

Lösungsvorschlag

Reibungsmessung

Autor H Käß

- a) Im Grenzfall: Gleichgewicht zwischen Hangabtriebskraft F_H und Haftreibungskraft F_{HR}

Hangabtriebskraft

$$F_H = m \cdot g \cdot \sin(\varphi_{\max})$$

Haftreibungskraft

$$F_{HR} = \mu_h \cdot F_N = \mu_h \cdot m \cdot g \cdot \cos(\varphi_{\max})$$

Dann folgt aus $F_H = F_{HR}$

$$\mu_h = \sin(\varphi_{\max}) / \cos(\varphi_{\max}) = \mathbf{\tan(\varphi_{\max})}$$

Oder alternativ

$$\mathbf{\varphi_{\max} = \arctan(\mu_h)}$$

- b) Aus Teil a) folgt

$$\varphi_{\max} = \arctan(0,6) = \mathbf{30,96^\circ}$$

- c) Entgegen der Bewegungsrichtung wirkt die immer konstante Gleitreibungskraft. Die Differenz zwischen Hangabtriebs- und Gleitreibungskraft beschleunigt den Block

Gleitreibungskraft

$$F_{GR} = \mu_g \cdot F_N = \mu_g \cdot m \cdot g \cdot \cos(\varphi_{\max})$$

Beschleunigungskraft

$$F_B = F_H - F_{GR} = m \cdot g (\sin(\varphi_{\max}) - \mu_g \cos(\varphi_{\max}))$$

Die Beschleunigung folgt aus

$$a = F_B / m = g (\sin(\varphi_{\max}) - \mu_g \cos(\varphi_{\max})) = \\ = 9,81 \text{ m/s}^2 - 8,56 \cdot 10^{-2} = \mathbf{0,8405 \text{ m/s}^2}$$

Sie ist **entlang der gesamten Wegstrecke d konstant.**

- d) Aus $\sin(\varphi_{\max}) = h / d$ folgt

$$d = h / \sin(\varphi_{\max}) = \mathbf{0,5832 \text{ m}}$$

Konstant beschleunigte Bewegung

$$d = \frac{1}{2} a \cdot t_d^2$$

und somit

$$t_d = \sqrt{2 d / a} = \sqrt{1,3876 \text{ s}^2} = \mathbf{1,178 \text{ s}}$$

- e) Endgeschwindigkeit ist

$$v_{\text{end}} = a \cdot t_d = \mathbf{0,9901 \text{ m/s}}$$

- f) Reibungsarbeit direkt

$$W_{\text{reib}} = d \cdot F_{GR} = d \cdot \mu_g \cdot m \cdot g \cdot \cos(\varphi_{\max}) \\ = 0,5832 \text{ m} \cdot 0,5 \cdot 2 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,8575 \\ = 4,906 \text{ Nm} = \mathbf{4,906 \text{ J}}$$

Alternativ über Energiesatz

$$E_{\text{pot}} = W_{\text{reib}} + E_{\text{kin}}$$

Demnach folgt W_{reib} aus

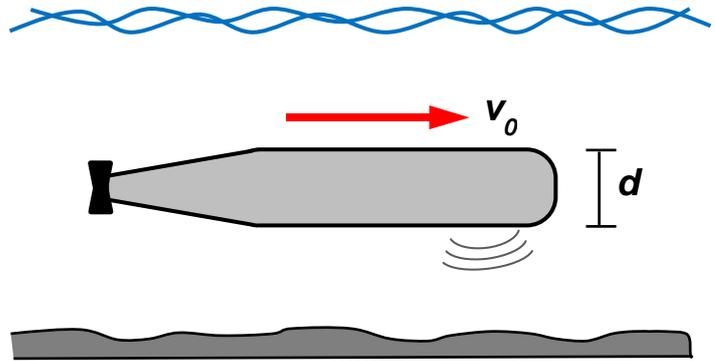
$$W_{\text{reib}} = E_{\text{pot}} - E_{\text{kin}} = m \cdot g \cdot h - \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{end}}^2 \\ = 5,886 \text{ J} - 0,9803 \text{ J} = 4,906 \text{ J}$$

Sommersemester 2015	Blatt 2 (von 3)
Studiengang: BTB1 / CIB1	Semester 1
Prüfungsfach: Physik 1	Fachnummer: 1011005 / 1072

Aufgabe 2: Tiefseeforschung

(26 Punkte)

Zur Meereserkundung werden oft autonome Unterwasserfahrzeuge eingesetzt. Ein Beispiel ist das rechts skizzierte Gerät *Bluefin-21*, mit dem 2014 im Indischen Ozean nach den Trümmern des verschwundenen Flugs MH 370 gesucht wurde.



Technische Daten von Bluefin-21

$m_{ge} = 750 \text{ kg}$	Gesamtmasse	<i>Die Umströmung sei durchweg turbulent !</i>
$d = 53 \text{ cm}$	kreisrunder Querschnitt	$v_0 = 5,5 \text{ km/h}$ Normalgeschwindigkeit
$c_w = 0,1$	Widerstandsbeiwert	$v_m = 8,4 \text{ km/h}$ Maximalgeschwindigkeit
$P_{sen} = 400 \text{ W}$	Leistungsbedarf Sensorik	
$E_{el} = 13,5 \text{ kWh}$	Kapazität Akkumulator	$\eta = 90\%$ Wirkungsgrad Antrieb
$\rho_m = 1,025 \text{ g/cm}^3$	Dichte Meerwasser	$\rho_s = 1,000 \text{ g/cm}^3$ Dichte Süßwasser

a) Am tiefsten Punkt seiner Suchfahrten befand sich das Gerät 4695 m unter dem Meeresspiegel. Welcher Gesamtdruck herrscht in dieser Wassertiefe ?

In der Regel wird das Gerät bei konstanten Fahrtgeschwindigkeiten eingesetzt. Dabei ist der Wirkungsgrad des elektrischen Antriebs durchweg konstant.

b) Welche Widerstandskraft auf das Gerät hat das Wasser bei der Normalgeschwindigkeit v_0 und welche mechanische Vortriebsleistung ist nötig, um sie konstant zu halten ?

c) Welche Werte ergeben sich für Wasserwiderstand und erforderliche mechanische Vortriebsleistung bei der maximal möglichen Fahrtgeschwindigkeit v_m ?

d) Welche elektrische Leistung erfordern die Fahrbewegungen in Teilaufgaben b) und c) ?

Bei der Suche nach Objekten auf dem Meeresboden ist die Sensorik dauernd in Betrieb und nimmt die elektrische Leistung P_{sen} auf. Dabei bewegt sich das Gerät mit konstanter Geschwindigkeit v_0 und erfasst pro Stunde $1,5 \text{ km}^2$ Fläche.

e) Wie lange kann es so maximal eingesetzt werden und welche Fläche nimmt es dabei insgesamt auf, bis der anfangs vollständig geladene Akkumulator restlos entleert ist ?

In Meerwasser schwebt das Gerät. Nun soll es im Inland in einem See eingesetzt werden.

f) Müssen Änderungen vorgenommen werden, damit es im Süßwasser des Sees ebenfalls schwebt (Antwort bitte begründen, eventuelle Änderungsmöglichkeiten erklären) ?

Lösungsvorschlag

Tiefseeforschung

Autor H Käß

a) Hydrostatischer Druck $\rho = \rho \cdot g \cdot h = 1025 \cdot 9,81 \cdot 4695 \text{ m} = 4721 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2 = 472,1 \text{ bar}$

Dazu kommt der Luftdruck an der Meeresoberfläche (1 bar), also **$p = 473,1 \text{ bar}$**

b) Die Umströmung ist turbulent, daher gilt für die Widerstandskraft $F_W = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A \cdot c_W$:

Für $v_0 = 5500/3600 \text{ m/s} = 1,528 \text{ m/s}$ und $A = \pi (d/2)^2 = 0,2206 \text{ m}^2$

folgt $F_W = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A \cdot c_W =$
 $= \frac{1}{2} \cdot 1025 \text{ kg/m}^3 \cdot 1,528^2 \text{ m}^2/\text{s}^2 \cdot 0,2206 \text{ m}^2 \cdot 0,1$
 $= 26,391 \text{ N}$

Die für konstante Geschwindigkeit erforderliche mechanische Vortriebsleistung ist:

$P_0 = F_W \cdot v_0 = 26,391 \text{ N} \cdot 1,528 \text{ m/s} = \mathbf{40,32 \text{ W}}$

c) Die maximal mögliche Fahrtgeschwindigkeit beträgt $v_m = 8400 / 3600 \text{ m/s} = 2,333 \text{ m/s}$

Damit werden Widerstandskraft **$F_W = 61,56 \text{ N}$**

und mechanische Vortriebsleistung **$P_M = 61,56 \cdot 2,333 \text{ Nm/s} = 143,64 \text{ W}$**

d) Aus dem Wirkungsgrad η des Antriebs folgt die erforderliche elektrische Leistung P_{el}

zu $P_{el} = P_{mech} / \eta$ also $P_{el,0} = 40,32 \text{ W} / 0,9 = \mathbf{44,8 \text{ W}}$

und $P_{el,m} = 143,64 \text{ W} / 0,9 = \mathbf{159,6 \text{ W}}$

e) Gesamte elektrische Leistungsaufnahme $P_{el,ges}$ bei Suchfahrt mit v_0 :

Elektrische Leistung für Antrieb $P_{el,0} = 44,8 \text{ W}$

Elektrische Leistung Sensorik $P_{sen} = 400 \text{ W}$

Somit $P_{el,ges} = 444,8 \text{ W}$

Maximaldauer t_{max} der Versorgung aus Akkumulator mit Energieinhalt E_{el}

$t_{max} = E_{el} / P_{el,ges} = 13500 \text{ Wh} / 444,8 \text{ W}$

$= 30,35 \text{ h} = 30 \text{ h } 21 \text{ min}$

Maximal erfassbare Fläche $A_{scan} = 30,35 \text{ h} \cdot 1,5 \text{ km}^2 / \text{h} = \mathbf{45,5 \text{ km}^2}$

f) Die Dichte von Süßwasser ist **kleiner** als die von Meerwasser, $\rho_s / \rho_m = 97,56 \%$

Daher verdrängt das Gerät bei vollständigem Eintauchen weniger Wasser und die **Auftriebskraft ist geringer**. Bei gleicher Masse schwebt es nicht mehr, sondern sinkt.

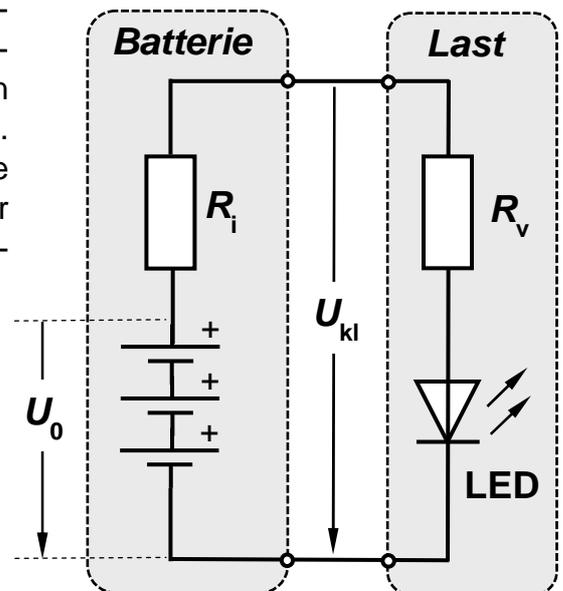
Somit müsste entweder seine **Masse reduziert oder ein zusätzlicher Auftriebskörper** angebracht werden.

Sommersemester 2015	Blatt 3 (von 3)
Studiengang: BTB1 / CIB1	Semester 1
Prüfungsfach: Physik 1	Fachnummer: 1011005 / 1072

Aufgabe 3: LED-Taschenlampe

(14 Punkte)

Elektrisch gesehen, besteht eine LED-Taschenlampe aus einer Batterie sowie der LED mit einem angepassten Vorwiderstand R_v . Beide zusammen bilden eine an die Batterie angeschlossene Last. Die Batterie selbst wird in guter Näherung durch die Kombination einer idealen Spannungsquelle der Leerlaufspannung U_0 mit einem Widerstand R_i beschrieben (dazu die Skizze rechts).



Angaben

Betriebsdaten der LED :

$U_{LED} = 3,5 \text{ V}$ Spannung

$I_{LED} = 40 \text{ mA}$ Strom

Eigenschaften der Batterie :

$U_0 = 4,5 \text{ V}$ Leerlaufspannung

$R_i = 3 \Omega$ Innenwiderstand

- Welche Klemmenspannung liefert die Batterie bei Betrieb der LED ?
- Welchen Innenwiderstand hat die LED und wie groß sollte der Vorwiderstand R_v sein ? Welchen Widerstand R_L hat demnach die Last insgesamt ?
- Welche elektrische Leistung geht beim Betrieb in die LED und in den Vorwiderstand ? Welche elektrische Leistung nimmt demnach die Last insgesamt auf ?
- Geht im Betrieb elektrische Leistung in der Batterie selbst verloren und wenn ja, wie groß ist diese Verlustleistung ?

„Kurzschluss“ bedeutet, dass die beiden Anschlüsse der Batterie direkt über einen idealen Leiter miteinander verbunden werden, der dann die Last bildet.

- Welchen Wert hätte demnach bei einem Kurzschluss der Gesamtwiderstand der Last ?
- Welche Werte hätten dann Klemmenspannung und Kurzschlussstrom der Batterie ?
- Welche elektrische Leistung gäbe die Batterie im Kurzschlussfall an die Last ab und wie groß wäre die Verlustleistung in der Batterie selbst ?

Lösungsvorschlag

LED-Taschenlampe

Autor H Käß

a) Bei Betrieb der LED fließt ein Strom von $I_{LED} = 40 \text{ mA}$

Der Spannungsabfall an R_i beträgt $U_i = R_i \cdot I_{LED} = 3 \Omega \cdot 0,04 \text{ A} = 0,12 \text{ V}$

Die Klemmenspannung ist daher $U_{kl} = U_0 - U_i = 4,5 \text{ V} - 0,12 \text{ V} = \mathbf{4,38 \text{ V}}$

b) Der Innenwiderstand der LED ist $R_{LED} = U_{LED} / I_{LED} = 3,5 \text{ V} / 0,04 \text{ A} = \mathbf{87,5 \Omega}$:

Am Vorwiderstand muss abfallen $U_V = U_{kl} - U_{LED} = 4,38 \text{ V} - 3,5 \text{ V} = 0,88 \text{ V}$

Dazu muss er betragen $R_V = U_V / I_{LED} = 0,88 \text{ V} / 0,04 \text{ A} = \mathbf{22 \Omega}$

Der gesamte Lastwiderstand wird $R_L = R_V + R_{LED} = \mathbf{109,5 \Omega}$

c) Die Leistungsaufnahme der LED beträgt

$$P_{LED} = U_{LED} \cdot I_{LED} = 3,5 \text{ V} \cdot 0,04 \text{ A} = \mathbf{0,14 \text{ W} = 140 \text{ mW}}$$

Die Leistungsaufnahme des Vorwiderstands beträgt

$$P_V = U_V \cdot I_{LED} = 0,88 \text{ V} \cdot 0,04 \text{ A} = \mathbf{35,2 \text{ mW}}$$

Die Leistungsaufnahme der Last beträgt insgesamt

$$P_{el} = U_{kl} \cdot I_{LED} = 4,38 \text{ V} \cdot 0,04 \text{ A} = \mathbf{175,2 \text{ mW}}$$

c) Die Verlustleistung P_{loss} in der Batterie selbst geht im Innenwiderstand verloren, sie erwärmt die Batterie

Sie beträgt $P_{loss} = U_i \cdot I_{LED} = 0,12 \text{ V} \cdot 0,04 \text{ A} = \mathbf{4,8 \text{ mW}}$

e) Bei Kurzschluss ist der Gesamtwiderstand der Last gleich **Null !**

f) Bei Kurzschluss fällt die gesamte Spannung U_0 am Innenwiderstand R_i ab

Die Klemmenspannung beträgt dann $U_{kl} = \mathbf{0 \text{ V} !!}$

Der Kurzschlussstrom ist somit $I_k = U_0 / R_i = 4,5 \text{ V} / 3 \Omega = \mathbf{1,5 \text{ A}}$

g) Bei Kurzschluss ist der Lastwiderstand Null, daran fällt keine Spannung ab

Die Leistungsaufnahme der Last ist dann $P_L = \mathbf{0 \text{ W} !!}$

Die Verlustleistung in der Batterie entsteht an R_i $P_i = R_i \cdot I_k^2$
 $= 3 \Omega \cdot 1,5^2 \text{ A}^2 = \mathbf{6,75 \text{ W}}$