

VORDIPLOMPRÜFUNG 1

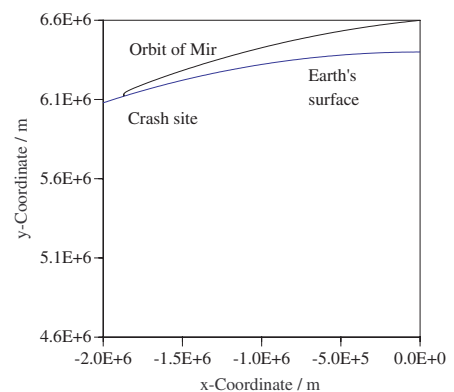
| | |
|---------|---|
| Blatt 1 | Abteilung: Maschinenbau Jahr: 1999 Experten: Raeber |
|---------|---|

| | |
|------------------------------|--|
| Klassen: MB1a Lehrer: Fuh | Datum: 22.9.1999 Zeit: 8:00 – 11:00 |
|------------------------------|--|

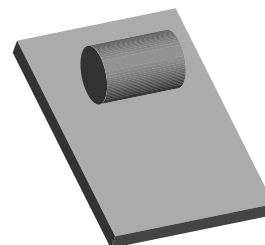
WRITTEN EXAM IN PHYSICS

ALLOWED AIDS: Personal summary, calculator

1. The Mir space station's crash to earth is simulated with the help of a strongly simplified model (see figure). A greatly enlarged depiction of the crash is on an accompanying page. The mass of Mir is 60 tons. There is a strong decrease of air density when measured vertically upwards from the earth's surface.
 - a. Determine the acceleration of Mir graphically at the given (gray) point shortly before impact.
 - b. What is the air resistance at this point?
 - c. Determine the rate at which energy is dissipated at this moment.



2. A homogenous cylinder with a radius of 5.0 cm and a mass of 1.0 kg rolls down a surface tilted at a 30 degree angle. From rest the cylinder rolls without sliding over the soft surface. It covers a distance of 1.5 meters in one second. Air resistance is ignored.
 - a. What are the acceleration and the angular acceleration of the cylinder?
 - b. Determine the component of the force parallel to the surface which the surface exerts upon the cylinder.
 - c. Where does the normal force act upon the body? In other words: How far must the normal component of the force which the surface exerts upon the cylinder be moved forward with respect to the cylinder's central axis?



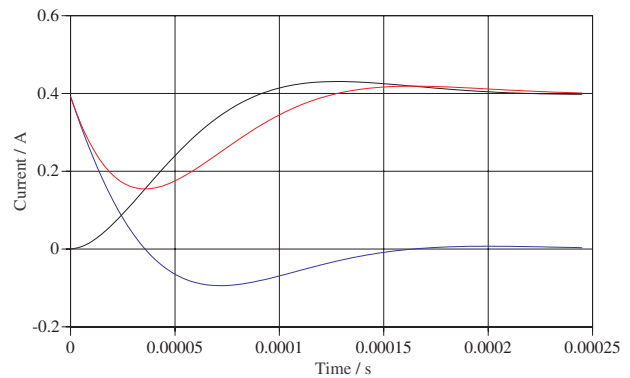
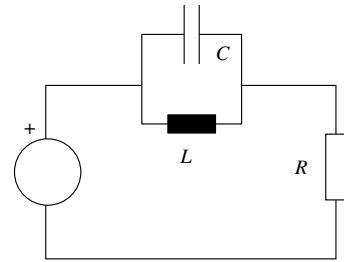
Verteiler

Kandidaten:
Spätestens bis Prüfungsbeginn:

nach Schluss der Prüfung an Dozierende zurück
je ein Exemplar pro Abteilung z.H. Archiv
je ein Exemplar z.H. der beteiligten ExpertInnen

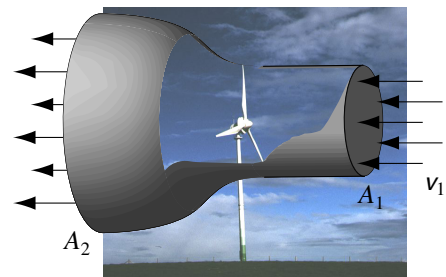
3. In the sketch (opposite), the circuit is connected to a battery with the voltage of 10V at the time $t = 0$. The figure shows the currents through the inductive element, the resistance element and the capacitor (see accompanying enlargement).

- Assign the curves to the elements.
- With the help of the graphs, determine the values of the elements (resistance, capacitance, and inductance).



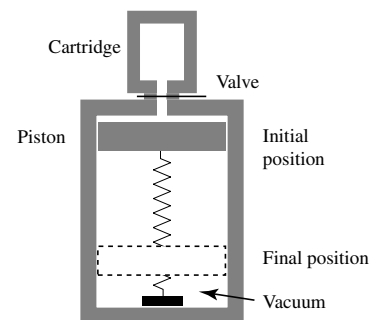
4. A wind power generator having a cross section of 75 m^2 is being blown at by winds at a speed of 50 km/h. Behind the rotor the flow surface increases by a factor of 1.6. The air can be treated as incompressible and with a density of 1.2 kg/m^3 .

- What is the purely convective energy flow of the wind through the cross section of the rotor?
- At what rate is the energy transferred to the rotor?
- The rotor turns at a frequency of 0.5 Herz. What is the current of angular momentum through the shaft of the wheel to the generator?



5. To start with, 5.0 g (0.114 mole) of the gas N_2O (dinitrogen monoxide) is in a steel cartridge (mass: 20g) with a volume of 4 cm^3 at 300K and at a pressure of 710bar. The gas is allowed to expand reversibly in an aluminum cylinder with a movable piston (total mass: 120g) until a total volume of 0.8 dm^3 is reached. This process happens so quickly that there is no heat exchange with the container. At the end of this first step the piston is fixed and the system is left alone until the temperature no longer changes (partial process 2).

- Draw the changes in state of the gas for both partial processes. Use a pV and a TS diagram for each of them. Number the beginning, intermediate and end states with 1, 2 and 3.



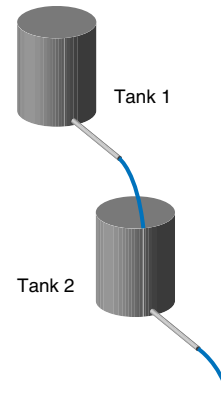
- b. Calculate the values for pressure and temperature for states 2 and 3.

Hint: The system described is isolated from the environment. Consider the N_2O as an ideal gas.

Data:

Specific energy capacity N_2O : $0.69 \text{ kJ}/(\text{K}\cdot\text{kg})$, Adiabatic exponent of N_2O : $4/3$, specific energy capacity of aluminum: $0.896 \text{ kJ}/(\text{K}\cdot\text{kg})$, specific energy capacity of steel: $0.42 \text{ kJ}/(\text{K}\cdot\text{kg})$.

6. Two identical tin cans with outflow pipes contain water of different temperatures. The diameter of the cans is 9.85 cm . Water flows from the can above into the can below. At a fixed point in time, the water levels are $h_1 = 0.074 \text{ m}$ and $h_2 = 0.078 \text{ m}$. The temperatures measure $T_1 = 359 \text{ K}$ and $T_2 = 323 \text{ K}$. In the table opposite, the viscosity of the water as a function of its temperature is given.



The flow in the first pipe is turbulent. The flow factor for this situation is $5.05 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/(\text{s}\cdot\text{Pa}^{0.5})$. The flow in the second pipe is laminar. The length and radius of the pipe are 0.251 m and 0.97 mm , respectively.

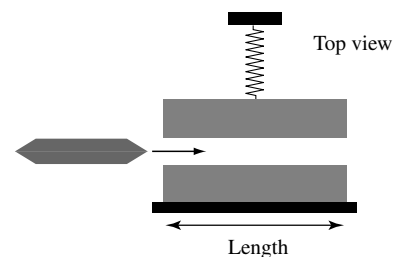
- What is the volume flow of the outlet of the first tank?
- What is the hydraulic resistance of the flow in the second pipe?
- What is the rate of change in the water level of the second tank?

Table 1: Viscosity of water

| $T / ^\circ\text{C}$ | $\eta / \text{Pa}\cdot\text{s}$ | $T / ^\circ\text{C}$ | $\eta / \text{Pa}\cdot\text{s}$ |
|----------------------|---------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| 20 | $1.00 \cdot 10^{-3}$ | 60 | $4.76 \cdot 10^{-4}$ |
| 30 | $8.06 \cdot 10^{-4}$ | 70 | $4.13 \cdot 10^{-4}$ |
| 40 | $6.67 \cdot 10^{-4}$ | 80 | $3.63 \cdot 10^{-4}$ |
| 50 | $5.56 \cdot 10^{-4}$ | 90 | $3.18 \cdot 10^{-4}$ |

7. A certain type of weaving machine uses fast “shuttles” which move the warp through the woof. These objects must be caught on the other side. A brake must be designed for this.

One must determine with how much force the movable brake block must be pushed for a given stopping distance and what temperature the brake blocks show when the cooling air being blown upon them is 40°C .



- With what force must the one brake block be pressed so that a stopping distance of 10 cm is achieved?
- How much energy is released during the braking process?
- The braking process takes place 20 times per second. Calculate the average mean temperature of the brake blocks when only heat transfer on the effective surface occurs.

Hint: Assume that heat is continually being produced.

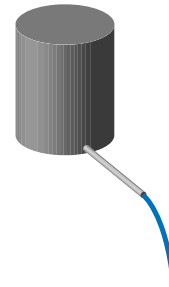
Known values:

Length: 10 cm , mass of shuttle: 50 g , speed of shuttle: 50 m/s , coefficients of kinetic friction between shuttle and brakes: 0.15 , heat transfer coefficient from brakes to cooling air: $300 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$, effective cooling surface: 500 cm^2 .

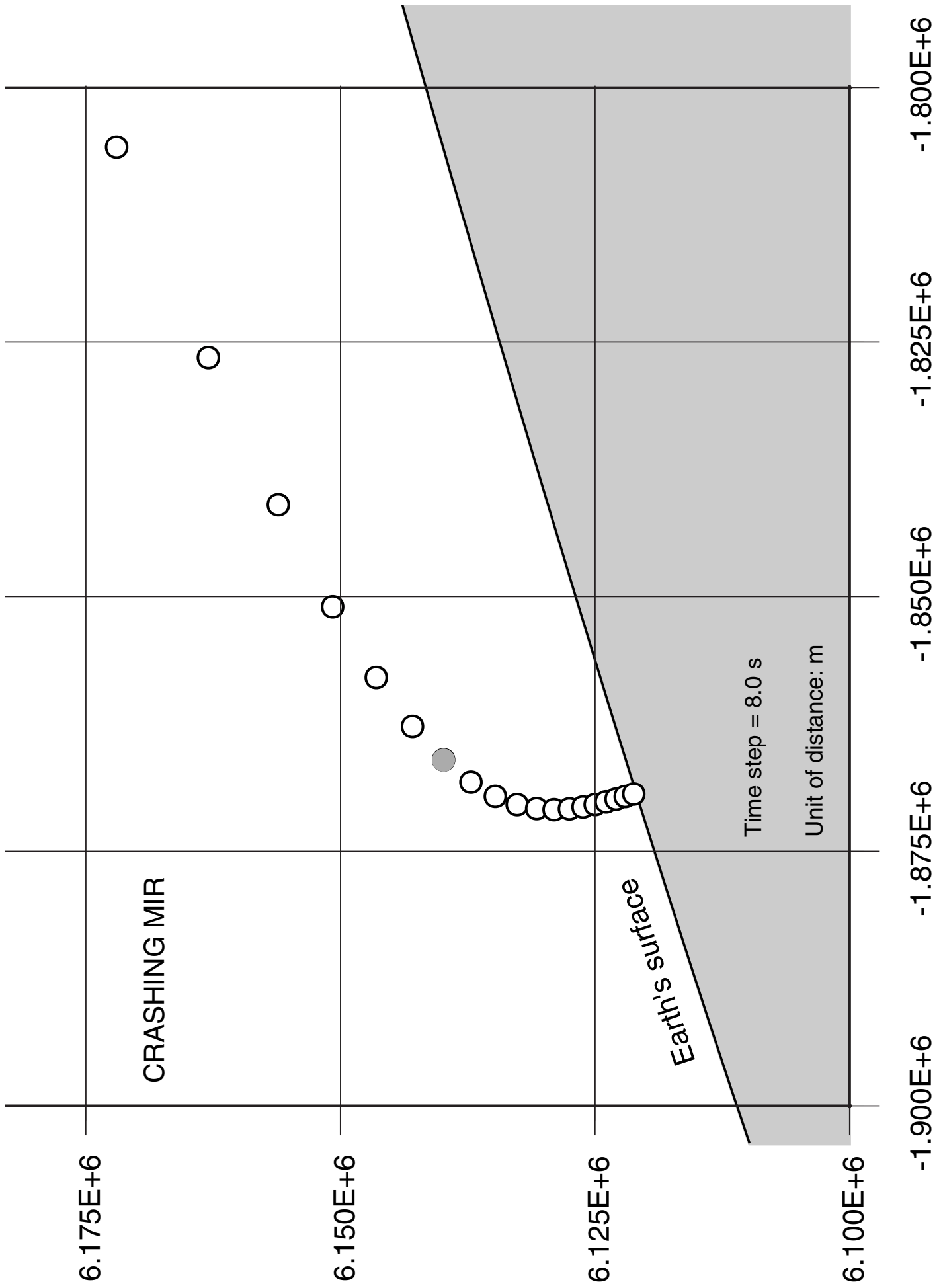
8. There is hot water in an open tin can. The water is flowing out through a horizontal pipe.
- Does the thermal process (entropy flow and temperature change) have an influence upon the hydraulic process, or can the two processes be calculated independent of each other?
 - Consider the water in the can as a system. Formulate the instantaneous balance of mass.
 - Again take the water in the can as the system. With the help of the balance of entropy, prove that the rate of change of temperature is given by

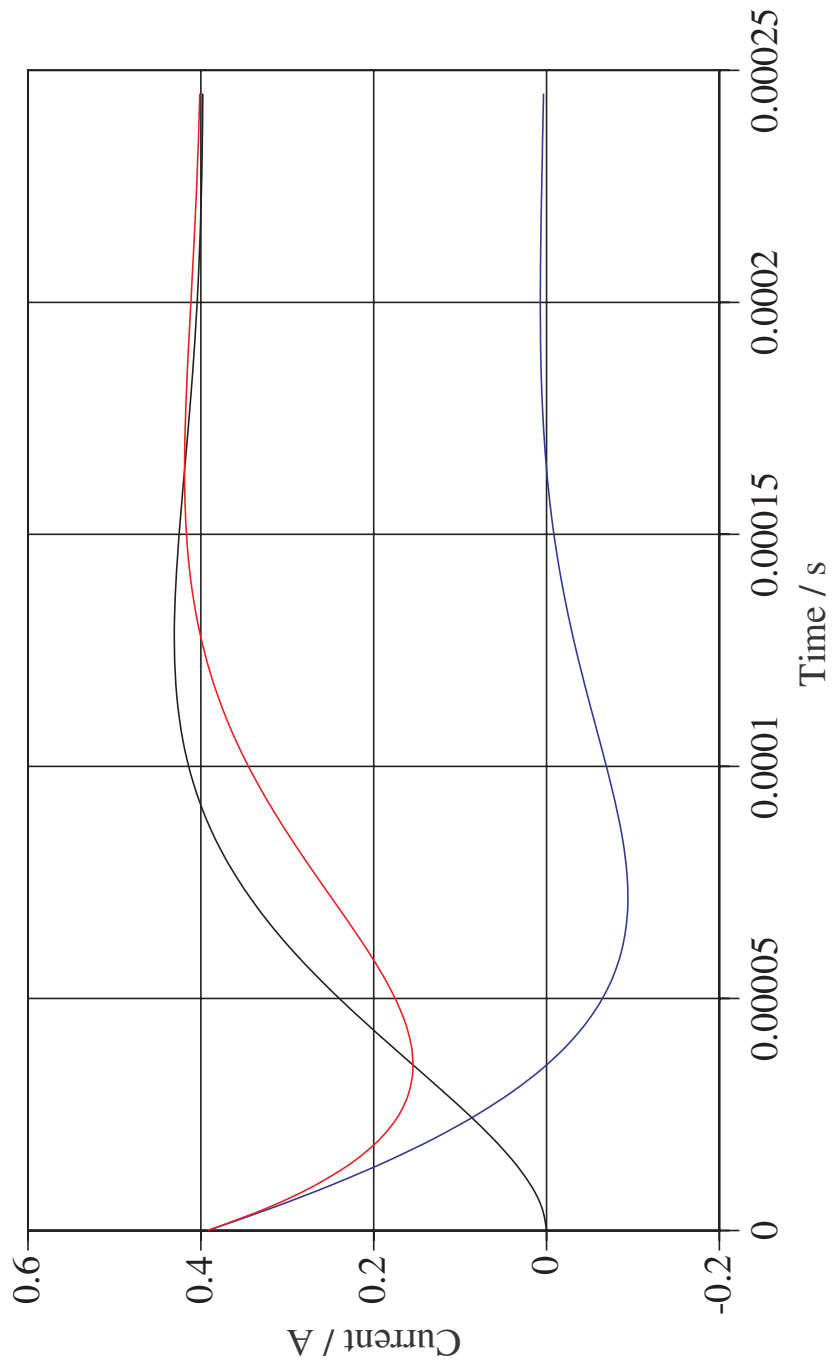
$$mk\dot{T} = -G_S(T - T_a) + \lambda I_{m,v}$$

m is the mass of the water in the system, T is the temperature. k and G_S denote the specific entropy capacity and the entropy conductance, respectively. λ and $I_{m,v}$ are the specific entropy of vaporization and the current of mass of the evaporating water, respectively. T_a stands for the ambient temperature.



Open tin can with hot water and horizontal pipe.





VORDIPLOMPRÜFUNG 1

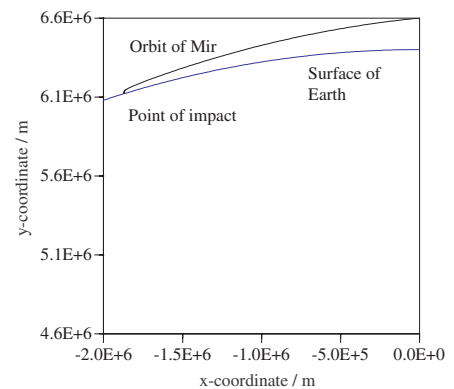
| | |
|---------|---|
| Blatt 1 | Abteilung: Maschinenbau Jahr: 1999 Experten: Raeber |
|---------|---|

| | |
|------------------------------|--|
| Klassen: MB1a Lehrer: Fuh | Datum: 22.9.1999 Zeit: 8:00 – 11:00 |
|------------------------------|--|

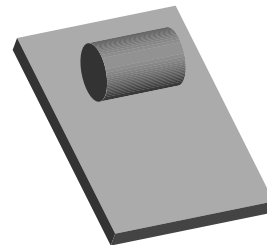
WRITTEN EXAM IN PHYSICS

ALLOWED AIDS: Personal summary, calculator

1. Mit Hilfe eines stark vereinfachten Modells wird der Absturz der Raumstation Mir simuliert (siehe nebenstehende Figur). Auf einem beiliegenden Blatt ist der Absturz stark vergrössert dargestellt. Die Masse der Mir ist 60 Tonnen. Die Dichte der Luft nimmt senkrecht zur Erdoberfläche nach oben stark ab.
 - a. Bestimmen Sie auf grafischem Weg für den angegebenen (grauen) Punkt kurz vor dem Aufschlag die Beschleunigung der Mir.
 - b. Wie gross ist der Luftwiderstand in diesem Punkt?
 - c. Bestimmen Sie die Rate, mit der in diesem Moment Energie dissipiert wird.



2. Ein homogener Zylinder mit einem Radius von 5.0cm und einer Masse von 1.0kg rollt eine schiefe Ebene mit einem Neigungswinkel von 30° hinunter. Aus dem Stand rollt der Zylinder ohne zu rutschen über die weiche Unterlage in einer Sekunde 1.5m weit. Luftwiderstand wird vernachlässigt.
 - a. Wie gross sind die Beschleunigung und die Winkelbeschleunigung des Zylinders?
 - b. Bestimmen Sie die Komponente der Kraft parallel zur Unterlage, die die Unterlage auf den Zylinder ausübt.
 - c. Wo greift die Normalkraft an? Mit anderen Worten: Wie weit muss die normale Komponente der Kraft, die die Unterlage auf den Zylinder ausübt, gegenüber der zentralen Achse des Zylinders nach vorne verschoben werden?

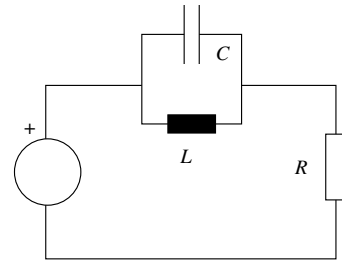


Verteiler

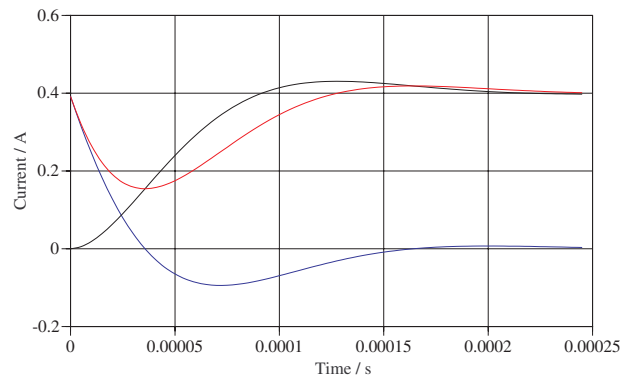
Kandidaten:
Spätestens bis Prüfungsbeginn:

nach Schluss der Prüfung an Dozierende zurück
je ein Exemplar pro Abteilung z.H. Archiv
je ein Exemplar z.H. der beteiligten ExpertInnen

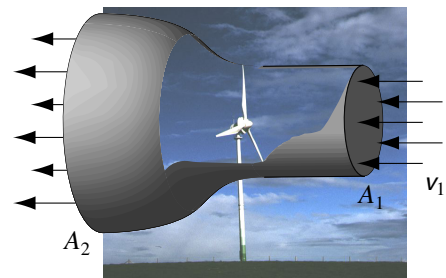
3. Die nebenstehend skizzierte Schaltung wurde zur Zeit $t = 0$ mit der Batterie, die eine Spannung von 10V hat, verbunden. Die Grafik zeigt die Stromstärken durch das induktive Element, das Widerstandselement und den Kondensator (siehe beigelegte Vergrößerung).



- Ordnen Sie die Graphen den Elementen zu.
- Bestimmen Sie mit Hilfe der Graphen die Werte der Elemente (d.h. Widerstand, Kapazität und Induktivität).

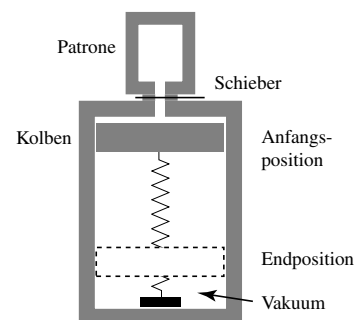


4. Ein Windrad wird auf seiner Querschnittfläche von 75 m^2 vom Wind mit einer Geschwindigkeit von 50 km/h angeströmt. Hinter dem Rotor vergrößert sich die Strömungsfläche des Windes um den Faktor 1.6. Die Luft kann als inkompressibel mit einer Dichte von 1.2 kg/m^3 behandelt werden.



- Wie gross ist der rein konvektive Energiestrom des Windes auf der Querschnittfläche des Windrades?
- Wie gross ist die Rate, mit der Energie an das Windrad abgegeben wird?
- Das Windrad dreht sich mit einer Frequenz von 0.5 Herz. Wie gross ist der Drehimpulsstrom durch die Welle des Rades zum Generator?

5. Anfänglich befinden sich 5.0 g (0.114 mol) des Gases N_2O (Distickstoffmonoxid) in einer Stahlpatrone (Masse: 20 g) mit einem Volumen von 4 cm^3 bei 300 K und einem Druck von 710 bar . Dieses Gas lässt man in einen Aluzylinder mit beweglichem Kolben (Gesamtmasse: 120 g) reversibel expandieren, bis ein Gesamtvolumen von 0.8 dm^3 erreicht wird. Dieser Vorgang findet so schnell statt, dass kein Wärmeaustausch mit dem Gefäss stattfinden kann. Am Ende dieses ersten Schrittes fixiert man den Kolben und überlässt das System sich selber, bis sich seine Temperatur nicht mehr ändert (Teilvorgang 2).



- Zeichnen Sie die Zustandsänderungen des Gases für beide Teilvorgänge je in einem pV - und in ein TS -Diagramm (Nu-

merieren Sie Anfangs-, Zwischen- und Endzustand mit 1, 2 und 3).

- b. Berechnen Sie die Werte für Druck und Temperatur für die Zustände 2 und 3.

Hinweise: Das beschriebene System sei gegenüber der Umwelt isoliert. Betrachten Sie N_2O als ideales Gas.

6. Zwei identische Blechbüchsen mit Ausflussrohren enthalten verschieden warmes Wasser. Der Durchmesser der Büchsen beträgt 9.85 cm. Aus dem oberen Behälter fließt Wasser in den unteren. Zu einem bestimmten Zeitpunkt sind die Füllhöhen $h_1 = 0.074$ m und $h_2 = 0.078$ m; die Temperaturen betragen dann $T_1 = 359$ K und $T_2 = 323$ K. In der nebenstehenden Tabelle ist die Viskosität von Wasser als Funktion seiner Temperatur angegeben.

Die Strömung im ersten Rohr ist turbulent. Der zugehörige Strömungsfaktor ist $5.05 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{Pa}^{0.5})$. Die Strömung im zweiten Rohr ist laminar. Rohrlänge und Rohrradius sind 0.251 m und 0.97 mm.

- Wie gross ist der Volumenstrom des Ausflusses aus dem ersten Tank?
- Wie gross ist der hydraulische Widerstand für die Strömung im zweiten Rohr?
- Wie gross ist die Änderungsrate der Füllhöhe im zweiten Tank?

Daten:

Spezifische Energiekapazität N_2O : 0.69 kJ/(K·kg), Adiabatenexponent von N_2O : 4/3, spezifische Energiekapazität Aluminium: 0.896 kJ/(K·kg), spezifische Energiekapazität Stahl: 0.42 kJ/(K·kg).

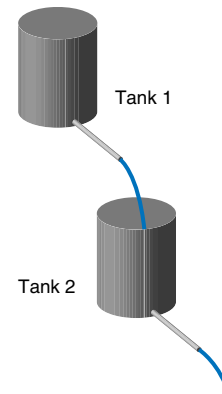


Table 2: Viskosität von Wasser

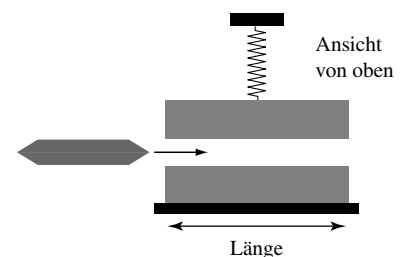
| $T / ^\circ\text{C}$ | $\eta / \text{Pa}\cdot\text{s}$ | $T / ^\circ\text{C}$ | $\eta / \text{Pa}\cdot\text{s}$ |
|----------------------|---------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| 20 | $1.00 \cdot 10^{-3}$ | 60 | $4.76 \cdot 10^{-4}$ |
| 30 | $8.06 \cdot 10^{-4}$ | 70 | $4.13 \cdot 10^{-4}$ |
| 40 | $6.67 \cdot 10^{-4}$ | 80 | $3.63 \cdot 10^{-4}$ |
| 50 | $5.56 \cdot 10^{-4}$ | 90 | $3.18 \cdot 10^{-4}$ |

7. Ein Typ von Webmaschinen benutzt schnelle "Schiffchen", welche den Webfaden durch die Kettfäden befördern. Diese Objekte müssen auf der anderen Seite aufgefangen werden. Eine solche Bremse soll ausgelegt werden.

Man möchte wissen, mit welcher Kraft man die bewegliche Bremsbacke bei gegebener Bremsstecke drücken muss und welche Temperatur die Bremsbacken im Mittel aufweisen, wenn sie mit Kühlluft bei 40°C angeblasen werden.

- Mit welcher Kraft muss man die eine Backe drücken, damit ein Bremsweg von 10 cm resultiert.
- Wieviel Energie wird während eines Bremsvorgangs freigesetzt.
- Der Bremsvorgang findet 20 Mal pro Sekunde statt. Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Bremsbacken, wenn lediglich Wärmeübergang an der effektiven Oberfläche vorkommt.

Hinweis: Nehmen Sie an, dass Wärme kontinuierlich erzeugt wird.



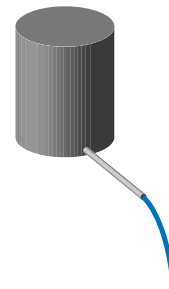
Bekannte Daten:

Länge: 10 cm, Masse des Schiffchens: 50 g, Geschwindigkeit des Schiffchens: 50 m/s, Gleitreibungskoeffizient zwischen Schiffchen und Backen: 0.15, Wärmeübergangskoeffizient zur Kühlluft: $300 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$, effektive Kühlfläche: 500 cm^2 .

8. In einer offenen Blechbüchse befindet sich heisses Wasser, das aus einem horizontalen Rohr ausfließt.
- Hat der thermische Vorgang (Entropieströme und Temperaturänderung) eine Rückwirkung auf den hydraulischen Vorgang, oder kann man die beiden Vorgänge unabhängig voneinander berechnen?
 - Nehmen Sie das Wasser in der Büchse als System. Formulieren Sie die momentane Massenbilanz.
 - Nehmen Sie wieder das Wasser in der Büchse als System. Beweisen Sie mit Hilfe der Entropiebilanz für dieses System, dass die Änderungsrate der Temperatur des Wassers durch

$$mk\dot{T} = -G_S(T - T_a) + \lambda I_{m,v}$$

gegeben ist. m ist die Masse des Wassers im System, T die Temperatur. k und G_S bezeichnen die spezifische Entropiekapazität und Entropieleitfähigkeit, λ und $I_{m,v}$ sind die spezifische Verdampfungsentropie und der Massenstrom des verdampfenden Wassers. T_a ist die Umgebungstemperatur.



Nach oben offene Blechbüchse mit heissem Wasser. Horizontales Ausflussrohr.

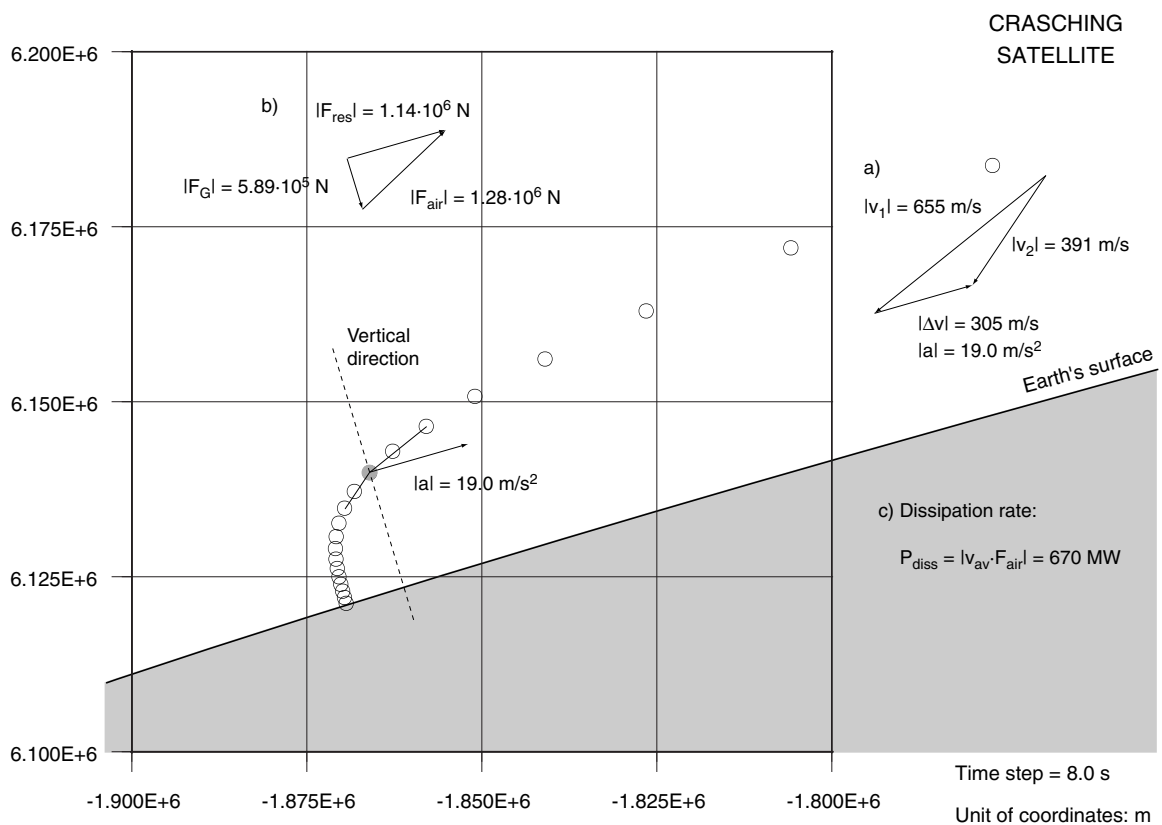
VORDIPLOMPRÜFUNG 1

| | | | |
|----------|------|------------|--------------|
| Blatt 1 | | Abteilung: | Maschinenbau |
| | | Jahr: | 1999 |
| | | Experten: | Caravatti |
| Klassen: | MB1a | Datum: | 22.9.1999 |
| Lehrer: | Fuh | Zeit: | 8:00 – 11:00 |

LÖSUNGEN ZUR SCHRIFTLICHE PRÜFUNG IN PHYSIK

ERLAUBTE HILFSMITTEL: Selbstverfasste Zusammenfassung, Taschenrechner

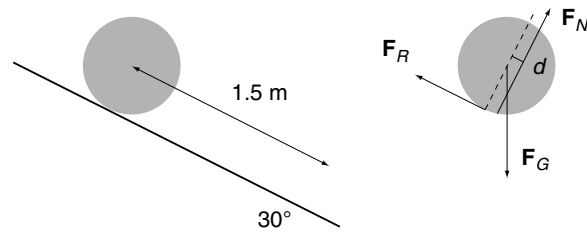
1. Grafische Lösung:



Verteiler

Spätestens bis Prüfungsbeginn: je ein Exemplar pro Abteilung z.H. Archiv
je ein Exemplar z.H. der beteiligten ExpertInnen

2. Situationsskizze und Kräfte:



- a. Mit konstanten Kräften und konstanten Momenten wird die Beschleunigung konstant sein:

$$x = \frac{1}{2}at^2 \Rightarrow a = \frac{2x}{t^2} = \frac{2 \cdot 1.5 \text{ m}}{1 \text{ s}^2} = 3.0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$a = R\alpha \Rightarrow \alpha = \frac{a}{R} = \frac{3.0}{0.050} \frac{1}{\text{s}^2} = 60 \frac{1}{\text{s}^2}$$

- b. Summe der Kräfte parallel zur Unterlage bestimmt die Beschleunigung:

$$ma = F_{Gx} - F_R \Rightarrow F_R = F_{Gx} - ma = F_G \sin(30^\circ) - ma = 9.81 \cdot 0.5 \text{ N} - 1 \cdot 3 \text{ N} = 1.91 \text{ N}$$

- c. Summe der Drehmomente ergibt die Winkelbeschleunigung:

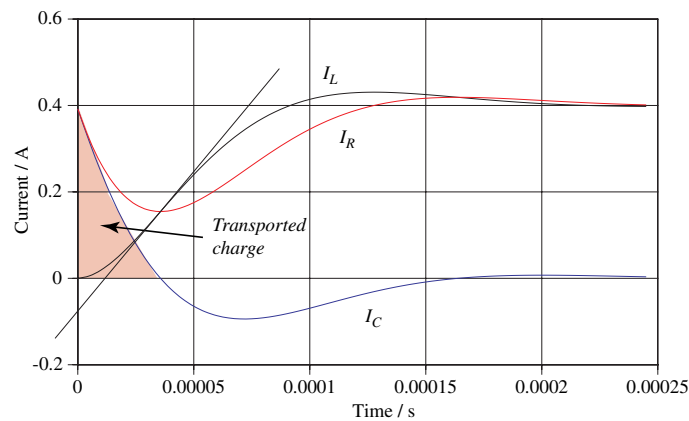
$$J\alpha = RF_R - dF_N$$

$$0 = F_N - F_G \cos(30^\circ)$$

$$\Rightarrow d = \frac{1}{F_N} (RF_R - J\alpha) = \frac{1}{F_G \cos(30^\circ)} \left(R(F_{Gx} - ma) - \frac{1}{2}mR^2 \frac{a}{R} \right)$$

$$= \frac{R}{g \cos(30^\circ)} \left(g \sin(30^\circ) - \frac{3}{2}a \right) = \frac{0.050}{9.81 \cdot \cos(30^\circ)} \left(9.81 \cdot \sin(30^\circ) - \frac{3}{2} \cdot 1.91 \right) \text{ m} = 2.4 \text{ mm}$$

3. Elektrischer Stromkreis:



- a. Zuerst sind die Spannungen über dem Kondensator und dem induktiven Element null (keine Ladung im Kondensator). Also ist die Spannung über dem Widerstandselement maximal. Der Strom geht anfänglich durch den Kondensator und den Widerstand, am Ende durch den Induktor und den Widerstand. Also fangen I_R und I_C bei 0.4 A an, I_L bei null. Von den beiden Kurven I_C und I_R geht I_C gegen null.
- b. Am Anfang ist $U_R = 10\text{ V}$ und $I_R = 0.4\text{ A}$, also ist der Widerstand $10 / 0.4\ \Omega = 25\ \Omega$.

Bis $I_C = 0\text{ A}$ ist, sind $6.28\text{e-}6\text{ C}$ Ladung in den Kondensator geflossen (Fläche unter I_C Kurve). Zu diesem Zeitpunkt ist die Spannung über dem Kondensator $10\text{ V} - 25 \cdot 0.156\text{ V} = 6.1\text{ V}$ (10 V minus Spannung über Widerstand). Also ist $C = Q/UC = 6.28\text{e-}6\text{ C} / 6.1\text{ V} = 1.03\text{e-}6\text{ F}$.

Zum gleichen Zeitpunkt ist die Spannung über dem Induktor auch gleich 6.1 V. Die Änderungsrate des Stromes I_L ist in diesem Moment $0.624\text{ A} / 9.66\text{e-}5\text{ s} = 6460\text{ A/s}$. Also ist $L = UL / dI_L/dt = 6.1 / 6460\text{ H} = 0.94\text{ mH}$.

4. Windrad.

- a. Rein konvektiv: der Druckterm kommt nicht vor. Zudem ist die Temperatur und damit die innere Energie konstant. Also spielt nur der Term der kinetischen Energie eine Rolle:

$$I_{W,conv} = \frac{1}{2}v^2 I_m = \frac{1}{2}v^2 \rho A v = \frac{1}{2} \left(\frac{50}{3.6} \right)^3 1.2 \cdot 75\text{ W} = 121\text{ kW}$$

- b. Energiebilanz für das Kontrollvolumen:

$$P = I_{W,conv,1} - I_{W,conv,2} = \frac{1}{2} \rho (A_1 v_1^3 - A_2 v_2^3)$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 = 1.6 A_1 v_2 \Rightarrow v_2 = \frac{v_1}{1.6}$$

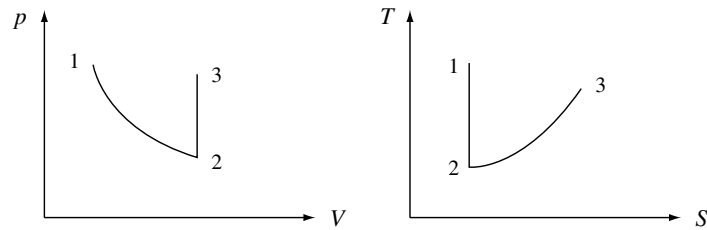
$$\Rightarrow P = \frac{1}{2} \rho \left(A_1 v_1^3 - 1.6 A_1 \left(\frac{v_1}{1.6} \right)^3 \right) = \frac{1}{2} \rho A_1 v_1^3 \left(1 - \left(\frac{1}{1.6} \right)^2 \right) = 73.5\text{ kW}$$

- c. Energiestrom durch Welle ist mit Drehimpulsstrom durch Welle gekoppelt:

$$P = \omega I_L = 2\pi f I_L \Rightarrow I_L = \frac{73500}{2 \cdot 3.14 \cdot 0.5} \text{ Nm} = 23.4\text{ kNm}$$

5. Gasprozesse.

a.



b. Schritt von 1 nach 2 ist isentrop:

1.

$$p_1 V_1^\kappa = p_2 V_2^\kappa \Rightarrow p_2 = p_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^\kappa = 7.1 \cdot 10^7 \left(\frac{4 \cdot 10^{-6}}{0.8 \cdot 10^{-3}} \right)^{4/3} \text{ Pa} = 6.1 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

$$T_2 = \frac{p_2 V_2}{nR} = \frac{6.1 \cdot 10^4 \cdot 0.8 \cdot 10^{-3}}{0.114 \cdot 8.31} \text{ K} = 51.3 \text{ K}$$

Für den Schritt von 2 nach 3 gleicht sich die Temperatur der zwei Systeme an:

2.

$$T_3 = \frac{C_G T_2 + C_B T_1}{C_G + C_B} = \frac{0.005 \cdot 690 \cdot 51.3 + (0.120 \cdot 896 + 0.020 \cdot 420) \cdot 300}{0.005 \cdot 690 + 0.120 \cdot 896 + 0.020 \cdot 420} \text{ K} = 293 \text{ K}$$

$$p_3 = \frac{nRT_3}{V_2} = \frac{0.114 \cdot 8.31 \cdot 293}{0.8 \cdot 10^{-3}} \text{ Pa} = 3.47 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

6. Hydraulisches System.

a. Der hydraulische Widerstand und die Druckdifferenz über dem Rohr (gleich Druckdifferenz über der Wassersäule, die Strömung ist sehr langsam) bestimmen den Durchfluss:

$$I_V = k \sqrt{\Delta P} = k \sqrt{\rho g \Delta h_1} = 5.05 \cdot 10^{-8} \sqrt{1000 \cdot 9.81 \cdot 0.074} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 1.36 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

b. Laminare Strömung nach Hagen-Poiseuille:

$$R_{V2} = \frac{8\eta l}{\pi r^4} = \frac{8 \cdot 5.56 \cdot 10^{-4} \cdot 0.251 \text{ Pa} \cdot \text{s}}{3.14 \cdot (0.00097)^4} \frac{\text{Pa} \cdot \text{s}}{\text{m}^3} = 4.01 \cdot 10^8 \frac{\text{Pa} \cdot \text{s}}{\text{m}^3}$$

c. Volumenbilanz für den zweiten Behälter:

$$\dot{V}_2 = I_{V, \text{ein}} - I_{V, \text{aus}}$$

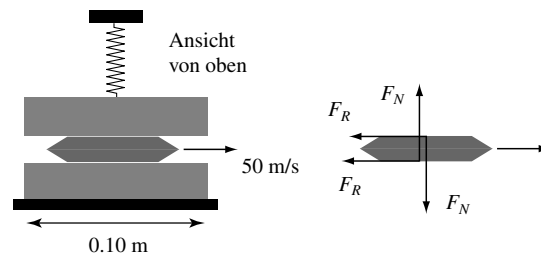
$$\dot{V}_2 = A_2 \dot{h}_2$$

$$I_{V, \text{ein}} = 1.36 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$I_{V, \text{aus}} = \frac{\Delta P_2}{R_{V_2}} = \frac{\rho g \Delta h_2}{R_{V_2}} = \frac{1000 \cdot 9.81 \cdot 0.078}{4.01 \cdot 10^8} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 1.91 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\dot{h}_2 = \frac{1.36 \cdot 10^{-6} - 1.91 \cdot 10^{-6}}{3.14 \cdot 0.04925^2} \frac{\text{m}}{\text{s}} = -7.2 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

7. Webschiffchen.



a. Konstante Beschleunigung:

$$l = \frac{1}{2} a \Delta t^2, \quad \Delta v = a \Delta t \Rightarrow a = \frac{(\Delta v)^2}{2l} = \frac{500^2}{2 \cdot 0.10} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 12500 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\text{Newton: } ma = 2F_R = 2\mu F_N \Rightarrow F_N = \frac{ma}{2\mu} = \frac{0.050 \cdot 12500}{2 \cdot 0.15} \text{N} = 2083 \text{N}$$

b. Die ganze kinetische Energie des Schiffchens wird freigesetzt und dissipiert:

$$W_{\text{diss}} = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} 0.050 \cdot 50^2 \text{J} = 62.5 \text{J}$$

c. Mittlere Dissipationsrate:

$$P_{\text{diss}} = \frac{W_{\text{diss}}}{\Delta t} = \frac{62.5}{0.050} \text{W} = 1250 \text{W}$$

Kühlenergiestrom gleich Dissipationsrate:

$$P_{\text{diss}} = kA(T - T_{\text{Luft}}) \Rightarrow T = T_{\text{Luft}} + \frac{P_{\text{diss}}}{kA} = 40^\circ\text{C} + \frac{1250}{300 \cdot 0.050}^\circ\text{C} = 123^\circ\text{C}$$

8. Thermisches offenes System.

- a. Es gibt zwei Kopplungen vom thermischen Vorgang zum hydraulischen. Erstens ändern die sich ändernden Temperaturen die Viskosität des Wassers. Zweiten gibt es wegen der Verdampfung einen zweiten Volumenstrom.
- b. Massenbilanz:

$$\dot{m} = I_{m,Rohr} + I_{m,v}$$

- c. Entropiebilanz für das Kontrollvolumen:

$$\dot{S} = I_{S,cond} + I_{S,conv} + I_{S,v}$$

$$\dot{S} = m\dot{s} + \dot{m}s$$

$$\dot{s} = k\dot{T}$$

$$I_{S,cond} = -G_S(T - T_a)$$

$$I_{S,conv} = sI_{m,Rohr}$$

$$I_{S,verdunsten} = (s + \lambda)I_{m,v}$$

$$\Rightarrow m\dot{s} + \dot{m}s = I_{S,cond} = -G_S(T - T_a) + sI_{m,Rohr} + (s + \lambda)I_{m,v}$$

$$m\dot{s} + (I_{m,Rohr} + I_{m,v})s = -G_S(T - T_a) + s(I_{m,Rohr} + I_{m,v}) + \lambda I_{m,v}$$

$$m\dot{s} = -G_S(T - T_a) + \lambda I_{m,v}$$

$$mk\dot{T} = -G_S(T - T_a) + \lambda I_{m,v}$$