Abstandsvergrößerung **konstant** bleiben muss.

Hinweis: eine oder zwei Gleichungen, dazu zwei bis drei erläuternde Sätze

Rechenaufgaben

1. Moderne Elektrolokomotiven haben elektronische Motorregelungen, die beim Anfahren und Bremsen das Gleiten der Räder auf den Schienen weitgehend verhindern (analog dem 'ABS' bei Kfz!). Außerdem sind NUTZBREMSUNGEN möglich, d.h. die Motoren arbeiten beim Bremsen als Generatoren: die umgewandelte mechanische Energie wird an das Oberleitungssystem 'zurückgeliefert'.
Daten: Lokomotivmasse: 84,0t; $P_{zu, max}$: 5,6MW; η = 98%; maximale Zugkraft: 340kN
Haftkoeffizient (Schienen/Räder): 0,47; Gleitkoeffizient: 0,25 (keine Luft- und Rollreibung !)

- a. **Berechnen** Sie die benötigte elektrische **Energiemenge**, um die Maschine aus dem Stillstand auf Höchstgeschwindigkeit (200km/h) zu beschleunigen. **Vergleichen** Sie diese Energiemenge mit dem Tagesbedarf eines 'energiebewussten' Haushalts (~7kWh). - Kommentar ?
- b. Die BR 120 soll auf horizontaler Strecke mit maximal möglicher Verzögerung bis zum Stillstand gebremst werden (Notbremsung). **Berechnen** Sie die dazu benötigte **Bremsstrecke** ($\square$ §). Anfangsgeschwindigkeit: 72km/h
Berechnen Sie auch die **Notbremsstrecke** bei blockierenden Rädern (Motorregelung ausgefallen).
- c. Nun soll die BR 120 einen Zug mit 304t Masse bis zum Stillstand abbremesen. Die Lokomotive bremst für eine Nutzbremmung konstant mit ihrer maximalen Zugkraft (Betrag!). **Berechnen** Sie auch hier die **Bremsstrecke**; gleiche Anfangsgeschwindigkeit wie bei (b).
- d. **Stellen** Sie eine allgemeine Gleichung für die **Bremsleistung** als **Funktion** der **Zeit** auf, welche die Motoren in der Aufgabe (c) aufnehmen müssen. **Berechnen** Sie den **Maximalwert** (Betrag) und vergleichen Sie ihn mit den Leistungsdaten des Informationstextes. – Fällt Ihnen etwas auf ?

2. Ein Plattenkondensator ist über einen Schalter an eine bipolare Spannungsquelle angeschlossen. Quellenspannung und Plattenabstand des Kondensators sind anfangs konstant. Zusätzlich steht ein Ladungsmesssystem (Faradaybecher, Messverstärker, mA – Meter, Influenzplatte) zur Verfügung. Sechs aufeinanderfolgende Entnahmen von Ladungen aus dem Kondensator ergeben folgende Ausgangsstromstärken des Messverstärkers:

$I_M/\mu A$ || 427 | 450 | 423 | 424 | 442 | 426 |

weitere Daten:

Influenzplattenfläche: 48,0(cm)²; Verstärkungsfaktor: 100·10³A/C; $\varnothing$ (Kondensatorplatte): 26,7cm;
Plattenabstand: 3,00cm; Durchbruchfeldstärke von Luft: 2,5MV/m; ϵ_R (Luft) = 1,00

- a. **Skizzieren** Sie den Schaltplan von Kondensator und Spannungsquelle (eventuell noch mit Influenzplatte; Bezeichnungen ausschreiben).
- b. Unter welchen **Voraussetzungen** lässt sich aus Ladungsproben (ΔQ_i), die mit der Influenzplatte aus dem Kondensator entnommen wurden, die Ladung auf der Kondensatorplatte **berechnen** ?
(Zwei bis drei Sätze, kurze Erläuterung)
Entwickeln Sie dabei eine allgemeine Gleichung für die Ladung der Kondensatorplatte.
- c. **Berechnen** Sie mit Hilfe der Gleichung die **Ladung** auf der untersuchten Kondensatorplatte.
Hinweis: Vergessen Sie nicht Ihre eigenen Erläuterungen unter (b)
- d. **Berechnen** Sie die **Feldstärke** im Kondensator **und** die **Spannung** zwischen den Platten.
- e.* Berechnen Sie die maximale Spannung, die an den Kondensator angelegt werden darf, ohne einen Überschlag (Blitz) zwischen den Platten zu riskieren (Kurzer Kommentar).
* **Berechnen** Sie die dabei existierende **Energiedichte** des elektrischen Feldes $|E_0|$ in **Luft** und die
* maximale **Energiemenge**, die der Kondensator beim angegebenen Plattenabstand speichern kann.
* Auf welchen Wert **ändert** sich diese **Energiemenge**, wenn bei abgetrennter Quelle der Plattenabstand auf 4,50cm vergrößert wird und wodurch ? (kurzer Kommentar)

Konstanten: $|\vec{g}| = 9,81\text{N/kg}$, $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}\text{C/Vm}$

FSP A/B

I A) $\left. \frac{dE(t)}{dt} \right|_A = P(t)$: Energiestromstärke ; $E(t)$:

(z.B. zeitabhängige Energie)

$\vec{S}(t) \cdot \vec{A}_N = P(t)$: $\vec{S}$: Energiestromdichtevektor
 $\vec{A}_N$: Normalektor der von "E"

(evtl.: durchströmte Fläche)

$\vec{S} = \rho_E \vec{v}_D$: ρ_E : Dichte der "Energiewolke",
 v_D : Driftgeschwindigkeit der "Wolke")

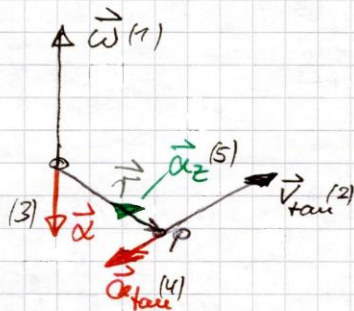
B, a) Energieträger : Drehimpulse $\vec{L}_1$ und $\vec{L}_2$ und die Entropie (S) (für die "Verleufe" des Wandlers)

zugeordnet zu $\vec{L} : \vec{\omega}$; $E_{\text{Rot}} = \frac{1}{2} \vec{L} \cdot \vec{\omega}$ } $P = \vec{M} \cdot \vec{\omega}$
 " " $S : T$; $E_S = ST$ } $P_S = I_S T$

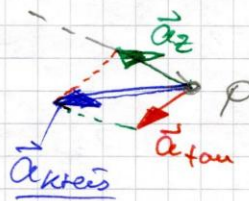
$\rightarrow P_{\text{zu}} = \vec{M}_1 \cdot \vec{\omega}_1$; $P_{\text{Nutz}} = \vec{M}_2 \cdot \vec{\omega}_2$

b) Es handelt sich um einen Moment/Drehzahlwandler ("Getriebe") ; $\eta_G = \frac{|P_{\text{Nutz}}|}{|P_{\text{zu}}|} = \frac{\vec{M}_2 \cdot \vec{\omega}_2}{\vec{M}_1 \cdot \vec{\omega}_1}$

C a)



b) $\vec{\alpha}_{\text{Kreis}} = \vec{\alpha} \times \vec{r} + (-\vec{r})|\vec{\omega}|^2$



D) Isolierter Kondensator leer : $I_c = 0 \rightarrow \overset{\text{⊗}}{Q_c} = \text{konst.}$
 (= $\frac{dQ_c}{dt}$)

Vereinfachte Form des Flächenflussgesetzes : $|\vec{G}_d| = \frac{|Q_c|}{A_c} = \epsilon_0 \epsilon_r |\vec{E}_c|$
 A_c : Kondensatorfläche : konstant $\rightarrow |\vec{E}_c| = \frac{\overset{\text{⊗}}{Q_c}}{A_c \epsilon_0 \epsilon_r}$

Da ϵ_0 und ϵ_r auch konstant sind, kann sich die Feldstärke (homogener Bereich) auch nicht ändern.

II 1, a) Energiewandler: $P_{\text{Nutz (mech)}} = \eta \cdot P_{\text{Zuel.}} \quad |\Delta t_{a2}|$
 $\Delta t_{a2} P_{\text{el(max)}} = \frac{1}{\eta} P_a \Delta t_a$; $\Delta E_{\text{el}} = \frac{1}{\eta} \cdot \Delta E_{\text{kin}} = \frac{1}{\eta} \left(m_L \frac{v_E}{2} \right)$
 $\Delta E_{\text{el}} = \frac{84 \cdot 10^3 \text{ kg}}{0,98 \cdot 2} \cdot \left(200 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot \frac{1}{3,6} \frac{\text{km}}{\text{s}} \right)^2 = 132,3 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \frac{1 \text{ kWh}}{3,6 \cdot 10^6 \text{ J}}$
 $\approx 36,7 \text{ kWh}$

Mit dieser Energie-
 $\frac{\Delta E_{\text{el(Lok)}}}{\Delta E_{\text{Haushalt(1d)}}} = \frac{36,7 \text{ kWh}}{7 \text{ kWh}} \approx 5,25$: Menge kann u. der
 Haushalt mehr als 5 Tage
 versorgt werden.

b) maximale Verzögerung: f_H ist wirksam! $\rightarrow$ Energie rate:

$E_{\text{kin}}(t_0) = W_{S(i)}(t_0 \rightarrow t_E)$; $\frac{m_L}{2} |\vec{v}_0|^2 = m_L |\vec{g}| \cdot f_H \cdot |\Delta \vec{s}_{BN}|$

$|\Delta \vec{s}_{BN}| = \frac{|\vec{v}_0|^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot f_H} = \frac{\left(\frac{72 \text{ m}}{3,6 \text{ s}} \right)^2}{2 \cdot 9,81 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) \cdot 0,47} = 43,4 \text{ m}$

Gleitende Räder: f_G ;

mit 'ABS': "Notbremsweg"

$|\Delta \vec{s}_{BN}| = \frac{|\vec{v}_0|^2}{2 \cdot |g| \cdot f_G} = |\Delta \vec{s}_{BN}| \frac{f_H}{f_G} = 43,377 \text{ m} \cdot \frac{0,47}{0,25} = 81,5 \text{ m}$

'ohne' ABS: Bremsweg fast
verdoppelt!

c) $|\vec{F}_{Br}| = \text{max. Zugkraft (Text)}$! - Energieerhaltung:

$E_{\text{kin}}(\text{Lok.} + \text{Zug})_{\frac{1}{2}} = |\vec{F}_{Br}| |\Delta \vec{s}_{B,zug}| \rightarrow |\Delta \vec{s}_{B,z}| = \frac{(m_L + m_Z) |\vec{v}_0|^2}{2 \cdot |\vec{F}_{Br}|}$

$|\Delta \vec{s}_{B,z}| = \frac{(840 + 304) \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot 400 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{2 \cdot 340 \cdot 10^3 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 228,2 \text{ m (fast } \frac{1}{4} \text{ Kilometer!)}$

d) Allgemein: $P_{(\text{transl})} = \vec{F} \cdot \vec{v}$; hier: $P_{Br} = \vec{F}_{Br} \cdot \vec{v}_{Zug}(t)$

$|\vec{F}_{Br}| = \text{konst.} \rightarrow \vec{a}_{Br} = \frac{\vec{F}_{Br}}{m_{Ges}}$; $\vec{v}_{Zug}(t) = (-\vec{e}_v) \frac{\vec{F}_{Br}}{m_{Ges}} \cdot t + \vec{e}_v |\vec{v}_z(t_0)|$

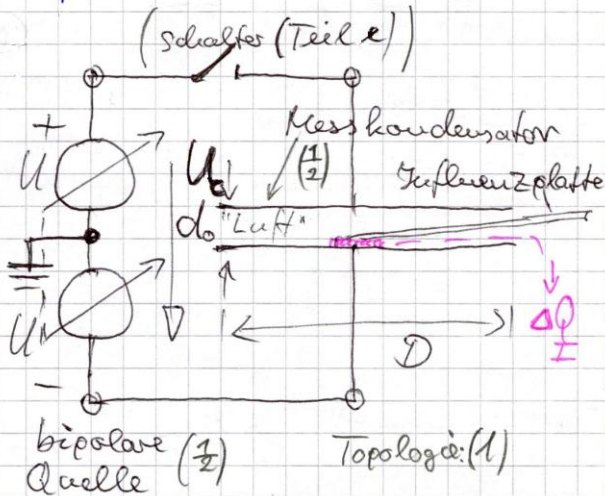
$P_{Br}(t) = (-\vec{e}_v) |\vec{F}_{Br}| \cdot (\vec{e}_v) \left[\frac{|\vec{v}_z(t_0)|}{2} - \frac{|\vec{F}_{Br}| t}{m_{Ges}} \right] \leq 0$; $|P_{Br}| = \text{max.}$ für $t=0$ s

$|P_{Br \text{ max}}| = |\vec{F}_{Br}| \cdot |\vec{v}_z(t_0)| = 340 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot 20 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 6,8 \cdot 10^6 \text{ W} = \underline{\underline{6,8 \text{ MW}}}$

Diese zu verarbeitende Leistung ist größer als die maxi-
 male Zugleistung der Lokomotive (das System wird mit
 etwa 21% überlastet) $\rightarrow$ Defektgefahr...

II, 2 Plattenkondensator

a) Skizze Schaltplan (2)



b) Voraussetzungen:

① ΔQ_I ist unabhängig vom Entladungsort (Ladungsverteilung von Q_K)

② Infl.-Platte und Kond.-platte sind bei der Ladungs-

(1) abnahme parallel: Nur dann gilt: $\bar{\sigma}_I = \frac{\Delta Q_I}{\Delta A_I} \hat{=} \bar{\sigma}_K = \frac{Q_K}{A_K}$

⊗ Sonst ist $\bar{\sigma}_I > \bar{\sigma}_{Kond}$! (Feldverzerrung!!)

⇒ Allgemeine Gleichung: $\Delta Q_I = \frac{I_M(2)}{V_Q} Q_K = \bar{\sigma}_I \cdot A_K = \frac{\Delta Q_I}{\Delta A_I} \cdot A_K$

⊗: Starke Abweichung der Messwerte ② und ⑤ von den anderen Werten ⇒ Fehl-messung wahrscheinlich - ausschließen!

Berücksichtigung aller ^{übrigen} Messwerte: $\bar{I}_M^{(4)} = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 I_{Mj}$

$$\Rightarrow Q_K = \frac{A_K \cdot \bar{\Delta Q_I}^{(4)}}{\Delta A_I} = \frac{\pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot \bar{I}_M^{(4)}}{\Delta A_I \cdot V_Q(MV)}$$

$$c) \bar{I}_M^{(4)} = 425 \cdot 10^{-6} A; Q_K = \frac{\pi \cdot (0,1335 m)^2 \cdot 425 \cdot 10^{-6} A}{48,8 \cdot 10^{-4} m^2 \cdot 100 \cdot 10^3 V} = 4,957 \cdot 10^{-8} C (\approx 50 pC)$$

d) Hüllenaufliessgesetz: $|\sigma_{Kond}| = \frac{|Q_K|}{A_K} = \epsilon_0 \cdot 1'' \cdot |\vec{E}_{0Kond}| \rightarrow$

$$|\vec{E}_{0K}| = \frac{\bar{\Delta Q_I}^{(4)}}{\Delta A_I} \frac{1}{\epsilon_0 \cdot 1''} = 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{C}{m^2} \cdot \frac{1}{8,854 \cdot 10^{-12} C/V \cdot m} = 1,00 \cdot 10^5 \frac{V}{m}$$

$$|U_K| = |\vec{E}_{0K}| \cdot d_K = 100 kV/m \cdot 3 \cdot 10^{-2} m = 3,00 kV$$

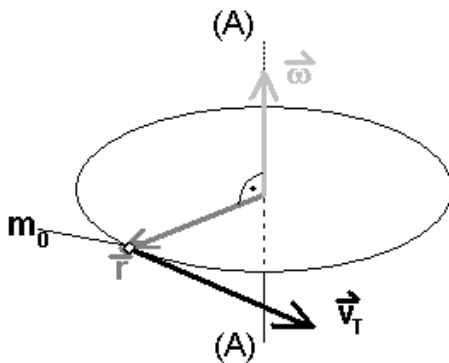
■ Beispiel für eine mündliche Prüfung

Kreisbewegungen

- A** Ein punktförmiger Körper (Masse m_0) rotiert mit der Winkelgeschwindigkeit $\vec{\omega}$ im Abstand $\vec{r}$ um eine Achse.
- Skizzieren Sie das System und geben Sie den Zusammenhang zwischen Ortsvektor ($\vec{r}$), Winkelgeschwindigkeitsvektor ($\vec{\omega}$) und dem Tangentialgeschwindigkeitsvektor ($\vec{v}_T$) an.
 - Geben Sie einen **allgemeinen Ausdruck** für die **Rotationsenergie** dieses Systems an. Zu welcher Art (Oberbegriff) gehört diese Energieform?
 - Definieren** Sie durch Analogiebildung mit Hilfe der *Translationsenergie* (eines punktförmigen Körpers) das **TRÄGHEITSMOMENT** dieses Systems.
- B** Nun soll ein ausgedehnter, starrer Körper (Masse m_{Ges}) mit $\vec{\omega}$ um eine Achse rotieren. Man kann sich diesen Körper aus einer sehr großen Anzahl sehr kleiner Massen (Δm_i) zusammengesetzt denken, die in verschiedenen Abständen $\vec{r}_i$ um die Achse rotieren.
- Finden Sie – analog zu (A) – einen allgemeinen Ausdruck für die **Rotationsenergie** dieses Körpers.
 - Finden Sie – ebenso – einen allgemeinen Ausdruck für das **Trägheitsmoment** des Körpers.

Musterlösung:

A Skizze:



- $\vec{\omega}$: frei wählbar;
Anwendung der "Rechtsschraubenregel" bei:
 $\vec{v}_T = \vec{\omega} \times \vec{r}$ und dadurch Festlegung von $\vec{v}_T$

- $E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot |\vec{v}_T|^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot |\vec{r}|^2 \cdot |\vec{\omega}|^2 = E_{\text{Rot.}}$:
Es handelt sich um eine Form der
Bewegungsenergie. ("Kinetische Energie")

- $E_{\text{Translation}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot |\vec{v}|^2$ mit "m" : Träge Masse
und "v": Geschwindigkeit

entsprechend: $E_{\text{Rot}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot |\vec{r}|^2 \cdot |\vec{\omega}|^2$ mit " ω " : Winkel**geschwindigkeit**, und " $m \cdot |\vec{r}|^2$ " = ($J^{(A)}$) :
abgekürzt: $E_{\text{Rot}} = \frac{1}{2} \cdot J_{\text{Punkt}}^{(A)} \cdot |\vec{\omega}|^2$ **Trägheitsmoment** in Bezug auf die Achse (A)

- Ba.** Starrer Körper: Die einzelnen Massenelemente Δm_i des Körpers sind nicht gegeneinander verschiebbar: Alle rotieren mit der gleichen Winkelgeschwindigkeit $\vec{\omega}$. Der Körper besteht aus "N" Massenelementen.

$$E_{\text{Rot.}}(\text{Körper}) = \sum_{i=1}^N E_{\text{Rot.},i} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{2} \cdot \Delta m_i \cdot \vec{r}_i^2 \cdot \vec{\omega}^2 = \frac{1}{2} \cdot \vec{\omega}^2 \cdot \sum_{i=1}^N \Delta m_i \cdot \vec{r}_i^2, \text{ wobei } m(\text{Körper}) = \sum_{i=1}^N \Delta m_i$$

- Abkürzung für den letzten Summenausdruck analog (A, c): $\sum_{i=1}^N \Delta m_i \cdot (\vec{r}_i^2)^{(A)} = J^{(A)}(\text{Körper})$,
also $E_{\text{Rot.}}(\text{Körper}) = \frac{1}{2} \cdot J^{(A)}(\text{Körper}) \cdot |\vec{\omega}|^2$, das heißt auch, die Rotationsenergie des Körpers ist
(bei $\omega = \text{konst.}$) abhängig von der Lage der Rotationsachse des Körpers.