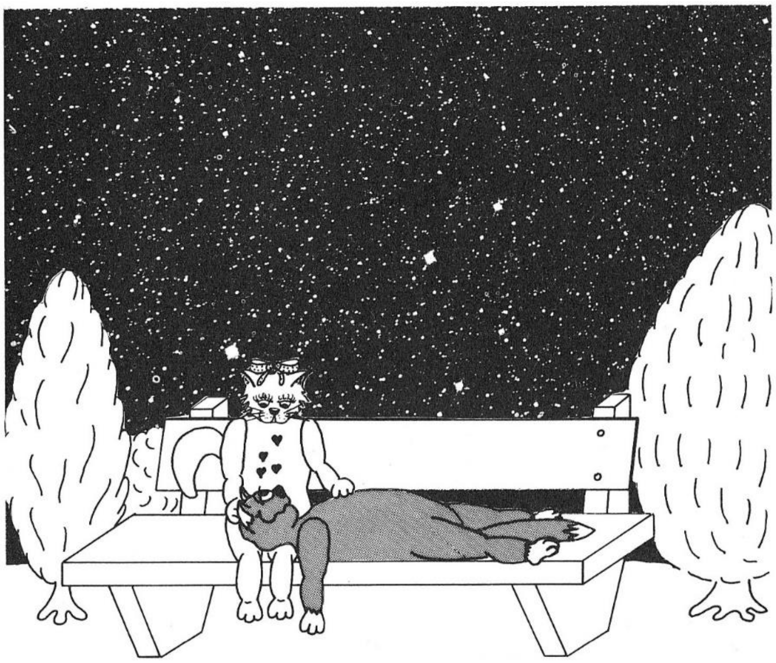
Walter Stein

Physik-Geschichten aus Bad Einstein

2 Aufgaben zur Wärmelehre



Wie schon im Vorwort von 2018 erwähnt, war es 1986 in den Schulbüchern noch üblich die Begriffe **Dichte** und **Wichte** zu verwenden. Heute benutzt man den Begriff Wichte nicht mehr. Es besteht folgender Zusammenhang:

Wichte: $\gamma = \frac{F_G}{V} = \frac{m \cdot g}{V}$ Dichte: $\varrho = \frac{m}{V}$ Zusammenhang: $\gamma = \varrho \cdot g$ oder $\varrho = \frac{\gamma}{g}$

Mit folgenden Größen des jeweils betrachteten Körpers:

F_G = Gewichtskraft, V = Volumen, m = Masse, g = Erdbeschleunigung

Weiterhin wird in den heutigen Schulbüchern für den **Druck** hauptsächlich die Einheit Pascal benutzt und weniger die Einheit Bar. Es besteht folgender Zusammenhang:

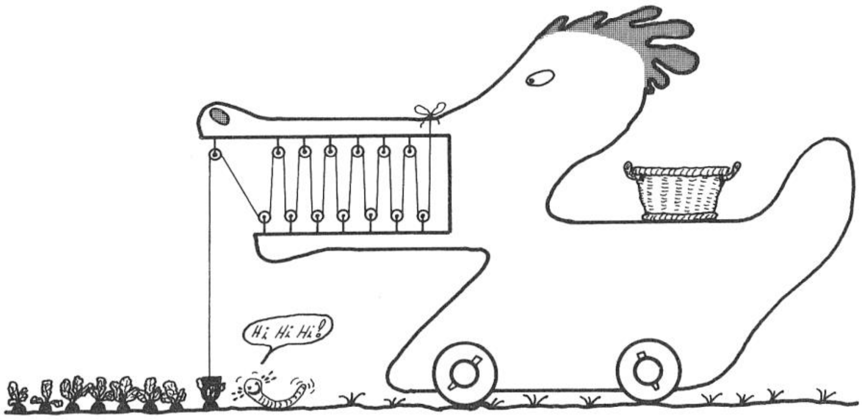
1 bar = 10^5 Pa und 1 mbar = 10^2 Pa = 100 Pa = 1 hPa = 1 Hektopascal

Die **Temperatur** kann man in Grad Celsius (°C) oder in Kelvin (K) angeben. Beachte, dass beide Temperaturskalen die gleiche Skaleneinteilung, aber unterschiedliche Nullpunkte haben. Daraus folgt: $\Delta\vartheta$ = 10 °C = ΔT = 10 K aber ϑ = 10 °C ≠ T = 10 K
Für die in manchen Aufgaben angegebene Materialkonstante α gilt: 1/°C = 1/K

Inhalt

2.1 Ausdehnung fester und flüssiger Körper

W 01 Radieschenerntemaschine Typ A



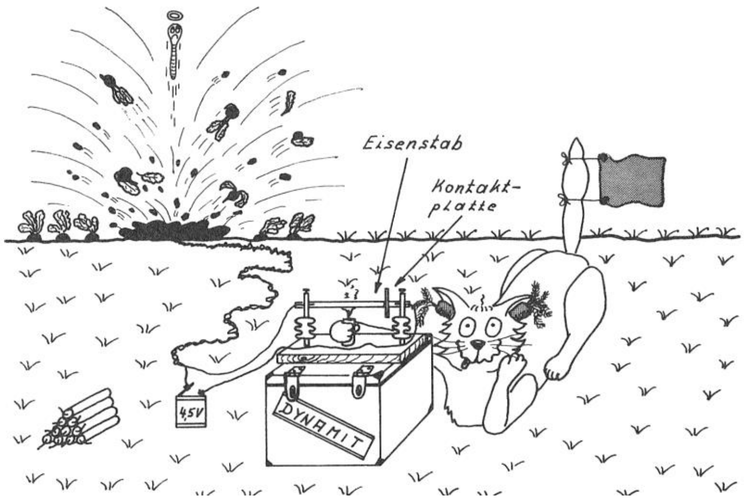
Jahrzehntelang hat Opa Karl Krawuttke die Garnröllchen von Oma Bertha gesammelt, und jetzt kann er sich endlich einen alten Traum erfüllen: Den Bau einer vollautomatischen, umweltfreundlichen Radieschenerntemaschine.

Und so funktioniert dieses ökologische Wunderwerk: In der Mittagszeit wird die Radieschenernte-maschine mit dem Schnabel über das zu erntende Radieschen geschoben, und der Greifer wird sorgfältig an dem Radieschen befestigt (siehe Skizze). Der im Schnabel aufgespannte Kupferdraht (Längenausdehnungszahl α = 0,000017 1/K) ist bei der herrschenden Mittagstemperatur von (ϑ_1 = 25 °C) genau 500 m lang. Am anderen Morgen, bei Sonnenaufgang, ist die Temperatur auf ϑ_2 = 11 °C abgesunken, sodass der Kupferdraht sich so stark zusammengezogen hat, dass das Radieschen ent-wurzelt wurde. Dieses kann nun mühelos vom Greifer abgenommen und in den Erntekorb gelegt werden. Die Radieschenerntemaschine kann nun zum nächsten Radieschen gefahren werden.

Um wieviel cm wurde das Radieschen angehoben?

LÖSUNG W 1

W 2 Radieschenerntemaschine Typ B



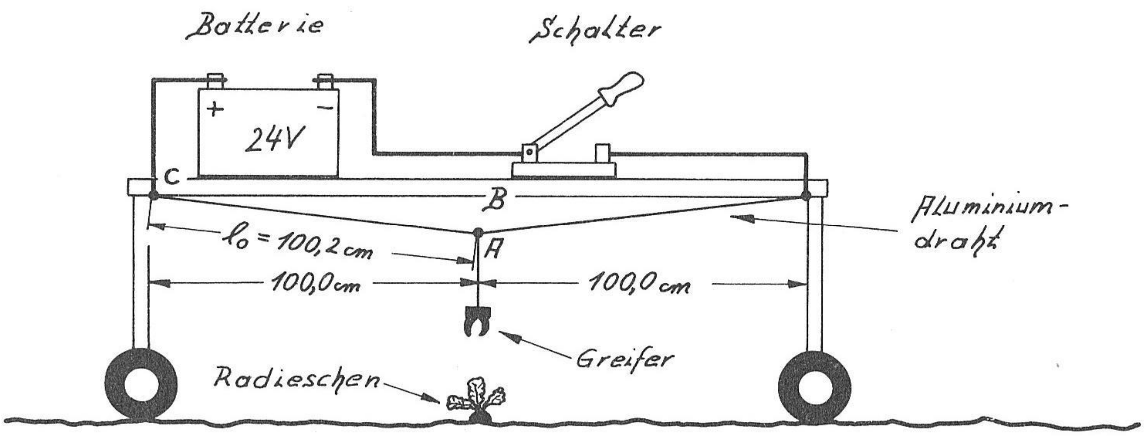
Die Katze Irene Muckefuck hilft Opa Karl bei der Radieschenernte mit einer selbstentwickelten "Maschine". Diese sehr einfache Maschine arbeitet erstaunlich wirkungsvoll. Erwärmt Irene den Eisenstab (siehe Skizze) so stark, dass der Kontakt geschlossen wird, so werden die Radieschen mit "Wum!!!" entwurzelt.

Gelang mit der Radieschenerntemaschine Typ A von Opa Karl die vollautomatische Ernte von nur einem Radieschen pro Tag, so arbeitet Typ B, mit drei Radieschen pro Tag, um den Faktor 3 wirkungsvoller. Eine weitere Steigerung der Tagesleistung scheint durchaus im Bereich des Möglichen zu liegen, sobald es gelingt, einen noch höheren Anteil der entwurzelten und in der Umgebung von Bad Einstein verstreut niedergehenden Radieschen wiederzufinden.

Auf welche Temperatur muss Irene den l_0 = 15 cm (bei (ϑ = 0 °C) langen Eisenstab (α = 0,000013 1/K) erwärmen, wenn bei ϑ = 0 °C der Abstand zwischen Kontaktplatte und Eisenstab 0,415 mm beträgt?

LÖSUNG W 2

W 3 Radieschenerntemaschine Typ C



Mit der elektrischen Radieschenerntemaschine Typ C ist Opa Karl nun endgültig der Durchbruch gelungen. Stolz demonstriert er diese Erfindung vor einer Gruppe begeisterter Agrarwissenschaftler.

Wenn Opa Karl den Schalter schließt, dehnt sich der Aluminiumdraht aus, da er durch den elektrischen Strom stark erwärmt wird. Der Aufhängepunkt zwischen der Tischunterkante (B) und dem Aufhängepunkt (A) des Greifers beträgt nun 19,0 cm. Jetzt kann der Greifer das Radieschen fassen. Ist dies geschehen, so öffnet Opa Karl den Schalter und der Aluminiumdraht kühlt sich wieder ab, sodass der Greifer das Radieschen entwurzelt.

In der obigen Skizze ist der Wert l_0 für ϑ = 0 °C angegeben.

Welche Temperatur hat der Aluminiumdraht (α = 0 , 000028 1/K), wenn sich der Aufhängepunkt (A) wie oben beschrieben, 19,0 cm unterhalb der Tischplatte befindet?

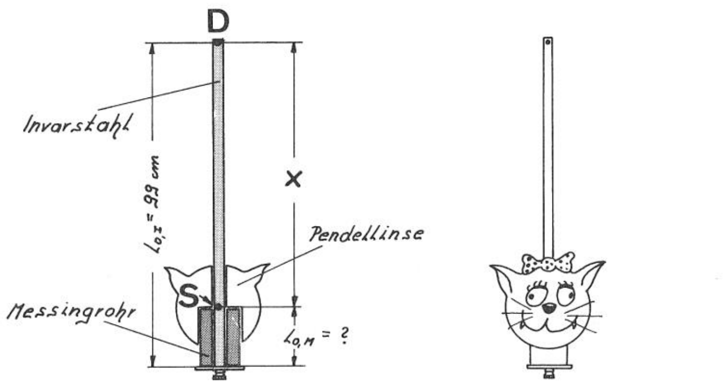
LÖSUNG W 3

W 4 Die Schrebergartenpendeluhr

Doch nicht nur auf seine Radieschenerntemaschine Typ C ist Opa Karl stolz, sondern auch auf die Tatsache, dass er als einziger Schrebergärtner in Bad Einstein eine wetterfeste Pendeluhr in seinem Garten stehen hat.

So hätte er eigentlich immer pünktlich bei Oma Bertha um 12:00 Uhr zum Mittagessen erscheinen können. Aber Pustekuchen! Im Winter kam er immer zu früh und im Sommer kam er immer zu spät zum Essen. "Hmmh, ist ja auch logisch", dachte sich Opa Karl eines Tages. "Im Winter läuft die Uhr schneller, da das Pendel kürzer ist und im Sommer läuft die Uhr langsamer, da dann das Pendel länger ist. Also, am besten baue ich mir aus Invarstahl (α_I = 0,000002 1/K) und einem Messingrohr (α_M = 0,000018 1/K) ein Pendel, dessen Schwerpunkt S Sommer wie Winter gleich weit vom Dreh-punkt D entfernt ist."

Berechne die Länge $l_{0,M}$ des Messingrohres bei ϑ = 0 °C, wenn die Länge $l_{0,I}$ des Invarstahlstabes bei ϑ = 0 °C genau 99 cm beträgt.



Gartenuhrpendel im Schnitt

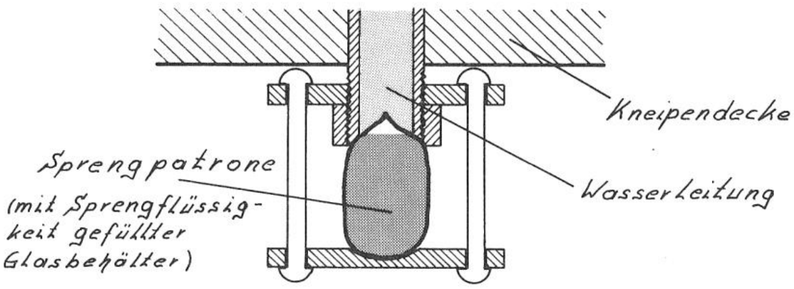
Gartenuhrpendel in Vorderansicht (Erst jetzt erkennt man die Doppelfunktion des Pendels: Präzisionspendel und Vogelscheuche)

LÖSUNG W 4

W 5 Wolkenbruch im "Flotten Hugo"

"Sabotage, Sabotage!", schrie Hugo Hastig durch den Kneipensaal, während die Gäste vor Begeis-terung auf die Tische klopften und das Lied "Hugo, wir danken dir, ..." sangen; denn zum ersten Mal seit Menschengedenken gab es in Hugos Kneipe eine kostenlose Erfrischung. Was war passiert? Hugos preisgünstig erstandene Feuerlöschanlage (Sprinkleranlage) hatte sich aufgrund eines Kon-struktionsfehlers an diesem extrem heißen Sommertag selbständig in Aktion gesetzt. Die Spreng-patronen, die je ein Innenvolumen von V = 4,0 cm^3 besaßen, waren einfach mit zu viel Sprengflüssig-keit gefüllt gewesen.

Wieviel Sprengflüssigkeit darf eine solche Sprengpatrone bei ϑ = 0 °C höchstens enthalten, wenn die Sprengflüssigkeit erst bei ϑ = 72 °C das gesamte Volumen der Kapsel ausfüllen soll? Der Volumen-ausdehnungskoeffizient der Sprengflüssigkeit beträgt γ = 0,00110 1/K. Die Volumenänderung der Sprengkapsel kann vernachlässigt werden.



[LÖSUNG W 5](#)

W 6 Hochprozentiger Diebstahl

Alle stöhnen über die schreckliche Hitze an diesem Sommertag, doch Hugo Hastig reibt sich zufrieden die Hände; denn gerade hat er eine Tankwagenladung (V = 10.000 Liter) reinen Alkohol (γ = 0,00110 1 /K) geliefert bekommen. Nun rechnet er sich aus, wieviel Gläser Teufelsrachenputzer er hiervon herstellen kann und was dies Kasse-Kralle-netto einbringt. Zufrieden geht er an diesem Abend schlafen.

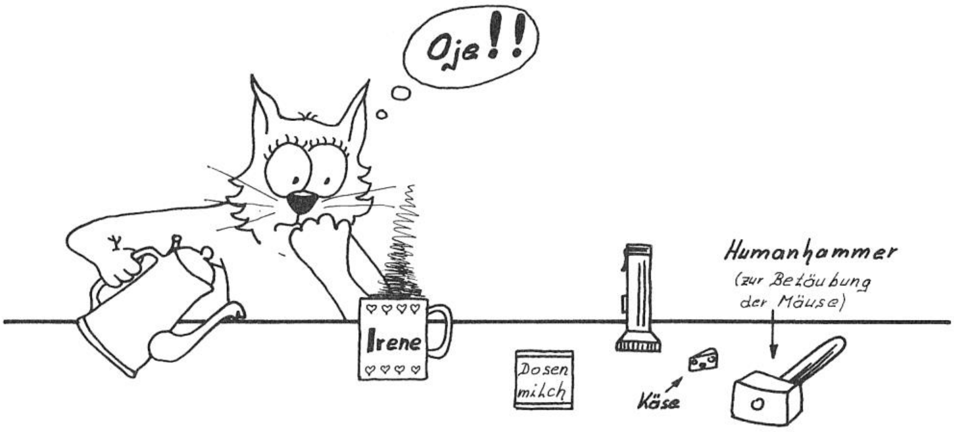
Doch Hugo Hastig bleibt fast das Herz stehen, als er am nächsten Morgen noch einmal die Alkoholmenge in seinem Tank kontrolliert. Obwohl sich der Tank 12 m tief in der Erde befindet, damit er vor alkoholsüchtigen Dieben geschützt ist, fehlen 208 Liter!

Völlig aufgelöst ruft Hugo Kommissar Kurzschluss an. Der hört sich, seelenruhig sein Pfeifchen schmauchend, alles an und denkt gar nicht daran, zur Spurensicherung bei Hugo Hastig anzutanzen; denn er hat, seinem Namen alle Ehre machend, den Fall schon geklärt. Kommissar Kurzschluss kommt zu folgendem kurzen Schluss: In 12 m Tiefe herrscht in Bad Einstein ganzjährig eine Bodentemperatur von 10 °C. Da gestern ein sehr heißer Sommertag war, wird der Alkohol im Tankwagen eine Temperatur zwischen 25 - 30 °C gehabt haben. Somit folgt: Es ist überhaupt kein Alkohol gestohlen worden, sondern sein Volumen hat sich infolge der Abkühlung reduziert.

Welche Temperatur hatte der Alkohol vor dem Einfüllen? Rechne mit der Näherungsformel und der exakten Formel und bestimme den absoluten und den relativen Fehler, der bei der Verwendung der Näherungsformel entsteht.

[LÖSUNG W 6](#)

W 7 Muckefuck) Nein Danke!



Bevor Irene Muckefuck auf Nachtschicht (Mäusejagd) geht, trinkt sie sich immer noch eine Tasse guten Bohnenkaffee. Aber nie ohne Dosenmilch! ! ! Doch an diesem Abend hat sie ihre Tasse randvoll mit Kaffee (γ_K = 0,00018 1/K) gefüllt, d.h., die Tasse enthält nun 285 ml Kaffee. Tasse und Kaffee haben eine Temperatur von ϑ_2 = 80 °C. Doch Irene hat Zeit und keine Antipathie gegen kalten Kaffee. So wartet sie, bis Tasse und Kaffee auf Raumtemperatur (ϑ_1 = 20 °C) abgekühlt sind. Jetzt kann sie genau 2,89 ml Dosenmilch hinzugeben.

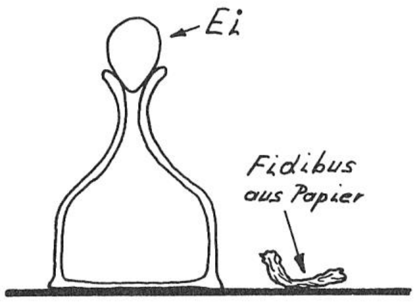
Berechne die Raumausdehnungszahl γ_T der Kaffeetasse.

Tipp: Hohlkörper dehnen sich so aus, als ob der Hohlraum aus dem gleichen Material wie die Hohlraumwände bestehen würde.

LÖSUNG W 7

2.2 Ausdehnung gasförmiger Körper

W 8 Münchhausenstory Nr. 21

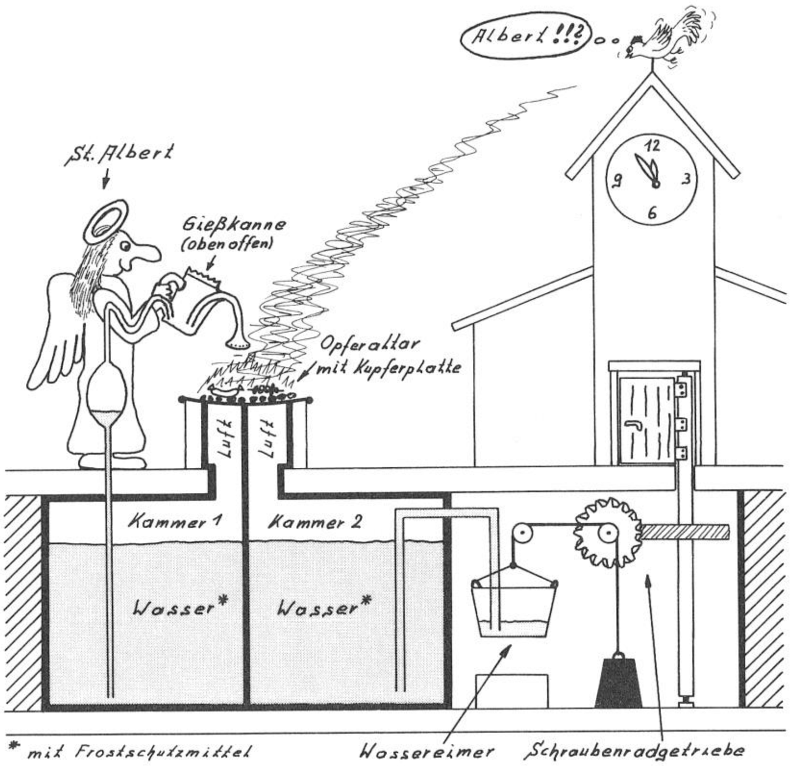


"Ein hartgekochtes, geschältes Ei zaubere ich mit einem brennenden Fidibus unversehrt durch den engen Flaschenhals in den Flaschenbauch."

Münchhausen spinnt! Oder?

[LÖSUNG W 8]

W 9 Die gute alte Zeit



"Ach!", seufzt Pfarrer Eligius Rosenfranz, "auch wenn die Griechen alte Heiden waren, romantischer war' s doch. Wenn heute noch Brandopfer erlaubt wären, dann würde ich mir nach den alten Plänen der Griechen Heron und Philon eine Kirchentüröffnungsanlage und eine Opferfeuerlöschanlage bauen lassen", erzählt er traurig seinen Freunden im "Flotten Hugo".

a) Um wieviel °C muss sich die Luft in jeder Kammer unter der Kupferplatte erwärmen, wenn jeweils 100 Liter Wasser in den großen Wassereimer und in den Hohlraum von St. Albert fließen sollen? Die in jeder Kammer eingeschlossene Luft hat eine Temperatur von $\vartheta_1 = 0$ °C und ein Volumen von $V_0 = 10$ m³. Der auftretende Schweredruck soll vernachlässigt werden.

b) Damit der Wassereimer nicht überläuft und die Kirchentür sich an diesem Wintertag ($\vartheta_1 = 0$ °C) auch wieder schließt, beginnt St. Albert das Opferfeuer zu löschen, sobald die Luft unter, der Kupferplatte eine Temperatur von 6 °C erreicht hat. Berechne das Volumen der in der Kammer 1 eingeschlossenen Luft bei $\vartheta_{12} = 6$ °C. Der Schweredruck soll wieder vernachlässigt werden.

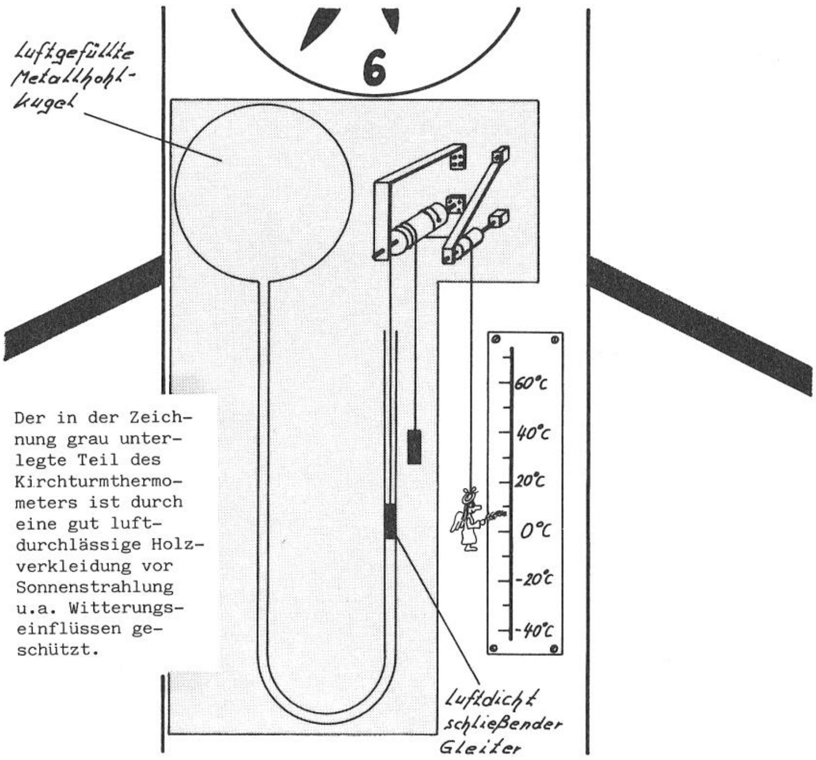
c) Damit die Kirchentür sich infolge der natürlichen Temperaturschwankungen nicht selbsttätig öffnet, muss Eligius seine Anlage noch etwas verbessern. Mache einen Verbesserungsvorschlag.

d) Aus welchem Grund reicht das Ausflussrohr in St. Alberts Gießkanne bis auf den Gießkannenboden?

LÖSUNG W 9

W 10 „Sei nicht traurig!“

"Ach, sei nicht traurig, Eligius", sagt Opa Karl. "Wir bauen dir für deinen Kirchturm ein großes Thermometer annähernd nach den 300 Jahre alten Plänen von Otto von Guericke."



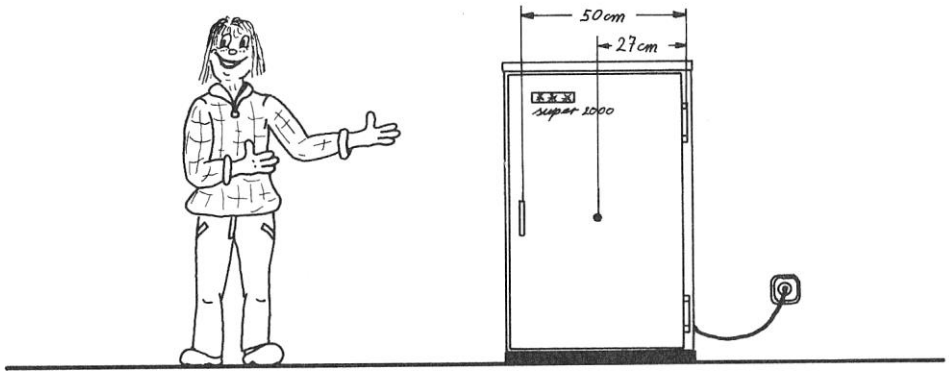
Der in der Zeichnung grau unterlegte Teil des Kirchturmthermometers ist durch eine gut luftdurchlässige Holzverkleidung vor Sonnenstrahlung u.a. Witterungseinflüssen geschützt.

a) Berechne das Volumen der eingeschlossenen Luft bei ϑ = 0 °C, wenn die Thermometerskala für den Temperaturbereich von 0 °C bis 50 °C 8 m lang sein soll. Der innere Querschnitt des Rohres beträgt A = 10 cm².

b) "Schön und gut", sagt Eligius, "aber arbeitet das Thermometer auch genau? Nehmen wir an, das Thermometer arbeitet einwandfrei bei einem Luftdruck von p_{L1} = 1013 mbar. Welche Temperatur zeigt das Thermometer aber an, wenn der äußere Luftdruck bei konstantem ϑ = 20 °C von p_{L1} = 1013 mbar z.B. auf p_{L2} = 1031 mbar ansteigt?"

LÖSUNG W 10

W 11 Absolut dicht!



Im Rahmen seiner großen Kneipenrenovierungsaktion hat sich der preisbewusste Hugo auch einen Energiesparkühlschrank zugelegt. "Da kommt kein bisschen kalte Luft raus und kein bisschen warme Luft rein. Der Kühlschrank schließt absolut dicht!", erklärt Hugo stolz seinen Gästen. "Jetzt kann ich euch euren Teufelsrachenputzer immer eiskalt (ϑ = -10 °C) servieren", sprach 's und zog am Kühlschranktürgriff. "Verflixt! Hau-Ruck ! ! Aaaaaahhhhrrggrr! ! ! ! "

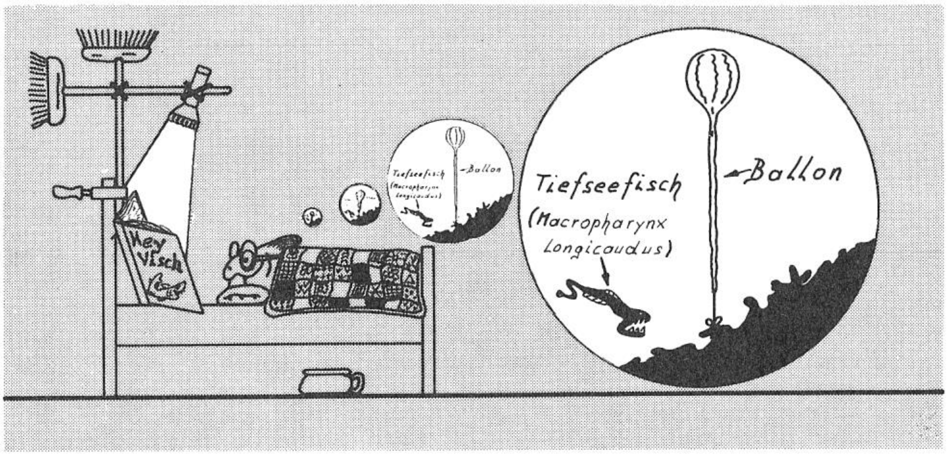
Sinnlos! Die Kühlschranktür ließ sich nicht mehr öffnen, selbst wenn man mit vereinten Kräften zog.

a) Berechne die Kraft, die notwendig ist, um die Kühlschranktür (Türfläche A = 0,8 m²) zu öffnen. Bevor Hugo die Kühlschranktür schloss, herrschte innen und außen ein Luftdruck von p_1 = 1040 mbar und eine Temperatur von ϑ = 32 °C. Der Kühlschranktürgriff befindet sich 50 cm vom Scharnier entfernt (siehe Skizze). Die Kraft infolge des Druckunterschiedes denken wir uns in der Türmitte angreifend.

b) Aber warum immer rohe Gewalt anwenden? Köpfchen ist gefragt! Welche kleine Veränderung bewirkt, dass die Kühlschranktür sich wieder (und auch in Zukunft) leicht öffnen lässt?

LÖSUNG W 11

W 12 Hey Visch – Retter von Tonga



Kurti Klunker, der Goldfisch von Baron Münchhausen, liest sehr gerne die Abenteuerbücher von Hey Visch, dem Helden der sieben Weltmeere. Gerade haben sich polynesische Seeräuber von den Cook-Inseln aus auf den Weg gemacht, um mit ihrer aus kleinen Schiffen bestehenden Flotte die friedlichen Tongainseln zu überfallen und zu plündern. Selbstverständlich hilft Hey Visch den liebenswerten Tongaern. Als die Seeräuberflotte den Tongagraben und damit die Datumsgrenze überquert, gibt Hey Visch seinen Freunden, den Tiefseefischen, das verabredete Zeichen und diese lassen auf einen Schlag unzählige große Ballonhüllen, die mit nur 1,5 m^3 Luft gefüllt sind, aus 8300 m Tiefe aufsteigen. Diese an der Oberfläche gewaltig aufgeblähten Ballons bringen die ganze Flotte zum Kentern. Hey Visch besorgt den Rest. So wurden die Tongainseln noch einmal gerettet und zum Dank feierte man auf Tongatabu in der Hauptstadt Naku 'alofa (Stadt der Liebe) ein großes Fest zu Ehren von Hey Visch und seinen Freunden, nach dem alten Grundsatz "Sino le le!" *.

Wieviel m^3 Luft enthielt jeder Ballon an der Meeresoberfläche, wenn dort ein Druck von 1013 mbar herrschte und die Luft in den Ballons eine Temperatur von 25 °C besaß? In 8300 m Tiefe hatte das Meerwasser und damit auch die Luft in den Ballons eine Temperatur von 4 °C. Die Dichte von Meerwasser beträgt $\gamma = 1{,}02\ \text{cN/cm}^3$.

* Tongaisch für "Gesunde Leibesfülle über alles!"

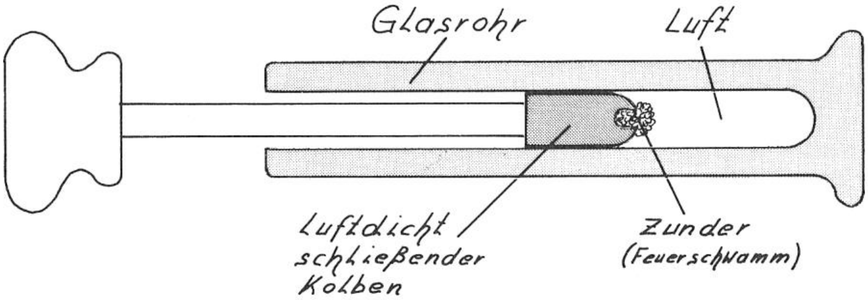
[LÖSUNG W 12]

W 13 Das pneumatische Feuerzeug

Münchhausen zündet seine guten Zigarren nur mit dem pneumatischen Feuerzeug seiner Urahnen an. Mit einer Kraft von 281 N drückt er den Stempel (Fläche A = 1 cm^2) blitzschnell in das Glasrohr, sodass die anfänglich 13 cm^3 Luft auf 1,2 cm^3 zusammengepresst werden. Die 13 cm^3 Luft hatten eine Temperatur von 20 °C bei einem Druck von 1 bar.

a) Berechne die Temperatur der auf 1,2 cm^3 zusammengepressten Luft.

b) Warum ist es sinnvoll, den Stempel schnell ins Glasrohr zu stoßen?



LÖSUNG W 13

W 14 "Oh, Tannenbaum" im Weltenraum

"Es ist schön, dass ich Heilig Abend mit euch in Bad Einstein feiern darf", sagt Gerhard von Galaxis zu seinen Freunden. "Also, letztes Jahr habe ich Heilig Abend alleine im Weltall gefeiert - das war eine Pleite! Dabei hatte ich mir eine wunderschöne Edeltanne bei Oberförster Hubertus Blattschuss gekauft, sie in meinem Raumschiff aufgestellt und mit echten Kerzen geschmückt. Nachdem ich alle Kerzen angezündet hatte, flog ich, Weihnachtslieder singend, mit konstanter Geschwindigkeit in den Weltraum hinaus.

Doch meine Anfangsfreude wurde mehr und mehr getrübt; denn die Kerzen brannten immer schlechter, je weiter ich mich von der Erde entfernte. Erst als ich auf meinem Heimatplaneten landete, brannten sie wieder so wie ihr es auf der Erde gewohnt seid."

Wieso brennen Kerzen in der Schwerelosigkeit anders als auf der Erde, auch wenn genügend Sauerstoff im Raumschiff vorhanden ist?

LÖSUNG W 14

2.3 Wärmemenge und innere Energie

W 15 Der Urschrei

Die faule Kuh Hannelore steht mit geschlossenen Augen auf der Weide, und döst still vor sich hin. Doch plötzlich stößt Hannelore einen markdurchdringenden Urschrei aus: "Muuuuuuuuuuuaaaaaaaaaaahhhhhhh !!!!!" Der Melker mit den eiskalten Händen ist wieder da!!!

Berechne die Wärmemenge, die die kalten Melkerhände Hannelores Euter entziehen, wenn sich die Handinnenflächen von 12 °C auf 35 °C erwärmen. Für beide Handinnenflächen zusammen nehmen wir eine Masse von m = 100 g und eine spezifische Wärmekapazität von c = 3,0 J/(g·K) an. Die Erwärmung der Hände durch mechanische Arbeit wird vernachlässigt.

LÖSUNG W 15

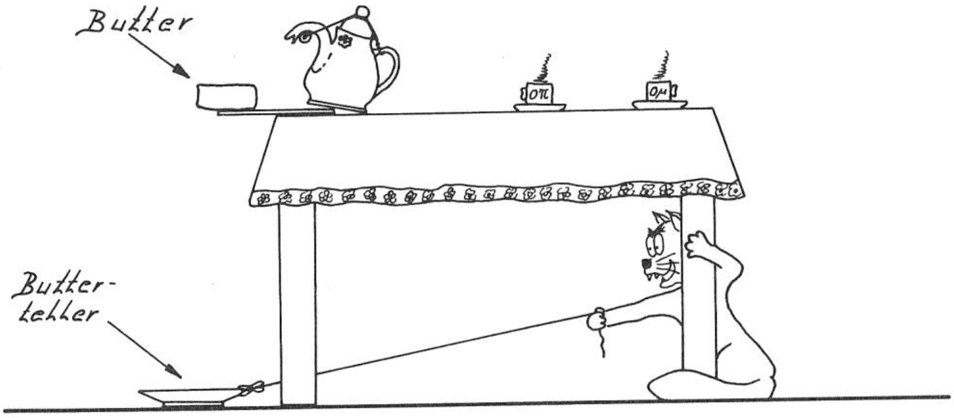
W 16 Alles in Butter?

Oma Bertha Krawuttke und Opa Karl sitzen verärgert am Frühstückstisch; denn die Butter (m = 250 g, c = 2,75 J/(g · K), die Bertha gerade aus dem Kühlschrank (ϑ = 6 °C) genommen hat, ist wieder knüppelhart, also nicht streichfähig.

"Ach, reg' dich nicht auf, Bertha", tröstet Opa Karl, "ich lasse die Butter einfach vom Tisch (h = 0,77 m) fallen. Beim Aufprall auf den Boden (Butterteller) erhöht sich die innere Energie der Butter und damit ihre Temperatur, sodass die Butter wieder streichfähig wird." "Ach, Karl!", lacht Oma Bertha und streichelt ihm über seine letzten drei Haare, "dies ist zwar sehr lieb von dir, Karl, aber nahezu sinnlos; denn selbst, wenn sich die ganze Lageenergie der Butter in innere Energie umwandelt, so ist die Temperaturerhöhung doch nur minimal."

a) Berechne die Temperatur der Butter nach dem Absturz.

b) Aus welcher Höhe müsste die Butter auf den Boden plumpsen, damit sie sich von ϑ = 6 °C auf ϑ = 20 °C erwärmt. Von allen, unsere einfache Rechnung störenden Einflüsse wie Luftreibung, Höhenabhängigkeit der Gewichtskraft, ... sehen wir mal wieder ab.

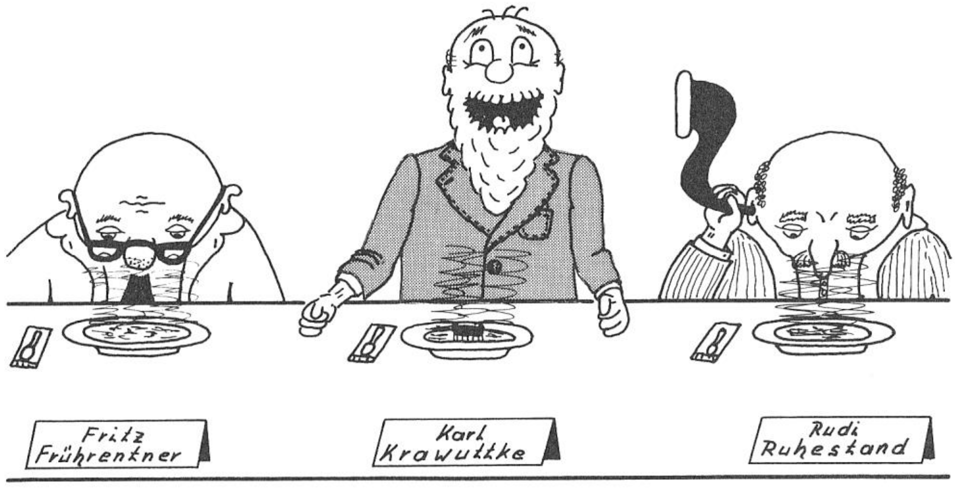


[LÖSUNG W 16](#)

W 17 Peinlich, Peinlich!

Peinlich, Peinlich! Zahnlos und verlegen guckt Opa Karl Krawuttke beim Festbankett der Rentner von Bad Einstein in die Runde. Nachdem er sich an der glühend heißen Rindfleischsuppe den Mund verbrannt hatte, ist ihm vor Schreck und Schmerz - "Uuuaaahhh!!!" das Gebiß in die Suppe gestürzt. Nun gucken alle höchst pikiert auf Opa Karl. Was tun? Wie kann Karl die peinliche Situation retten???

Langsam und nachdenklich erhebt sich Opa Karl, klopft an sein Glas und spricht mit ernster Stimme: "Liebe Festgäste! Liebe Freunde! Das Tragen künstlicher Beißerchen in unserem Alter ist allen hier Versammelten schon zur Routine geworden. Doch leider, leider kauen viele gedankenlos wie das liebe Vieh auf der Weide damit Tag für Tag ihre Nahrung, ohne auch nur etwas von den physikalischen Geheimnissen dieses künstlichen Körperteiles zu wissen. Nur ein Beispiel: Wer von



den Anwesenden, die mich eben so pikiert angeguckt haben, kann mir sagen, wie groß die spezifische Wärmekapazität seiner Beißerchen ist?"

- Totenstille! -

"Bitte! Ich höre!"

- Totenstille!! –

Alle schauen verlegen in ihren dampfenden Teller Rindfleischsuppe; denn jeder schämt sich, dass er diese einfache Frage von Opa Karl nicht beantworten kann.

"Nun", sagt Opa Karl, "dann holt mal schleunigst euer Taschenthermometer heraus und messt die Temperatur eurer Suppe. So, und nun legt ihr eure künstlichen Beißerchen in die Suppe, wartet ein bisschen und messt erneut die Temperatur. Die Masse eurer Beißerchen und die der Suppe könnt ihr auf der Balkenwaage in der Küche ermitteln. Und hier noch drei Tipps:

1. Im Mund haben die Beißerchen eine Temperatur von ϑ = 37 °C.

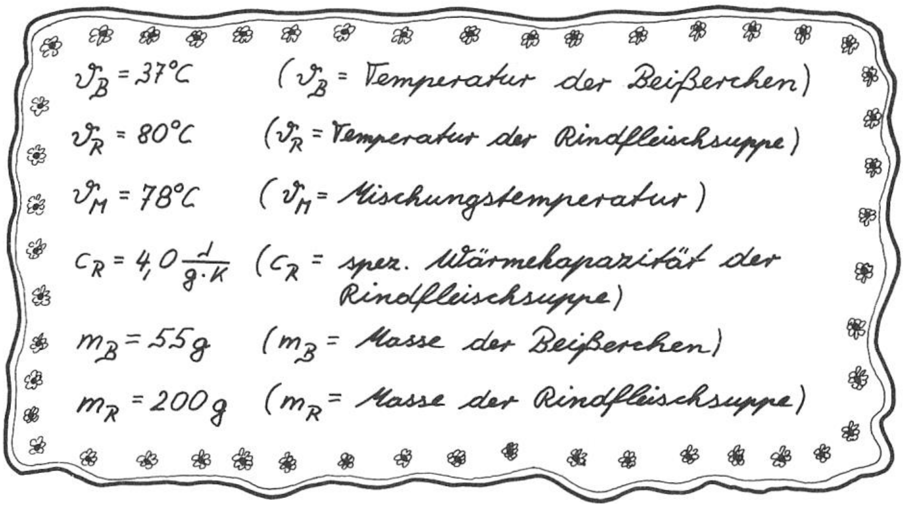
2. Die spezifische Wärmekapazität von Rindfleischsuppe ist c_R = 4,0 J/(g·K)

3. Die Wärmemenge, die die Suppe während des Messvorganges an die Umgebung abgibt, vernachlässigen wir.

Auf gehts!!"

Alle atmen erleichtert auf, klatschen stürmisch Beifall und beginnen sofort damit, ihre Messergebnisse auf ihrer Serviette zu notieren.

Rudi Ruhestand notiert:



Berechne die spezifische Wärmekapazität c_B der künstlichen Beißerchen von Rudi Ruhestand.

LÖSUNG W 17

W 18 Münchhausenstory Nr. 22

"Im Haushaltswarengeschäft für den gehobenen Adel, in der Lord-Kelvin-Strasse, habe ich wunderschöne Teelöffel entdeckt. Die Teelöffel waren, bei gleichem Volumen (V = 5 cm³), in massivem Silber oder massivem Platin erhältlich. Naja, Platin ist schon etwas teurer, aber dafür entzieht ein Platinlöffel einer Tasse Tee (m_{Tee} = 100 g, c_{Tee} = 4,18 J/(g· K)) keine so große Wärmemenge wie ein Silberlöffel; denn die spezifische Wärmekapazität von Silber beträgt 0,23 J/ (g· K), die von Platin jedoch nur 0,13 J/(g · K). Also dachte ich: Spare nicht am falschen Ende, kauf dir lieber die Platinlöffel."

Zeige durch Rechnung, ob Münchhausen spinnt oder nicht. Bevor die Löffel in den 90 °C heißen Tee gesteckt werden, besitzen sie eine Temperatur von 20 °C. Nimm der Einfachheit halber an, dass sie ganz in den Tee gesteckt werden. Außerdem gilt für die Dichte: ϱ_P = 21,45 g/cm³, ϱ_S = 10,50 g/cm³.

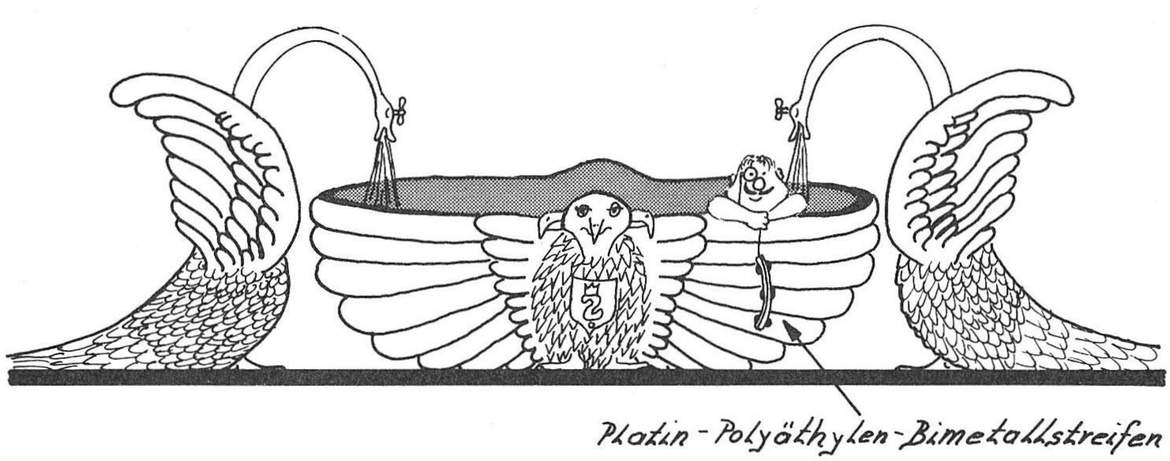
LÖSUNG W 18

W 19 Das fürstliche Bad

"Meine große fürstliche Badewanne wird von einem Warmwasserspeier ($\vartheta_1 = 60$ °C) und einem Kaltwasserspeier (ϑ_2 = 12 °C) zusammen mit 4000 Liter Wasser gefüllt. Da ich, wie meine Urahnen, immer die gleiche Badewassertemperatur bevorzuge, überprüfe ich diese präzise und entsprechend meiner Lebensführung etwas snobistisch mit einem Luxusbimetallstreifen aus Platin und Polyäthylen. Wenn der Bimetallstreifen exakt gerade ist, dann hat das Badewasser genau die richtige Temperatur", erzählt Baron Münchhausen.

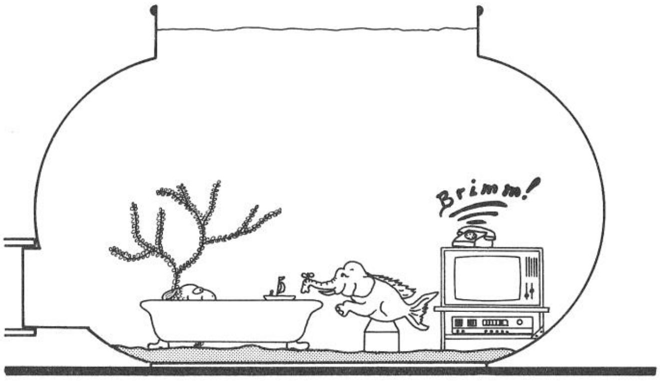
Wieviel Liter kaltes und wieviel Liter warmes Wasser lässt Baron Münchhausen in seine fürstliche Badewanne laufen? Rechne mit V = 1 Liter Wasser ≙ m = 1 kg.

Längenausdehnungszahl von Platin:	α_{Pl} = 0,000009 1/K
Längenausdehnungszahl von Polyäthylen:	α_{Po} = 0,000200 1/K
Länge des Platinstreifens bei 0 °C:	$l_{0,Pl}$ = 39,013 cm
Länge des Polyätyhlenstreifens bei 0 °C:	$l_{0,Po}$ = 38, 739 cm



LÖSUNG W 19

W 20 Regenwurmgulaschsuppe



Kurti Klunker, der Goldfisch von Baron Münchhausen, sitzt gerade gemütlich in der Badewanne, als plötzlich das Telefon klingelt. "Hier Kurti Klunker!" "Hallo Kurti! Hier Schnecke Max. Ich wärme mir mit meinem neuen Tauchsieder (P = 100 W) gerade einen Topf Regenwurmgulaschsuppe auf. Hast du Lust ...?" "Regenwurmgulaschsuppe!!!!" jubelt Kurti, "ich komme sofort!" "Nur keine Eile, Kurti", lacht Max. "Die Suppe hat ja erst eine Temperatur von 28 °C. Wenn du in sieben Minuten hier bist, dann ist die Suppe auch richtig heiß (ϑ = 90°C)." "Ok., Max! Dann kann ich mich ja noch in aller Ruhe abtrocknen und föhnen", erwidert Kurti Klunker, dem das Wasser schon im Munde zusammenläuft.

Wieviel ml Regenwurmgulaschsuppe wärmt Max auf, wenn (unerwünschter Weise) die Regenwurmgulaschsuppe während des Aufwärmens eine Wärmemenge von 30 kJ an die Umgebung abgibt?

Die spezifische Wärmekapazität von Regenwurmgulaschsuppe beträgt c_R = 3,98 J/(g·K) und die Dichte ϱ = 1,2 g/cm^3.

LÖSUNG W 20

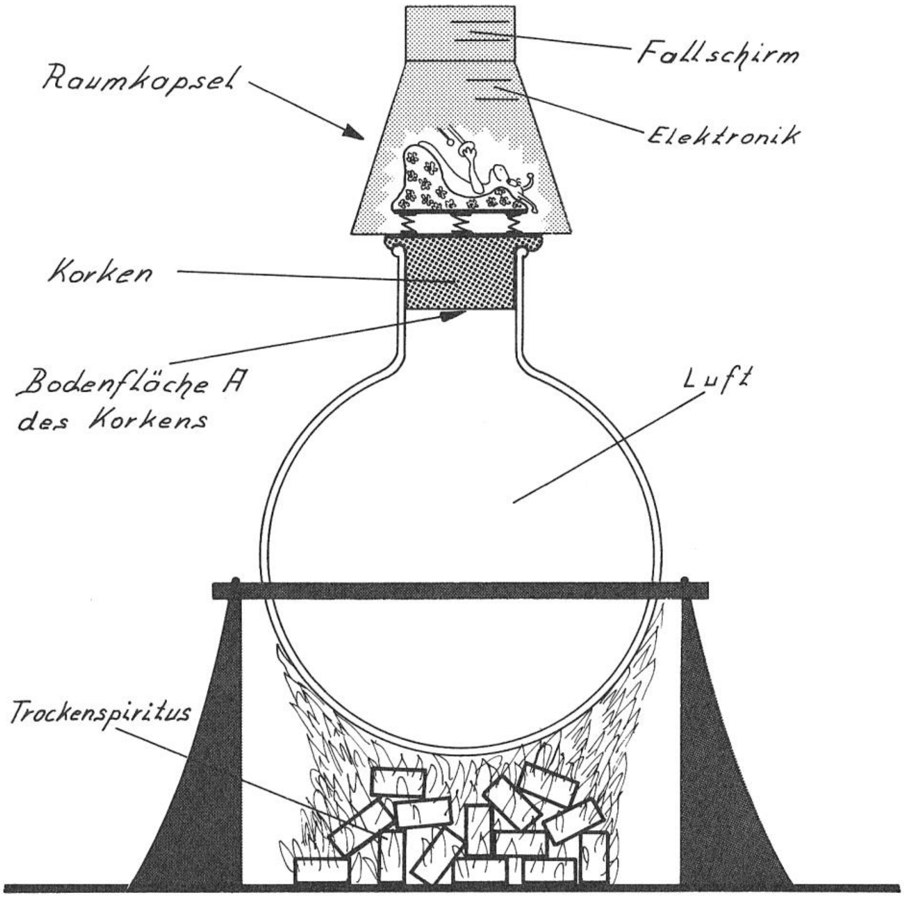
W 21 Münchhausenstory Nr. 23

"Ich bin so froh, dass ich auf dem Heisenberg wohne, weil ich dadurch preisgünstiger heizen kann als meine Freunde in Bad Einstein; denn mein Schloss liegt 100 m höher als ihre Häuser. Wenn ich also 20.000 Liter Heizöl (F_G = 160 kN) geliefert bekomme, muss der Tankwagen eine Hubarbeit von $W = F_G \cdot h$ = 160 kN · 100 m = 16 MJ verrichten, um das Heizöl bis in mein Schloss zu fahren. Diese am Heizöl verrichtete Arbeit steckt nun natürlich im Heizöl drin, d.h., seine innere Energie ist größer als die innere Energie einer gleichen Menge Heizöl im 100 m tiefergelegenen Bad Einstein. Wenn ich also 1 Liter Heizöl verbrenne, wird dabei eine größere Wärmemenge frei, als wenn Opa Karl Krawuttke 1 Liter Heizöl verbrennt."

Münchhausen spinnt! Oder?

LÖSUNG W 21

W 22 Max, der Astronaut



Die Schnecke Max trainiert täglich enorm hart, um sich als deutsche Schnecke für einen Flug zur Raumstation zu qualifizieren.

Wie hoch fliegt er mit seiner Raumkapsel, wenn nur 0,5% (η = 0,05) der eingeschlossenen Luft zugeführten Energie in potentielle Energie der Raumkapsel umgewandelt werden?

Folgende Daten außer sind noch bekannt:

– Haftreibungskraft des Korkens	= 500 N
– Bodenfläche A des Korkens	= 30 cm^2
– Gewicht der Raumkapsel einschließlich Max und Korken	= 2 N
– Masse der eingeschlossenen Luft	= 2,6 g
– Temperatur der eingeschlossenen Luft vor dem Anzünden des Trockenspiritus	= 20 °C
– Luftdruck außerhalb der Flasche und in der Flasche vor Anzündendes Trockenspiritus	= 1.013 mbar
– spezifische Wärmekapazität der Luft (bei konstantem Volumen)	= 0,716 J/(g·K)

LÖSUNG W 22

2.4 Änderung der Aggregatzustände

W 23 Münchhausenstory Nr. 24

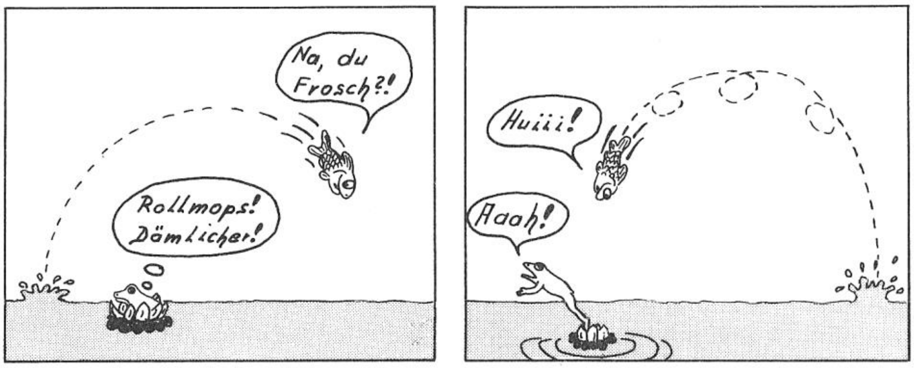
"Mein Gott! Könnt ihr Euch noch an den Kälteeinbruch Mitte Mai erinnern? Die Nachttemperaturen sanken unter 0 ˚C, und in meiner königlichen Apfelbaumplantage drohten die Blüten zu erfrieren. Ich, Hals über Kopf meine Beregnungsanlage in Gang gesetzt und, zusätzlich mit dem Gartenschlauch, die ganzen Bäume nass gespritzt. Am Morgen waren die Apfelbäume samt ihrer zarten Blüten dann auch total vereist, so dass die Apfelernte gerettet war."

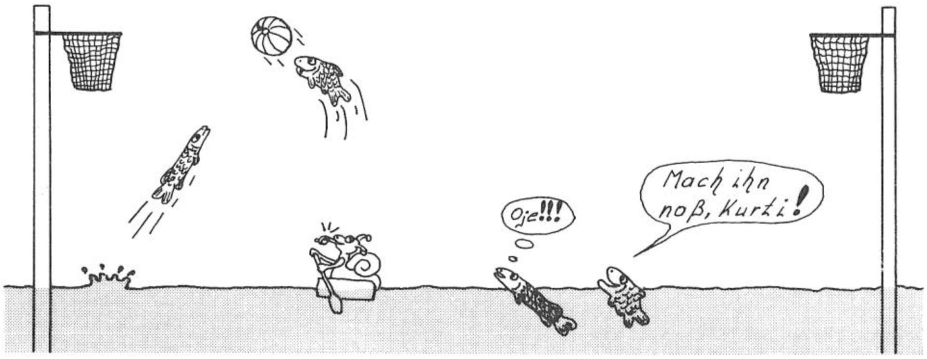
Münchhausen spinnt! Oder?

LÖSUNG W 23

W 24 Kurtis große Sprünge

Kurti Klunker ist sehr ungeduldig. Er möchte gerne wieder große Bögen springen, Salto mortale schlagen und mit den anderen Fischen Korbball spielen, doch noch ist eine dicke Eisschicht auf dem Dirac-See. Aber heute scheint die Sonne 10 Stunden lang und im Mittel strahlt sie je Minute eine Energie von 2,2 J pro cm^2 auf die Eisfläche, die eine Temperatur von ϑ = 0 ˚C besitzt.



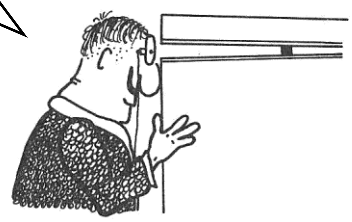


Berechne die Dicke der Eisschicht, die von der Sonne aufgetaut wird, wenn 60% der einfallenden Strahlung vom Eis absorbiert werden. (spezifische Schmelzwärme von Eis s = 334 J/g, Dichte ϱ_{Eis} = 0,92 g/cm^3).

LÖSUNG W 24

W 25 Münchhausenstory Nr. 25

"Ich lege eine randvoll mit Wasser gefüllte, festverschlossene Glasflasche in meine Kühltruhe. Nun wird dem Wasser fortlaufend Energie entzogen. Wenn ich nach einigen Stunden den Deckel der Kühltruhe wieder öffne, sehe ich, dass das nun zu Eis gewordene Wasser die Flasche gesprengt hat. D.h.: Obwohl dem Wasser fortlaufend Energie entzogen worden ist, hat gleichzeitig seine Energie zugenommen, so dass es Arbeit verrichten konnte, um die Flasche zu zerstören. Dieses spezielle Experiment verletzt, für jedermann nachprüfbar, den Energieerhaltungssatz, d.h., der Energieerhaltungssatz ist also letztlich doch nicht allgemeingültig."

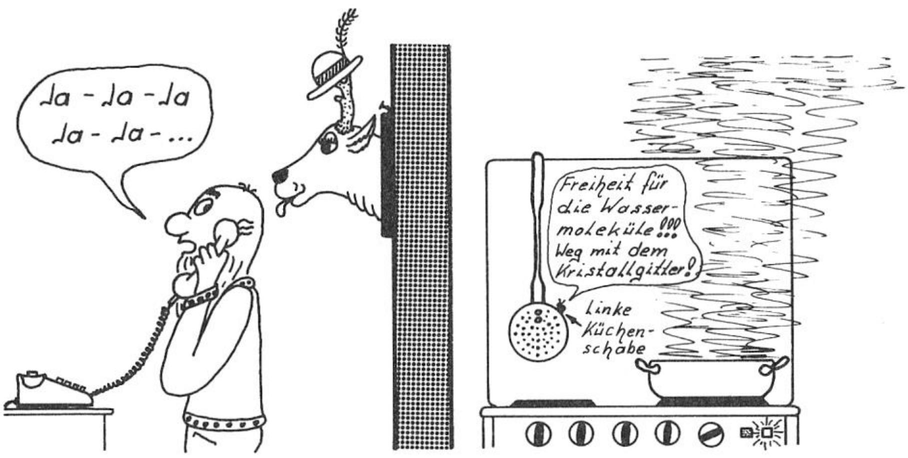


Münchhausen spinnt! Oder?

LÖSUNG W 25

W 26 Als das Neolithikum davonflog

"Ich werde wahnsinnig! Ich dreh' durch, stammelt Opa Karl und schaut bartraufend und fassungslos in den leeren Suppentopf. Teures, per Kühlkette nach Bad Einstein gebrachtes, 5000 Jahre altes grönländisches Gletschereis hat sich in Luft aufgelöst. Aus der Traum, sich einen Grog mit natursauberem Wasser aus dem Neolithikum (Jungsteinzeit) zu brauen. Aus der Traum auch, als Rentner mal ein Snob zu sein.



Weil es besonders schnell gehen sollte, hatte unser Beinahesnob Opa Karl damit begonnen, das neolithische 450g-Eisstück im Suppentopf auf der Blitzkochplatte zu erwärmen. Es fing schon an zu schmelzen, und dann dieses blöde Ferngespräch aus Alice Springs (Australien). Tante Frieda, die reiche Erbtante von Opa Karl, die gerade ihren Abenteuerurlaub in Australien verbrachte, war am Apparat. Ohne Punkt und Komma erzählte Tante Frieda total begeistert ihrem lieben Karlchen, wie wunderbar, phantastisch, entzückend und köstlich der Ayers Rock im Abendlicht aussieht. Opa Karl wagte - im Hinblick auf die Erbschaft - nicht zu unterbrechen und spielte den Hin- und Hergerissenen.

Naja, als er dann zurück in die Küche kam, da war die ganz Jungsteinzeit verdampft, einfach auf- und davongeflogen.

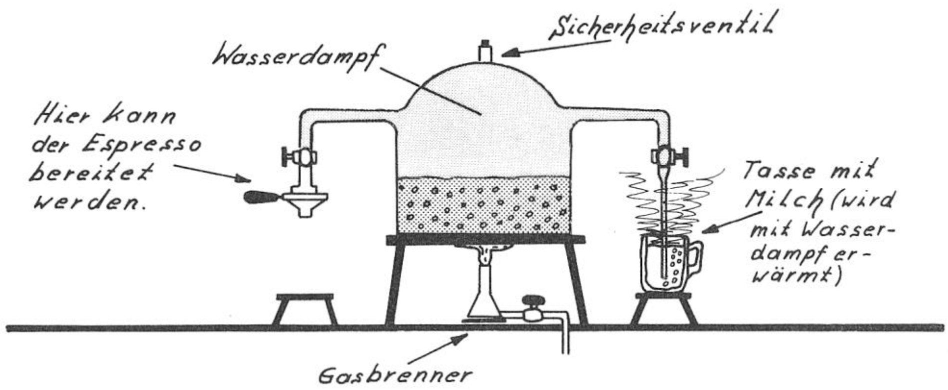
Rechne aus, welche Temperatur das Eisstück hatte, als Opa Karl es in den Topf legte. Um das Eisstück zu erwärmen, zu schmelzen und zu verdampfen, wurde ihm eine Wärmeenergie von 1,37 MJ zugeführt (Wärmeverluste an die Umgebung bleiben unberücksichtigt).

Weitere Angaben: c_{Eis} = 2,09 J/(g ·K), c_{Wasser} = 4,18 J/(g·K), s = 334 J/g, r = 2257 J/g

LÖSUNG W 26

W 27 Da rülpste die Espressomaschine

"Rülps!" tönt es durch den Kneipensaal, und schon wieder hat Hugos selbstgebaute Espressomaschine geräuschvoll eine heiße Tasse Milch ausgetrunken. Hugo Hastig läuft rot an vor Ärger; denn dieser Joke - ihn ablenken und dann schnell das Gas abdrehen - geht ihm langsam auf den Keks.



a) Hugo Hastig könnte sich den ganzen Ärger ersparen, wenn er die Milch einfach durch Zuschütten von kochendem Wasser erwärmen würde, nur würde dadurch die Milch stark verdünnt werden. Vergleiche die Volumina der zugeführten Wassermengen, wenn 250 g Milch von ϑ_1 = 6 °C auf ϑ_2 = 95 °C durch Einleiten von Wasserdampf (ϑ = 100 °C) oder durch Zuschütten von kochendem Wasser (ϑ = 100 °C) erwärmt wird. c = 4,18 J/(g·K), r = 2257 J/g, 1 g Wasser ≙ 1 ml Wasser

b) Wieso trinkt die Espressomaschine die mittels der Kondensationswärme erhitze Milch aus, wenn der Gasbrenner zugedreht wird?

LÖSUNG W 27

W 28 Ein Yeti isst keine hartgekochten Eier

An einem kalten Winterabend erzählt Baron Münchhausen in der Kneipe "Zum Flotten Hugo" von seiner diesjährigen Nepalreise:

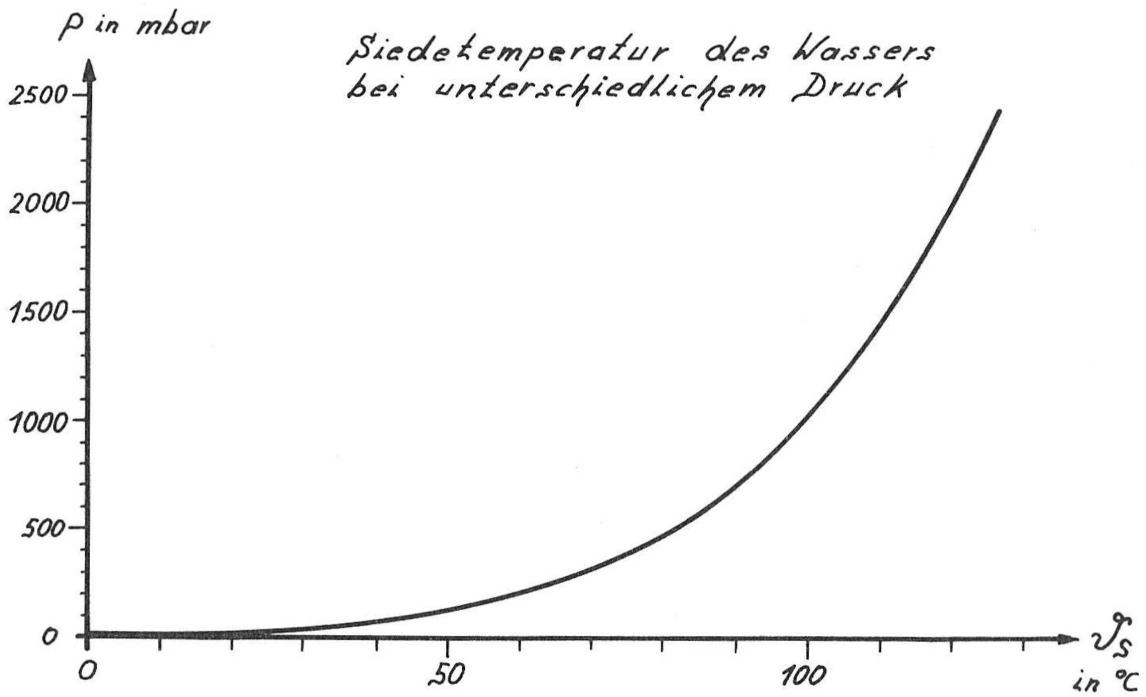
"Von Katmandu aus starteten wir Ende September unser Trekking für den gehobenen Adel durch die Bergwelt von Nepal. Die Sicht auf die Achtausender war prächtig, da die starken Regenfälle in den

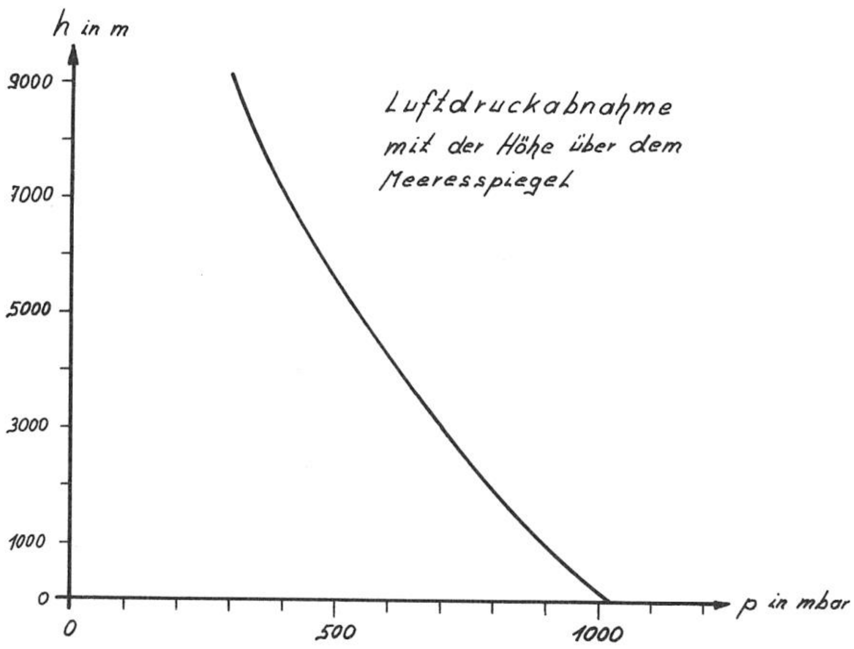
Wochen zuvor den ganzen Staub aus der Luft gewaschen hatten. Unsere Stimmung war bestens, zumal die Sherpas unser Gepäck trugen.

Dies änderte sich jedoch, als es plötzlich zum fürstlichen morgendlichen Breakfast-Buffet keine gekochten Frühstückseier mehr gab. Wir waren entsetzt. Baron von Dotter war dem Herzinfarkt nahe. Ich setzte mich auf einen Seesack und dachte nach: Damit das Eiweiß in einem Ei gerinnt, ist mindestens eine Temperatur von 90 °C erforderlich*. Da die Siedetemperatur vom Druck abhängt und der Luftdruck mit der Höhe abnimmt, müssen wir uns schon in einer solchen Höhe befinden, dass Wasser unter 90 ˚C siedet.

Natürlich fand ich einen Ausweg aus dieser unerträglichen Situation. Ich ließ von nun ab die Eier einfach in Delikatess-Pflanzenfett kochen. So stieg die Stimmung wieder. Sie erreichte jedoch ihren Höhepunkt, als wir die ersten Schneefelder erreichten und ich aus Schlagsahne, kleingeschnittenen Maronen, Erdbeermark, Maraschino und geriebener Schokolade köstliches Fürst-Pückler-Eis herstellte. Da wir natürlich keinen Gefrierschrank mithatten (es gibt kaum Steckdosen im Himalaya!), musste ich das Eis nach Urväter-Sitte mittels einer Kältemischung unter ständigem Rühren gefrieren lassen. Mit der Kältemischung, auf je 3 Esslöffel Schnee 1 Esslöffel Kochsalz, erreichte ich eine Temperatur von ungefähr -20 ˚C. Mensch, war das eine fröhliche Eisschlemmerei im Himalaya! Doch eines Nachts wurde in unser Vorratszelt eingebrochen. Die Spuren im Schnee bewiesen es einwandfrei: Der legendäre Schneemensch des Himalaya, der Yeti - eigentlich ein grundanständiger Bursche -, hatte meinem köstlichen Fürst-Pückler-Eis einfach nicht widerstehen können. Wir machten uns sofort auf ... ." Münchhausen erzählte noch den ganzen Abend und die halbe Nacht lang von seiner abenteuerlichen Nepalreise und keiner der Zuhörer ging vorzeitig nach Hause.

* Hier erzählt Baron Münchhausen den Zuhörern mal wieder nicht die Wahrheit, denn das Eiweiß im Ei beginnt schon bei Temperaturen ab 62 °C zu gerinnen.



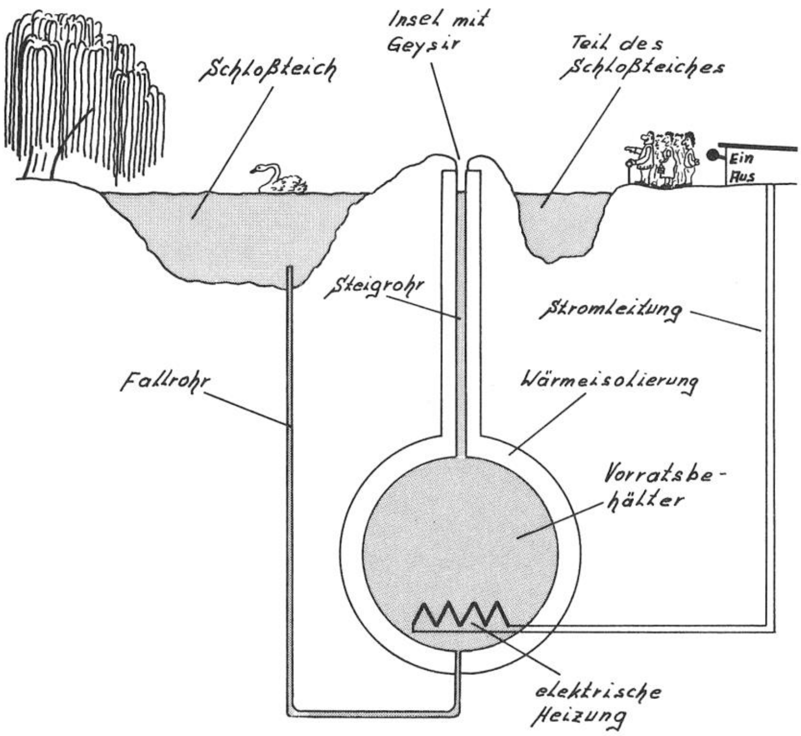


a) In welcher Höhe muss sich die adelige Trekkinggesellschaft mindestens befinden, wenn Wasser schon bei 90 °C zu sieden beginnt?

b) Wieso kann man mit einer Mischung aus Schnee und Salz oder Eis und Salz Temperaturen bis minus 21 °C erreichen? Wenn man bei Glatteis Salz streut, dann löst sich Eis und Salz doch auf. Versuche die Vorgänge in einer Kältemischung mittels des Teilchenmodells zu erklären.

LÖSUNG W 28

W 29 Der Geysir im Schlosspark



"Aber selbstverständlich befindet sich in meinem Schlosspark ein Geysir, liebe Gäste! Dort auf der Insel im Schlossteich treibt er sein Unwesen", verkündet Münchhausen seinen Gästen. Stolz schaltet Münchhausen die Heizung des Geysirs ein. Alle schauen wie gebannt zur Insel hin. Nach einiger Zeit sprudelt Wasser aus dem Loch auf der Insel und dann!!!: EXPLOSIONSARTIG schießt Wasserdampf und Wasser mit lautem Getöse in den Himmel, sodass die Gäste erschrocken zurückfahren. Da Münchhausen die Heizung eingeschaltet lässt, wiederholt sich dieses Schauspiel in regelmäßigen Abständen.

a) Erkläre die Funktionsweise des Geysirs von Baron Münchhausen.

b) Wie funktioniert ein natürlicher Geysir?

c) Bei welcher Temperatur fängt das Wasser im Vorratsbehälter an zu sieden? Die Wassersäule im Steigrohr hat bei ϑ= 20 °C eine Höhe von 9,7 m und eine Wichte von γ = 0,980 cN/cm^3. Der Luftdruck beträgt 1011,4 mbar. Benutze auch das p-ϑ_S-Diagramm von Aufgabe W 28.

LÖSUNG W 29

W 30 Münchhausenstory Nr. 26

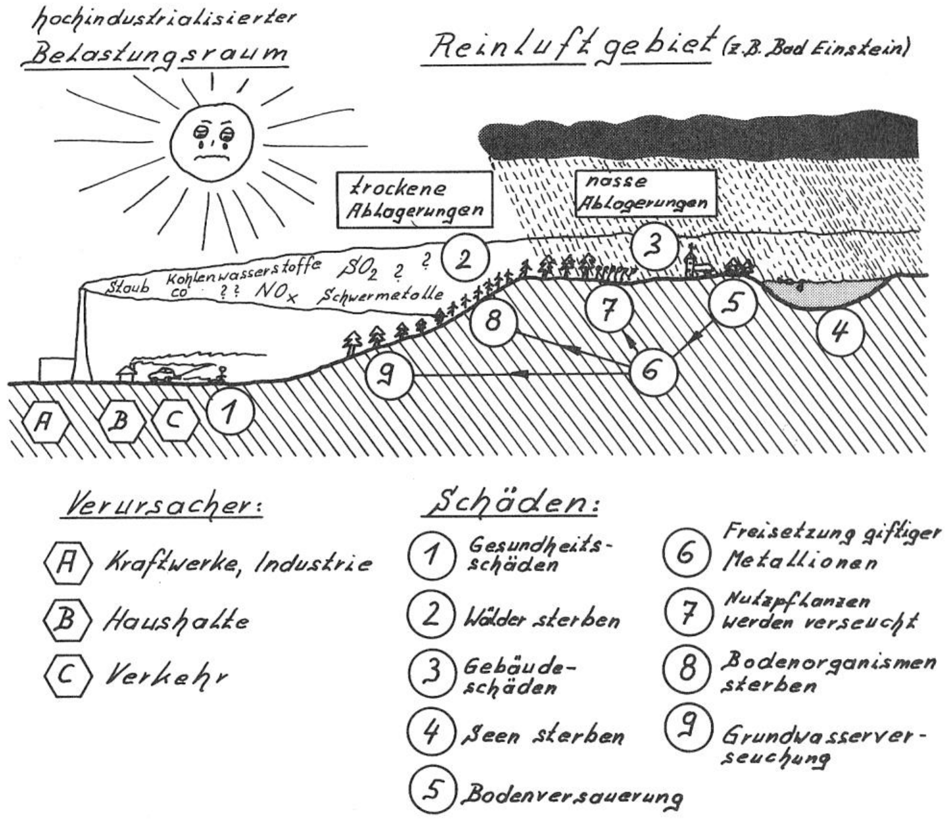
„Den Trick kennt ihr ja alle vom Fernsehen her: Eine Rose wird in flüssige Luft (Siedetemperatur - 193°C) gehalten, nach einiger Zeit wieder herausgezogen und - Peng! Splitter! Klirr! - auf dem Labortisch wie Glas zerschlagen.
Nun, mutig wie ich bin, habe ich einmal meinen kleinen Finger in flüssige Luft gehalten. Passiert ist aber nichts. Dies glaubt mir zwar keiner, aber es stimmt wirklich. Vielleicht liegt es an meinem adeligen blauen Blut."

Münchhausen spinnt! Oder?

LÖSUNG W 30

2.5 Energiewirtschaft

W 31 Saurer Regen



Aufgebracht und zornig ergreift Oberförster Hubertus Blattschuss auf der Jahreshauptversammlung des Naturschutzvereins "Oh, Heidehöschen" das Wort: "Herrschaften! So geht es nicht mehr weiter! Schon über 40% meiner Nadelbäume sind durch Sauren Regen schwer erkrankt. Die Wald- und Ackerböden werden zunehmend saurer und giftiger, mit entsprechenden Folgeerscheinungen für Pflanzen, Tiere und Mensch. Die Baudenkmäler von Bad Einstein verwittern immer schneller und die Atemwegserkrankungen nehmen zu!

Doch, liebe Leute", und jetzt wird Hubertus lauter, "wir sind nicht nur Opfer dieser Umweltverschmutzung, sondern durch unsere energieverschwenderische Lebensweise auch die Mitverursacher! Mit jedem von uns "verjuxten" Kilojoule pusten wir Schadstoffe (Schwefeldioxid, Stickoxid, ...) in die Luft. Damit machen wir uns an diesem Verbrechen gegen die Natur und die nachfolgenden Generationen mitschuldig!
Z.B. die Schnecke Max: Sie verbrennt kostbares Erdöl, um ihr Gewächshaus zu beheizen. Nur für den Luxus, einen Monat früher als die anderen Schnecken frischen Löwenzahnsalat essen zu können, belastet sie die Umwelt mit Schwefeldioxid u.a. Schadstoffen. Um 1 kJ Energie in Form von Nahrungsmitteln zu erzeugen, investiert sie 600 kJ an fossiler Energie! Ist das kein Wahnsinn!?
Oder Goldfisch Kurti Klunker, dieses Ökoferkel! Mit seinem motorgetriebenen Ausgehaquarium jagt er nur so zum Spaß über die Landstraßen und Waldwege und schädigt die Natur durch Stickoxide und Blei.
Tief betroffen bin ich jedoch von der Tatsache, dass ausgerechnet ein Mitglied unseres Naturschutzvereins der größte private Umweltverschmutzer von Bad Einstein ist. Baron Münchhausen belastet durch sein Luxusleben die Umwelt um ein Vielfaches mehr als Rentner Opa Karl Krawuttke. Nur ein

Beispiel: Täglich badet Baron Münchhausen in seiner fürstlichen Badewanne, die sage und schreibe 4000 Liter (!) Wasser fasst. Opa Karl dagegen badet nur zweimal wöchentlich in je 200 Liter Wasser. Nun rechnet euch mal aus ... ."

a) Pro Woche belastet Baron Münchhausen durch sein luxuriöses Baden die Umwelt wie x Rentner der Marke Karl Krawuttke. Berechne x.

b) Um die 4000 Liter Badewasser (c = 4,18 kJ/(kg · K), ϱ = 0,998 g/cm^3) für seine fürstliche Badewanne von $\vartheta_1 = 12$ °C auf $\vartheta_2 = 37$ °C zu erwärmen, benutzt Münchhausen einen elektrischen Durchlauferhitzer (η = 0,85), der in dem Warmwasserspeier (siehe Aufgabe W 19) eingebaut ist. Wieviel kg Steinkohle (spezifischer Heizwert = 31 MJ/kg) müssen in einem Wärmekraftwerk verbrannt werden, um den Durchlauferhitzer mit elektrischer Energie zu versorgen? Berücksichtige, dass nur 33% der im Kraftwerk eingesetzten Primärenergie beim Verbraucher als elektrische Energie ankommen.

c) Mit wieviel kg Schwefeldioxid (SO_2) jährlich belastet Baron Münchhausen durch sein Baden die Umwelt, wenn in einem Steinkohlekraftwerk ohne Entschwefelungsanlage pro kWh erzeugter elektrischer Energie 6,5 g Schwefeldioxid an die Atmosphäre abgegeben werden?

d) Wenn Münchhausen den Stöpsel aus der Badewanne zieht, verschwendet er Energie; denn dann sausen 4000 Liter Wasser mit einer Temperatur von 25 °C in die Kanalisation. Welche Wärmemenge könnte er dem Wasser vorher entziehen, wenn er es mit einer Wärmepumpe wieder auf seine ursprüngliche Temperatur von 12 °C abkühlen würde?

LÖSUNG W 31

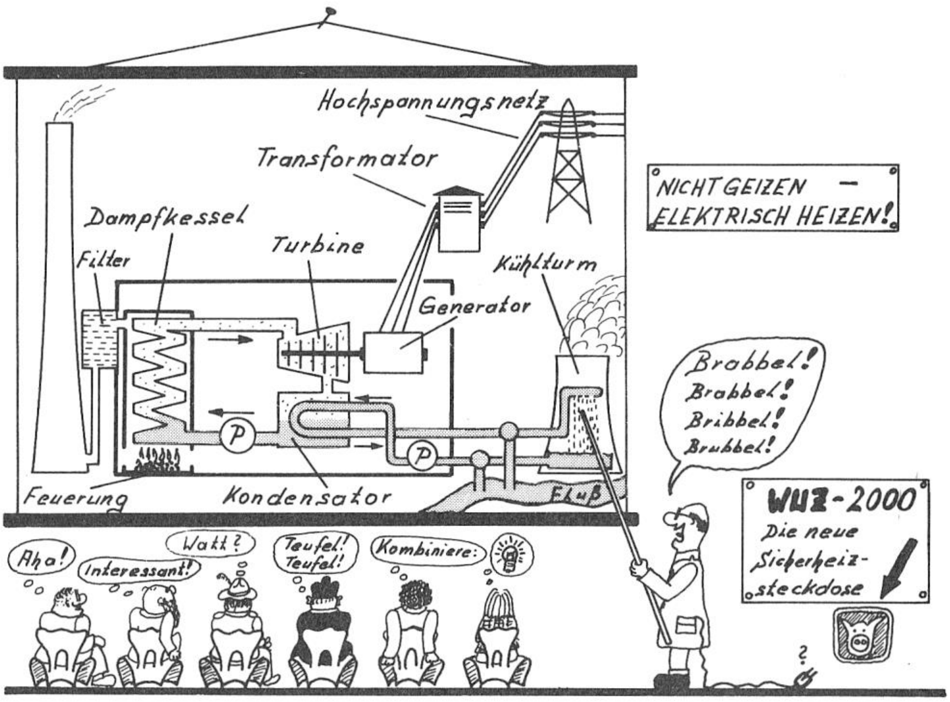
W 32 Münchhausenstory Nr. 27

Empört springt Baron Münchhausen von seinem Sitz auf: "Nein! Nein! Dieses bisschen Luxus zur Erhöhung meiner Lebensfreude lasse ich mir von einem solchen Ökoradikalen wie Oberförster Hubertus Blattschuss nicht nehmen. Ich lasse mich doch nicht in die Steinzeit abdrängen!!! Der spinnt doch mit seinen Energiesparappellen! Dies ist die reinste Volksverdummung, sag ich euch! Wozu gibt es denn schließlich den Energieerhaltungssatz, der besagt, dass man Energie weder erzeugen noch verbrauchen kann? Wenn sich eine Sache nicht verbrauchen lässt, dann hat es auch keinen Sinn, hier etwas sparen zu wollen. Schließlich wird die Wassermenge auf der Erde durch den Wasserverbrauch der Menschen, Tiere und Pflanzen ja auch nicht geringer."

Münchhausen spinnt! Oder?

LÖSUNG W 32

W 33 Oberingenieur Pustekuchen erklärt



Nach der zum Teil sehr unsachlich geführten Diskussion über den Sauren Regen kommen die Jungs des Naturschutzvereins "Oh, Heidehöschen" zu dem Schluss, sich einmal gründlich über dieses Phänomen zu informieren. Aus diesem Grund besuchen sie u.a. ein Kohlekraftwerk. Oberingenieur Pustekuchen führt sie durch das Kraftwerk und beantwortet ihre kritischen Fragen:

a) "Lieber Herr Pustekuchen, können sie uns bitte anhand obiger Abbildung den Arbeitskreislauf in einem Wärmekraftwerk erklären?"

b) "Lieber Herr Pustekuchen, 1982 wurden in der Bundesrepublik 367 Terawattstunden* (1TWh = 1.000.000.000 kWh) elektrischer Energie erzeugt. Davon 95% in Wärmekraftwerken. Wieviel Haushalte könnte man, wenn man es wollte und es technisch möglich wäre, mit der von diesen Wärmekraftwerken (η = 38%) ungenutzt an die Umwelt abgegebenen Wärmemenge heizen, wenn die gesamte Abwärme eines Jahres den Haushalten in der Heizperiode zugeführt würde? Ein Durchschnittshaushalt benötigt jährlich zum Heizen 75.000 MJ = 75 GJ. (Bei unserer Rechnung vernachlässigen wir allerdings, dass schon 8% der Wärmekraftwerke neben Strom auch Heizwärme erzeugen.)"

*Aus WEBER;R. 1983 Mini-Lex der Energie Bd.1 S. 148

c) "Lieber Herr Pustekuchen, würde man in den Wärmekraftwerken Strom und Heizwärme für nahe gelegene Wohnsiedlungen gleichzeitig erzeugen, so würde sich der Kraftwerkswirkungsgrad von 38% auf 80-85% erhöhen. D.h., die eingesetzte Primärenergie könnte wesentlich besser genutzt werden, obwohl dies mit Nachteilen für die Stromerzeugung verbunden ist; denn in solchen Heizkraftwerken müsste der Wasserdampf hinter der Turbine ja eine Temperatur von 100 °C besitzen. Warum, Herr Pustekuchen ist es eigentlich für die Stromerzeugung günstiger, wenn der Wasserdampf hinter der Turbine nur eine Temperatur von z.B. 35 °C besitzt?"

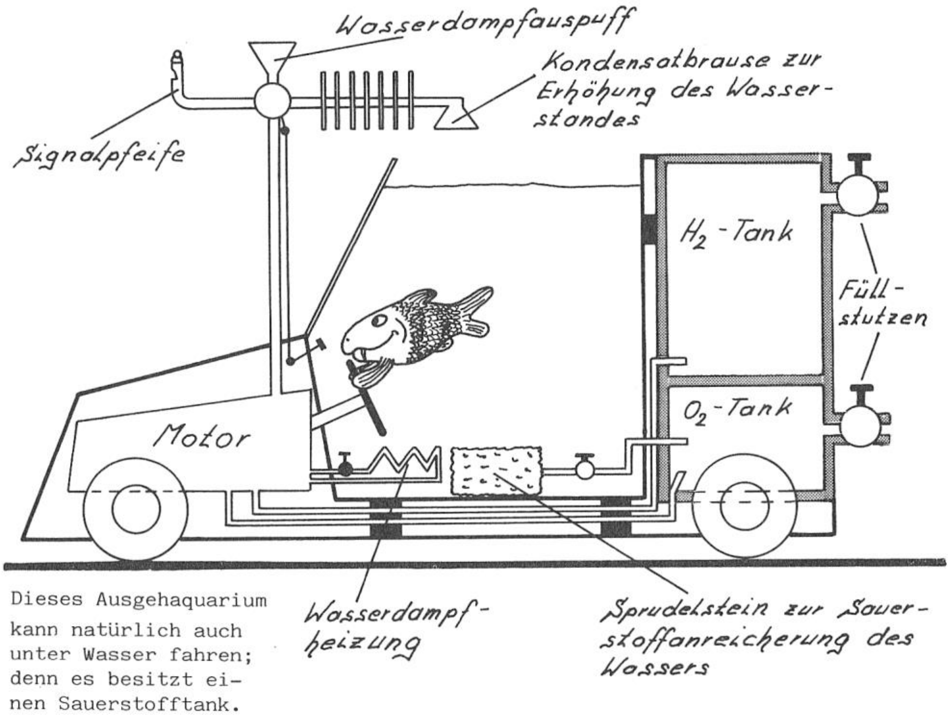
d) "Lieber Herr Pustekuchen, wieviel t Schwefeldioxid (SO_2) gibt ein Wärmekraftwerk ohne Entschwefelungsanlage in einer Stunde an die Atmosphäre ab, wenn seine Leistung 400 MW beträgt und es einen Wirkungsgrad von 38% besitzt? Als Brennstoff dient Rohbraunkohle mit einem Heizwert von 9 MJ/kg und einem Schwefelgehalt von 1%. Bei der Verbrennung der Kohle verbleiben jedoch 30% des Schwefels in der Asche. Und nicht vergessen, Herr Pustekuchen, aus dem Schornstein kommt $S0_2$, d.h. 32 g Schwefel binden 2 · 16 g Sauerstoff."

LÖSUNG W 33

W 34 Wasserstoff für Kurti

Kurti Klunker ist stinkig, dass Oberförster Hubertus Blattschuss ihn ein Ökoferkel geschimpft hat, denn gerade Kurti liebt die Seen und Wälder in der Umgebung von Bad Einstein über alles. Eben deshalb fährt er mit seinem motorisierten Ausgehaqarium so oft in die Natur hinaus. Doch nun hängt Kurti in der Zwickmühle! Viele Ausflüge = jede Menge Auspuffgase = Schädigung der geliebten Natur durch Stickoxide und Blei.

"Was tun?", überlegt Kurti Klunker. "Gewiss, ich könnte bleifreies Benzin tanken und mir einen Auspuff mit Abgaskatalysator einbauen lassen und ... . Nein! Das ist die Idee! Ich bau mir für mein Ausgehaquarium einem Motor, den man mit Wasserstoff betreiben kann. Dies ist superumweltfreundlich!!! Außerdem verbraucht sich der Wasserstoff auf der Erde nicht und letztlich hat er mit 120 MJ/kg einen viel höheren spezifischen Heizwert als Benzin (H_B = 44 MJ/kg)."



a) Warum ist die Verwendung von Wasserstoff als Brenn- und Treibstoff besonders umweltfreundlich?

b) Wasserstoff ist kein Rohstoff wie Erdgas, Kohle oder Erdöl. Wieso unterscheidet er sich bzgl. seiner Gewinnung und Nutzung grundsätzlich von den fossilen Energieträgern?

c) Mit wieviel Gramm Wasserstoff darf Kurti seinen 5-Liter-Tank maximal füllen, wenn der Tank vom TÜV (Technischer Überwachungsverein) für einen maximalen Innendruck von P_{max} = 150

bar bei ϑ = 20 °C zugelassen ist?
Die Dichte des Wasserstoffs bei ϑ = 0 °C und p = 1013 mbar beträgt ϱ = 0,09 *g/dm³*.

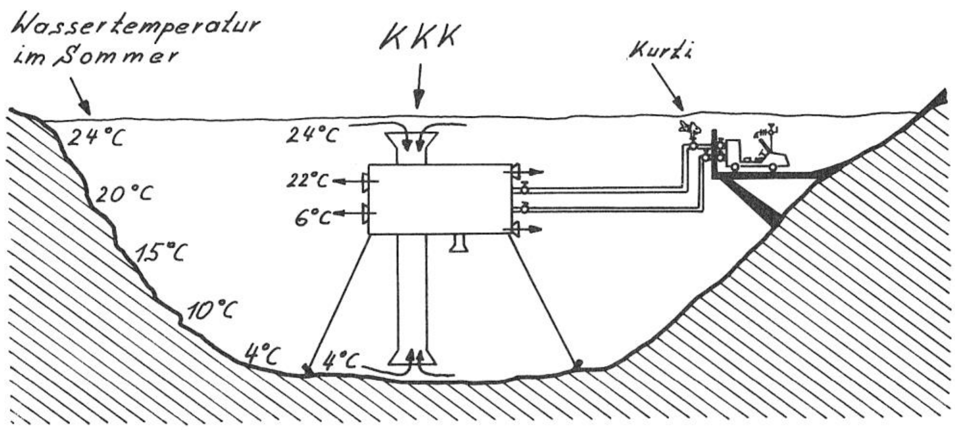
d) Natürlich liegt der Druck, dem der Tank standhält, aus Sicherheitsgründen weit über dem maximal zugelassenen Druck (p_{max} = 150 bar bei 20 °C); denn die Ingenieure vom TÜV haben schon daran gedacht, dass sich die Temperatur des Wasserstoffgases im Sommer deutlich erhöhen kann, wenn Kurti sein Auto in der Sonne parkt. Aus diesem Grund ist der Tank so gebaut, dass er erst bei einem Druck von p = 500 bar explodiert.

Wenn Kurti den Tank entsprechend den Angaben der Aufgabe c füllt, bei welcher Temperatur (in °C) würde er explodieren?

e) Obwohl Wasserstoff (H_W = 120 MJ/kg) einen größeren spezifischen Heizwert als Benzin (H_B = 44 MJ/kg) besitzt, würde sich die Reichweite des motorgetriebenen Ausgehaquariums erheblich vergrößern, wenn Kurti den 5 Liter-Tank mit Benzin (ϱ_B = 0,7g/cm³) anstatt mit Wasserstoff füllen würde.
Um welchen Faktor würde sich die Reichweite des Fahrzeuges erhöhen? Der Energiebedarf des kleinen Fahrzeuges pro 100 km beträgt 77 MJ.
Wir machen bei der Lösung der Aufgabe nur einen geringen Fehler, wenn wir vernachlässigen, dass der Wasserstoff aus dem Tank wegen des äußeren Luftdrucks (ca. 1 bar) nicht gänzlich genutzt werden kann. Benutze bei Deiner Rechnung also das Endergebnis von Teilaufgabe c.

LÖSUNG W 34

W 35 Das KKK (Kurti-Klunker-Kraftwerk)



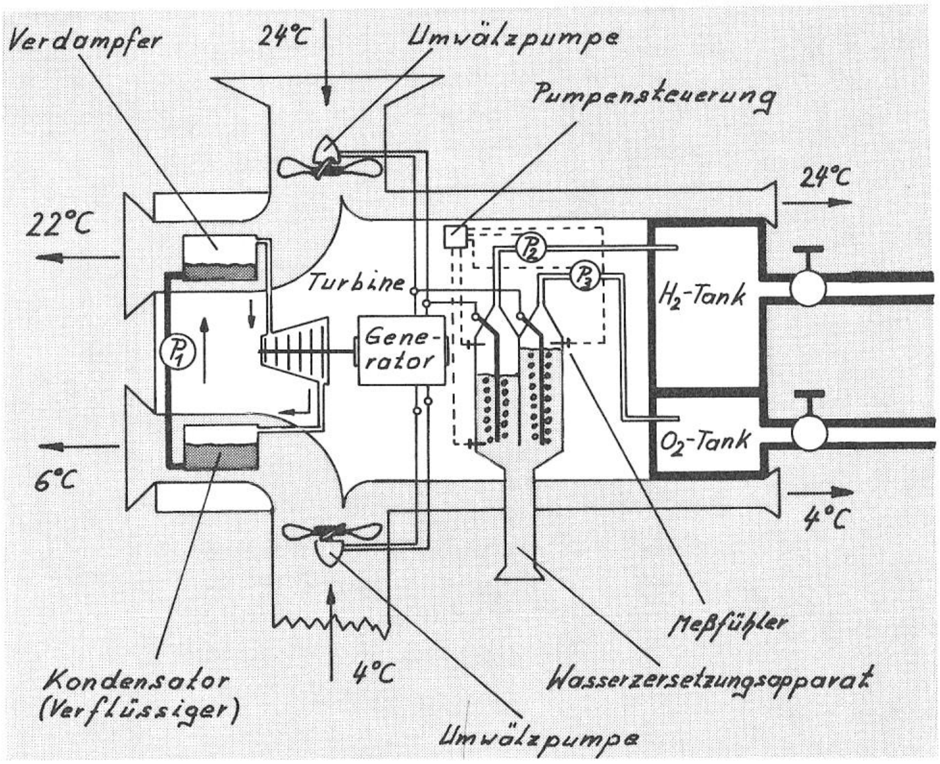
Der Wasserstoff für den umweltfreundlichen Motor in Kurti Klunkers Ausgehaquarium wird durch die Zersetzung von Wasser (H_20) in zwei Teile Wasserstoff und ein Teil Sauerstoff gewonnen. Dies geschieht mit Hilfe von elektrischer Energie. Erzeugt man diese durch Verbrennung von fossilen Energieträgern, so wird durch Kurtis umweltfreundliches Ausgehaquarium die Umwelt letzten Endes doch wieder mit Schadstoffen belastet.

Doch Kurti Klunker weiß Abhilfe. Schon seit Tagen sitzt er an seinem Zeichenbrett. Er plant ein neuartiges Wärmekraftwerk, ein Kurti-Klunker-Kraftwerk (KKK) für den Dirac-See. Inspiriert hat ihn der Abenteuerroman "Hey Visch und die Hula-Mädchen von Hawaii"; denn hierin berichtet Hey Visch, der bekannte Held der sieben Weltmeere, von OTEC-1, dem Meereswärmekraftwerk 18 Meilen vor Ke-Ahole Point an der Westküste von Hawaii.

So plant Kurti wochenlang, um möglichst bald mit der im KKK erzeugten elektrischen Energie direkt an Ort und Stelle den Wasserstoff für sein Ausgehaquarium mittels Elektrolyse erzeugen zu können.

a) Beschreibe die Funktionsweise des Kurti-Klunker-Kraftwerkes und erkläre, warum es im Winter nicht betrieben werden kann.

b) Weshalb wird das Ammoniak im Kondensator eigentlich flüssig? Seine Siedetemperatur beträgt doch -33,4°C.



Die Pumpe P_1 pumpt flüssiges Ammoniak vom Kondensator in den Verdampfer.

c) Das Kurti-Klunker-Kraftwerk hat aufgrund der geringen Temperaturdifferenz von Oberflächen- und Tiefenwasser sowie dem Betrieb der beiden Pumpen in den Ansaugrohren nur einen Wirkungsgrad von 1,5%.

Wieviel m^3 Wasser ($V = 1 m^3$ Wasser $\triangleq$ $m = 1$ t Wasser) müssen für die Produktion von 1 kg Wasserstoff von 24 °C auf 22 °C (siehe Skizze) abgekühlt werden? Für die Erzeugung von 1 kg Wasserstoff benötigt man, wenn man von Energieverlusten absieht, genauso viel Energie, wie bei seiner Verbrennung frei wird, eben E = 120 MJ. Die spezifische Wärmekapazität des Wassers beträgt c = 4,18 kJ/(kg · K).

LÖSUNG W 35

W 36 Schnirkelschneckenschmausefest

Schnecke Max erzählt: "Zu Frühjahrsbeginn, wenn normale Schnecken noch ihren Winterschlaf halten, ist bei mir in der Bude schon die Hölle los. Dann kommen alle meine Verwandten aus der großen Familie der Schnirkelschnecken zum fröhlichen Schnirkelschneckenschmausefest zusammen. Neben dem Himbeerwein von Tante Lisa; der alten Hainschnecke, serviere ich - und dies ist schon eine kleine Sensation - den ersten frischen Löwenzahnsalat des Jahres.

Natürlich ziehe ich den Löwenzahn in meinem eigenen kleinen Gewächshaus. Früher habe ich es nur mit Öl beheizt, doch nach den heftigen Vorwürfen von Oberförster Hubertus Blattschuss habe ich meine Ölheizung mit einer Sonnenkollektoranlage kombiniert, um die durch unseren Heißhunger bewirkte Umweltbelastung etwas zu verringern.

Natürlich, wenn wir Schnirkelschnecken uns einen Monat länger gedulden würden, dann brauchte ich mein Gewächshaus gar nicht zu heizen, aber wisst ihr: "Löwenzahnsalat ist ja sooooo lecker! Und übrigens, die Menschen verhalten sich ja auch nicht besser."

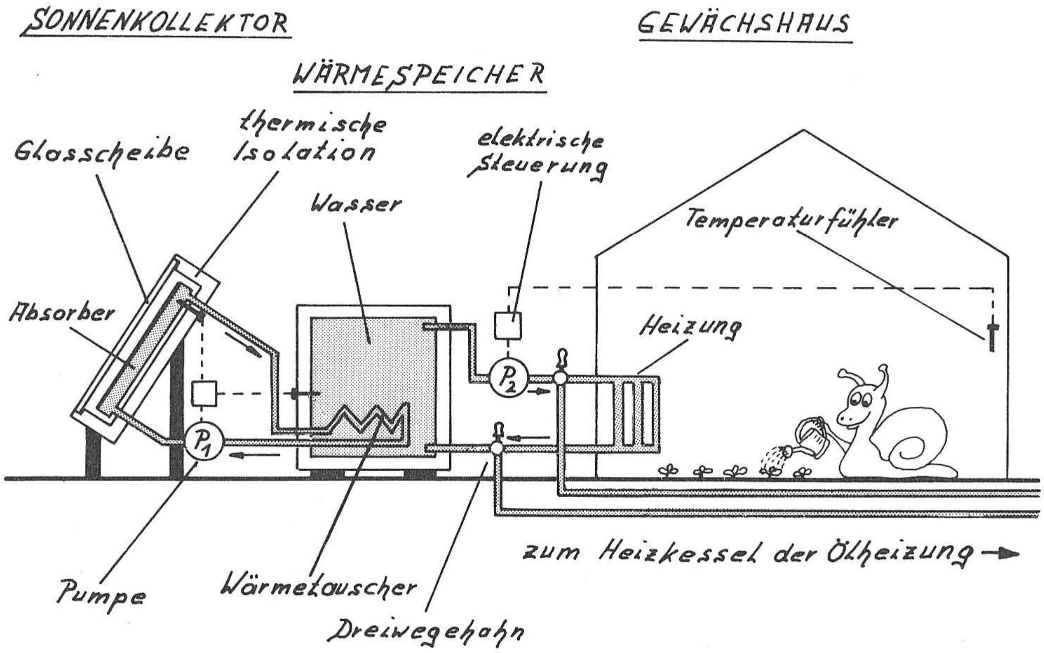
a) Erläutere die Aussage: "Ein Sonnenkollektor ist, wie auch ein Gewächshaus, eine Falle für Strahlungsenergie."

b) Erkläre anhand der folgenden Zeichnung die Funktionsweise der kombinierten Sonnenkollektor-Ölheizungsanlage von Max.

c) In den gebräuchlichen, mit Wasser gefüllten Wärmespeichern wird die vom Sonnenkollektor gelieferte Wärmemenge durch eine Temperaturerhöhung des Wassers gespeichert. Nenne eine andere Möglichkeit, wie die vom Sonnenkollektor gelieferte Wärmemenge auch ohne Temperaturerhöhung gespeichert werden kann.

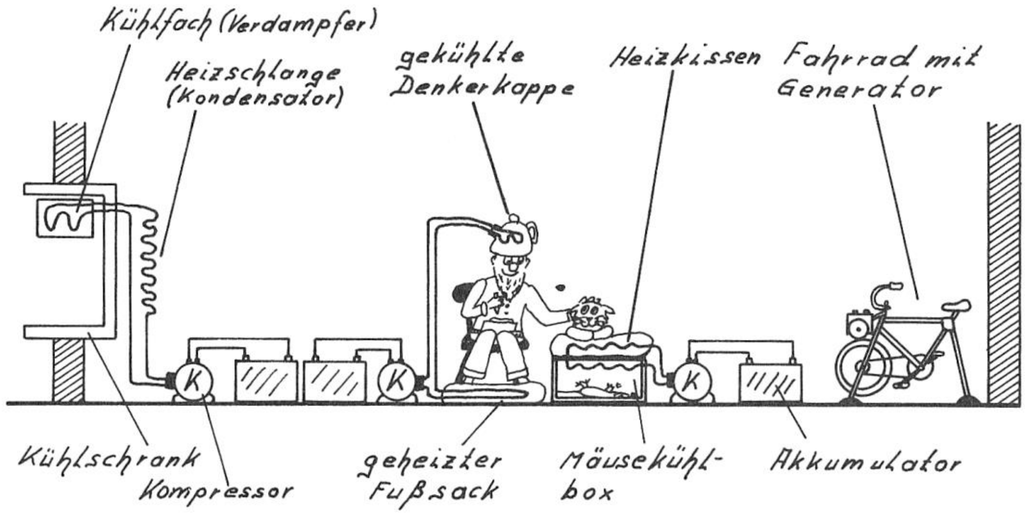
d) Sonnenkollektoren eignen sich in Kombination mit einer Ölheizungsanlage o.ä. besonders für die ganzjährige Warmwasserbereitung (Baden, Duschen, Spülen, Waschen).
Berechne die Größe der Kollektorfläche für einen Durchschnittshaushalt, der jährlich 8000 MJ für die Warmwasserbereitung benötigt. Der Wirkungsgrad der gesamten Kollektoranlage beträgt im Jahresdurchschnitt 35%. Die mittlere Bestrahlungsstärke in Deutschland beträgt $B = 1.000\ \mathrm{kWh/(m^2 \cdot a)}$

Und hier sehen wir die kombinierte Sonnenkollektor-Ölheizungsanlage für das Gewächshaus von Max:



LÖSUNG W 36

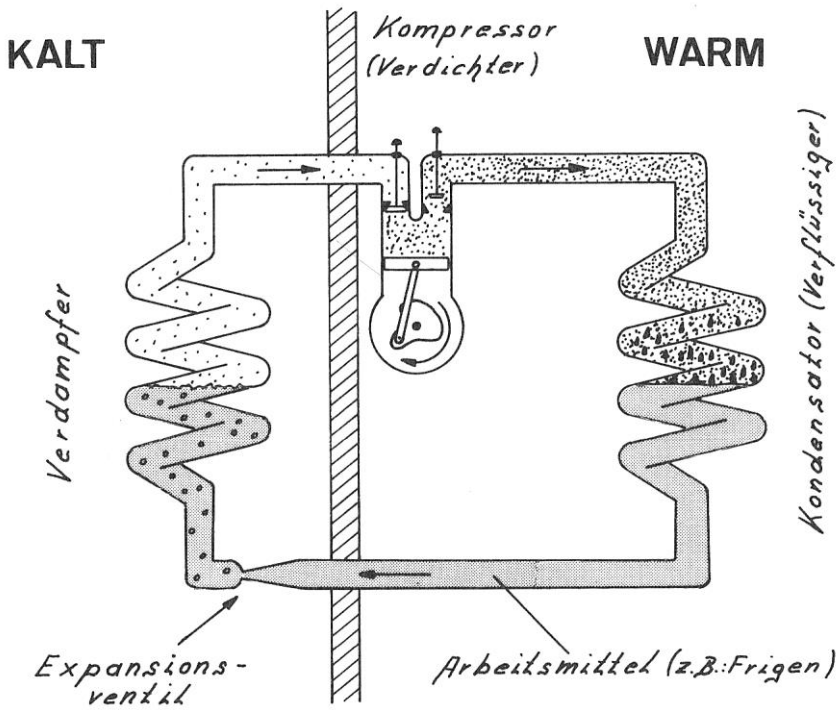
W 37 Luxusdenkersessel und Mäusekühlbox



Opa Karl Krawuttke: "Ja, ja, Oberförster Hubertus Blattschuss hat schon recht. Würden alle so bescheiden leben wie Oma Bertha und ich, vielleicht wäre es dann um unsere Umwelt besser bestellt. In großer Armut leben wir trotz unserer Bescheidenheit nun wieder auch nicht. Nein, nein! Wir erlauben uns so manchen Luxus, der wohl nur in wenigen Haushalten zu finden ist. Z.B. besitze ich einen luxuriösen Denkersessel mit wohltemperiertem Fußsack und gekühlter Denkerkappe. Oder unsere liebe Katze Irene Muckefuck: Sie schläft - schon aus Sicherheitsgründen - auf ihrer Mäuse-kühlbox, die mit einem weichen, warmen Heizkissen abgedeckt ist. Oder meine kleine Klimaanlage, ein alter Kühlschrank: Im Winter hilft er mir die Bude warm zu halten (siehe Skizze), und im Sommer drehe ich ihn einfach um, und so sorgt er für erfrischende Kühle. Nun, ihr habt es längst bemerkt, gezielt setze ich in meinem Haushalt also Wärmepumpen ein.

Das ist aber auch eine ganz schöne Energieverschwendung, könnte jetzt so mancher sagen. Doch dem ist nicht so; denn die für den Betrieb der Wärmepumpen notwendige Energie erzeuge ich umweltfreundlich mit Fotoelementen oder mit meinem Heimtrainer, einem alten Fahrrad. Jeden Tag trete ich kräftig in die Pedale. So halte ich mich fit und lade nebenbei so manche Autobatterie (Akkumulator) für den Betrieb der Wärmepumpen auf.

Ja, ja, es ist schon schön, wenn man auch in hohem Alter noch geistig und körperlich fit ist!"



a) Beschreibe anhand obiger Skizze den Arbeitskreislauf einer Wärmepumpe.

b) Eine Wärmepumpe, die mit einem Elektromotor betrieben wird, gibt ca. viermal so viel Heizwärme ab, wie man an elektrischer Energie in den Elektromotor hineinsteckt. Warum wird hierdurch trotzdem der Energieerhaltungssatz nicht verletzt?

c) Wie lange muss Opa Karl bei einer Dauerleistung von 85 W strampeln, damit eine Wärmepumpe mit der Güteziffer* η' = 4 die gleiche Wärmemenge abgibt wie 1 kg Steinkohle (H = 31 MJ/kg)?

* $$\text{Güteziffer} = \frac{\text{von der Wärmepumpe transportierte Wärmemenge}}{\text{der Wärmepumpe zugeführte Arbeit}}$$

$$\eta' = \frac{Q_{tr}}{W_{zu}}$$

d) Warum ist es von der gesamten Energiebilanz her sinnvoller, Wärmepumpen direkt mit chemischer Energie (Öl, Gas, Kohle) zu betreiben als mit in Wärmekraftwerken erzeugter elektrischer Energie?

LÖSUNG W 37

W 38 Auf nach Indien!

Die faule Kuh Hannelore hat es satt, immer nur an den Euter gepackt und gemolken zu werden. "Hä! Zum Dank dafür, dass ich der Menschheit täglich 40 Liter Milch spende, lande ich vielleicht noch eines Tages stückchenweise und gefriergetrocknet in einer Rindfleischtütensuppe", klagt sie der Schnecke Max ihr Leid. "Nein! Nein! Ich hau' ab aus diesem miesen Land. Auf nach Indien, denn erstens ist es dort schön warm, zweitens sind die Kühe heilig und drittens wird hier ruhiges nach innen gerichtetes Verharren nicht mit dem Wort "Faulheit" bezeichnet, sondern mit dem Begriff "Meditation". "Heilige, meditative Kuh Hannelore" würde man hochachtungsvoll zu mir sagen und nicht diese Gemeinheit wie: "Na, du faule Kuh!".

"Schön und gut", sagt Schnecke Max, die sich auf Hannelores Weide gerade den Bauch voll Löwenzahn schlägt, "aber von Gras alleine kannst du da unten auch nicht leben. Da brauchst du Sonnenöl, Malariatabletten, etc.."

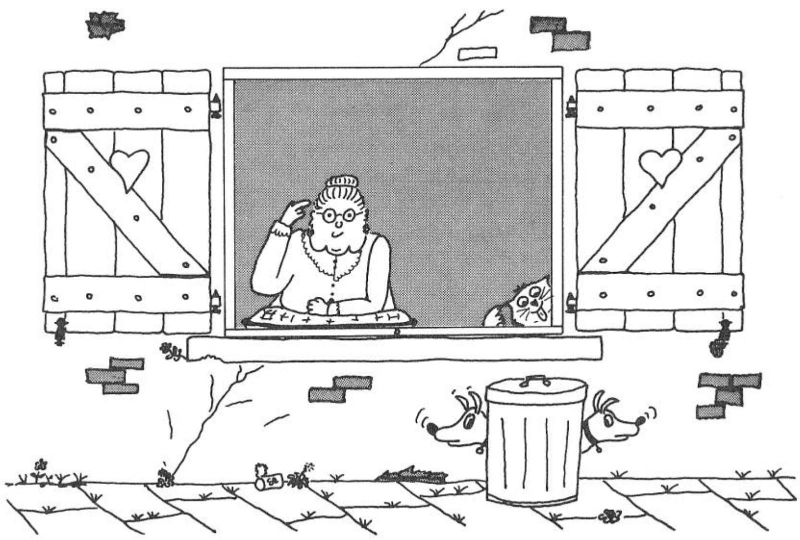
"Ach, die paar Rupien werde ich mir schon verdienen. Ich könnte z.B. ... ? Ja! Genau! Ich arbeite einfach in einer Biogasfabrik mit. In der Produktion, verstehst du? In Borivali, am Stadtrand von Mumbai versorgen z.B. 70 Kühe 200 Menschen mit Biogas, so fürs Kochen und für die Beleuchtung.

Nun rechne dir das mal aus: Wenn 1 kWh elektrischer Energie in Indien eine halbe Rupie kostet und man von meinem erstklassigen Kuhfladen täglich 1,2 kg hochwertiges Biogas mit einem Heizwert von 45 MJ/kg herstellen und verkaufen kann und ich davon nur 50% bekomme, dann verdiene ich im Monat x Rupien. Das reicht als Taschengeld. Gras bekomme ich ja umsonst."

Wieviel Rupien würde Hannelore in einem Monat (30 Tage) verdienen?

LÖSUNG W 38

W 39 Der Oma-Bertha-Apell



Oma Bertha Krawuttke: "Die Leute, die glauben, dass unser Lebensglück einzig und allein von der Höhe unseres Energieverbrauches abhängt, sind doch die letzten Hirnis. Wir waren doch 1982 nicht viermal so glücklich wie 1962, nur weil sich z.B. unser Verbrauch an elektrischer Energie (Haushalte und Kleinverbraucher) mehr als vervierfacht* hat.

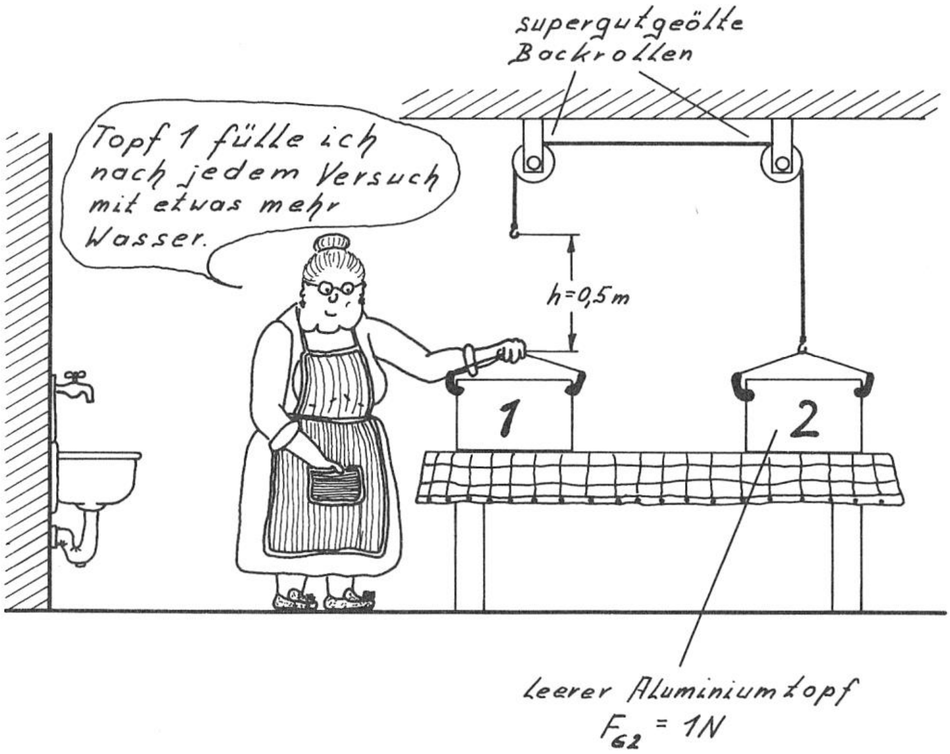
Also, ich meine, wenn wir unser Lebensglück erhalten wollen, dann müssen wir dafür sorgen, dass wir zunehmend weniger Energie verbrauchen. Eben eine intelligentere Art zu leben entwickeln. Nur ein Beispiel: Nicht weiterhin nach dem Motto "Dumm - aber billig" Häuser bauen, sondern mehr nachdenken beim Hausbau und Häuser bauen, mit denen sich langfristig Energie sparen lässt. Also, wenn ich noch einmal bauen würde, ..."

Zeige, was du bisher in der Wärmelehre gelernt hast. Entwerfe ein Energiesparhaus.

* Errechnet nach: WEBER,R. 1983 Mini-Lex der Energie Bd.1 S. -148

LÖSUNG W 39

W 40 Oma Berthas Backrollenmaschine



Oma Bertha Krawuttke: "Mit eine Ursache für die Energieverschwendung in der heutigen Zeit ist kurzsichtiges Leistungsdenken. Die gleiche Arbeit in immer kürzerer Zeit verrichten zu wollen, ist häufig das Streben der Menschen. Doch schon ein einfacher Versuch zeigt, wie man Energie verschwenden kann, wenn man einen Energieumwandlungsprozess zunehmend beschleunigt.

Also, ich nehme zwei gleiche Aluminiumkochtöpfe. Wenn ich in Topf 1 ein wenig Wasser schütte und ihn an den Haken hänge, so kann er aufgrund seiner größeren Gewichtskraft den Topf 2 hochheben. Dies geht natürlich umso schneller, je mehr Wasser ich in Topf 1 gieße. D.h.: Je mehr Energie ($E_{zu} = F_{G1} \cdot h$) ich in meine Backrollenmaschine hineinstecke, desto größer ist ihre Hubleistung $P_{ab} = (F_{G2} \cdot h)/t$.

"Ja und?", werdet Ihr jetzt sagen, "das ist doch nicht aufregend, sondern vollkommen logisch, liebe Omi."

So, so! Dann schaut Euch aber mal meine Messwerte an. Also, wenn Ihr das nicht aufregend findet, dass Zeitgewinn so teuer bezahlt werden muss, dann "Gute Nacht!". Und übrigens, was für meine Backrollenmaschine gilt, das gilt auch für viele andere physikalische sowie biologische und wirtschaftliche Prozesse."

a) Zeichne unter Verwendung der Messwerte von Tabelle 1 ein E_{zu}-P_{ab}-Diagramm und ein P_{ab}-η-Diagramm und diskutiere beide Kurven.

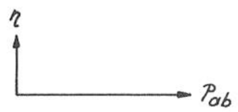


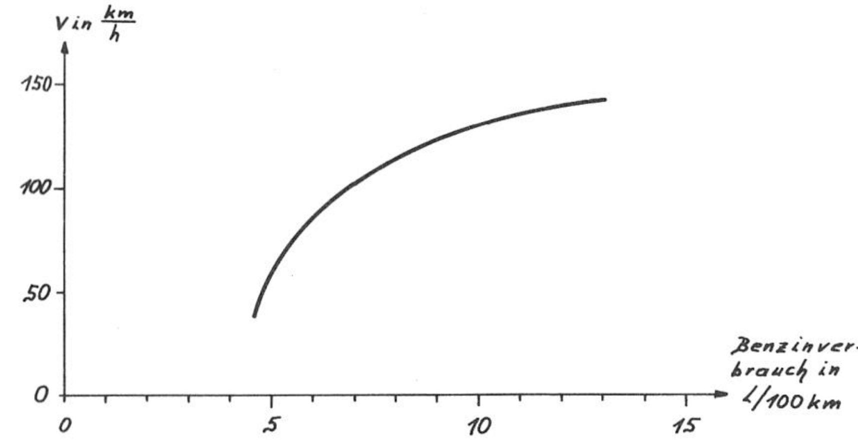
Tabelle 1: Oma Berthas Backrollenmaschine
(idealisierte Werte)

$h = 0{,}5\,m$; $F_{G2} = 1N$

F_{G1} in N	t in s	E_{zu} in J	P_{ab} in W	η
1,0001	3,291			
1,1000	1,337			
1,5	0,698			
3,0	0,448			
5,0	0,389			
10,0	0,352			
25,0	0,332			
50,0	0,326			
100,0	0,322			
150,0	0,321			
200,0	0,321			

b) Diskutiere die Kurve von Diagramm 1 (siehe unten) für den konkreten Fall, dass mehrere gleiche PKWs die Strecke Hamburg - Stuttgart (700 km) mit unterschiedlicher, aber konstanter Geschwindigkeit zurücklegen.

Diagramm 1: Geschwindigkeit eines PKWs in Abhängigkeit vom Benzinverbrauch



c) Nahrungsmittel wie Getreide versorgen Mensch und Tier mit Energie. Will man die Ernteerträge steigern, so kann man Kunstdünger, zu dessen Herstellung viel Energie notwendig ist, zuführen.
Unterziehe Diagramm 2 einer Energieanalyse.

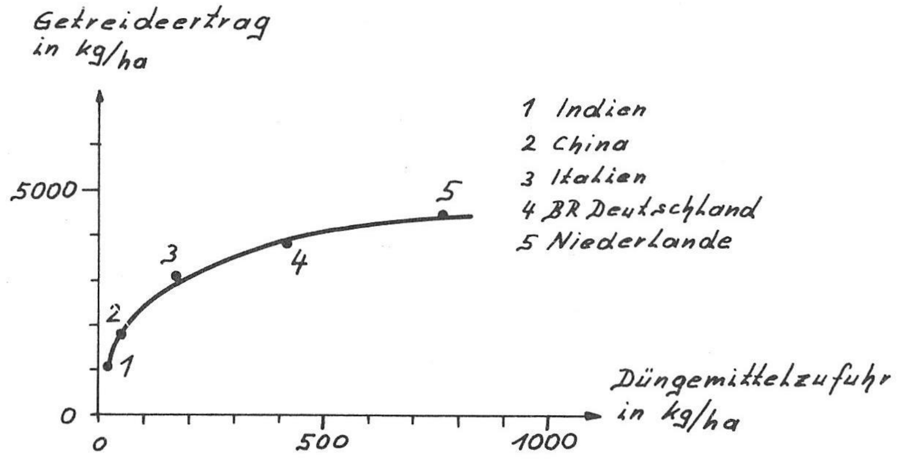
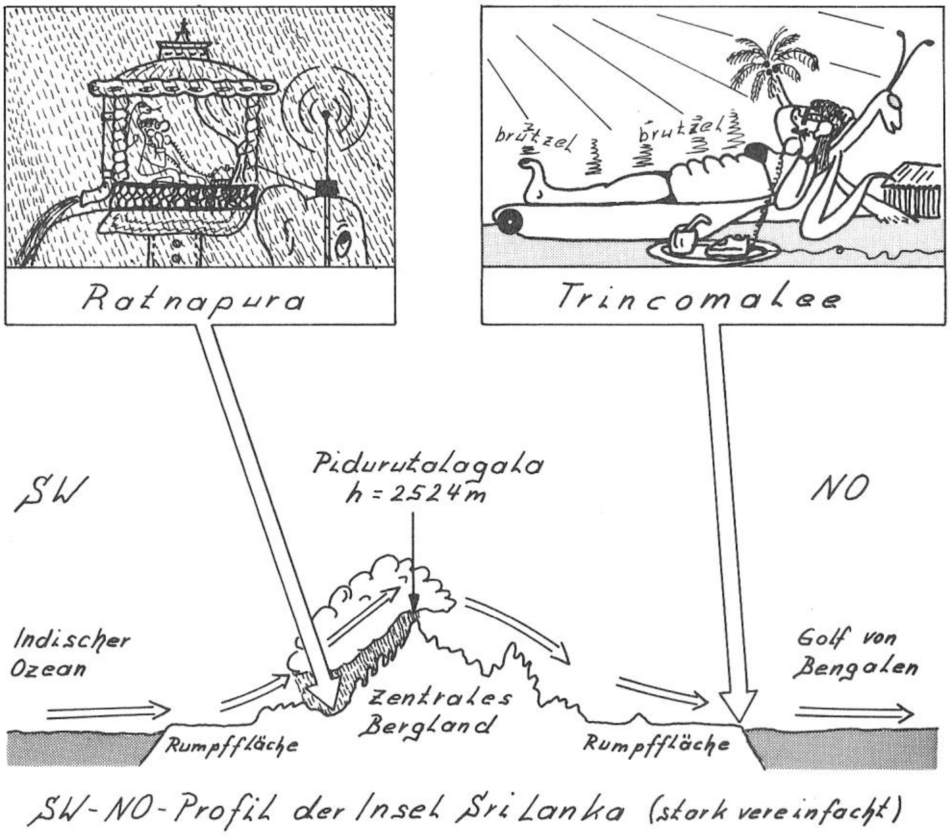


Diagramm 2: Düngemittelzufuhr u. Getreideertrag
(Quelle: DIERCKE-Weltwirtschaftsatlas 1, 1981, S. 103)

LÖSUNG W 40

2.6 Wetterkunde

W 41 Münchhausen im Südwestmonsum



"Hallo, verehrte Baronesse von Gierhals! Hier Münchhausen."

"Hello, Barönchen! Verehrtester, was macht die Edelsteinsuche bei Ratnapura?"

"Ach traurig, traurig, Gnädigste! Mir tun die armen Kerle leid, die da halbnackt in dem tropisch schwülen Klima für mich Saphire und Rubine aus den schlammigen, krankheitsfördernden gem pits* herausholen müssen."

"Aber, Barönchen! ! ! T-t-t-t! Arbeit schändet doch nicht! Bei der heutigen Weltwirtschaftslage muss halt jeder sein Bestes geben. Sie wissen doch: Ohne Fleiß - kein Preis."

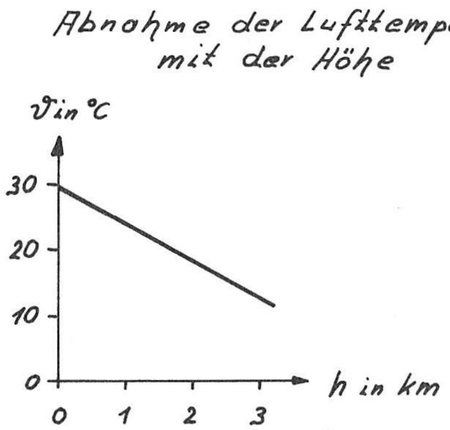
"Ja, ja. Ach, vielleicht bin ich auch nur wegen des schlechten Wetters so deprimiert. Denn hier in Ratnapura regnet es jeden Tag. Und wie! Wolkenbrüche - sage ich ihnen."

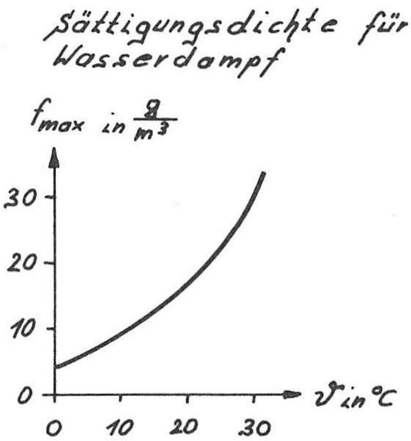
"Aber, Barönchen, dies ist doch nicht die Possibility! Hier in Trincomalee scheint den ganzen Tag die Sonne. Ein brutzeliges Wetterchen, lieber Baron. Vielleicht jeten sie mal vorbei, wenn sie genügend Steinchen gesammelt haben ... ."

Erkläre, warum während der Südwestmonsun-Periode (Mitte Mai - September) auf der Südwestseite des Zentralen Berglandes von Sri Lanka so ausgiebige Niederschläge fallen, während auf der Nordost-seite kaum ein Wölkchen am Himmel ist.

Benutze dazu auch folgende Diagramme.

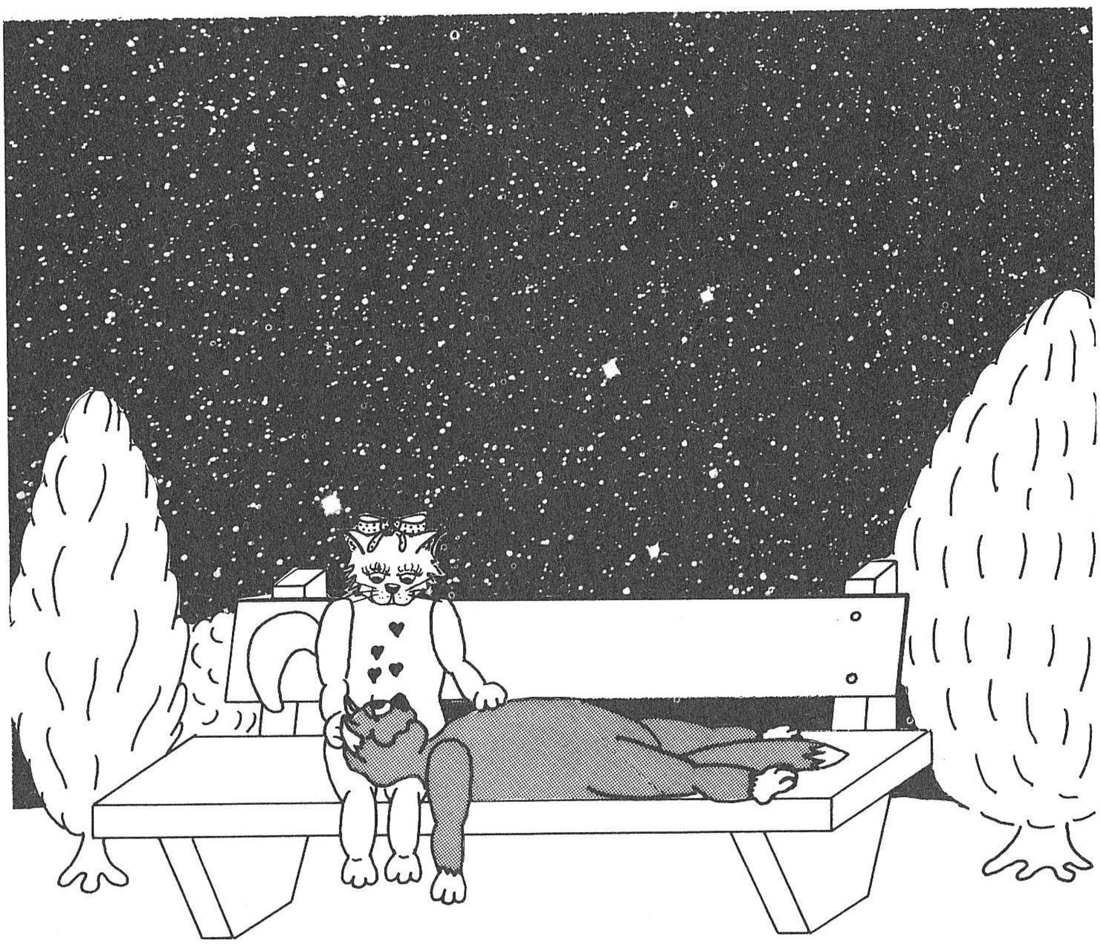
(*gem pits = kleine Edelsteingruben)





LÖSUNG W 41

W 42 Liebe in sterneklarer Nacht



Kater Bussy Pussy hat sich maßlos in unsere schmucke Mieze Irene Muckefuck verliebt. In einer sternenklaren Mainacht liegt er ihr auf einer Parkbank liebestrunken zu Füßen. Kater Bussy Pussy findet Irene nicht nur umwerfend hübsch, sondern ist von ihren hervorragenden physikalischen Kenntnissen wahnsinnig fasziniert. Er stellt Irene tausend Fragen:

a) Warum ist es physikalisch sinnvoll, sich in kühlen sternenklaren Nächten eng aneinander zu kuscheln?

b) Warum wird es in den romantischen sternenklaren Nächten kühler als in den unromantischen wolkenverhangenen Nächten?

c) Warum ist es nach einer romantischen sternenklaren Nacht nicht kurz vor, sondern erst kurz nach Sonnenaufgang am Kühlsten?

d) Auf der Nordhalbkugel sind die sternenklaren Nächte im Winter kälter als im Sommer, obwohl im Winter die Erde näher an der Sonne ist (147 Millionen km statt 152 Millionen km). Dies ist doch ein Widerspruch.

e) Am Meer fällt die Temperatur in sternenklaren Nächten nicht so stark ab wie in sternenklaren Nächten weit im Landesinnern. Warum?

"Ach, Schnuckimaus, dies ist doch alles ganz einfach", schnurrt Irene. "Ja, Schatzilein, du hast ja so recht", flüstert Kater Bussy Pussy und schmilzt vor lauter Liebe dahin.

LÖSUNG W 42

W 43 Wunder Wasser

Knisternde Spannung im "Flotten Hugo"; denn heute veranstaltet der Naturschutzverein "Oh, Heide-höschen" wieder einen Quizabend, bei dem fette Preise zu gewinnen sind. Mit Papier, Bleistift, Limo und Kartoffelchips bewaffnet sitzen die Kneipengäste gespannt an ihren Tischen.

Doch Quizmaster Opa Karl hält erst eine Ansprache: "Liebe Leute, der wertvollste Stoff, den es auf der Erde gibt, ist das Wasser. Ohne Wasser kein Leben! Doch wir Menschen sind leider so kurzsichtig egoistisch und blöde und kippen unseren ganzen giftigen Dreck in die Flüsse und das Meer. Dabei sollten wir Wasser wie ein Heiligtum behandeln; nicht, weil wir selbst zu 60% aus Wasser bestehen, sondern weil Wasser so viele tolle physikalische Eigenschaften hat, dass es durch keinen anderen Soff ersetzt werden kann. Aus diesen Gründen heißt das Thema des heutigen Quizabends: Wasser - ein Wunder.

Und nun die Quizfragen:

1. Die Dichte der Stoffe nimmt mit sinkender Temperatur zu. Wasser verhält sich da nicht ganz normal, und diesem glücklichen Umstand, dass Wasser hier aus der Reihe tanzt, verdanken wir es, dass es in unseren Breiten überhaupt Leben in den Seen gibt. Warum ist es für Pflanzen und Tiere in einem See von Vorteil, dass Wasser bei 4 °C seine größte Dichte hat?

2. Was wird sich auf der Erde verändern, wenn die spezifische Verdampfungswärme des Wassers nicht r = 2257 J/g betragen würde, sondern in der Größenordnung der anderen Haupt-mischungskomponenten der Luft, Stickstoff (r = 197 J/g) und Sauerstoff (r = 214 J/g) läge?

3. Schnee hat eine spezifische Schmelzwärme von s = 335 J/g. Wie ändert sich der Frühlingsablauf in unseren Breiten, wenn die spezifische Schmelzwärme s = 3350 J/g bzw. 33,5 J/g betragen würde?

4. Der Anomalie des Wassers verdanken wir es, dass tolle Schneeballschlachten möglich sind, dass Schlittschuhlaufen so viel Spaß macht und auch, dass dicke Gletscher talwärts wandern.

   a) Wie funktioniert das Schlittschuhlaufen?

b) Warum wandern Gletscher talwärts?

c) Wieso hält ein Schneeball zusammen?

5. Normalerweise müssten Teile Europas ähnlich wie Sibirien mit Dauerfrostboden (= Boden, der ganzjährig gefroren ist und im Sommer nur an der Oberfläche auftaut) bedeckt sein. Dies ist aber aus drei Gründen nicht der Fall:

a) Weil der ……………………………… warmes Wasser nach Europa transportiert.

b) Weil Europa als Halbinsel von Wasser umgeben ist und Wasser eine ungewöhnlich hohe spezifische ………………………………… besitzt, weshalb es ein ausgezeichneter Speicher für die Wärme des Sommers ist.

c) Weil Europa in der Westwindzone liegt und Wasser eine hohe spezifische ………………… ………………………. besitzt, die bei der Niederschlagsbildung an die Umgebung abgegeben wird.

Welche drei Worte müssen bei a) - c) eingesetzt werden?

6. Auch für die organischen Zellen spielt Wasser eine sehr wichtige Rolle. Wasser ist an zahlreichen Stoffwechselreaktionen beteiligt. Bei der Photosynthese wir durch die Zerlegung von Wasser Sauerstoff erzeugt. Wasser dient als hervorragendes Transport- und Lösungsmittel (auch wichtig für den osmotischen Druck). Wasser ist infolge seiner großen Oberflächenspannung für die Bildung von Lipoid-* und Eiweißschichten in den Zellmembranen wichtig. Außerdem verhindert Wasser infolge seiner hohen spez. ………………………………….. und seiner hohen spez. …………………………………… , dass die bei den chemischen Reaktionen innerhalb der Zellen freiwerdende Wärmeenergie zu einer zellschädigenden Temperaturerhöhung führt.

Welche zwei Worte müssen hier eingesetzt werden?

*Lipoid = fettähnliche Substanz

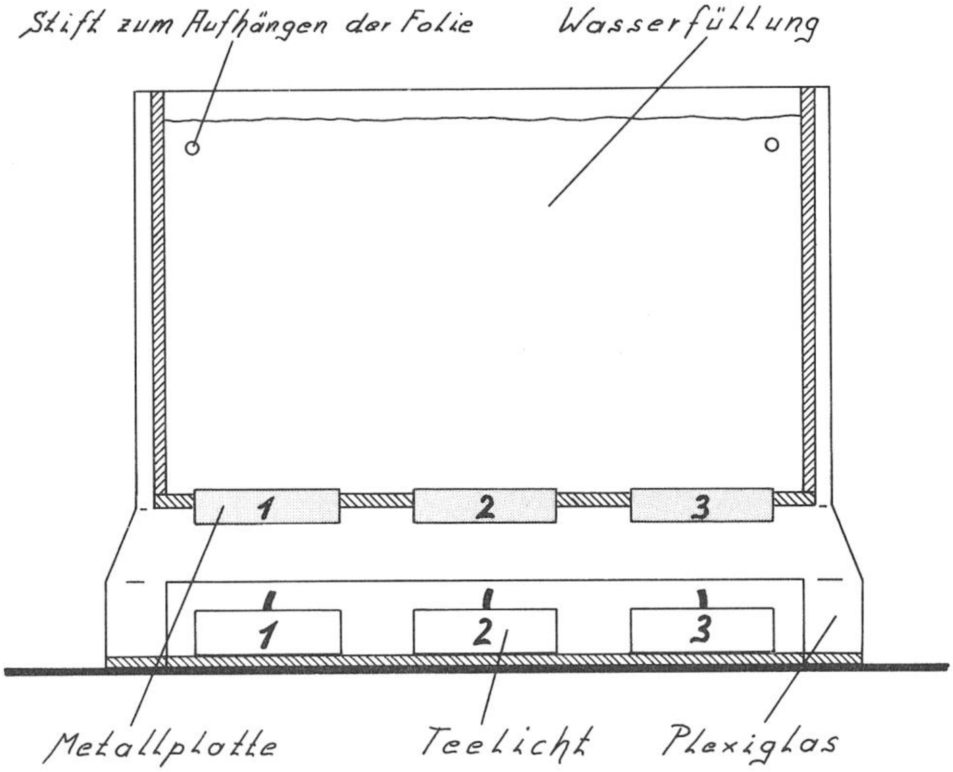
LÖSUNG W 43

W 44 Modell d la Karl Krawuttke

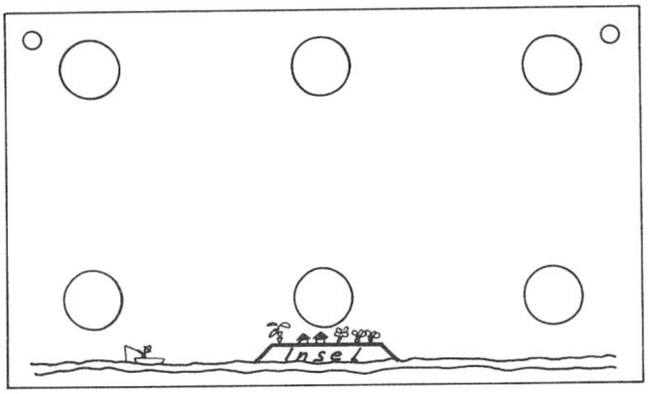
Damit die toten Hosen vom Gymnasium von Bad Einstein endlich erkennen, wie hilfreich physikalisches Wissen für das Verständnis der Umwelt sein kann, hat Opa Karl Krawuttke sein selbstgebautes Plexiglasmodell (siehe Skizze) dem Gymnasium von Bad Einstein geschenkt.
Mit Hilfe einer Experimentierleuchte oder eines Diaprojektors kann mit ihm die Entstehung von thermischen Hochdruckgebieten H und Tiefdruckgebieten T durch Schlierenprojektion* gezeigt werden.

a) Erkläre, wie mittels des Krawuttkeschen Modells das Land-Seewind-System (Folie 1 des Modells) für Tag und Nacht demonstriert werden kann.

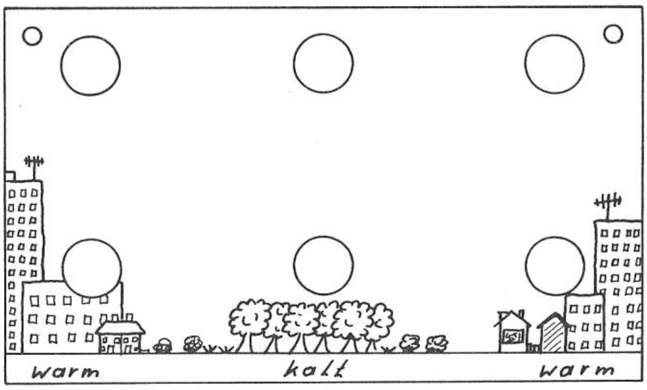
Tipp: Tagsüber wird bei starker Sonneneinstrahlung das Land stärker erwärmt als das Meer, was eine vom Meer zum Land gerichtete Luftströmung, den Seewind, zur Folge hat. Nachts kehren sich die Verhältnisse um.



Folie 1



Folie 2



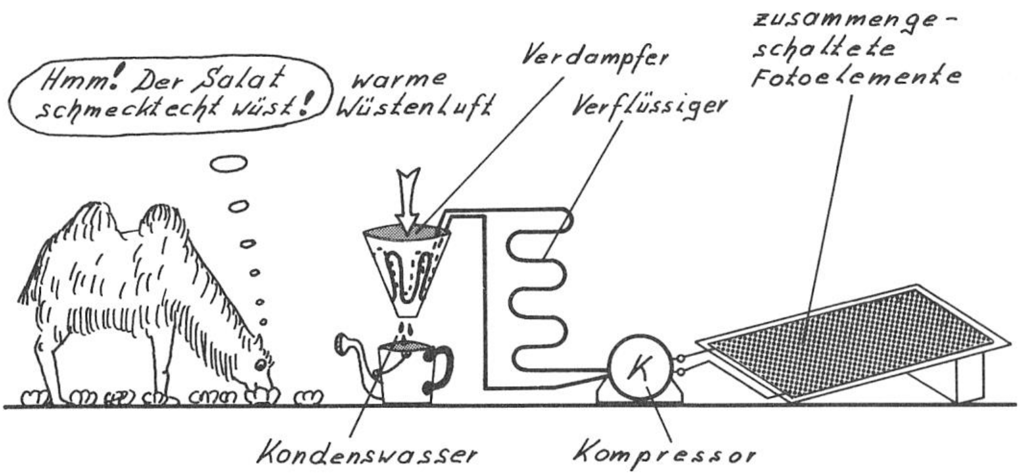
b) Mittels des Krawuttkeschen Modells kann anhand von Folie 2 demonstriert werden, wie baumbestandene Grünflächen das Klima in einer Stadt positiv beeinflussen, da sie z.B. an heißen Sommertagen wesentlich kühler sind als die sie umgebende Beton- und Asphaltwüste. Schon ein einziger Baum, z.B. eine große Birke, verdunstet an einem heißen Sommertag bis zu 400 Liter Wasser. Berechne die Wärmemenge, die die Birke der Umgebung entzieht. Die spezifische Verdampfungswärme von Wasser beträgt r = 2430 kJ/kg (bei 30 °C). Damit Du dir die berechnete Wärmemenge anschaulich vorstellen kannst, suche einen Vergleich. Z.B., wieviel kg Steinkohle (H = 31 MJ/kg) muss man verbrennen, um die gleiche Wärmemenge zu erhalten, die die obige Birke der Stadtluft entzieht?

c) Zeichne Folie 2 ab und trage die Druckgebiete (H , T) und Luftströmungen für einen heißen Sommertag ein.

*Schlierenprojektion: Änderungen der optischen Dichte innerhalb eines durchsichtigen Mediums (Luft, Wasser, ...) kann man sichtbar machen, indem man das Medium mit gebündeltem Licht durchstrahlt. Auf der Leinwand zeigen sich dann entsprechend den Dichteunterschieden Hell- und Dunkeltöne. Probiere es selbst einmal aus: Stelle eine brennende Kerze vor ein weißes Blatt Papier und strahle sie im verdunkelten Raum mit einer Taschenlampe an.

LÖSUNG W 44

W 45 Es lebe die Wüste

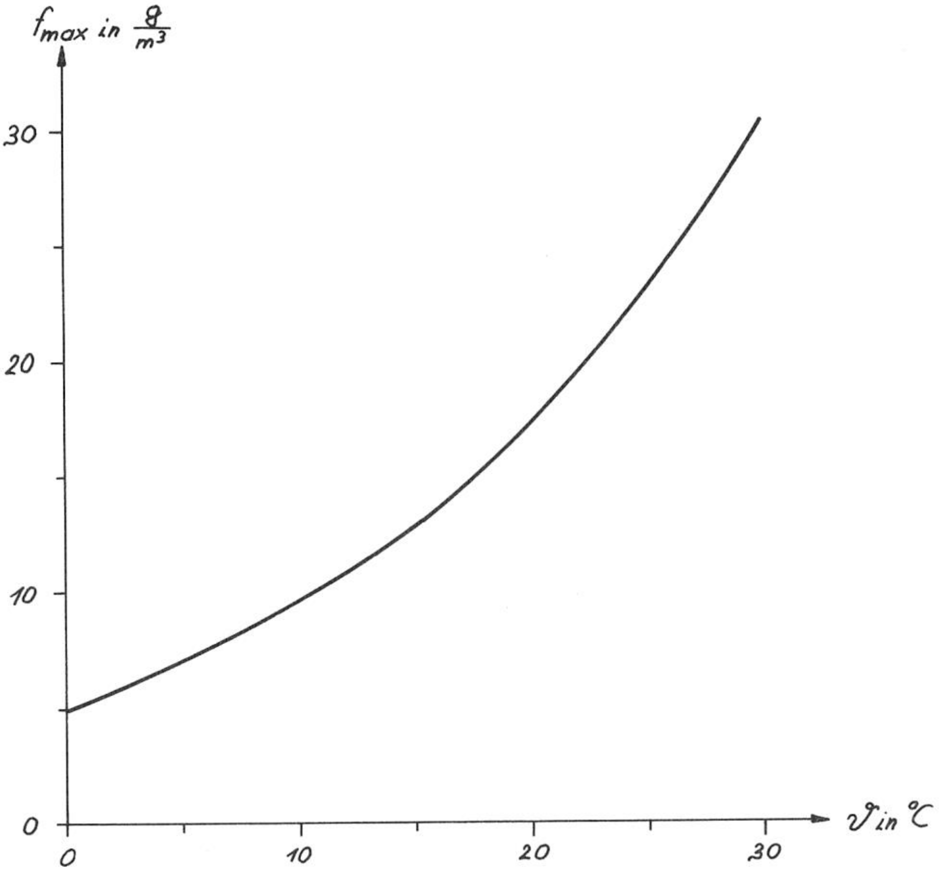


Überglücklich stürmt Opa Karl Krawuttke an diesem feuchtwarmen Sommertag in die Kneipe zum "Flotten Hugo"; denn soeben hat er sein "Süßwassergewinnungsgerät für Wüstenbewohner" zum Patent angemeldet. Zitternd vor freudiger Aufregung holt er sich bei Hugo an der Theke ein kühles Glas Bier, stellt es mitten auf den Tisch und sagt zu seinen Freunden: "Nun schaut euch das mal an!" Alle gucken wie gebannt auf das kühle Glas Bier. "Da! Da!", schreit Opa Karl. "Seht ihr, wie sich außen am Glas Wassertropfen bilden?! Wo kommt das Wasser her? Na??? Aus der Luft natürlich, ihr Deppen! Woher auch sonst?!

Und das ist meine geniale Idee: Mit Hilfe von Wärmepumpen kühle ich große Metallflächen ab und hole so Trinkwasser direkt aus der Wüstenluft heraus. Damit kann man die ganzen Trockengebiete der Erde bewässern; denn Energieprobleme gibt es nicht, da hier immer die Sonne scheint und man

so die Wärmepumpen über Fotoelemente betreiben kann.
Zudem ist dieses Verfahren sehr umweltfreundlich und selbst die bei künstlicher Bewässerung mit Flusswasser auftretende Gefahr der Bodenversalzung besteht bei meiner Erfindung nicht. Also, es ist nur noch eine Frage der Zeit, bis der Hunger in der Welt beseitigt ist."

Opa Karls Freunde sind vor Begeisterung ganz aus dem Häuschen. Sie klatschen stürmisch Beifall und lassen Opa Karl mit Bravo-Rufen hochleben.



Sättigungsdichte für Wasserdampf

Stell dir vor, Du bist ein reicher und physikalisch begabter Ölscheich, der mit dem Gedanken spielt, seine Privatwüste mittels der Erfindung von Opa Karl zu bewässern. Bevor Du Dich entscheidest, ob Du Deine Öl-Dollars in diese noch unerprobte Erfindung investieren willst, rechne Dir die ganze Sache doch lieber schnell mal durch:

a) Die relative Luftfeuchte in Deiner Privatwüste beträgt 30%*. Die Temperatur während der Tageszeit beträgt im Mittel 30 °C. Wieviel m^3 Wüstenluft muss die Wärmepumpe von 30 °C auf 1 °C abkühlen um 1 kg (≙ 1 Liter) Wasser zu gewinnen? Die Volumenreduzierung der Luft beim Abkühlen vernachlässigen wir.

   *In den subtropischen Binnenwüsten (z.B. Sahara) liegt die relative Feuchte sogar unter 10%.

b) Um der Wüstenluft eine Wärmemenge von 4 J zu entziehen, muss 1 J elektrische Energie der Wärmepumpe zugeführt werden. Berechne die elektrische Leistung, die einer solchen Wärmepumpe von Fotoelementen zugeführt werden muss, wenn der Wüstenluft in 1 Minute 1 kg Wasser entzogen werden soll.

- spez. Wärmekapazität der Luft $c = 1{,}005\ kJ/(kg \cdot K)$
- Dichte der Luft $\varrho = 1{,}293\ g/dm^3$
- bezgl. Temperatur u. Luftvolumen siehe a)
- Wärmemenge, die bei der Kondensation von 1kg Wasserdampf frei wird (bei $\vartheta = 15\ ^\circ C$) $Q_r = 2485\ kJ$

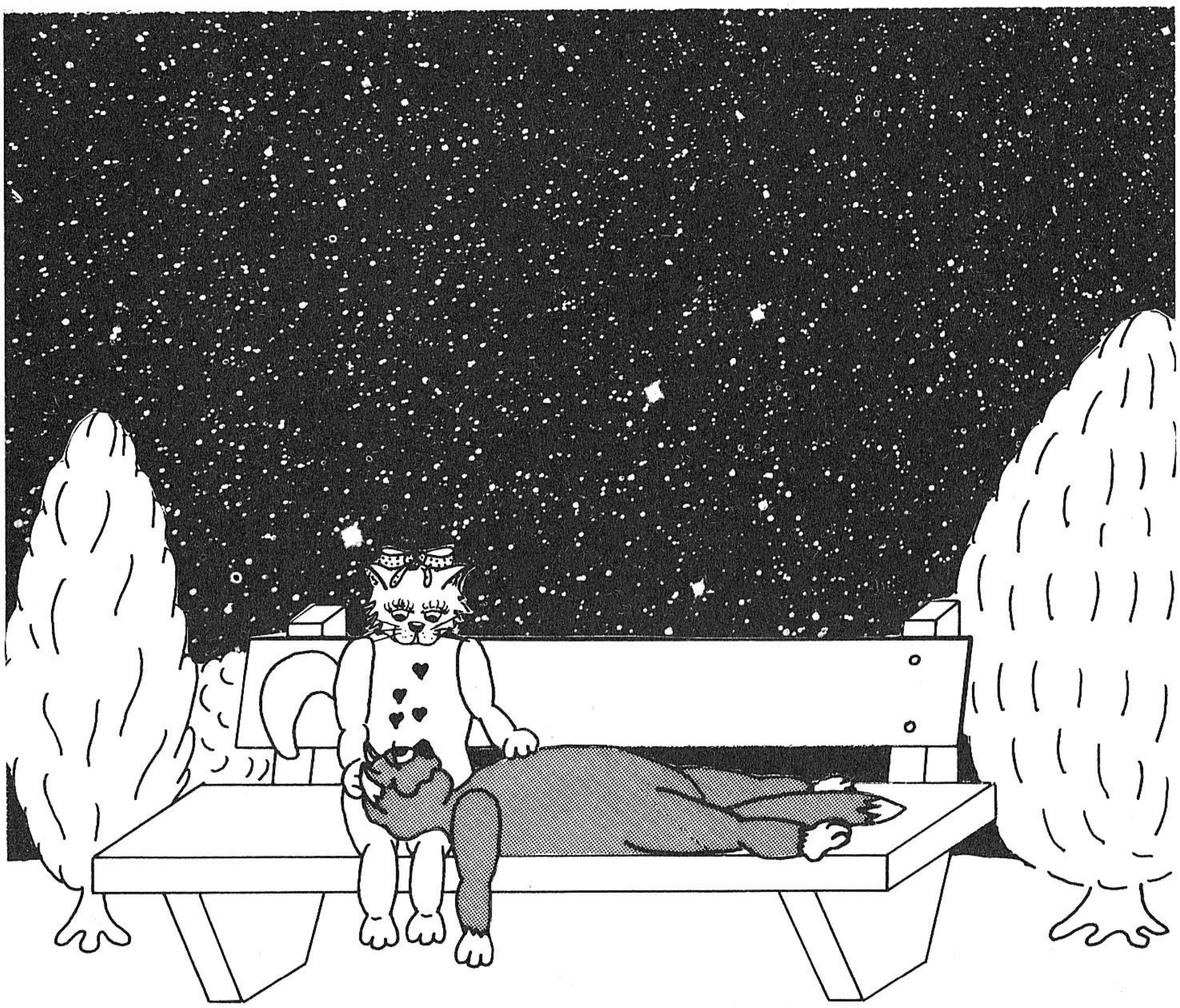
c) Die verwendeten Fotoelemente besitzen einen Wirkungsgrad von $\eta = 11\%$. Wie groß ist die Fläche*, die mit Fotoelementen bedeckt werden muss, um die bei b) berechnete elektrische Leistung zu erzeugen? Die von der Sonne im Mittel pro m^2 und Minute zugeführte Strahlungsenergie beträgt 30 kJ.

*Längenmaße kommen unserem Vorstellungsvermögen mehr entgegen als Flächenmaße. Deshalb nimm an, die Fläche sei ein Quadrat und berechne die Seitenlänge x dieses Quadrates.

d) Berechne den Preis für 1 Liter Wasser, wenn die Anlage 10 Jahre (1 Jahr = 365 Tage) lang täglich 12 Stunden in Betrieb ist. Der Anschaffungspreis der Anlage beträgt 250.000 DM und die Wartungskosten betragen 5.000 DM pro Jahr.

LÖSUNG W 45

Lösungen zur Wärmelehre



W 1 Lösung

Geg.: α = 0.000017 1/°C, ϑ_1 = 25 °C, ϑ_2 = 11 °C, l_1 = 500 m

Ges.: Δl

Vor.: Da $\Delta l = l_1 - l_2$ ist und l_1 schon gegeben ist, brauchen wir nur noch l_2 mittels der Näherungsformel berechnen.

Lsg.: $l_2 = (1 + \alpha \cdot \Delta \vartheta)$

$l_2 = 500\ \text{m} \cdot (1 + 0.000017\ 1/^\circ\text{C} \cdot (-\ 14\ ^\circ\text{C}))$

$\underline{l_2 = 499{,}88\ \text{m}}$

NR: $\Delta \vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1$

$\Delta \vartheta = 11\ ^\circ\text{C} - 25\ ^\circ\text{C}$

$\Delta \vartheta = -14\ ^\circ\text{C}$

$\Delta l = l_1 - l_2$

$\Delta l = 500\ \text{m} - 499{,}88\ \text{m}$

$\underline{\underline{\Delta l = 0{,}12\ \text{m} = 12\ \text{cm}}}$

Erg.: Die geniale Radieschenerntemaschine Typ A von Opa Karl hebt das Radieschen 12 cm hoch.

Zurück zur Aufgabe W 1

W 2 Lösung

Geg.: l_0 = 15 cm, α = 0,000013 1/°C, Δl = 0,415 mm

Ges.: ϑ

Vor.: Mit der Gleichung $l_\vartheta = l_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \vartheta)$ können wir ϑ berechnen, wenn wir mit $\Delta l = l_\vartheta - l_0$ die Größe l_ϑ ersetzen.

Lsg.: $\Delta l = l_\vartheta - l_0$

$\Rightarrow l_\vartheta = \Delta l + l_0 \quad (1)$

$l_\vartheta = l_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \vartheta) \quad (2)$

(1) u. (2) $\Rightarrow \Delta l + l_0 = l_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \vartheta) \quad |:l_0$

$\Rightarrow \Delta l / l_0 + 1 = 1 + \alpha \cdot \vartheta \quad | -1$

$\Rightarrow \Delta l / l_0 = \alpha \cdot \vartheta$

$$\Rightarrow \vartheta = \frac{\Delta l}{l_0 \cdot \alpha} = \frac{0{,}415\ \text{mm}}{150\ \text{mm} \cdot 0{,}000013\ 1/^\circ\text{C}} = \underline{\underline{212{,}8\ ^\circ\text{C}}}$$

Erg.: Um mit "Wumm!" die Radieschen zu ernten, muss Irene den Eisenstab auf ϑ = 212,8 ˚C erwärmen.

Zurück zur Aufgabe W 2

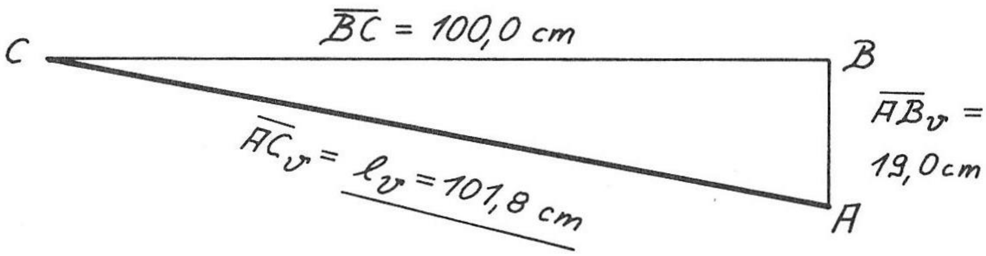
W 3 Lösung

Geg.: l_0 = 100,2 cm, $\overline{BC}$ = 100,0 cm, $\overline{AB}_\vartheta$ = 19,0 cm, α = 0,000028 1/°C

Ges.: ϑ

Vor.: Mittels der Gleichung $l_\vartheta = l_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \vartheta)$ können wir ϑ berechnen, nachdem wir l_ϑ bestimmt haben. l_ϑ ermitteln wir zeichnerisch oder, wenn wir den Satz des Pythagoras kennen, rechnerisch.

Lsg.: a) Zeichnerische Bestimmung von l_ϑ



b) Rechnerische Bestimmung von l_ϑ

$$l_\vartheta^2 = \overline{BC}^2 + \overline{AB}^2$$

$$\Rightarrow l_\vartheta = \sqrt{\overline{BC}^2 + \overline{AB}^2}$$

$$l_\vartheta = \sqrt{(100{,}0\ \text{cm})^2 + (19{,}0\ \text{cm})^2}$$

$$\underline{l_\vartheta = 101{,}79\ \text{cm}}$$

Wir rechnen weiter mit l_ϑ = 101,8 cm.

$$l_\vartheta = l_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \vartheta)$$

$$l_\vartheta = l_0 + l_0 \cdot \alpha \cdot \vartheta$$

$$\Rightarrow l_\vartheta - l_0 = l_0 \cdot \alpha \cdot \vartheta$$

$$\Rightarrow \vartheta = \frac{l_\vartheta - l_0}{l_0 \cdot \alpha}$$

$$\vartheta = \frac{101{,}8\ \text{cm} - 100{,}2\ \text{cm}}{100{,}2\ \text{cm} \cdot 0.000028\ 1/^\circ\text{C}}$$

$$\underline{\underline{\vartheta = 570{,}3\ ^\circ\text{C}}}$$

Erg.: Der Aluminiumdraht wird auf eine Temperatur von 570,3 °C erwärmt.

Zurück zur Aufgabe W 3

W 4 Lösung

Geg.: α_I = 0,000002 1/°C, α_M = 0,000018 1/°C, $l_{0,1}$ = 99 cm,

Ges.: $l_{0,M}$

Vor.: Oh! Oh! Diese Aufgabe ist nicht einfach. Wir brauchen zuerst eine zündende Idee, da ja kaum Größen gegeben sind.

Dem Text und der Skizze entnehmen wir, dass der Schwerpunkt S bei jeder Temperatur den gleichen Abstand x vom Drehpunkt D haben soll. Also: $l_{0,I} - l_{0,M} = x$ und $l_{\vartheta,I} - l_{\vartheta,M} = x$. Setzen wir die beiden Gleichungen gleich und beseitigen $l_{\vartheta,I}$ und $l_{\vartheta,M}$ mit der Gleichung $l_\vartheta = l_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \vartheta)$, so enthält die aufgestellte Gleichung nur noch die gesuchte Größe l_{0M} und ϑ als Unbekannte. ϑ lässt sich vielleicht herauskürzen. Probieren wir es doch einmal.

Lsg.: $x = l_{o,I} - l_{o,M}$ (1) $\quad l_{\vartheta,I} = l_{o,I} \cdot (1 + \alpha_I \cdot \vartheta)$ (3)

$x = l_{\vartheta,I} - l_{\vartheta,M}$ (2) $\quad l_{\vartheta,M} = l_{o,M} \cdot (1 + \alpha_M \cdot \vartheta)$ (4)

(1) u. (2) $\Rightarrow l_{o,I} - l_{o,M} = l_{\vartheta,I} - l_{\vartheta,M}$

mit (3) u. (4) $\Rightarrow l_{o,I} - l_{o,M} = l_{o,I} \cdot (1 + \alpha_I \vartheta) - l_{o,M} \cdot (1 + \alpha_M \vartheta)$

$$\Rightarrow l_{o,I} - l_{o,M} = l_{o,I} + l_{o,I} \alpha_I \vartheta - l_{o,M} - l_{o,M} \alpha_M \vartheta \quad \Big| -l_{o,I}, + l_{o,M}$$

$$o = l_{o,I} \alpha_I \vartheta - l_{o,M} \alpha_M \vartheta \quad \Big| : \vartheta$$

$$o = l_{o,I} \alpha_I - l_{o,M} \alpha_M$$

$$\Rightarrow l_{o,M} \alpha_M = l_{o,I} \alpha_I$$

$$\Rightarrow l_{o,M} = \frac{l_{o,I} \alpha_I}{\alpha_M}$$

$$l_{o,M} = \frac{99 \text{ cm} \cdot 0{,}000002 \text{ 1/°C}}{0{,}000018 \text{ 1/°C}}$$

$$\underline{\underline{l_{o,M} = 11{,}0 \text{ cm}}}$$

Erg.: Das Messingrohr muss bei ϑ = 0 °C genau 11,0 cm lang sein.

Zurück zur Aufgabe W 4

W 5 Lösung

Geg.: V = 4,0 cm^3, ϑ= 72 °C, γ = 0,00110 1/°C

Ges.: V_0

Vor.: Simpel! Simpel! Einfach $V_\vartheta = V_0 \cdot (1 + \gamma \cdot \vartheta)$ nach V_0 umstellen und ausrechnen.

Lsg.: $V_\vartheta = V_0 \cdot (1 + \gamma \cdot \vartheta)$

$$\Rightarrow V_0 = \frac{V_\vartheta}{1 + \gamma \cdot \vartheta}$$

$$V_0 = \frac{4{,}0\ \text{cm}^3}{1 + 0{,}00110\ 1/^\circ\text{C} \cdot 72\ ^\circ\text{C}}$$

$$\underline{\underline{V_0 = 3{,}71\ \text{cm}^3}}$$

Erg.: Eine Sprengkapsel darf höchstens 3,71 cm^3 Sprengflüssigkeit enthalten.

Zurück zur Aufgabe W 5

W 6 Lösung

Geg.: V_2 = 10.000 l, ΔV = 208 l, γ = 0,00110 1/°C, ϑ_1 = 10 °C

Ges.: ϑ_2

Vor.: Nachdem wir mit $\Delta V = V_2 - V_1$ die Größe V_1 berechnet haben, können wir mit der Näherungsformel $\Delta\vartheta$ berechnen. Mit $\Delta\vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1$ folgt dann die gesuchte Größe ϑ_2.

Wenn wir die exakte Gleichung $V_\vartheta = V_0 \cdot (1 + \gamma \cdot \vartheta)$ verwenden, müssen wir zuerst V_0 (bei ϑ = 0 °C) berechnen. Nun können wir $\vartheta = \vartheta_2$ bestimmen.

Bezeichnen wir den Temperaturwert, den wir mit der Näherungsformel berechnet haben, mit $\vartheta_{2,N}$ und den Temperaturwert, der mit der exakten Formel bestimmt wurde, mit $\vartheta_{2,E}$, so gilt:

absoluter Fehler = $\Delta\vartheta_{E,N} = \vartheta_E - \vartheta_N$

relativer Fehler = $\left|\frac{\Delta\vartheta_{E,N}}{\vartheta_E}\right|$

relativer Fehler in Prozent = $\left|\frac{\Delta\vartheta_{E,N}}{\vartheta_E}\right| \cdot 100\%$

<u>Lösung mit Näherungsformel</u>

$$V_2 = V_1 \cdot (1 + \gamma \cdot \Delta\vartheta)$$

$$\Rightarrow V_2 = V_1 + V_1 \cdot \gamma \cdot \Delta\vartheta$$

$$\Rightarrow V_2 - V_1 = V_1 \cdot \gamma \cdot \Delta\vartheta$$

$$\Rightarrow \Delta\vartheta = \Delta V / (V_1 \cdot \gamma)$$

$$\Delta\vartheta = \frac{208\ \text{l}}{9.792\ \text{l} \cdot 0{,}00110\ 1/^\circ\text{C}}$$

$$\underline{\Delta\vartheta = 19{,}31\ ^\circ\text{C}}$$

NR: $\Delta V = V_2 - V_1$

$$\Rightarrow V_1 = V_2 - \Delta V$$

$$V_1 = 10.000\ \text{l} - 208\ \text{l}$$

$$\underline{V_1 = 9.792\ \text{l}}$$

$$\Delta\vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1$$

$$\Rightarrow \quad \vartheta_2 = \Delta\vartheta + \vartheta_1$$

$$\vartheta_2 = 19{,}31\ ^{\circ}\mathrm{C} + 10\ ^{\circ}\mathrm{C}$$

$$\underline{\underline{\vartheta_2 = 29{,}31\ ^{\circ}\mathrm{C}}}$$

Erg.: Der Alkohol hatte - berechnet mit der Näherungsformel - vor dem Einfüllen eine Temperatur von ϑ_2 = 29,31 °C.

<u>Lösung mit, der exakten Formel für die Volumenänderung</u>

$$V_\vartheta = V_o \cdot (1 + \gamma \cdot \vartheta)$$

$\Rightarrow \quad V_o = V_\vartheta / (1 + \gamma \cdot \vartheta)$ Für $\vartheta = \vartheta_1 = 10\ ^{\circ}\mathrm{C}$ ist $V_\vartheta = V_1 = 9.792\ \mathrm{l}$ (s. oben)

$$V_o = V_1 / (1 + \gamma \cdot \vartheta_1)$$

$$V_o = \frac{9.792\ \mathrm{l}}{1 + 0{,}00110\ 1/^{\circ}\mathrm{C} \cdot 10\ ^{\circ}\mathrm{C}}$$

$$\underline{V_o = 9.685{,}46\ \mathrm{l}}$$

$$V_\vartheta = V_o \cdot (1 + \gamma \cdot \vartheta)$$

$$\Rightarrow \quad V_\vartheta = V_o + V_o \cdot \gamma \cdot \vartheta$$

$$\Rightarrow \quad V_\vartheta - V_o = V_o \cdot \gamma \cdot \vartheta$$

$$\Rightarrow \quad \vartheta = \frac{V_\vartheta - V_o}{V_o \cdot \gamma} \qquad V_\vartheta = V_2,\ \vartheta = \vartheta_2$$

$$\Rightarrow \quad \vartheta_2 = \frac{V_2 - V_o}{V_o \cdot \gamma}$$

$$\vartheta_2 = \frac{10.000\ \mathrm{l} - 9.685{,}46\ \mathrm{l}}{9.685{,}46\ \mathrm{l} \cdot 0{,}00110\ 1/^{\circ}\mathrm{C}}$$

$$\underline{\underline{\vartheta_2 = 29{,}52\ ^{\circ}\mathrm{C}}}$$

Erg.: Die Rechnung mit der exakten Formel ergibt, dass der Alkohol vor dem Einfüllen eine Temperatur von ϑ_2 = 29,52 °C hatte.

Fehlerrechnung

$\vartheta_{2,N}$ = Temperaturwert, der mit der Näherungsformel berechnet wurde.

$\vartheta_{2,E}$ = Temperaturwert, der mit der exakten Formel berechnet wurde.

$$\text{absoluter Fehler} = \Delta\vartheta_{E,N} = \vartheta_E - \vartheta_N = 29{,}52\ ^\circ C - 29{,}31\ ^\circ C = \underline{\underline{0{,}21\ ^\circ C}}$$

$$\text{relativer Fehler} = \left|\frac{\Delta\vartheta_{E,N}}{\vartheta_E}\right| = \frac{0{,}21\ ^\circ C}{29{,}52\ ^\circ C} = \underline{\underline{0{,}007}}$$

$$\text{relativer Fehler in Prozent} = \left|\frac{\Delta\vartheta_{E,N}}{\vartheta_E}\right| \cdot 100\% = \frac{0{,}21\ ^\circ C}{29{,}52\ ^\circ C} \cdot 100\% = \underline{\underline{0{,}7\%}}$$

Erg.: Der Fehler, der bei der Verwendung der Näherungsformel entsteht, ist sehr gering. Er beträgt nur 0,21 °C oder 0,7%.

Zurück zur Aufgabe W 6

W 7 Lösung

Geg.: γ_K = 0,00018 1/°C, $V_{2,K}$ = 285 ml, ϑ_2 = 80 °C, ϑ_1 = 20 °C, $V_{1,D}$ = 2,89 ml

Ges.: γ_T
(K = Kaffee, D = Dosenmilch, T = Tasse)

Vor.: Mit der Näherungsformel $V_{2,T} = V_{1,T} \cdot (1 + \gamma_T \cdot \Delta\vartheta)$ können wir γ_T berechnen, sobald wir $V_{2,T}$ und $V_{1,T}$ kennen, da $\Delta\vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1$ gegeben ist.

Laut Aufgabenstellung ist $V_{2,T} = V_{2,K}$ und $V_{1,T} = V_D + V_{1,K}$. $V_{2,K}$ ist gegeben, und $V_{1,T}$ können wir berechnen, nachdem wir $V_{1,K}$ mit der Näherungsformel bestimmt haben. Also los!

Lsg.: $V_{2,K} = V_{1,K} \cdot (1 + \gamma_K \cdot \Delta\vartheta)$

$$\Rightarrow V_{1,K} = \frac{V_{2,K}}{1 + \gamma_K \cdot \Delta\vartheta}$$

$$V_{1,K} = \frac{285\ ml}{1 + 0{,}00018\ 1/^\circ C \cdot 60\ ^\circ C}$$

$$\underline{V_{1,K} = 281{,}95\ ml}$$

$$V_{1,T} = V_D + V_{1,K}$$

$$V_{1,T} = 2{,}89\ ml + 281{,}95\ ml$$

$$\underline{V_{1,T} = 284{,}84\ ml}$$

$$\underline{V_{2,K} = V_{2,T} = 285\ \text{ml}}$$

$$V_{2,T} = V_{1,T} \cdot (1 + \gamma_T \cdot \Delta\vartheta)$$

$$V_{2,T} = V_{1,T} + V_{1,T} \cdot \gamma_T \cdot \Delta\vartheta$$

$$V_{2,T} - V_{1,T} = V_{1,T} \cdot \gamma_T \cdot \Delta\vartheta$$

$$\gamma_T = \frac{V_{2,T} - V_{1,T}}{V_{1,T} \cdot \Delta\vartheta}$$

$$\gamma_T = \frac{285\ \text{ml} - 284{,}84\ \text{ml}}{284{,}84\ \text{ml} \cdot 60\ ^\circ\text{C}} = \underline{\underline{0{,}000009\ 1/^\circ\text{C}}}$$

Erg.: Der Volumenausdehnungskoeffizient der Tasse beträgt 0,000009 $1/^0$C. Die Tasse ist also aus Porzellan, wie der Blick in eine Tabelle zeigt.

Zurück zur Aufgabe W 7

W 8 Lösung

Münchhausen spinnt nicht! Einfach den Fidibus anzünden, brennend in die Flasche werfen. Warten, bis sich die Luft in der Flasche schön erwärmt hat. Nun das Ei dicht aufsetzen und ein bisschen warten. Die Luft in der Flasche kühlt sich ab, der Innendruck sinkt und - Schluck! - drückt die Außenluft das Ei in die Flasche.

Na klar! Dies musst du einfach ausprobieren!

Zurück zur Aufgabe W 8

W 9 Lösung

Geg.: $V_o = 10\ \text{m}^3$, $\Delta V = 100\ \text{l}$, $\vartheta_1 = 0\ ^\circ\text{C}$, $\vartheta_2 = 6\ ^\circ\text{C}$

Ges.: a) ϑ

b) V_ϑ

c) Verbesserungsvorschlag

d) Begründung für die Gießkannenkonstruktion

a)

Vor.: Zuerst bestimmen wir V_ϑ mit $V_\vartheta = V_0 + \Delta V$. Nun lässt sich die gesuchte Größe ϑ mit dem Gay-Lussacschen Gesetz berechnen.

Lsg.: $V_\vartheta = V_0 + \Delta V$

$V_\vartheta = 10\ m^3 + 0{,}1\ m^3$ NR: $100\ l = 100\ dm^3 = 0{,}1\ m^3$

$\underline{V_\vartheta = 10{,}1\ m^3}$

$$V_\vartheta = V_0 \cdot (1 + \vartheta/273\ ^\circ C)$$

$$V_\vartheta = V_0 + \frac{V_0 \cdot \vartheta}{273\ ^\circ C}$$

$$\Rightarrow V_\vartheta - V_0 = \frac{V_0 \cdot \vartheta}{273\ ^\circ C}$$

$$\Rightarrow \vartheta = \frac{(V - V_0) \cdot 273\ ^\circ C}{V_0}$$

$$\vartheta = \frac{(10{,}1\ m^3 - 10\ m^3) \cdot 273\ ^\circ C}{10\ m^3}$$

$$\underline{\underline{\vartheta = 2{,}73\ ^\circ C}}$$

Erg.: Das Opferfeuer muss die eingeschlossene Luft von 0 °C auf 2,73 °C erwärmen.

b)

Vor.: Sehr einfach! Wir benutzen wieder das Gay-Lussacsche Gesetz. Diesmal brauchen wir es noch nicht einmal umzustellen.

Lsg.: $V_\vartheta = V_0 \cdot (1 + \vartheta/273\ ^\circ C)$

$V_\vartheta = 10\ m^3 \cdot (1 + 6\ ^\circ C/273\ ^\circ C)$

$\underline{\underline{V_\vartheta = 10{,}22\ m^3}}$

Erg.: Die eingeschlossene, auf 6 °C erwärmte Luft nimmt ein Volumen von 10,22 m^3 ein.

c) Eligius muss eine kleine Öffnung in die Kammer 2 des Opferaltars bohren, damit zwischen innerer und äußerer Luft bei Temperaturschwankungen ein Druckausgleich erfolgen kann. Wenn ein Opferfeuer entzündet wird, muss er diese Öffnung jedoch verschließen. Die gleichen Überlegungen kann man auch für Kammer 1 anstellen.

d) Das Ausflussrohr reicht deshalb bis fast auf den Gießkannnenboden, damit die volle Gießkanne sich schnell und auf einmal entleert, sobald das Wasser im Ausflussrohr zu fließen beginnt.

Dadurch wird das Opferfeuer eleganter gelöscht, als wenn das Wasser nur infolge des Druckunterschiedes langsam aus einem kurzen Ausflussrohr fließen würde.

Zurück zur Aufgabe W 9

W 10 Lösung

Geg.: $\vartheta_1 = 0$ °C, $\vartheta_2 = 50$ °C, h = 8 m, A = 10 cm², $p_1 = 1013$ mbar, $p_2 = 1031$ mbar, $\vartheta_3 = 20$ °C

Ges.: a) V_0

b) ϑ_2

a)

Vor.: V_0 können wir mit dem Gay-Lussacschen Gesetz berechnen, wenn wir die Größe V_ϑ (= Gasvolumen bei $\vartheta = \vartheta_2 = 50$ °C) eliminieren, d.h. beseitigen. Dies gelingt uns mit der Gleichung $\Delta V = V_\vartheta - V_0$, wobei $\Delta V = A \cdot h$ ist.

Lsg.: $\Delta V = A \cdot h$

$$\Delta V = 10 \text{ cm}^2 \cdot 800 \text{ cm}$$

$$\underline{\Delta V = 8.000 \text{ cm}^3 = 8 \text{ dm}^3}$$

$$\Delta V = V_\vartheta - V_0$$

$$\Rightarrow V_\vartheta = \Delta V + V_0 \quad (1)$$

$$V_\vartheta = V_0 \cdot (1 + \vartheta/273\ ^\circ\text{C}) \quad (2)$$

(1)u.(2) $\Rightarrow \Delta V + V_0 = V_0 \cdot (1 + \vartheta/273\ ^\circ\text{C}) \quad |: V_0$

$$\Rightarrow \Delta V/V_0 + 1 = 1 + \vartheta/273\ ^\circ\text{C} \quad |-1$$

$$\Rightarrow \Delta V/V_0 = \vartheta/273\ ^\circ\text{C}$$

$$\Rightarrow V_0 = \frac{\Delta V \cdot 273\ ^\circ\text{C}}{\vartheta}$$

$$V_0 = \frac{8 \text{ dm}^3 \cdot 273\ ^\circ\text{C}}{50\ ^\circ\text{C}} \quad \Big|\ \vartheta = \vartheta_2$$

$$\underline{\underline{V_0 = 43{,}68 \text{ dm}^3}}$$

Erg.: Bei 27= 0 °C müssen im Thermometer 43,68 dm³ Luft enthalten sein.

b)

Vor.: Da laut Aufgabenstellung der Druck sich bei konstanter Temperatur ändert, lösen wir die Aufgabe mit dem Boyle-Mariotteschen Gesetz. Mit ihm können wir, nachdem wir mit dem Gay-Lussacschen Gesetz das $V_\vartheta = V_1$ der eingeschlossenen Luft bei ϑ = 20 °C bestimmt haben, das Volumen V_2 bei p_2 berechnen.

Um nun zu erfahren, welche Temperatur das Thermometer bei p_2 fälschlicherweise anzeigt, bestimmen wir mit $\Delta V = V_2 - V_0$ und $\Delta V = A \cdot h_2$ die Größe h_2 und berechnen mittels Dreisatz den falschen Temperaturwert ϑ_2.

Lsg.: $V_\vartheta = V_o \cdot (1 + \vartheta/273\ ^\circ C)$

$$V_\vartheta = 43{,}68\ dm^3\ (1 + 20\ ^\circ C/273\ ^\circ C)$$

$$\underline{V_\vartheta = V_1 = 46{,}88\ dm^3}$$

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

$$\Rightarrow V_2 = (p_1 \cdot V_1)/p_2$$

$$V_2 = \frac{1.013\ mbar \cdot 46{,}88\ dm^3}{1.031\ mbar}$$

$$\underline{V_2 = 46{,}06\ dm^3}$$

$$\Delta V = V_2 - V_o$$

$$\Delta V = 46{,}06\ dm^3 - 43{,}68\ dm^3$$

$$\underline{\Delta V = 2{,}38\ dm^3}$$

$$\Delta V = A \cdot h_2$$

$$\Rightarrow h_2 = \Delta V/A$$

$$h_2 = \frac{2.380\ cm^3}{10\ cm^3}$$

$$\underline{h_2 = 238\ cm}$$

$$h = 800\ cm \mathrel{\hat{=}} \vartheta = 50\ ^\circ C$$
$$\underline{h = 1\ cm \mathrel{\hat{=}} \vartheta = 0{,}0625\ ^\circ C}$$
$$h = 238\ cm \mathrel{\hat{=}} \vartheta = 14{,}9\ ^\circ C$$

$$\text{also } \underline{\underline{\vartheta_2 = 14{,}9\ ^\circ C}}$$

Erg.: Uiiih! Luftdruckschwankungen machen sich bei diesem Thermometer aber sehr störend bemerkbar. Die Abweichung vom exakten Wert beträgt 5,1 °C bei einer Druckschwankung von nur 18 mbar.
Eligius lehnt ein solches Kirchturmthermometer natürlich ab; denn dies ist ja Betrug an allen Gläubigen.

Zurück zur Aufgabe W 10

W 11 Lösung

Geg.: ϑ_2 = -10 °C, A = 0,8 mm^2, p_1 = 1040 mbar, ϑ_1 = 32 °C, r_1 = 50 cm, r_2 = 27 cm (aus der Skizze)

Ges.: a) F_1

b) Lösung mit Köpfchen

Vor.: Nachdem wir die Celsiuswerte in Kelvinwerte umgerechnet haben, berechnen wir den Luftdruck p_2 im Kühlschrank bei der Temperatur T_2.
Über die Druckdifferenz $\Delta p = p_1 - p_2$ bestimmen wir die Kraft $F_2 = \Delta p \cdot A$, mit der die Außenluft auf die Kühlschranktür drückt. Die Kraft F_1, mit der man an den Türgriff ziehen muss, um die Tür zu öffnen, berechnen wir nun mit dem Hebelgesetz $F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$.

Lsg.: $T_2 = 1\ \mathrm{K/^\circ C} \cdot \vartheta_2 + 273\ \mathrm{K}$

$T_2 = 1\ \mathrm{K/^\circ C} \cdot (-10\ ^\circ\mathrm{C}) + 273\ \mathrm{K}$

$\underline{T_2 = 263\ \mathrm{K}}$

$T_1 = 1\ \mathrm{K/^\circ C} \cdot \vartheta_1 + 273\ \mathrm{K}$

$T_1 = 1\ \mathrm{K/^\circ C} \cdot 32\ ^\circ\mathrm{C} + 273\ \mathrm{K}$

$\underline{T_1 = 305\ \mathrm{K}}$

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

$$\Rightarrow p_2 = (p_1 \cdot T_2)/T_1$$

$$p_2 = \frac{1.040\ \mathrm{mbar} \cdot 263\ \mathrm{K}}{305\ \mathrm{K}}$$

$$\underline{p_2 = 896{,}8\ \mathrm{mbar}}$$

$$\Delta p = p_1 - p_2$$

$$\Delta p = 1.040 \text{ mbar} - 896,8 \text{ mbar}$$

$$\underline{\Delta p = 143,2 \text{ mbar}}$$

$$F_2 = \Delta p \cdot A$$

$$F_2 = 143,2 \text{ mbar} \cdot 0,8 \text{ m}^2 \qquad \text{NR: } 1 \text{ mbar} = 100 \text{ Pa} = 100 \text{ N/m}^2$$

$$F_2 = 14.320 \text{ N/m}^2 \cdot 0,8\text{m}^2$$

$$\underline{F_2 = 11.456 \text{ N}}$$

$$F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$$

$$F_1 = (F_2 \cdot r_2)/r_1$$

$$F_1 = \frac{11.456 \text{ N} \cdot 27 \text{ cm}}{50 \text{ cm}}$$

$$F_1 = 6.186,24 \text{ N} \approx \underline{\underline{6,2 \text{ kN}}}$$

Erg.: Eine Kraft von 6,2 kN wird benötigt, um die Kühlschranktür zu öffnen. Diese Kraft hält der Türgriff bestimmt nicht aus.

b)

Einfach ein kleines Loch in den Kühlschrank bohren, damit der Druck sich ausgleichen kann.

Zurück zur Aufgabe W 11

W 12 Lösung

Geg.: $V_1 = 1,5 \text{ m}^3$, $h = 8300 \text{ m}$, $p_2 = 1013 \text{ mbar}$, $\vartheta_2 = 25\ °C$, $\vartheta_1 = 4\ °C$, $\gamma = 1,02 \text{ cN/cm}^3$

Ges.: V_2

Vor.: Mit der allgemeinen Gasgleichung können wir V2 berechnen. Vorher müssen wir jedoch den Schweredruck $p_1 = \gamma \cdot h$ berechnen.

Lsg.: $p_1 = \gamma \cdot h$

$$p_1 = 1,02 \text{ cN/cm}^3 \cdot 8.300 \text{ m}$$

$$p_1 = 10.200 \text{ N/m}^3 \cdot 8.300 \text{ m}$$

$$\underline{p_1 = 84,66 \text{ MPa}}$$

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

$$\Rightarrow \quad V_2 = \frac{p_1 \cdot V_1 \cdot T_2}{T_1 \cdot p_2}$$

$$V_2 = \frac{84{,}66 \text{ MPa} \cdot 1{,}5 \text{ m}^3 \cdot 298 \text{ K}}{277 \text{ K} \cdot 1.013 \text{ mbar}}$$

$$V_2 = \frac{84{,}66 \text{ MPa} \cdot 1{,}5 \text{ m}^3 \cdot 298 \text{ K}}{277 \text{ K} \cdot 0{,}1013 \text{ MPa}}$$

$$\underline{\underline{V_2 = 1.348{,}6 \text{ m}^3}}$$

NR:

$T_1 = 1 \text{ K}/^{\circ}\text{C} \cdot \vartheta_1 + 273 \text{ K}$

$T_1 = 1 \text{ K}/^{\circ}\text{C} \cdot 4\ ^{\circ}\text{C} + 273 \text{ K}$

$\underline{T_1 = 277 \text{ K}}$

$\underline{T_2 = 298 \text{ K}}$

$1 \text{ mbar} = 100 \text{ Pa}$

$1.013 \text{ mbar} = 0{,}1013 \text{ MPa}$

Erg.: An der Meeresoberfläche brachten die nun mit je 1348,6 m³ Luft gefüllten Ballons die Seeräuberflotte zum Kentern.

Zurück zur Aufgabe W 12

W 13 Lösung

Geg.: F = 281 N, A = 1 cm², V_1 = 13 cm³, V_2 = 1,2 cm³, ϑ_1 = 20 °C, p_1 = 1 bar

Ges.: a) ϑ_2

b) Warum schneller Komprimiervorgang?

a)

Vor.: Nachdem wir p_2 mittels $p_2 = F/A$ bestimmt haben, berechnen wir T_2 mit der allgemeinen Gasgleichung. Temperaturumrechnungen bitte nicht vergessen.

Lsg.: $p_2 = F/A$

$$p_1 = \frac{281 \text{ N}}{1 \text{ cm}^2}$$

$$p_2 = 281 \text{ N/cm}^2 = \underline{28{,}1 \text{ bar}}$$

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

$$\Rightarrow \quad T_2 = \frac{p_2 \cdot V_2 \cdot T_1}{p_1 \cdot V_1}$$

$$T_2 = \frac{28{,}1 \text{ bar} \cdot 1{,}2 \text{ cm}^3 \cdot 293 \text{ K}}{1 \text{ bar} \cdot 13 \text{ cm}^3}$$

NR: $T_1 = 1 \text{ K}/^{\circ}\text{C} \cdot \vartheta_1 + 273 \text{ K}$

$T_1 = 1 \text{ K}/^{\circ}\text{C} \cdot 20\ ^{\circ}\text{C} + 273 \text{ K}$

$\underline{T_1 = 293 \text{ K}}$

$$T_2 = 760 \text{ K}$$

$$\Rightarrow \quad \underline{\underline{\vartheta_2 = 487 \ ^\circ\text{C}}}$$

Erg.: Die zusammengepresste Luft hat eine Temperatur von 487 °C.

b) Je schneller der Komprimiervorgang abläuft, desto weniger Energie wird an das Glasrohr abgegeben und desto höher ist die Temperatur der eingeschlossenen Luft.

Zurück zur Aufgabe W 13

W 14 Lösung

Wenn eine Kerze auf der Erde brennt, wird die Luft im Bereich des Kerzendochtes erwärmt, sodass diese nun sauerstoffarme Luft sich ausdehnt. Infolge ihrer geringeren Dichte steigt sie nach oben, und kühlere sauerstoffreiche Luft strömt von unten nach, sodass im Bereich des Kerzendochtes der Verbrennungsprozess in Gang bleibt.

In der Schwerelosigkeit haben Dichteunterschiede aufgrund der fehlenden Gewichtskraft keine Konvektionsströmung zur Folge. Dadurch wird der Kerze wird nur sauerstoffreiche Luft durch Diffusion zugeführt. Die Flamme wird dadurch kleiner, leuchtet bläulich und wird wahrscheinlich nach einiger Zeit erlöschen.

Hätte Gerhard von Galaxis allerdings sein Raumschiff beschleunigt oder einen großen Ventilator vor seinen Tannenbaum gestellt, dann hätten die Kerzen auch im Weltraum in seinem Raumschiff gebrannt.

Zurück zur Aufgabe W 14

W 15 Lösung

Geg.: $\vartheta_1 = 12$ °C, $\vartheta_2 = 35$ °C, m = 100 g, c = 3,0 J/(g·K)

Ges.: Q

Vor.: Einfach die Gleichung $Q = c \cdot m \cdot \Delta\vartheta$ anwenden und nicht vergessen: $\Delta\vartheta = \Delta T$

Lsg.: $Q = c \cdot m \cdot \Delta\vartheta$

$Q = 3{,}0 \text{ J/(g·K)} \cdot 100 \text{ g} \cdot 23 \text{ K}$

$\underline{\underline{Q = 6.900 \text{ J} = 6{,}9 \text{ kJ}}}$

NR: $\Delta T = \Delta\vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1 = 35 \ ^\circ\text{C} - 12 \ ^\circ\text{C}$

$\Delta\vartheta = 23 \ ^\circ\text{C} = 23 \text{ K}$

Erg.: Die eiskalten Melkerhände entziehen der armen Kuh Hannelore eine Wärmemenge von 6,9 kJ.

Zurück zur Aufgabe W 15

W 16 Lösung

Geg.: m = 250 g, c = 2,75 J/(g·K), ϑ_1 = 6 °C, h_1 = 0,77 m, ϑ_3 = 20 °C

Ges.: a) ϑ_2

b) h_2

a)

Vor.: Laut Aufgabenstellung wandelt sich die in der Butter gespeicherte Hubarbeit W = $F_G \cdot h$ vollständig in innere Energie ΔU um und bewirkt so eine Temperaturerhöhung. Statt die Butter vom Tisch zu werfen, könnte Opa Karl aber die gleiche Temperaturerhöhung auch durch die Zufuhr einer Wärmemenge Q erreichen. Wir können also schreiben: W = ΔU = Q $\Rightarrow$ W = Q und mittels dieser Gleichung die Temperatur ϑ_2 berechnen.

Lsg.:

$$W = \Delta U \cdot Q$$

$$\Rightarrow \quad W = Q$$

$$\Rightarrow \quad F_G \cdot h = c \cdot m \cdot \Delta\vartheta$$

$$F_G \cdot h = c \cdot m \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_1)$$

$$\Rightarrow \quad \vartheta_2 - \vartheta_1 = \frac{F_G \cdot h}{c \cdot m}$$

$$\Rightarrow \quad \vartheta_2 = \frac{F_G \cdot h}{c \cdot m} + \vartheta_1$$

$$\vartheta_2 = \frac{2{,}5\ \mathrm{N} \cdot 0{,}77\ \mathrm{m}}{2{,}75\ \mathrm{J/(g \cdot {}^\circ C)} \cdot 250\ \mathrm{g}} + 6\ {}^\circ\mathrm{C}$$

$$\underline{\underline{\vartheta_2 = 6{,}0028\ {}^\circ\mathrm{C}}}$$

NR: m = 250 g $\hat{=}$ F_G = 2,5 N

c = 2,75 J/(g·K) = 2,75 J/(g·°C)

1 J = 1 Nm

Erg.: Oma Bertha hat Recht. Die Temperaturerhöhung von ϑ_1 = 6,0000 °C auf ϑ_2 = 6,0028 °C ist wirklich vernachlässigbar gering.

b)

Vor.: Die Aufgabe lösen wir mit dem gleichen Lösungsansatz wie bei a), also mit W = Q.

Lsg.:

$$W = Q$$

$$F_G \cdot h_2 = c \cdot m \cdot \Delta\vartheta$$

$$\Rightarrow \quad h_2 = \frac{c \cdot m \cdot (\vartheta_3 - \vartheta_1)}{F_G}$$

$$h_2 = \frac{2{,}75\ \mathrm{J/(g \cdot {}^\circ C)} \cdot 250\ \mathrm{g} \cdot (20\ {}^\circ\mathrm{C} - 6\ {}^\circ\mathrm{C})}{2{,}5\ \mathrm{N}}$$

$$\underline{\underline{h_2 = 3.850\ \mathrm{m}}}$$

Erg.: Die Butter müsste aus einer Höhe von 3,85 km (!!!) herunterplumpsen, um sich beim Aufprall auf ϑ = 20 °C zu erwärmen.

Anmerkung: Erfinde und berechne ähnliche Aufgaben, um ein Gefühl für das zahlenmäßige Verhältnis zwischen mechanischer Energie und innere Energie zu bekommen.

Zurück zur Aufgabe W 16

W 17 Lösung

Geg.: ϑ_B = 37 °C, ϑ_R = 80 °C, ϑ_M = 78 °C, c_R = 4,0 J/(g·K), m_B = 55 g, m_R = 200 g

Ges.: c_B

Vor.: Einfach! Da die Wärmemenge, die die Suppe an die Umgebung abgibt, laut Aufgabenstellung vernachlässigt werden darf, können wir schreiben: $Q_{R,ab} = Q_{B,auf.}$ Die ausgeschriebenen Gleichungen können wir nach c_B auflösen.

Lsg.: $Q_{R,ab} = Q_{B,auf}$

$$\Rightarrow \quad c_R \cdot m_R \cdot (\vartheta_R - \vartheta_M) = c_B \cdot m_B \cdot (\vartheta_M - \vartheta_B)$$

$$\Rightarrow \quad c_B = \frac{c_R \cdot m_R \cdot (\vartheta_R - \vartheta_M)}{m_B \cdot (\vartheta_M - \vartheta_B)}$$

$$c_B = \frac{4{,}0\ \mathrm{J/(g\cdot K)} \cdot 200\ \mathrm{g} \cdot (80\ ^\circ\mathrm{C} - 78\ ^\circ\mathrm{C})}{55\ \mathrm{g} \cdot (78\ ^\circ\mathrm{C} - 37\ ^\circ\mathrm{C})}$$

$$\underline{\underline{c_B = 0{,}71\ \mathrm{J/(g\cdot K)}}}$$

Erg.: Die spezifische Wärmekapazität der künstlichen Beißerchen von Rudi Ruhestand beträgt c_B = 0,71 J/(g·K).

Zurück zur Aufgabe W 17

W 18 Lösung

Geg.: $V_S = V_P$ = 5 cm^3, m_{Tee} = 100 g, c_{Tee} = 4,18 J/(g·K), c_S = 0,23 J/(g·K), C_P= 0,13 J(g·K), ϑ_{Tee} = 90 °C, $\vartheta_P = \vartheta_S$ = 20 °C, ϱ_P = 21,45 g/cm^3, ϱ_{PS} = 10,50 g/cm^3

Ges.: $\vartheta_{M,P}$, $\vartheta_{M,S}$

Vor.: Lieber Baron Münchhausen, die Wärmemenge, die dem Tee von dem Platin- bzw. Silberlöffel entzogen wird, hängt natürlich nicht nur von seiner spezifischen Wärmekapazität, sondern auch von seiner Masse m und der Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta$ ab. Der Löffel, der die tiefste Mischungstemperatur bewirkt, entzieht dem Tee die größte Wärmemenge. Also müssen wir $\vartheta_{M,P}$ (= Mischungstemperatur Platinlöffel - Tee) und $\vartheta_{M,S}$ (= Mischungstemperatur Silberlöffel - Tee) berechnen und vergleichen.
Als Lösungsansatz verwenden wir wie bei Aufgabe W17 wieder auf Q_{auf} = Qab.

Lsg.: $Q_{P,auf} = Q_{Tee,ab}$ NR: $\varrho = m/V$

$\Rightarrow c_P \cdot m_P \cdot (\vartheta_{M,P} - \vartheta_P) = c_{Tee} \cdot m_{Tee} \cdot (\vartheta_{Tee} - \vartheta_{M,P})$ $\Rightarrow m = \varrho \cdot V$

$\Rightarrow c_P \cdot \varrho_P \cdot V_P \cdot (\vartheta_{M,P} - \vartheta_P) = c_{Tee} \cdot m_{Tee} \cdot (\vartheta_{Tee} - \vartheta_{M,P})$

$\Rightarrow c_P \cdot \varrho_P \cdot V_P \cdot \vartheta_{M,P} - c_P \cdot \varrho_P \cdot V_P \cdot \vartheta_P = c_{Tee} \cdot m_{Tee} \cdot \vartheta_{Tee} - c_{Tee} \cdot m_{Tee} \cdot \vartheta_{M,P}$

$\Rightarrow c_P \cdot \varrho_P \cdot V_P \cdot \vartheta_{M,P} + c_{Tee} \cdot m_{Tee} \cdot \vartheta_{M,P} = c_{Tee} \cdot m_{Tee} \cdot \vartheta_{Tee} + c_P \cdot \varrho_P \cdot V_P \cdot \vartheta_P$

$\Rightarrow \vartheta_{M,P} \cdot (c_P \cdot \varrho_P \cdot V_P + c_{Tee} \cdot m_{Tee}) = c_{Tee} \cdot m_{Tee} \cdot \vartheta_{Tee} + c_P \cdot \varrho_P \cdot V_P \cdot \vartheta_P$

$$\Rightarrow \vartheta_{M,P} = \frac{c_{Tee} \cdot m_{Tee} \cdot \varrho_{Tee} + c_P \cdot \varrho_P \cdot V_P \cdot \vartheta_P}{c_P \cdot \varrho_P \cdot V_P + c_{Tee} \cdot m_{Tee}}$$

$$\vartheta_{M,P} = \frac{4{,}18\ J/(g \cdot K) \cdot 100\ g \cdot 90\ ^\circ C + 0{,}13\ J/(g \cdot {}^\circ C) \cdot 21{,}45\ g/cm^3 \cdot 5\ cm^3 \cdot 20\,^\circ C}{0{,}13\ J/(g \cdot {}^\circ C) \cdot 21{,}45\ g/cm^3 \cdot 5\ cm^3 + 4{,}18\ J/(g \cdot {}^\circ C) \cdot 100\ g}$$

$$\underline{\underline{\vartheta_{M,P} = 87{,}74\ ^\circ C}}$$

$$\vartheta_{M,S} = \frac{c_{Tee} \cdot m_{Tee} \cdot \vartheta_{Tee} + c_S \cdot \varrho_S \cdot V_S \cdot \vartheta_S}{c_S \cdot \varrho_S \cdot V_S + c_{Tee} \cdot m_{Tee}}$$

$$\vartheta_{M,S} = \frac{4{,}18\ J/(g \cdot {}^\circ C) \cdot 100\ g \cdot 90\ ^\circ C + 0{,}23\ J/(g \cdot {}^\circ C) \cdot 10{,}50\ g/cm^3 \cdot 5\ cm^3 \cdot 20\,^\circ C}{0{,}23\ J/(g \cdot {}^\circ C) \cdot 10{,}50\ g/cm^3 \cdot 5\ cm^3 + 4{,}18\ J/(g \cdot {}^\circ C) \cdot 100\ g}$$

$$\underline{\underline{\vartheta_{M,S} = 88{,}03\ ^\circ C}}$$

Erg.: Münchhausen spinnt! Der Platinlöffel entzieht dem Tee eine etwas größere Wärmemenge als der Silberlöffel, da die Mischungstemperatur Tee -Platin (87,74 °C) geringer ist als die Mischungstemperatur Tee -Silber (88,03 °C).

Zurück zur Aufgabe W 18

W 19 Lösung

Geg.: $\vartheta_1 = 60$ °C, $\vartheta_2 = 12$ °C, V = 4000 l, V = 1 l ≙ m = 1 kg, $\alpha_{P1} = 0{,}000009/°C$ $\alpha_{Po} = 0{,}000200\ 1/°C$, $l_{0,P1} = 39{,}013$ cm, $l_{0,Po} = 38{,}739$ cm

Ges.: V_1, V_2

Vor.: Wir berechnen zuerst die Mischungstemperatur ϑ_m des Badewassers mittels der Gleichung $l_{\vartheta,Pl} = l_{\vartheta,Po}$; denn bei ϑ_M besitzen beide Streifen genau die gleiche Länge. Kennen wir ϑ_M, so gelingt es, uns mit $Q_{ab} = Q_{auf}$ und $m = m_1 + m_2$ die gesuchten Größen V_1 und V_2 zu berechnen.

Lsg.: $l_{\vartheta,Pl} = l_{\vartheta,Po}$

$\Rightarrow l_{o,Pl}\ (1 + \alpha_{Pl} \cdot \vartheta_M) = l_{o,Po}\ (1 + \alpha_{Po} \cdot \vartheta_M)$

$\Rightarrow l_{o,Pl} + l_{o,Pl} \cdot \alpha_{Pl} \cdot \vartheta_M = l_{o,Po} + l_{o,Po} \cdot \alpha_{Po} \cdot \vartheta_M$

$$\Rightarrow \; l_{o,Pl} \cdot \alpha_{Pl} \, \vartheta_M - l_{o,Po} \cdot \alpha_{Po} \cdot \vartheta_M = l_{o,Po} - l_{o,Pl}$$

$$\Rightarrow \; \vartheta_M \cdot (l_{o,Pl} \cdot \alpha_{Pl} - l_{o,Po} \cdot \alpha_{Po}) = l_{o,Po} - l_{o,Pl}$$

$$\Rightarrow \; \vartheta_M = \frac{l_{o,Po} - l_{o,Pl}}{l_{o,Pl} \cdot \alpha_{Pl} - l_{o,Po} \cdot \alpha_{Po}}$$

$$\vartheta_M = \frac{38{,}739 \text{ cm} - 39{,}013 \text{ cm}}{39{,}013 \text{ cm} \cdot 0{,}000009 \; 1/^{\circ}\text{C} - 38{,}739 \text{ cm} \cdot 0{,}000200 \; 1/^{\circ}\text{C}}$$

$$\underline{\vartheta_M = 37{,}0 \; ^{\circ}\text{C}}$$

$$Q_{ab} = Q_{auf}$$

$$\Rightarrow c \cdot m_1 \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_M) = c \cdot m_2 \cdot (\vartheta_M - \vartheta_2) \quad \Big| :c$$

$$\Rightarrow \quad m_1 \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_M) = m_2 \cdot (\vartheta_M - \vartheta_2)$$

$$\Rightarrow \quad \frac{m_1}{m_2} = \frac{\vartheta_M - \vartheta_2}{\vartheta_1 - \vartheta_M}$$

NR: $m = m_1 + m_2$

$\Rightarrow m_1 = m - m_2 \quad (1)$

$$\text{mit (1)} \quad \frac{m - m_2}{m_2} = \frac{\vartheta_M - \vartheta_2}{\vartheta_1 - \vartheta_M}$$

$$\Rightarrow \quad \frac{m}{m_2} - 1 = \frac{\vartheta_M - \vartheta_2}{\vartheta_1 - \vartheta_M}$$

$$\Rightarrow \quad \frac{m}{m_2} = \frac{\vartheta_M - \vartheta_2}{\vartheta_1 - \vartheta_M} + 1$$

$$\Rightarrow \quad m_2 = \frac{m}{\dfrac{\vartheta_M - \vartheta_2}{\vartheta_1 - \vartheta_M} + 1}$$

NR: $V = 4.000 \text{ l} \mathrel{\hat{=}} m = 4.000 \text{ kg}$

$$m_2 = \frac{4.000 \text{ kg}}{\dfrac{37{,}0 \; ^{\circ}\text{C} - 12 \; ^{\circ}\text{C}}{60 \; ^{\circ}\text{C} - 37 \; ^{\circ}\text{C}} + 1}$$

$$m_2 = 1.916{,}7 \text{ kg} \mathrel{\hat{=}} \underline{\underline{V_2 = 1{,}916{,}7 \text{ l}}}$$

$$V = V_1 + V_2$$

$$\Rightarrow \quad V_1 = V - V_2$$

$$V_1 = 4.000\ l - 1.916{,}7\ l$$

$$\underline{\underline{V_1 = 2.083{,}3\ l}}$$

Erg.: Baron Münchhausen lässt 2083,3 l warmes Wasser (ϑ_1 = 60 °C) und 1916,7 l kaltes Wasser (ϑ_2 = 12 °C) einlaufen.

Zurück zur Aufgabe W 19

W 20 Lösung

Geg.: P = 100 W, ϑ_1 = 28 °C, ϑ_{12} = 90 °C, t = 7 min, c_R = 3,98 J/(g·K), ϱ = 1,2 g/cm³, Q_{ab} = 30 kJ

Ges.: V

Vor.: Die vom Tauchsieder verrichtete elektrische Arbeit W = P · t erwärmt die Regenwurmgulaschsuppe sowie ihre Umgebung, d.h.: W = Q_R + Q_{ab}. Diese Gleichung stellen wir nach Q_R um, lösen nach m auf und finden so die gesuchte Größe V.

Lsg.:

$$W = Q_R + Q_{ab}$$

$$\Rightarrow \quad Q_R = W - Q_{ab}$$

$$\Rightarrow \quad c_R \cdot m \cdot \Delta\vartheta = P \cdot t - Q_{ab}$$

$$\Rightarrow \quad m = \frac{P \cdot t - Q_{ab}}{c_R \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_1)}$$

$$m = \frac{100\ W \cdot 420\ s - 30.000\ J}{3{,}98\ J/(g \cdot {}^\circ C) \cdot (90\ {}^\circ C - 28\ {}^\circ C)}$$

NR: 1 Ws = 1 J

$$\underline{m = 48{,}63\ g}$$

$$\varrho_R = m/V$$

$$\Rightarrow \quad V = m/\varrho_R$$

$$V = \frac{48{,}63\ g}{1{,}2\ g/cm^3}$$

NR: 1 cm³ = 1 ml

$$\underline{\underline{V = 40{,}5\ cm^3 = 40{,}5\ ml}}$$

Erg.: Max wärmt 40,5 ml von der leckeren Regenwurmgulaschsuppe auf.

Zurück zur Aufgabe W 20

W 21 Lösung

Münchhausen spinnt; denn die am Heizöl verrichtete Hubarbeit ist nicht als innere Energie, sondern als äußere potentielle Energie gespeichert. Diese hilft nicht, das Schloss warm zu halten; denn die Gase, die sich bei der Verbrennung von Heizöl bilden, haben schließlich auf dem Heisenberg eine um diesen Betrag höhere potentielle Energie als die Gase im tiefer-gelegenen Bad Einstein.

Zurück zur Aufgabe W 21

W 22 Lösung

Geg.: $\eta = 0{,}05$, $F_R = 500$ N, $A = 30$ cm^2, $F_G = 2$ N, $m_L = 2{,}6$ g, $\vartheta_1 = 20\ ^*$C, $p_{l1} = 1013$ mbar,
$c_V = 0{,}716$ J(g·K)

Ges.: h

Vor.: Ganz schön happig, diese Aufgabe. Um h zu berechnen, müssen wir $W = F_G \cdot h$ bestimmen. Dies gelingt mit $\eta = W/Q$, wenn wir $\Delta\vartheta = \Delta T = T_2 - T_1$ bestimmen können. Da V konstant ist, erhalten wir T_2 über das Amontonsche Gesetz $p_1/T_1 = p_2/T_2$. Dazu müssen wir jedoch vorher $p_ü = (F_R+F_G)/A$ berechnen. $p_ü$ ist der Überdruck, bei dem der Korken gerade aus der Flasche fliegt. Mit $p_ü$ können wir p_2 berechnen $p_2 = p_1 + p_ü$. Also los!

Lsg.:

$$p_Ü = \frac{F_R+F_G}{A}$$

$$p_Ü = \frac{500\ \text{N} + 2\ \text{N}}{30\ \text{cm}^2}$$

$$p_Ü = \frac{50.200\ \text{cN}}{30\ \text{cm}^2}$$

$$p_Ü = 1.673{,}3\ \text{cN/cm}^2 = \underline{1.673{,}3\ \text{mbar}}$$

$$p_2 = p_1 + p_Ü$$

$$p_2 = 1.013\ \text{mbar} + 1.673{,}3\ \text{mbar}$$

$$\underline{p_2 = 2.686{,}3\ \text{mbar}}$$

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

$$\Rightarrow T_2 = \frac{p_2 \cdot T_1}{p_1}$$

NR: $T_1 = 1\ \text{K}/^\circ\text{C} \cdot \vartheta_1 + 273\ \text{K}$

$T_1 = 1\ \text{K}/^\circ\text{C}\ 20\ ^\circ\text{C} + 273\ \text{K}$

$T_1 = 293\ \text{K}$

$$T_2 = \frac{2.686{,}3\ \text{mbar} \cdot 293\ \text{K}}{1.013\ \text{mbar}}$$

$$\underline{T_2 = 777\ \text{K}}$$

$$\Delta\vartheta = \Delta T = T_2 - T_1$$

$$\Delta\vartheta = 777\ K - 293\ K$$

$$\underline{\Delta\vartheta = 484\ K}$$

$$Q = c_V \cdot m_L$$

$$Q = 0{,}716\ J/(g \cdot K) \cdot 2{,}6\ g \cdot 484\ K$$

$$\underline{Q = 901{,}0\ J}$$

$$\eta = W/Q$$

$$\Rightarrow W = \eta \cdot Q$$

$$W = 0{,}05 \cdot 901{,}0\ J$$

$$\underline{W = 45{,}05\ J}$$

$$W = F_G \cdot h$$

$$\Rightarrow h = W/F_G$$

$$h = \frac{45{,}05\ J}{2\ N} \qquad \text{NR: } 1\ J = 1\ Nm$$

$$\underline{\underline{h = 22{,}5\ m}}$$

Erg.: Mensch, war das eine Arbeit! Aber jetzt ist alles klar: Max erreicht mit seiner Raumkapsel eine Höhe von 22,5 m.

Zurück zur Aufgabe W 22

W 23 Lösung

Münchhausen spinnt nicht; denn die beim Gefrieren des Wassers freiwerdende Erstarrungswärme wird an die Blüten und die sie umgebende Luft abgegeben. Zusätzlich verhindert Eis als schlechter Wärmeleiter die rasche Auskühlung der Blüten. Beides zusammen verhindert ein Gefrieren des Zellsaftes und somit ein Absterben der Blüten.

Zurück zur Aufgabe W 23

W 24 Lösung

Geg.: ϑ = 0 °C, t = 10 h, B = 2,2 J/(min·cm^2),(B = Bestrahlungsstärke), a = 60% (a = Absorptionswert), s = 334 J/g, ϱ_{Eis} = 0,92 g/cm^3

Ges.: h (h = Dicke der aufgetauten Eisschicht)

Vor.: Zuerst müssen wir die Schmelzwärme Q_S berechnen, die dem Eis an einem Tag zugeführt wird. Da nur h gesucht ist, können wir unsere Berechnungen auf eine Eissäule von A = 1 cm^2 Querschnitt beschränken und folgende Gleichung aufstellen: $Q_S = B \cdot t \cdot A \cdot a$. Kennen wir Q_S, so berechnen wir mit $s = Q_S/m$ die Größe m und dann mit $\varrho_{Eis} = m/V$ die Größe V. Mit $V = A \cdot h$ erhalten wir über sie die gesuchte Auftautiefe h.

Lsg.: $Q_S = B \cdot t \cdot A \cdot a$ NR: $t = 10\ h = 600\ min$

$Q_S = 2{,}2\ J/(min \cdot cm^2) \cdot 600\ min \cdot 1\ cm^2 \cdot 0{,}6$ $a = 60\% \mathrel{\widehat{=}} a = 0{,}6$

$$\underline{Q_S = 792\ J}$$

$$s = Q_S/m$$

$$\Rightarrow \quad m = Q_S/s$$

$$m = \frac{792\ J}{334\ J/g}$$

$$\underline{m = 2{,}37\ g}$$

$$\varrho_{Eis} = m/V$$

$$\Rightarrow \quad V = m/\varrho_{Eis}$$

$$V = \frac{2{,}37\ g}{0{,}92\ g/cm^3}$$

$$\underline{V = 2{,}58\ cm^3}$$

$$V = A \cdot h$$

$$\Rightarrow \quad h = V/A$$

$$h = \frac{2{,}58\ cm^3}{1\ cm^2}$$

$$\underline{\underline{h = 2{,}58\ cm}}$$

Erg.: An diesem Tag taut die Sonne die Eisschicht um h = 2,58 cm auf. Hoffentlich gefriert davon der größte Teil in der folgenden Nacht nicht wieder; denn sonst muss der arme Kurti noch länger auf sein Korbballspiel warten.

Zurück zur Aufgabe W 24

W 25 Lösung

Münchhausen spinnt! Er hat zwar Recht, dass dem Wasser fortlaufend Energie entzogen wird, doch dadurch wird es den Wassermolekülen möglich, eine energetisch günstigere Lage zueinander einzunehmen. Das Wasser gefriert zu Eis. Ein Teil der dabei freiwerdenden inneren potentiellen Energie bewirkt die Zerstörung der Glasflasche.

Die innere Energie eines Körpers setzt sich aus der kinetischen und potentiellen Energie seiner Teilchen zusammen. Die Änderung der kinetischen Energie berechnen wir mit $Q = c \cdot m \cdot \Delta\vartheta$, die Änderung der potentiellen Energie erfassen wir mit der Schmelzwärme $Q_S = s \cdot m$ und der Verdampfungswärme $Q_r = r \cdot m$.

Zurück zur Aufgabe W 25

W 26 Lösung

Geg.: $m = 450$ g, $Q = 1{,}37$ MJ, $c_{Eis} = 2{,}09$ J/(g·K), $c_{Wasser} = c_w = 4{,}18$ J/(g·K), $s = 334$ J/g, $r = 2257$ J/g

Ges.: ϑ_1

Vor.: Logo! Der Lösungsansatz lautet: $Q = Q_1 + Q_S + Q_2 + Q_r$, denn: Zuerst wird dem Eis die Wärmemenge Q_1 zugeführt, um es von ϑ_1 auf $\vartheta_2 = 0$ °C zu erwärmen. Damit es schmilzt, wird ihm die Schmelzwärme Q_S zugeführt. Nachdem alles Eis geschmolzen ist, steigt die Temperatur des Wassers von $\vartheta_2 = 0$ °C auf $\vartheta_3 = 100$ °C durch Zufuhr der Wärmemenge Q_2. Letztlich muss, um es zu verdampfen, noch die Verdampfungswärme Q_r zugeführt werden. Obige Gleichung stellen wir nach der gesuchten Größe ϑ_1 um.

Lsg.: $Q = Q_1 + Q_s + Q_2 + Q_r$

$$\Rightarrow Q_1 = Q - Q_s - Q_2 - Q_r$$

$$\Rightarrow c_{Eis} \cdot m \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_1) = Q - s \cdot m - c_W \cdot m \cdot (\vartheta_3 - \vartheta_2) - r \cdot m$$

$$\Rightarrow \vartheta_2 - \vartheta_1 = \frac{Q - s \cdot m - c_W \cdot m \cdot (\vartheta_3 - \vartheta_2) - r \cdot m}{c_{Eis} \cdot m}$$

$$\Rightarrow \vartheta_1 = \vartheta_2 - \frac{Q - s \cdot m - c_W \cdot m \cdot (\vartheta_3 - \vartheta_2) - r \cdot m}{c_{Eis} \cdot m}$$

$$\vartheta_1 = 0\,°C - \frac{1370.000\,J - 334\,\frac{J}{g} \cdot 450\,g - 4{,}18\,\frac{J}{g\,°C} \cdot 450\,g \cdot (100\,°C - 0\,°C) - 2257\,\frac{J}{g} \cdot 450\,g}{2{,}09\,\frac{J}{g \cdot °C} \cdot 450\,g}$$

$$\vartheta_1 = 0\,°C - 16{,}96\,°C$$

$$\underline{\underline{\vartheta_1 \approx -17\,°C}}$$

Erg.: Das neolithische Eisstück hatte eine Temperatur von -17 °C, als Opa Karl es in den Topf legte.

Zurück zur Aufgabe W 26

W 27 Lösung

a)

Geg.: $\vartheta_1 = 6$ °C, $\vartheta_2 = 95$ °C, $m_m = 250$ g, $c = 4{,}18$ J(g·K), $r = 2257$ J/g, 1 g Wasser ≙ 1 ml Wasser

Ges.: $V_1 : V_2$ ($V_1 : V_2$ = Verhältnis des Volumens der kondensierten Wassermenge(V_1) zum Volumen der zugeschütteten Wassermenge(V_2)

Vor.: Diese Aufgabe ist nicht schwer. Wir berechnen zuerst die Wärmemenge Q, die man der Milch zuführen muss, um sie von 6 ˚C auf 95 ˚C zu erwärmen. Mit $r = Q_r / m_1$ können wir nun m_1 und damit V_1 berechnen, da $Q_r = Q$ ist. Mit $Q = Q_2 = c \cdot m_2 \cdot \vartheta$ berechnen wir dann m_2 und damit V_2.

Lsg.:

$$Q = c \cdot m_M \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_1)$$

$$Q = 4{,}18\ \text{J}/(\text{g} \cdot {}^\circ\text{C}) \cdot 250\ \text{g} \cdot (95\ {}^\circ\text{C} - 6\ {}^\circ\text{C})$$

$$\underline{Q = 93.005{,}0\ \text{J}}$$

$$r = Q_r / m_1$$

$$\Rightarrow m_1 = Q_r / r$$

$$m_1 = \frac{93.005{,}0\ \text{J}}{2.257\ \text{J/g}}$$

$$\underline{m_1 = 41{,}2\ \text{g}}$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{V_1 = 41{,}2\ \text{ml}}}$$

$$Q = Q_2 = c \cdot m_2 \cdot \Delta\vartheta$$

$$\Rightarrow m_2 = Q/(c \cdot \Delta\vartheta)$$

$$m_2 = \frac{93.005{,}0\ \text{J}}{4{,}18\ \text{J}/(\text{g} \cdot {}^\circ\text{C}) \cdot (100\ {}^\circ\text{C} - 95\ {}^\circ\text{C})}$$

$$\underline{m_2 = 4.450\ \text{g}}$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{V_2 = 4.450\ \text{ml}}}$$

$$\underline{V_1 : V_2 = 41{,}2\ \text{ml} : 4.450\ \text{ml} \approx \underline{1 : 108}}$$

Erg.: Oh je! Um 0,25 l Milch von 6 °C auf 95 °C zu erwärmen, müsste man 4,45 l Wasser von ϑ = 100 °C hinzuschütten. Das gibt aber eine Supermagermilch!
Erwärmt man die Milch dagegen mit Dampf (ϑ = 100 °C), so genügen bereits 41,2 ml. Ein Verhältnis von 108 : 1!

b) Wenn der Gasbrenner ausgedreht wird, dann sinkt die Temperatur der wasserdampfreichen Luft und somit auch der Druck in der Espressomaschine. Der äußere Luftdruck drückt nun die Milch in die Espressomaschine hinein.

Zurück zur Aufgabe W 27

W 28 Lösung

a)
Aus dem ϑ_S-p-Diagramm entnehmen wir, dass bei einem Luftdruck von p = 700 mbar Wasser schon bei 90 ˚C siedet. Aus dem p-h-Diagramm können wir nun ablesen, dass in einer Höhe von h = 3000 m

ein Luftdruck von 700 mbar herrscht, wenn er in Meereshöhe 1013 mbar beträgt. Daraus folgt, dass die adelige Trekkinggesellschaft mindestens 3000 m hoch sein muss.

b)
Wenn wir Eis und Salz mischen, beobachten wir, dass das Eis schmilzt. D.h., die potentielle Energie der Wassermoleküle nimmt zu (siehe auch Antwort zu Aufgabe W25). Diese Energiezunahme geschieht auf Kosten der kinetischen Energie der Wasser- und Salzmoleküle. D.h., die Temperatur in der Kältemischung sinkt.

Außerdem beobachten wir, dass das Salz gelöst wird, dies bedeutet, die Wassermoleküle lösen die Salzmoleküle aus dem Kristallgitter, verrichten also Arbeit gegen die elektrischen Anziehungskräfte und erhöhen damit auch die potentielle Energie der Salzmoleküle. Dadurch nimmt die kinetische Energie der Wassermoleküle und auch die der Salzmoleküle zusätzlich ab und die Temperatur in der Kältemischung sinkt weiter, bis maximal -21 °C.

Zurück zur Aufgabe W 28

W 29 Lösung

a)
Das Wasser im Vorratsbehälter wird durch die Heizspirale erwärmt. Es siedet infolge des hydrostatischen Druckes der Wassersäule erst bei einer Temperatur von über 100 °C. Sobald sich die ersten Dampfblasen an der Heizspirale bilden und bei ihrem Aufsteigen Wasser aus dem engen Steigrohr herausdrücken, sinkt der hydrostatische Druck und damit auch die Siedetemperatur, sodass das Wasser im Vorratsbehälter explosionsartig zu sieden beginnt und eine Fontäne aus Wasser und Wasserdampf in die Luft schleudert.

Gleich danach dringt kühles Wasser aus dem Schlossteich in den Vorratsbehälter ein, das Sieden hört auf und der ganze Vorgang beginnt von neuem.

b)
Die natürlichen Geysire findet man in den vulkanisch aktiven Gebieten der Erde, z.B. auf Island oder auf der Nordinsel von Neuseeland. Sie besitzen natürlich keine elektrische Heizung, sondern ihnen dient die Erdwärme als Energiequelle. Ansonsten funktionieren sie jedoch wie der Geysir von Münchhausen.

c)
Geg.: ϑ = 20 °C, h = 9,7 m, γ = 0,980 cN/cm^3, p_L = 1011,4 mbar

Ges.: ϑ_S

Vor.: Wir berechnen zuerst den Druck im Vorratsbehälter $p = p_H + p_L$ (p_H = hydrostatischer Druck, $p_H = \gamma \cdot h$) und lesen dann im ϑ_S-p-Diagramm von Aufgabe W 28 die Siedetemperatur ab.

Lsg.: $p = p_H + p_L$

$p = \gamma \cdot h + p_L$

$p = 0{,}980\ \text{cN/cm}^3 \cdot 970\ \text{cm} + 1.011{,}4\ \text{mbar}$ NR: $1\ \text{cN/cm}^2 = 1\ \text{mbar}$

$\underline{p = 1.962\ \text{mbar}}$

Aus dem Diagramm folgt für p = 1.962 mbar eine Siedetemperatur von $\underline{\underline{\vartheta_s = 120\ ^\circ C.}}$

Erg.: Bei 120 °C fängt das Wasser im Vorratsbehälter an zu sieden.

Zurück zur Aufgabe W 29

W 30 Lösung

Münchhausen spinnt nicht. Sobald man seinen Finger in flüssige Luft hält, bildet sich, da infolge der Körperwärme etwas Luft verdampft, um den Finger ein schützendes Lufthäutchen, welches aufgrund der schlechten Wärmeleitfähigkeit von Luft ein schnelles Erfrieren des Fingers verhindert.

Anmerkung:

In manchen Büchern kann man auch lesen, dass Gießereiarbeiter ihre angefeuchtete oder verschwitzte Hand kurz in flüssiges Eisen stecken, ohne sich Verbrennungen zuzuziehen. Auch hier soll sich eine Schutzschicht, und zwar aus Wasserdampf, für kurze Zeit um die Haut bilden.

Während meines Praktikums in einer Gießerei habe ich mich aber nicht getraut, diese Behauptung experimentell zu überprüfen. Aber die Sache mit der flüssigen Luft, die klappt; denn dies habe ich selber ausprobiert. Vor jeglicher Nachahmung rate ich aber dringend ab. Ein Finger, einmal auf -193 °C abgekühlt, eignet sich in der Regel nur noch zum Wegwerfen.

Zurück zur Aufgabe W 30

W 31 Lösung

a)

Geg.: $V_{BM} = 7 \cdot 4000$ l, $V_K = 2 \cdot 200$ l

Ges.: $x = V_{BM}/V_K$

Lsg.: $x = V_{BM}/V_K$

$$x = \frac{7 \cdot 4.000\ \text{l}}{2 \cdot 200\ \text{l}}$$

$$\underline{\underline{x = 70}}$$

Erg.: In puncto Baden verschmutzt Baron Münchhausen die Umwelt wie 70 Rentner. Pfui! So ein Ferkel!

b)

Geg.: V = 4000 l, c = 4,18 kJ/(kg·K), $\varrho = 0{,}998$ g/cm^3, $\vartheta_1 = 12$ °C, $\vartheta_2 = 37$ °C, $\eta_1 = 0{,}85$, H = 31 MJ/kg, $\eta_2 = 33\%$

Ges.: m_{Kohle}

Vor.: Ganz ruhig bleiben! Wir lösen die Aufgabe Schritt für Schritt. Wir berechnen zuerst die Wärmemenge $Q_{D,ab}$, die der Durchlauferhitzer an die 4000 l Wasser abgibt. Dann berechnen wir über

η_1 die elektrische Energie, die dem Durchlauferhitzer vom Kraftwerk zugeführt wird ($E_{K,ab} = E_{D,zu}$). Nun ermitteln wir unter Berücksichtigung von η_2 die Wärmemenge $Q_{K,zu}$, die dem Kraftwerk zugeführt werden muss, um die elektrische Energie $E_{K,ab}$ zu erzeugen. Da H gegeben ist und wir nun $Q_{K,zu}$ kennen, können wir mit der Gleichung für den Heizwert die gesuchte Größe m_{Kohle} berechnen.

Lsg.: $Q_{D,ab} = c \cdot m \cdot \Delta\vartheta$

NR: $\varrho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \varrho \cdot V$

$\varrho = 0{,}998 \frac{g}{cm^3} = 0{,}998 \frac{kg}{dm^3}$

$\Delta\vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1 = 37\,°C - 12\,°C = 25\,°C = 25\,K$

$V = 4.000\,\ell = 4.000\,dm^3$

$$Q_{D,ab} = c \cdot \varrho \cdot V \cdot \Delta\vartheta$$

$$Q_{D,ab} = 4{,}18\ KJ/(kg \cdot K) \cdot 0{,}998\ kg/dm^3 \cdot 4.000\ dm^3 \cdot 25\ K$$

$$Q_{D,ab} = 417.164\ kJ$$

$$\underline{Q_{D,ab} = 417{,}2\ MJ}$$

$$\eta_1 = Q_{D,ab}/E_{D,zu}$$

$$\Rightarrow E_{D,zu} = Q_{D,ab}/\eta_1$$

$$E_{D,zu} = \frac{417{,}2\ MJ}{0{,}85}$$

$$\underline{E_{D,zu} = 490{,}8\ MJ}$$

$$\eta_2 = E_{K,ab}/Q_{K,zu}$$

NR: $E_{K,ab} = E_{D,zu}$

$$\eta_2 = E_{D,zu}/Q_{K,zu}$$

$$\Rightarrow Q_{K,zu} = E_{D,zu}/\eta_2$$

$$Q_{K,zu} = 490{,}8\ MJ/0{,}33$$

$\eta_2 = 33\% \mathrel{\hat{=}} \eta_2 = 0{,}33$

$$\underline{Q_{K,zu} = 1.487{,}3\ MJ}$$

$$H = Q_{K,zu}/m_{Kohle}$$

$$\Rightarrow m_{Kohle} = Q_{K,zu}/H$$

$$m_{Kohle} = \frac{1.487{,}3\ MJ}{31\ MJ/kg}$$

$$\underline{\underline{m_{Kohle} = 47{,}98\ kg \approx 48\ kg}}$$

Erg.: Im Kraftwerk müssen 48 kg Steinkohle verbrannt werden, damit Münchhausen mit einem elektrischen Durchlauferhitzer seine 4000 l Badewasser von 12 °C auf 37 °C erwärmen kann.

Anmerkung:
Würde Münchhausen sein Badewasser direkt durch Verbrennung von Steinkohle erwärmen, würde natürlich weniger Steinkohle benötigt, da die Umwandlungsverluste geringer sind.

c)

Geg.: x = 6,5 g/kWh (x = SO_2-Abgabe pro kWh), $E_{K,ab}$ = 492 MJ (Wert für ein Bad, aus Teilaufgabe b)), n = 365 Bäder

Ges.: m_{SO2}

Vor.: Zuerst berechnen wir die in einem Jahr vom Kraftwerk für Münchhausens Baderei erzeugte Energie $E_{G,K,ab}$ in MJ. Nachdem wir diesen Wert in kWh umgewandelt haben, brauchen wir nur noch mit x, umgerechnet in kg/kWh, zu multiplizieren. Fertig!

Lsg.: $E_{G,K,ab} = n \cdot E_{K,ab}$

$E_{G,K,ab} = 365 \cdot 490{,}8\ \text{MJ}$ NR: 1 kWh = 3,6 MJ

$E_{G,K,ab} = 179.142\ \text{MJ}$ 1 MJ = 1/3,6 kWh

$\underline{E_{G,K,ab} = 49.761{,}7\ \text{kWh}}$

$m_{SO_2} = E_{G,K,ab} \cdot x$ NR: x = 6,5 g/kWh = 0,0065 kg/kWh

$m_{SO_2} = 49.761{,}7\ \text{kWh} \cdot 0{,}0065\ \text{kg/kWh}$

$\underline{\underline{m_{SO_2} = 323{,}45\ \text{kg}}}$

Erg.: Baron Münchhausen belastet nur durch sein luxuriöses Baden die Umwelt jährlich mit 323,45 kg Schwefeldioxid.
Wenn jeder Bürger ein solches Leben führen würde - arme Umwelt!

d)

Geg.: V = 4.000 1, ϑ_1 = 25 °C, ϑ_2 = 12 °C, ϱ = 0,998 g/cm³ c = 4,18 kJ/(kg·K)

Ges.: Q

Vor.: Diese Aufgabe lösen wir mit Q = c-m·Δϑ. Da dem Wasser Wärme entzogen wird, enthalten wir ein negatives Ergebnis.

Lsg.: $Q = c \cdot m \cdot \Delta\vartheta$

$Q = c \cdot \varrho \cdot V \cdot \Delta T$

$Q = 4{,}18\ \text{kJ/(kg} \cdot \text{K)} \cdot 0{,}998\ \text{kg/dm}^3 \cdot 4.000\ \text{dm}^3 \cdot (-13\ \text{K})$

$Q = -216.925{,}28\ \text{kJ}$

$\underline{\underline{Q \approx -216{,}9\ \text{MJ}}}$

NR: $\varrho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \varrho \cdot V$

$\Delta\vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1 = 12\,°C - 25\,°C$

$\Delta\vartheta = -13\,°C$

$\Delta T = -13\,°C$

$\varrho = 0{,}998\ \frac{g}{cm^3} = 0{,}998\ \frac{kg}{dm^3}$

$V = 4.000\ \ell = 4.000\ dm^3$

Erg.: Mit einer Wärmepumpe könnte Münchhausen dem Badewasser noch eine Wärmemenge von 216,9 MJ entziehen. Dies ist mehr als die Hälfte der dem Badewasser zugeführten Wärmemenge von 417,2 MJ (siehe Teilaufgabe b)).

Zurück zur Aufgabe W 31

W 32 Lösung

Münchhausen spinnt! Zwar kann man Energie in der Tat nicht verbrauchen (verbrauchen im Sinne von "vernichten"), sondern nur von einer Energieform in eine andere umwandeln, doch bei diesem Umwandlungsprozess kann die Energie entwertet werden, d.h., die Energie, die nach dem Umwandlungsprozess vorhanden ist, kann nicht vollständig in die Energie des Anfangszustandes zurückverwandelt werden.

Beispiel:

Die kinetische Energie einer Dampflokomotive kann durch einen Bremsvorgang vollständig in innere Energie umgewandelt werden. Mit Hilfe der erwärmten Bremsbacken und Metallradstreifen kann jedoch nicht so viel Wasserdampf erzeugt werden, um die Dampflokomotive damit wieder auf ihre ursprüngliche Geschwindigkeit zu beschleunigen.

Zurück zur Aufgabe W 32

W 33 Lösung

a)

In der Feuerung werden fossile Energieträger (Kohle, Erdöl, Erdgas) verbrannt. Ein Teil der umgewandelten chemischen Energie erhöht die innere Energie des im Dampfkessel enthaltenen Wassers. Der so erzeugte Wasserdampf (z.B.: ϑ = 370 °C, p = 210,5 bar) durchströmt die Turbine und versetzt sie in Drehbewegung, d.h., ein Teil der inneren Energie des Dampfes wandelt sich in mechanische Energie um. Diese mechanische Energie wird im Generator in elektrische Energie umgewandelt, die ins Elektrizitätsnetz eingespeist wird.

Im Kondensator, der mit Flusswasser und (oder) mittels Kühlwasser aus dem Kühlturm gekühlt wird, kondensiert der Dampf, und der Dampfdruck nimmt stark ab (z.B.: ϑ = 30 °C, p = 0,04 bar). Eine Pumpe pumpt das Wasser nun wieder in den Dampfkessel zurück.

b)

Geg.: E_G = 367 TWh, E_w = 95% von E_G, η = 38%, E_H = 75 GJ

Ges.: x (x = Anzahl der Haushalte)

Vor.: Nachdem wir die von Wärmekraftwerken erzeugte elektrische Energie $E_w = 0{,}95\ E_G$ ermittelt haben, berechnen wir die an die Umwelt abgegebene Energie (Abwärme) E_{Umwelt} über den Kraftwerkwirkungsgrad $\eta = E_W/(E_W + E_{Umwelt})$. E_{Umwelt} brauchen wir jetzt nur noch durch E_H zu teilen, um die gesuchte Größe x zu erhalten.

Aber bitte auf die Energieeinheiten achten! Die Vorsilbe "Giga" bedeutet 10^9 und die Vorsilbe "Tera" bedeutet 10^{12}. Außerdem: 1 Wh = 3600 Ws = 3600 J.

Lsg.:

$$E_W = 0{,}95 \cdot E_G$$

$$E_W = 0{,}95 \cdot 367\ \text{TWh}$$

$$\underline{E_W = 348{,}65\ \text{TWh}}$$

$$\eta = E_W/(E_W+E_{Umwelt})$$

$$\Rightarrow E_W+E_{Umwelt} = E_W/\eta$$

$$E_{Umwelt} = \frac{E_W}{\eta} - E_W$$

$$E_{Umwelt} = \frac{348{,}65\ TWh}{0{,}38} - 348{,}65\ TWh$$

$$\underline{E_{Umwelt} = 568{,}85\ TWh}$$

$$x = \frac{E_{Umwelt}}{E_H}$$

NR: $1\ Wh = 3.600\ J = 3{,}6\cdot10^3\ J$
$1\ TWh = 1\cdot10^{12}\ Wh$

$1\ TWh = 3{,}6\cdot10^{15}\ J$
$1\ TWh = 3{,}6\cdot10^{6}\ GJ$

$1\ TWh = 3.600.000\ GJ$

$$x = \frac{568{,}85\ TWh}{75\ GJ}$$

$$x = \frac{568{,}85 \cdot 3.600.000\ GJ}{75\ GJ}$$

$$\underline{\underline{x = 27.304.800}}$$

Erg.: Über 27 Millionen Haushalte in der Bundesrepublik Deutschland könnten mit der Abwärme der bundesdeutschen Wärmekraftwerke geheizt werden (Wert von 1985). Vorausgesetzt, die ganze Abwärme eines Jahres könnte den Haushalten in der Heizperiode zugeführt werden.

c)

Je stärker man den Dampf hinter der Turbine abkühlt, desto größer ist die Temperatur- und Druckdifferenz an der Turbine und desto größer ist der Wirkungsgrad der Turbine.

d)

Geg.: $t = 1\ h$, $P = 400\ MW$, $\eta = 38\%$, $H = 9\ MJ/kg$,

$S_{i.d.K.} = 1\%$ ($S_{i.d.K}$ = Schwefelgehalt in der Kohle)

$S_{i.d.A} = 30\%$ ($S_{i.d.A}$ = Schwefelgehalt in der Asche)

32 g Schwefel binden 32 g 0_2

Ges.: m_{SO2}

Vor.: Die dem Kraftwerk zugeführte Wärmemenge Q können wir mit $\eta = W/Q$ berechnen, wenn wir vorher mit $P = W/t$ die Arbeit W berechnen, die der Strom des Kraftwerkes in einer Stunde im Elektrizitätsnetz und in den Elektrogräten verrichtet.
Kennen wir Q, so können wir mit $H = Q/ m_{Kohle}$ die Masse der verbrannten Kohle berechnen. Die gesamte Masse des Schwefels m_{SG} ist 1% von der Masse $m_{Kohle.}$ Da 30% von m_{SG} in der Asche verbleibt, enthalten die Abgase eine Schwefelmasse $m_{SAb,}$ die sich berechnet wie $m_{SAb} = 0{,}7\cdot m_{SG}$. Da 32 g Schwefel 32 g Sauerstoff binden, folgt letztlich: $m_{S02} = 2\cdot m_{SAb}$.

Lsg.: $P = W/T$

$\Rightarrow \quad W = P \cdot t$

$W = 400\ \text{MW} \cdot 1\ \text{h}$

$W = 400\ \text{MWh}$ NR: $1\ \text{Wh} = 3{,}6 \cdot 10^3\ \text{J}$

$\underline{W = 1.440.000\ \text{MJ}}$ $1\ \text{MWh} = 3{,}6 \cdot 10^3\ \text{MJ}$

$\eta = W/Q$

$\Rightarrow \quad Q = W/\eta$

$$Q = \frac{1.440.000\ \text{MJ}}{0{,}38}$$

$\underline{Q = 3.789.473{,}7\ \text{MJ}}$

$H = Q/m_{Kohle}$

$\Rightarrow \quad m_{Kohle} = Q/h$

$$= \frac{3.789.473{,}7\ \text{MJ}}{9\ \text{MJ/kg}}$$

$= 421.052{,}6\ \text{kg}$

$\underline{m_{Kohle} \approx 421\ \text{t}}$

$$m_{SG} = \frac{m_{Kohle} \cdot 1\%}{100\%}$$

$$m_{SG} = \frac{421\ \text{t} \cdot 1\%}{100\%}$$

$\underline{m_{SG} = 4{,}21\ \text{t}}$

$$m_{Sab} = \frac{m_{SG} \cdot 70\%}{100\%}$$

$$m_{Sab} = \frac{4{,}21\ \text{t} \cdot 70\%}{100\%}$$

$\underline{m_{Sab} = 2{,}947\ \text{t}}$

$m_{SO_2} = 2 \cdot m_{Sab}$

$m_{SO_2} = 2 \cdot 2{,}947\ \text{t}$

$\underline{\underline{m_{SO_2} = 5{,}894\ \text{t}}}$

Erg.: Pro Stunde emittiert das Braunkohlekraftwerk bei einer Leistungsabgabe von 400 MW 5,894 t (!!!) SO_2, wenn auf den Einbau von Entschwefelungsanlagen verzichtet wird.

Anmerkung:

Im Durchschnitt der Jahre 1970-1980 wurden in der Bundesrepublik Deutschland ca. 3,5 Millionen t Schwefeldioxid pro Jahr von Kraftwerken, Industrie, Haushalten, Kleinverbrauchern und Verkehr in die Luft gepustet.

3,5 Mio. t $SO_2 \Rightarrow$ 1,75 Mio. t Schwefel. Dies entspricht einer 8,5 km hohen Schwefelsäule (Mt. Everest $\approx$ 8,8 km) mit der Grundfläche eines Wohnhauses (10 m · 10 m).

Zurück zur Aufgabe W 33

W 34 Lösung

a)

Wasserstoff ist wohl, der umweltfreundlichste Brennstoff, den es gibt; denn er verbrennt zu reinem Wasser: $2H_2 + 0_2 \Rightarrow 2H_20$ + Energie.

b)

Wassserstoff kann durch die elektrolytische Zersetzung von Wasser gewonnen werden und er verbrennt auch wieder zu Wasser, d.h., Wasserstoff kann nicht verbraucht werden, sondern er wird im Kreislauf genutzt. Dafür muss man jedoch für seine Gewinnung mindestens genauso viel Energie investieren, wie bei seiner Verbrennung frei wird. Dies verlangt der Energie-erhaltungssatz.

Die fossilen Energieträger können nicht im Kreislauf genutzt werden, sie werden eines Tages verbraucht sein. Ihre Verbrennungsprodukte belasten die Umwelt in erheblichem Maße. Die fossilen Energieträger geben bei ihrer Verbrennung mehr Energie ab, als zu ihrer Förderung benötigt wurde.

c)

Geg.: V1 = 5 l, $p_1 = p_{max}$ = 150 bar, ϑ_1 = 20 °C, ϑ_2 = 0 °C, p_2 = 1013 mbar, ϱ =. 0,09 g/dm^3

Ges.: m_W

Vor.: Einfach mit der allgemeinen Gasgleichung V_2 berechnen und mit $\varrho = m_W/V_2$ die Masse m_W. Fertig!

Lsg.: $$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

NR: $\vartheta_1 = 20\ ^\circ C \mathrel{\hat=} T_1 = 293$ K

$\vartheta_2 = 0\ ^\circ C \mathrel{\hat=} T_2 = 273$ K

$V_1 = 5$ l $= 5$ dm^3

$$\Rightarrow \quad V_2 = \frac{p_1 \cdot V_1 \cdot T_2}{T_1 \cdot p_2}$$

$$V_2 = \frac{150 \text{ bar} \cdot 5 \text{ dm}^3 \cdot 273 \text{ K}}{293 \text{ K} \cdot 1{,}013 \text{ bar}}$$

$$\underline{V_2 = 689{,}8 \text{ dm}^3}$$

$$\varrho = m_W/V_2$$

$$\Rightarrow \quad m_W = \varrho \cdot V_2$$

$$m_W = 0{,}09\ g/dm^3 \cdot 689{,}8\ dm^3$$

$$\underline{\underline{m_W = 62{,}1\ g}}$$

Erg.: Kurti darf maximal 62,1 g Wasserstoff in den 5 l-Tank füllen. Dies ist aber ganz schön wenig.

d)

Geg.: p_{max} = 150 bar, ϑ_1 = 20 °C, p_2 = 500 bar

Ges.: ϑ_2

Vor.: Diese Aufgabe lösen wir problemlos mit dem Amontonsschen Gesetz, da V konstant ist.

Lsg.: $$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

NR: $p_1 = p_{max}$

$\vartheta_1 = 20\ ^\circ C \mathrel{\hat{=}} T_1 = 293\ K$

$$\Rightarrow T_2 = \frac{p_2 \cdot T_1}{p_1}$$

$$T_2 = \frac{500\ bar \cdot 293\ K}{150\ bar}$$

$$T_2 = 976{,}7\ K$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{\vartheta_2 = 703{,}7\ ^\circ C}}$$

Erg.: Der Tank explodiert bei ϑ = 703,7 °C. Peng!

e)

Geg.: H_w = 120 MJ/kg, H_B = 44 MJ/kg, V = 5 l, Energiebedarf auf 100 km = e = 77 MJ/100 km, m_W = 62,1 g, ϱ_B = 0,7 g/cm³

Ges.: $x = s_B/s_w$ (s_B = Reichweite bei benzingefülltem Tank)
(s_w = Reichweite bei wasserstoffgefülltem Tank)

Vor.: Wir berechnen mit H = Q/m die bei der Verbrennung von Wasserstoff und Benzin umgewandelte Energie $\Delta E = Q$ und teilen durch den Energiebedarf pro 100 km. Dadurch erhalten wir die Reichweite s_B und s_w. Der Quotient s_B/s_w ist die gesuchte Lösung x.

Lsg.: $$H_W = Q_W/m_W$$

$$\Rightarrow Q_W = m_W \cdot H_W$$

$$Q_W = 0{,}0621\ kg \cdot 120\ MJ/kg$$

$$Q_W = 7{,}452\ MJ$$

$$\Rightarrow \underline{\Delta E_W = 7{,}452\ MJ}$$

$s_W = \Delta E_W / e$

$$s_W = \frac{7{,}452\ \text{MJ}}{77\ \text{MJ}/100\ \text{km}}$$

$\underline{s_W = 9{,}7\ \text{km}}$

$H_B = Q_B / m_B$

$\Rightarrow Q_B = m_B \cdot H_B$ | NR: $\varrho_B = m_B / V_B$

$Q_B = \varrho_B \cdot V_B \cdot H_B$ | $\Rightarrow m_B = \varrho_B \cdot V_B$

$Q_B = 0{,}7\ \text{kg/dm}^3 \cdot 5\ \text{dm}^3 \cdot 44\ \text{MJ/kg}$ | NR: $\varrho_B = 0{,}7\ \text{g/cm}^3 = 0{,}7\ \text{kg/dm}^3$

$Q_B = 154\ \text{MJ}$

$\Rightarrow \underline{\Delta E_B = 154\ \text{MJ}}$

$s_B = \Delta E_B / e$

$$s_B = \frac{154\ \text{MJ}}{77\ \text{MJ}/100\ \text{km}}$$

$\underline{s_B = 200\ \text{km}}$

$x = s_B / s_W$

$$x = \frac{200\ \text{km}}{9{,}7\ \text{km}}$$

$\underline{\underline{x = 20{,}6}}$

Erg.: Mit dem benzingefüllten Tank besitzt das Ausgehaquarium eine 20,6fach größere Reichweite.

Zurück zur Aufgabe W 34

W 35 Lösung

a)

Vom Prinzip her funktioniert das KKK wie ein konventionelles Wärmekraftwerk. Warmes Oberflächenwasser wird angesaugt und strömt unter Energieabgabe am Verdampfer (entspricht dem Dampfkessel im normalen Kraftwerk) vorbei. Die vom Verdampfer aufgenommene Energie bringt das Ammoniak zum Sieden, sodass mit den Ammoniakdämpfen eine Turbine angetrieben werden kann. Nach dem Durchströmen der Turbine wird dem Ammoniakdampf im Kondensator (Verflüssiger) durch das kalte Tiefenwasser wieder Energie entzogen, sodass der Ammoniakdampf kondensiert. Eine Pumpe pumpt das flüssige Ammoniak wieder in den Verdampfer.

Die Turbine treibt einen Generator an, der elektrische Energie erzeugt. Mit der elektrischen Energie werden die Kraftwerkspumpen angetrieben und das Wasser elektrolytisch zersetzt. Der erzeugte Wasserstoff und Sauerstoff wird unter hohem Druck in den Vorratsbehältern gespeichert.

Im Winter kann das Kraftwerk nicht sinnvoll betrieben werden, da dann der Temperaturunterschied zwischen Oberflächen- und Tiefenwasser entweder zu gering ist oder das Tiefenwasser mit 4 °C wärmer ist als das Oberflächenwasser.

b)

Wir wissen, dass die Siedetemperatur eines Stoffes vom Druck abhängt (Beispiel Wasser), d.h., je höher der Druck, desto höher die Siedetemperatur (Aus diesem Grund beziehen sich die in Tabellen angegebenen Siedetemperaturen auf den Normaldruck p = 1,013 bar) Die Druckverhältnisse im Arbeitskreislauf des KKKs müssen also entsprechend den auftretenden Temperaturen gewählt werden.

Anmerkung: Bei einer Temperatur von 20 °C genügt schon ein Druck von 8-9 bar, um das Ammoniakgas zu verflüssigen.

c)

Geg.: η = 1,5%, ϑ_1 = 24 °C, ϑ_2 = 22 °C, E = 120 MJ, c = 4,18 KJ/(kg·K)

Ges.: V

Vor.: Über den Kraftwerkswirkungsgrad berechnen wir zuerst die Wärmemenge, die dem Wasser entzogen und dem Kraftwerk zugeführt wird, $-Q_{W,ab} = Q_{K,zu}$. Nun können wir m und damit auch V berechnen.

Lsg.: $\eta = E/Q_{K,zu}$

$\Rightarrow Q_{K,zu} = E/\eta$

$$Q_{K,zu} = \frac{120\ \text{MJ}}{0{,}015}$$

$$Q_{K,zu} = 8.000\ \text{MJ}$$

$$\Rightarrow \underline{Q_{W,ab} = -8000\ \text{MJ}}$$

$$Q_{W,ab} = c \cdot m \cdot \Delta\vartheta$$

NR: $\Delta\vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1$

$\Delta\vartheta = 22\ ^\circ\text{C} - 24\ ^\circ\text{C}$

$\Delta\vartheta = -2\ ^\circ\text{C} = -2\ \text{K}$

$$\Rightarrow m = \frac{Q_{W,ab}}{c \cdot \Delta\vartheta}$$

$$m = \frac{-8.000.000\ \text{kJ}}{4{,}18\ \text{kJ/(kg K)} \cdot (-2\ \text{K})}$$

$$m = 956.937{,}8\ \text{kg}$$

$$m \approx 956{,}9\ \text{t}$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{V = 956{,}9\ \text{m}^3}}$$

Erg.: Um 1 kg Wasserstoff zu erzeugen, müssen 956,9 m^3 um 2 °C abgekühlt werden. Oh, Kurti! Wenn du größere Mengen Wasserstoff produzierst, wird dies für das Ökosystem Dirac-See nicht ohne Folgen bleiben.

[Zurück zur Aufgabe W 35]

W 36 Lösung

a)

Die Sonnenstrahlung durchdringt die Glasscheibe des Sonnenkollektors weitgehend ungeschwächt und erwärmt den Absorber. Der so erwärmte Absorber sendet Wärmestrahlung aus, welche die Glasscheibe nicht durchdringen kann, sondern von dieser absorbiert und zum größten Teil auf den Absorber zurückreflektiert wird. Dadurch steigt die Temperatur im Sonnenkollektor deutlich an (Leerlauftemperatur $\approx$ 100 °C). Aufgrund dieses Sachverhaltes kann man den Sonnenkollektor schon als "Falle für Strahlungsenergie" bezeichnen.

Die beschriebenen physikalischen Vorgänge fasst man unter dem Begriff "Glashauseffekt" zusammen. In einem Gewächshaus übernimmt der Erdboden die Rolle des Absorbers.

b)

An der schwarzen Absorberfläche wird die Strahlungsenergie der Sonne in innere Energie umgewandelt. Da der Absorber aus Metall besteht, wird die innere Energie der Oberfläche rasch an das kalte Wasser abgegeben. Ist das Wasser im Wärmespeicher kälter als das Wasser im Absorber, so wird die Pumpe P_1 über die Temperaturfühler und die Steuerung eingeschaltet, sodass das Wasser im Absorberkreislauf umgewälzt wird. Einen Teil seiner inneren Energie gibt dieses Wasser über den Wärmetauscher an das kühlere Wasser im Wärmespeicher ab. Da der Wärmespeicher gut isoliert ist, kann die aufgenommene Energie eine Zeit lang gespeichert werden. An trüben, kühlen Tagen wird das warme Wasser des Wärmespeichers mittels Pumpe P_2 der Heizung des Gewächshauses zugeführt.
Bei längeren Schlechtwetterperioden kann das Gewächshaus bei entsprechender Stellung der Dreiwegehähne, auch mittels einer Ölheizung beheizt werden.

Anmerkung:

Sonnenkollektoren eignen sich besonders für die Warmwasserbereitung, da warmes Wasser für Baden, Duschen, Spülen und Waschen ganzjährig, also auch im Sommer, benötigt wird. Eine Raumbeheizung mit Sonnenkollektoren ist zurzeit noch nicht wirtschaftlich, da preisgünstige Langzeitwärmespeicher nicht zur Verfügung stehen um die sommerliche Strahlungsenergie für die Heizperiode zu speichern.

c)

Eine Möglichkeit, die vom Sonnenkollektor gelieferte Wärmemenge zu speichern, besteht z.B. darin, einen Stoff mit geeigneter Schmelztemperatur und hoher spezifischer Schmelzwärme als Speichermedium zu benutzen (z.B. Glaubersalz, organisches Ammoniumfluorid).

d)

Geg.: P_{ab} = 8000 MJ/a, η= 35%, B = 1000 kWh/($m^2 \cdot a$)

Ges.: A

Vor.: Über den Wirkungsgrad berechnen wir zuerst die Leistung, die dem Sonnenkollektor zugeführt werden muss. Den so errechneten Wert dividieren wir durch die Bestrahlungsstärke B und erhalten so die gesuchte Kollektorfläche A.

Lsg.: $\eta = P_{ab}/P_{zu}$

$$\Rightarrow P_{zu} = P_{ab}/\eta$$

$$P_{zu} = \frac{8.000 \text{ MJ/a}}{0{,}35}$$

NR: 1 MJ = 1/3,6 kWh

$$P_{zu} = 22.857 \text{ MJ/a}$$

$$\underline{P_{zu} = 6.349 \text{ kWh/a}}$$

$$A = P_{zu}/B$$

$$A = \frac{6.349 \text{ kWh/a}}{1.000 \text{ kWh/(m}^2 \cdot \text{a)}}$$

$$\underline{\underline{A = 6{,}35 \text{ m}^2}}$$

Erg.: Die Kollektorfläche muss eine Größe von 6,35 m^2 besitzen.

Zurück zur Aufgabe W 36

W 37 Lösung

a)

Wenn der Kompressor läuft, verringert er den Druck im Verdampfer. Dadurch sinkt die Siedetemperatur des Arbeitsmittels unter die Umgebungstemperatur. Das Arbeitsmittel verdampft unter Wärmeaufnahme aus der Umgebung (z.B. Außenluft).

Der Dampf des Arbeitsmittels wird nun vom Kompressor verdichtet. Die vom Kompressor am Dampf verrichtete Arbeit bewirkt eine Temperatur- und Druckerhöhung des Dampfes. Da die Verdichtungstemperatur höher ist als die Umgebungstemperatur, wird Wärme an den umgebenden Raum (z.B. Wohnraum) abgegeben.

Durch diese Wärmeabgabe sinkt die Temperatur des Dampfes, bis die dem herrschenden Druck entsprechende Kondensationstemperatur erreicht ist und der Dampf im Kondensator kondensiert. Die Kondensationswärme wird ebenfalls an die Umgebung (z.B. Wohnraum) abgegeben.

Über das Expansionsventil wird der Druckunterschied ausgeglichen, d.h., das Arbeitsmittel wird entspannt, die Temperatur sinkt.

b)

Eine elektrisch betriebene Wärmepumpe wandelt nicht, wie z.B. ein elektrisches Heizgerät, elektrische Energie in innere Energie um, sondern sie transportiert nur eine Wärmemenge unter Temperaturerhöhung von einem Ort zum anderen, z.B. von der Außenwelt ins Wohnzimmer. Es wird also keine neue Energie erzeugt, sondern nur unter Einsatz von Energie eine Wärmemenge transportiert. Dies verletzt nicht den Energieerhaltungssatz.

Anmerkung:

Aus diesem Grund nennt man das Verhältnis zwischen der der Wärmepumpe zugeführten Arbeit W_{zu} und der von der Wärmepumpe transportierten Wärmemenge Q_{tr} auch nicht Wirkungsgrad η, sondern Güteziffer oder Leistungszahl η‘. $\eta' = \frac{Q_{tr}}{W_{zu}}$

c)

Geg.: P = 85 W, η‘ = 4, m = 1 kg, H = 31 MJ/kg

Ges.: t

Vor.: Einfach! Wir setzen die Gleichungen $P = W_{zu}/t$ und $H = Q/m$ und Q_{tr}/m in $\eta' = Q_{tr}/W_{zu}$ ein und stellen nach t um. Fertig!

Lsg.: $\eta' = Q_{tr}/W_{zu}$

NR: $H = Q_{tr}/m \Rightarrow Q_{tr} = H \cdot m$

$P = W_{zu}/t \Rightarrow W_{zu} = P \cdot t$

$$\eta' = \frac{H \cdot m}{P \cdot t}$$

$$\Rightarrow t = \frac{H \cdot m}{P \cdot \eta'}$$

$$t = \frac{31 \text{ MJ/kg} \cdot 1 \text{ kg}}{85 \text{ W} \cdot 4}$$

$$t = \frac{31.000.000 \text{ J}}{340 \text{ J/s}}$$

NR: $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$

$$t = 91.176{,}5 \text{ s}$$

$$\underline{\underline{t = 25{,}3 \text{ h}}}$$

Erg.: Opa Karl muss ganz schön strampeln, nämlich 25,3 Stunden, um die gleiche Wärmemenge wie 1 kg Steinkohle zu erzeugen. So kann er also im Winter seine Bude nicht heizen.

d)

Wärmekraftwerke haben einen Wirkungsgrad von 35 - 40%, d.h., ca. 60% der eingesetzten Primärenergie werden bei der Erzeugung von elektrischer Energie ungenutzt an die Umwelt abgegeben. Dadurch erhält man auch beim Einsatz von Wärmepumpen eine schlechte Gesamtenergiebilanz zwischen eingesetzter Primärenergie und gewünschter Heizwärme.

Benutzt man dagegen eine Wärmepumpe mit Verbrennungsmotor (z.B. als Thermodiesel im Handel), so verbessert sich die Gesamtenergiebilanz, da auch die Motorabwärme zum größten Teil von der Wärmepumpe genutzt werden kann.

Zurück zur Aufgabe W 37

W 38 Lösung

Geg.: $S = 0{,}5$ Rupien/kWh — S = Stromtarif
$m_T = 1{,}2$ kg — m_T = täglich produzierte Biomasse
$G = 50\%$ — G = Gewinnanteil
$H = 45$ MJ/kg

Ges.: x

Vor.: Wir berechnen zuerst die Biogasmasse m_m, die Hannelore in einem Monat produziert. Mit $H = Q/m_M$ berechnen wir nun Q und erhalten so den Betrag der ersetzten elektrischen Energie. Multipliziert mit dem Stromtarif S und geteilt durch 2 erhalten wir den Monatsverdienst x von Hannelore.

Lsg.: $m_M = 30 \cdot m_T$

$m_M = 30 \cdot 1{,}2 \text{ kg}$

$\underline{m_M = 36 \text{ kg}}$

$H = Q/m_M$

$\Rightarrow Q = m_M \cdot H$

$Q = 36 \text{ kg} \cdot 45 \text{ MJ/kg}$

$Q = 1.620 \text{ MJ}$ — NR: $1 \text{ MJ} = 1/3{,}6 \text{ kWh}$

$\underline{Q = 450 \text{ kWh}}$

$x = Q \cdot S/2$

$$x = \frac{450 \text{ kWh} \cdot 0{,}5 \text{ Rupien/kWh}}{2}$$

$\underline{\underline{x = 112{,}5 \text{ Rupien}}}$

Erg.: Wenn Hannelore sich anstrengt, verdient sie 112,5 Rupien im Monat.

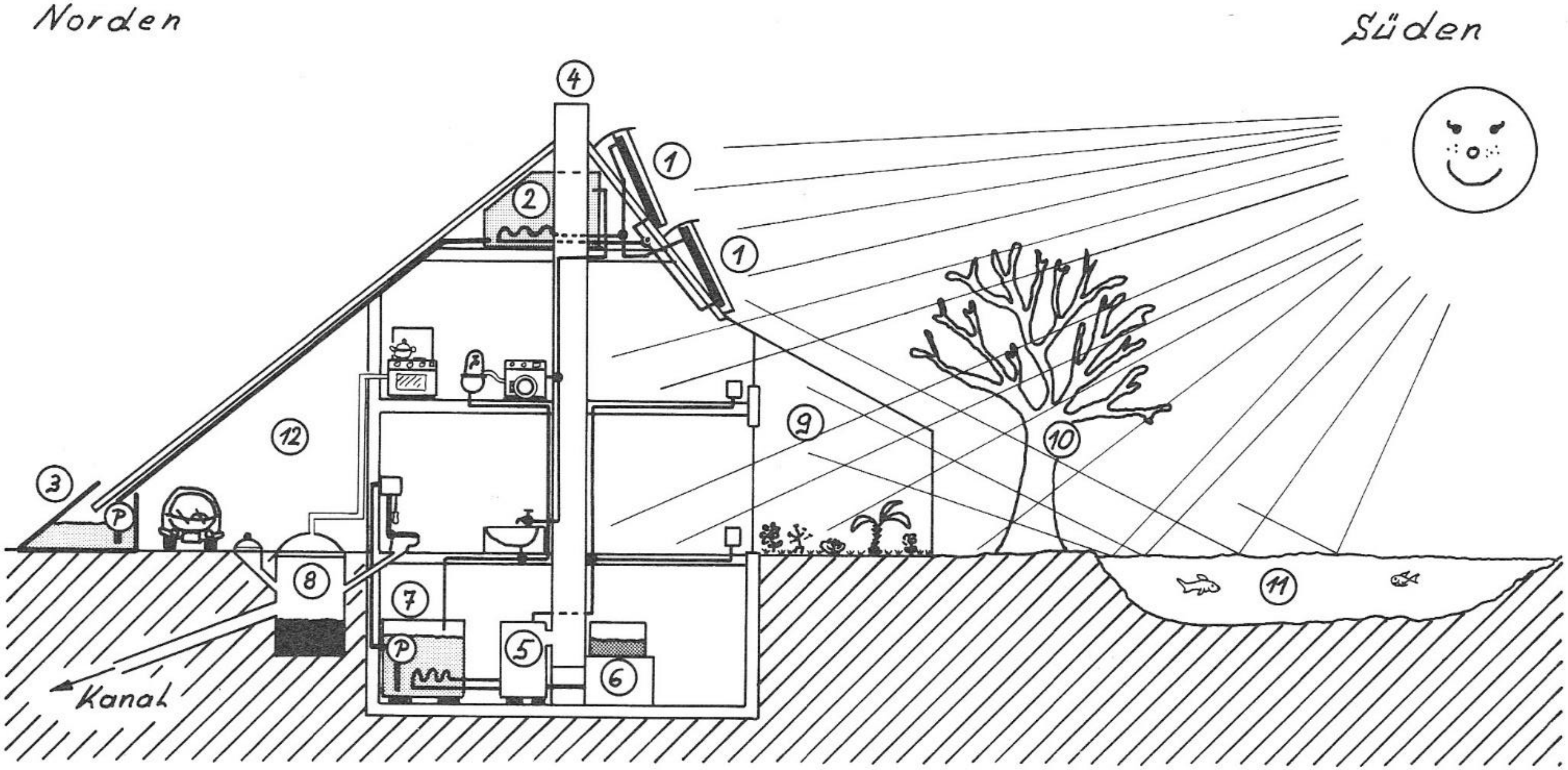
Zurück zur Aufgabe W 38

W 39 Lösung

Dein Entwurf könnte etwa so aussehen, wie die Skizze auf der nächsten Seite.

1) Sonnenkollektoren: nach Süden gerichtet, Neigungswinkel für Sommer-und Winterbetrieb verstellbar.

2) Wärmespeicher: Er enthält das Brauchwasser für Baden, Duschen, Spülen und Waschen, welches durch die Sonnenkollektoren erwärmt wird.



Energiesparhaus im Winter

3)	Brauchwasser-speicher	Das Regenwasser vom großen Norddach wird in ihm gespeichert und bei Bedarf über einen Filter in den Wärmespeicher (2) gepumpt.
4)	Schornstein:	Der Schornstein befindet sich in der Mitte des Hauses und nicht an der Außenseite; denn hier würde er verstärkt Wärme an die Außenluft abgeben.
5)	Wärmepumpe:	Sie wird mit Heizöl betrieben. Die benötigte Heizwärme kann sie aus der Außenluft oder dem Grundwasser und aus der Verbrennung des Heizöls gewinnen.
6)	Heizöltank:	/
7)	Wassertank:	In ihm wird das im Haushalt verwendete, noch warme Brauchwasser gespeichert. Ihm kann so Wärme mittels der Wärmepumpe entzogen werden, bevor es für die Toilettenspülung benutzt wird.
8)	Biogasanlage:	Die Fäkalien und organische Abfälle werden in ihr gesammelt. Das sich bildende Biogas (hauptsächlich Methan) kann zum Kochen verwendet werden. Die Temperatur des Toilettenspülwassers darf jedoch nicht zu niedrig sein.
9)	Gewächshaus:	Im Winter, wenn der Baum (10) keine Blätter trägt, nutzt es den Treibhauseffekt aus. Weiterhin verringert es die Temperaturdifferenz an der Außenwand des Hauses und hilft wie das Norddach (12), Energie zu sparen.
10)	Laubbaum:	Im Winter, wenn er keine Blätter trägt, lässt er die Sonnenstrahlen passieren. Im Sommer verhindert er eine übermäßige Erwärmung des Gewächshauses. Der gleiche Effekt lässt sich auch mittels eines Rankengewächses am Gewächshaus selbst erzielen.
11)	Teich:	Bei tiefstehender Sonne reflektiert er Sonnenstrahlen auf das Haus.
12)	Norddach:	Der Dachvorraum, der hier als Garage genutzt wird, verringert die Temperaturdifferenz an der Außenwand des Hauses und hilft so Energie zu sparen. Weiterhin sammelt das Norddach Regenwasser, welches als Brauchwasser (Duschen, Baden, Waschen, Bewässern des Gewächshauses, ...) verwendet werden kann.
13)	Sonstiges:	Gute Wärmeisolierung versteht sich von selbst.

Zurück zur Aufgabe W 39

W 40 Lösung

a) Auswertung von Tabelle 1

$h = 0{,}5\ \mathrm{m}$

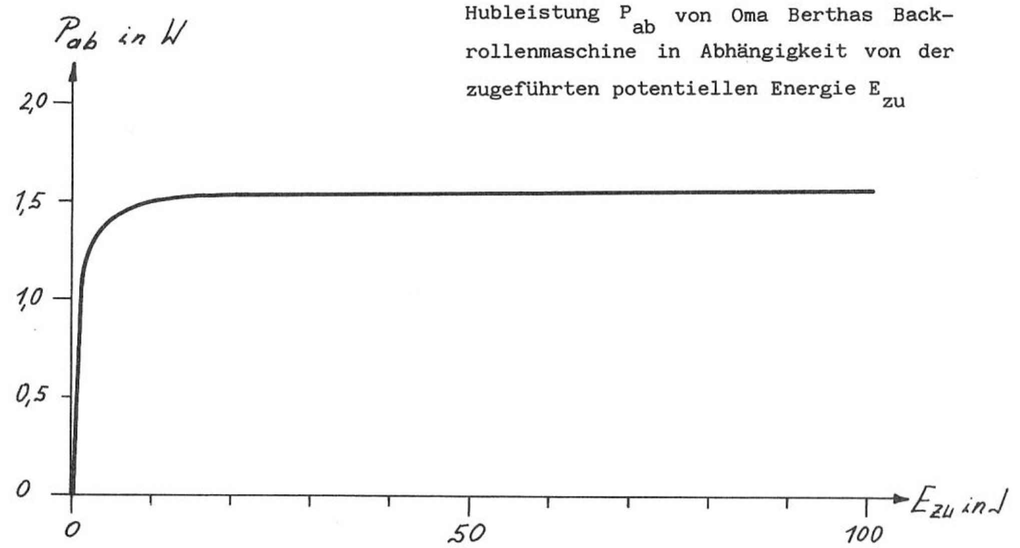
$F_{G2} = 1\ \mathrm{N}$

$E_{zu} = F_{G1} \cdot h$

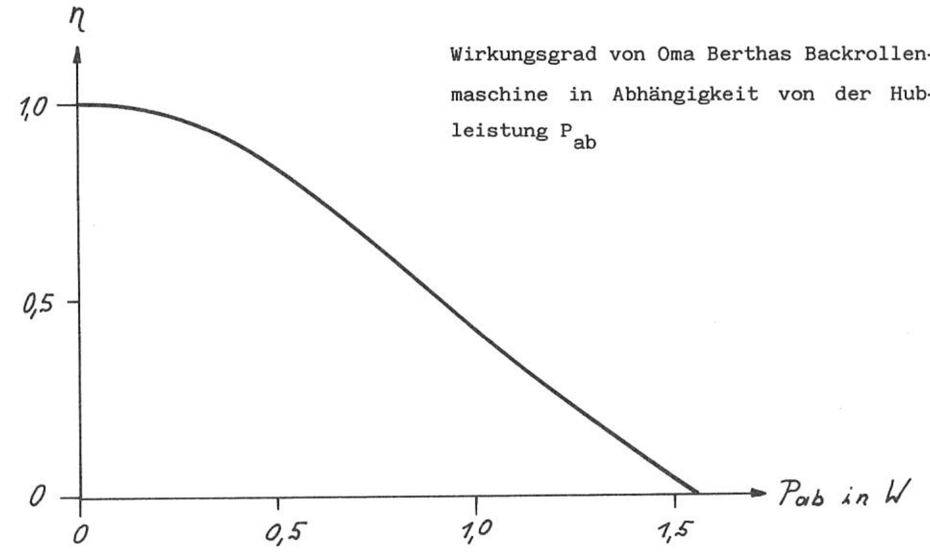
$$P_{ab} = \frac{F_{G2} \cdot h}{t}$$

$$\eta = \frac{F_{G2} \cdot h}{F_{G1} \cdot h}$$

F_{G1} in N	t in s	E_{zu} in J	P_{ab} in W	η
1,0001	3,291	0,500	0,152	1,000
1,1000	1,337	0,550	0,374	0,909
1,5	0,698	0,750	0,716	0,667
3,0	0,448	1,5	1,116	0,333
5,0	0,389	2,5	1,285	0,200
10,0	0,352	5,0	1,421	0,100
25,0	0,332	12,5	1,506	0,040
50,0	0,326	25,0	1,534	0,020
100,0	0,322	50,0	1,553	0,010
150,0	0,321	75,0	1,558	0,007
200,0	0,321	100,0	1,559	0,005



Hubleistung P_{ab} von Oma Berthas Backrollenmaschine in Abhängigkeit von der zugeführten potentiellen Energie E_{zu}



Wirkungsgrad von Oma Berthas Backrollenmaschine in Abhängigkeit von der Hubleistung P_{ab}

Aus dem E_{zu}-P_{ab}-Diagramm ersehen wir, dass die Kurve zunächst steil ansteigt. Im Bereich von E_{zu} = 5 J verringert sich die Steigung der Kurve jedoch so stark, dass sie ab E_{zu} = 20 J fast parallel zur E_{zu}-Achse verläuft. Trotz vermehrter Energiezufuhr erhöht sich also die von der Backrollenmaschine abgegebene Leistung nur unwesentlich. D.h.: In diesem Bereich der Kurve wird ein kleiner Zeitgewinn mit einem sehr großen Energiemehrverbrauch bezahlt. Der Wirkungsgrad der Maschine wird also, wie auch aus dem P_{ab}- 7 -Diagramm ersichtlich ist, zunehmend kleiner.

b)

Aus Diagramm (1) folgt, dass ein PKW umso mehr Benzin und damit umso mehr Energie verbraucht, je schneller er die 700 km lange Strecke von Hamburg nach Stuttgart zurücklegt. In Zahlen: Fährt ein PKW mit einer Geschwindigkeit von v = 140 km/h, so läuft der Motor 5 Stunden und verbraucht 84 Liter Benzin. Fährt ein PKW mit einer Geschwindigkeit von v = 40 km/h, so läuft der Motor zwar 17,5 Stunden, er verbraucht aber nur 32,2 Liter.

Da die Steigung der Kurve im Diagramm (1) nicht konstant ist, sondern mit zunehmender Geschwindigkeit geringer wird, folgt, dass der Geschwindigkeitszuwachs im Bereich hoher Geschwindigkeiten mit einem wesentlich höheren Benzinverbrauch gekoppelt ist, als im Bereich kleiner Geschwindigkeiten. Für die Fahrt von Hamburg nach Stuttgart ergibt sich: Fährt ein PKW statt mit v = 40 km/h mit v = 60 km/h von Hamburg nach Stuttgart, so beträgt sein Zeitgewinn 17,5h - 11,7h = 5,8 h und sein Benzinmehrverbrauch 35,0 l - 32,2 l = 2,8 l. Fährt er mit einer Geschwindigkeit von v = 140 km/h anstatt mit v = 120 km/h, so beträgt der Zeitgewinn 5,8 h - 5,0 h = 0,8 h und der Benzinmehrverbrauch 84,0 l - 60,2 l = 23,8 l.

Für hohe Geschwindigkeiten gilt ähnlich wie bei Teilaufgabe a: Ein kleiner Zeitgewinn wird mit einem großen Energiemehrverbrauch erkauft.

c)

In Diagramm (2) spielt der Faktor Zeit keine Rolle. Aber auch hier lässt sich beobachten, dass die Steigung der Kurve immer geringer wird, d.h., das Verhältnis zwischen Düngemittelzufuhr und Getreideerzeugung verschlechtert sich zunehmend. Energetisch betrachtet bedeutet dies, dass das Verhältnis zwischen Energieeinsatz je Hektar und Energieertrag je Hektar immer schlechter wird, d.h., der Wirkungsgrad sinkt auch hier. Eine geringe Ertragssteigerung wird mit einem großen Energiemehrverbrauch erkauft.

Ob man den Hunger auf dieser Welt auf Dauer allein durch den vermehrten Einsatz von Kunstdünger bekämpfen kann?

Anmerkung:

Für alle drei Teilaufgaben gilt, dass die auf der Ordinatenachse aufgetragene Größe (P_{ab}, v, Getreideertrag) nicht einzig und allein von der auf der Abszissenachse aufgetragenen Größe (E_{zu}, Benzinverbrauch, Düngemittelzufuhr) abhängt. Nicht berücksichtigte, konstanten Faktoren verringern die Steigung der Kurven. Für die jeweiligen Teilaufgaben gilt:

zu a) Infolge des Zusammenspiels von Gravitationskraft und Trägheitskraft kann der Wert 9,81 m/s^2 für die Fallbeschleunigung nicht überschritten werden.

zu b) Die für eine Bewegung gegen die Reibungskräfte der Luft notwendige Motorleistung muss mit der dritten Potenz der Geschwindigkeit, also mit v^3 wachsen.

zu c) Die Ertragsleistung einer Pflanze hängt nicht nur von der Düngerzugabe ab, sondern wird auch von klimatischen, edaphischen (bodenbedingten), genetischen (erblich bedingten), ... Faktoren bestimmt.

Zurück zur Aufgabe W 40

W 41 Lösung

In den Sommermonaten weht infolge des Luftdruckunterschiedes zwischen dem Tiefdruckgebiet über Nordindien und den subtropischen Hochs auf der Südhalbkugel ein infolge der Erdrotation aus Südwesten kommender Wind, der Südwestmonsun. Diese vom Meer herkommenden, feuchtwarmen Luftmassen werden durch das Zentrale Bergland von Sri Lanka zum Aufsteigen gezwungen.

Da die Lufttemperatur mit zunehmender Höhe sinkt (Diagramm 1) und somit die maximale Feuchte, d.h., die Aufnahmefähigkeit der Luft für Wasserdampf abnimmt (Diagramm 2), steigt die relative Feuchte an.

$$f_{rel} = \frac{f_{abs}}{f_{max}} \cdot 100\%$$

Erreicht sie den Wert $f_{rel} = 100\%$, so beginnt der Wasserdampf zu kondensieren, Wolken bilden sich und es regnet.

Die nun feuchtigkeitsärmere Luft sinkt nach der Überquerung des Zentralen Berglandes wieder ab, die Lufttemperatur steigt und damit auch die maximale Feuchte, sodass die Wolken sich auflösen und über die nordöstliche Rumpffläche ein trockenwarmer Wind weht. D.h., die relative Feuchte der Luft ist unter den Wert gesunken, den die Luft über der südwestlichen Rumpffläche hatte; denn einen Teil ihrer Feuchtigkeit hat die Luft durch den Steigungsregen an der Südwestseite des Zentralen Berglandes verloren.

Zurück zur Aufgabe W 41

W 42 Lösung

a) Je kleiner das Verhältnis Körperoberfläche zu Körpervolumen ist, desto geringer ist die Abnahme der inneren Energie durch Wärmestrahlung.

b) In den sternenklaren Nächten, also dann, wenn wenig Wasserdampf in der Atmosphäre ist, gibt die Erdoberfläche mittels Wärmestrahlung Energie an den Weltraum ab. Die Temperatur der Erdoberfläche und Atmosphäre sinkt deutlich ab.

   In den wolkenverhangenen Nächten wird die Wärmestrahlung der Erdoberfläche von den Wolken absorbiert. Die Wolken senden ihrerseits entsprechend ihrer Temperatur Wärmestrahlen in alle Richtungen aus, d.h., die Erdoberfläche erhält einen großen Teil ihrer abgegebenen Energie wieder zurück. Die Nachttemperatur fällt also weniger stark ab als in einer sternenklaren, wolkenlosen Nacht.

c) Ob es an einem Ort auf der Erde wärmer oder kälter wird, hängt (u.a.) von dem Verhältnis zwischen der Einstrahlung der Sonne und der Ausstrahlung der Erdoberfläche ab. Bei Sonnenaufgang ist die Ausstrahlung der Erdoberfläche noch größer als die Einstrahlung der Sonne, sodass die Temperatur an der Erdoberfläche weiter absinkt. Erst, wenn der von der Sonne zugeführte Energiebetrag den von der Erdoberfläche abgegebenen Energiebetrag übersteigt, steigt auch die Temperatur an der Erdoberfläche.

d) Der von der Sonne pro Tag auf einen Ausschnitt der Erdoberfläche (z.B. die Weide von Kuh Hannelore) eingestrahlte Energiebetrag hängt nicht nur von dem Abstand Erde-Sonne, sondern auch von dem Einfallswinkel der Sonnenstrahlung ab. Da die Erde eine Kugel ist und die Erdachse schräg zur Erdbahnebene steht, ändert sich in den höheren Breiten der Einfallswinkel im Verlauf eines Erdumlaufes um die Sonne innerhalb eines Jahres erheblich. In der Zeit zwischen Sommeranfang und Winteranfang auf der Nordhalbkugel nimmt die Energiezufuhr durch die Sonne infolge des kleiner werdenden Einfallswinkels stärker ab, als die Energiezufuhr durch die geringfügig abnehmende Entfernung Erde-Sonne steigt. Daraus folgt, dass es im Winter auf der Nordhalbkugel trotz größerer Sonnennähe kälter ist als im Sommer, und somit sind auch die sternenklaren Nächte im Winter kälter als im Sommer.

e) Wasser besitzt mit $c = 4{,}18$ J(g·K) eine wesentlich höhere spezifische Wärmekapazität als das Festland (z.B. $c_{Sandstein} = 0{,}71$ J/(g·K)). Entsprechend der Gleichung $Q = c \cdot m \cdot \Delta\vartheta$ sinkt aus diesem Grunde, bei Abgabe der gleichen Wärmemenge, die Temperatur von 1 kg Wasser nicht so stark ab wie die von 1 kg Sandstein. Deshalb ist die nächtliche Temperaturabnahme der Meeresoberfläche nicht so groß wie die Temperaturabnahme der Landoberfläche.

Natürlich steigt aus den gleichen Gründen die Oberflächentemperatur des Meeres tagsüber nicht so stark an wie die Temperatur auf dem Festland.

Zurück zur Aufgabe W 42

W 43 Lösung

1. Das anormale Ausdehnungsverhalten von Wasser (größte Dichte bei 4 °C) bewirkt, dass sich am Grunde von genügend tiefen Seen Sommer wie Winter 4 °C warmes Wasser befindet. Hätte Wasser bei 0 °C seine größte Dichte oder würde sich Wasser beim Erstarren zusammenziehen, so würde ein See von unter her zufrieren.

   Dass Pflanzen und Wassertiere in einem an der Oberfläche zugefrorenen See überleben können, verdanken sie also dem anormalen Ausdehnungsverhalten des Wassers und der Volumenvergrößerung beim Erstarren.

2. Wenn die spezifische Verdampfungswärme des Wassers plötzlich nur noch 10% des ursprünglichen Wertes betragen würde, dann würde wesentlich mehr Wasser in den dampfförmigen Zustand übergehen, d.h., Gewässer würden austrocknen, der Meeresspiegel würde sinken und die Atmosphäre enthielte somit bedeutend mehr Wasserdampf, sodass es zu großen klimatischen Veränderungen mit entsprechenden Folgewirkungen kommen würde, z.B. sintflutartige Regenfälle sowie große Dürren.

3. Wenn die spezifische Schmelzwärme des Schnees 3350 J/g betragen würde, dann würde der im Winter gefallene Schnee nur noch sehr langsam abtauen, da dazu ja nun eine zehnfach größere Wärmemenge benötigt würde. Zusätzlich würde dadurch die hohe Albedo (= Rückstrahlungsvermögen) des Schnees, 40 - 95% gegenüber 5 - 25% von Ackerböden, Wiesen,

Wald, ... eine Erwärmung der Luft, die ja hauptsächlich durch die Wärmestrahlung des Bodens erfolgt, nur langsam erfolgen. Wahrscheinlich würde eine neue Eiszeit beginnen.

Wenn die spezifische Schmelzwärme nur noch 33,5 J/g betragen würde, dann käme es im Frühjahr zu katastrophalen Hochwässern.

Da eine Schneedecke, aufgrund der in ihr enthaltenen Luft, ein guter Isolator ist, würde eine abgetaute und somit fehlende Schneedecke in großen Gebieten der Nordhalbkugel bei Frost-einbrüchen eine Erfrierung des Winterweizens zur Folge haben.

Auch würden die Wintertemperaturen deutlich tiefer absinken, da beim Gefrieren des Wassers zu Schnee und Eis ja jetzt nur noch eine geringe Erstarrungswärme frei wird.

4. a) Beim Gefrieren vergrößert Wasser sein Volumen um ca. 11%, da die Wassermoleküle sich zu einem weiträumigen Kristallgitter ordnen. Durch großen Druck kann dieses Kristallgitter zerstört, werden, sodass Wasser wieder flüssig wird. Auf dieser Wasserschicht gleitet der Schlittschuhläufer. Sobald der Druck nachlässt, gefriert das Wasser wieder.

b) Auch am Grund eines Gletschers wird das Eis durch den hohen Druck flüssig, sodass der Gletscher langsam zu Tal gleitet. Außerdem wird dem Gletscher von unten noch Erdwärme zugeführt.

c) Infolge der Druckerhöhung beim Kneten des Schneeballs erfolgt ein kurzzeitiges Schmelzen der Schneekristalle. Dadurch, dass das Schmelzwasser nach dem Kneten sofort wieder gefriert, hält der Schneeball zusammen.

5. a) Golfstrom

b) Wärmekapazität

c) Kondensationswärme

6. Wärmekapazität

Verdampfungswärme

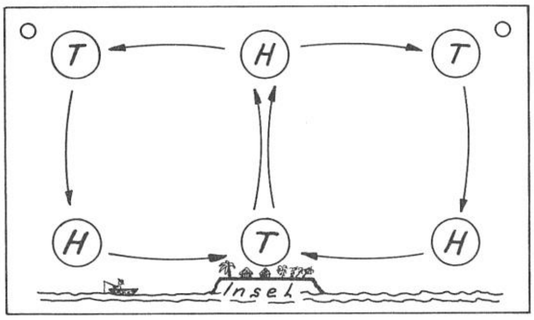
Zurück zur Aufgabe W 43

W 44 Lösung

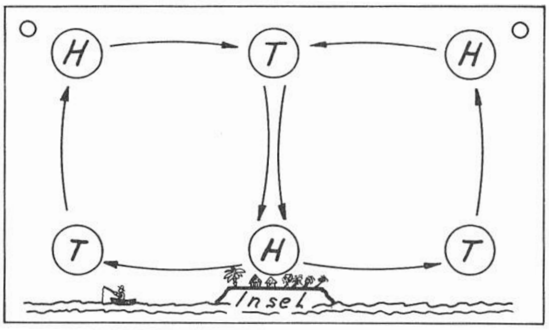
a) Um den tagsüber wehenden Seewind mittels Schlierenprojektion zu demonstrieren, zünden wir, nachdem wir Folie 1 am Modell befestigt haben, nur Teelicht Nr. 2 an. Es erwärmt die Wassersäule (≙ Luftsäule) über der Metallplatte Nr.2 (≙ Insel). Diese Wassersäule dehnt sich aus, sodass Wasser in der Höhe nach außen abfließt. Dadurch erhöht sich der Bodendruck über der Metallplatte Nr. 1 und Nr. 3 (≙ Meer). Infolge des Druckunterschiedes am Boden beobach-ten wir eine Strömung (≙ Seewind) vom Meer zur Insel hin. Über der Metallplatte Nr. 2 wird dieses Wasser erneut erwärmt. Es steigt auf, und in den oberen Wasserschichten entsteht ein Druckgefälle von der Insel zum Meer hin. Eine entsprechende Strömung ist die Folge, sodass der höhere Bodendruck über dem Meer und somit der Seewind bestehen bleibt.

Mit einem Filzstift können wir die Bereiche höheren und tieferen Drucks kennzeichnen. In Bodennähe befindet sich, entsprechend den obigen Ausführungen, über der warmen Insel ein Tiefdruckgebiet und über dem kalten Meer jeweils ein Hochdruckgebiet. In der Höhe befindet sich über der Insel ein Hochdruckgebiet und über dem Meer jeweils ein Tiefdruckgebiet.

Dadurch entsteht, durch Schlierenprojektion sichtbar gemacht und mit Filzstift auf der Folie festgehalten, folgender Strömungskreislauf:



Um den in der Nacht wehenden Landwind zu demonstrieren, zünden wir nur die Teelichter Nr. 1 und Nr. 3 an. Da das Meer nun wärmer ist als das Land, kehren sich Druck- und Strömungsverhältnisse um. Wir erhalten folgendes Bild:



b)

Geg.: V = 400 l, r = 2430 kJ/kg, H = 31 MJ/kg

Ges.: Q_r, m_s

Vor.: Mit $r = Q_r/m$ berechnen wir zuerst die Verdampfungswärme Q_r. Anschließend bestimmen wir mit $H = Q/m_S$ die Masse m_S der Steinkohle.

Lsg.: $r = Q_r/m$

$\Rightarrow Q_r = r \cdot m$ NR: $V = 400\ \text{l} \mathrel{\hat{=}} m = 400\ \text{kg}$

$Q_r = 2.430\ \text{kJ/kg} \cdot 400\ \text{kg}$

$\underline{\underline{Q_r = 972.000\ \text{kJ} = 972\ \text{MJ}}}$

$H = Q/m_S$ NR: $Q = Q_r$

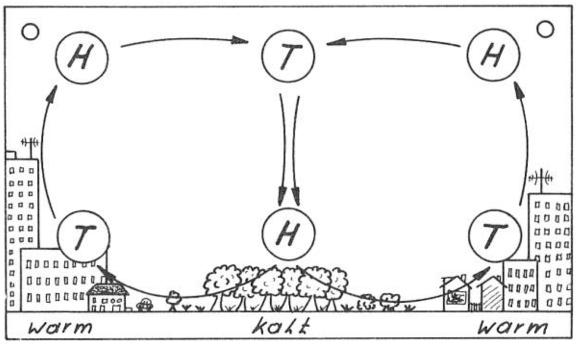
$\Rightarrow m_S = Q_r/H$

$$m_S = \frac{972\ \text{MJ}}{31\ \text{MJ/kg}}$$

$\underline{\underline{m_S = 31{,}35\ \text{kg}}}$

Erg.: Die Birke entzieht der Stadtluft an einem Tag eine Wärmemenge von 972 MJ. Dies entspricht der Wärmemenge, die bei der Verbrennung von 31,35 kg Steinkohle frei wird.

c) Skizze



Zurück zur Aufgabe W 44

W 45 Lösung

a)

Geg.: $f_{rel} = 30\%$, $\vartheta_1 = 30\,°C$, $\vartheta_2 = 1\,°C$, $m_w = 1\,kg$

Ges.: V_L

Vor.: Aus dem Diagramm lesen wir zuerst f_{max} bei 30 °C ab. 30% hiervon ergeben die Wassermasse, die 1 m³ Wüstenluft enthält, also f_{abs}. Die Differenz $f_{abs} - f_{max(\vartheta 2\,=\,1°C)}$ ergibt die Masse des Kondenswassers pro m³ Luft ($f_{Kondens}$). m_W brauchen wir also nur noch durch $f_{Kondens}$ zu teilen und wir erfahren, wieviel m³ Wüstenluft man abkühlen muss, um 1 kg ≙ 1 l Wasser zu erhalten.

Lsg.: Diagramm $\Rightarrow f_{max(\vartheta_1\,=\,30\,°C)} = 30{,}3\ g/m^3$

$$f_{abs} = 30\%\ \text{von}\ f_{max(\vartheta_1\,=\,30\,°C)}$$
$$f_{abs} = 0{,}3 \cdot 30{,}3\ g/m^3$$
$$\underline{f_{abs} = 9{,}1\ g/m^3}$$

$$f_{Kondens} = f_{abs} - f_{max(\vartheta_2\,=\,1\,°C)}$$
$$f_{Kondens} = 9{,}1\ g/m^3 - 5{,}2\ g/m^3$$
$$\underline{f_{Kondens} = 3{,}9\ g/m^3}$$

NR:

$f_{Kondens}$ = Masse des Kondenswassers pro m³ abgekühlter Luft.

$f_{max(\vartheta_2\,=\,1°C)} = 5{,}2\ g/m^3$
Wert aus Diagramm

$$V_L = \frac{m_W}{f_{Kondens}}$$
$$V_L = \frac{1.000\ g}{3{,}9\ g/m^3}$$
$$\underline{\underline{V_L = 256{,}4\ m^3}}$$

Erg.: Um 1 1 Kondenswasser zu gewinnen, müssen 256,4 m^3 Luft von 30 °C auf 1 °C abgekühlt werden.

b)

Geg.: $\eta' = 4$, $t = 1$ min, $m_w = 1$ kg, $c = 1{,}005$ kJ/(kg·K), $\varrho = 1{,}293$ g/dm³, $Q_r = 2485$ kJ, $V_L = 256{,}4$ m³, $\Delta\vartheta = 29$ °C

Ges.: P

Vor.: Der Wüstenluft muss zweimal Wärme entzogen werden und zwar die Wärmemenge Q, um sie von $\vartheta_1 = 30$ °C auf $\vartheta_2 = 1$ °C abzukühlen, und die Kondensationswärme Q_r. Wir berechnen also zuerst $Q_G = Q + Q_r$. Anschließend können wir, da $Q_G = Q_{tr}$ ist, mittels der Güteziffer der Wärmepumpe $\eta' = Q_{tr}/W_{zu}$ die der Wärmepumpe zugeführte elektrische Arbeit W_{zu} berechen. Teilt man sie durch die Zeit t, so erhält man die gesuchte Leistung P.

Lsg.: $Q_G = Q + Q_r$ NR: $\varrho = m_L/V_L$

$Q_G = c \cdot m_L \cdot \Delta\vartheta + Q_r$ $\Rightarrow m_L = \varrho \cdot V_L$

$Q_G = c \cdot \varrho \cdot V_L \cdot \Delta\vartheta + Q_r$ $\varrho = 1{,}293 \text{ g/dm}^3 = 1{,}293 \text{ kg/m}^3$

$$Q_G = 1{,}005 \text{ KJ/(kg·K)} \cdot 1{,}293 \text{ kg/m}^3 \cdot 256{,}4 \text{ m}^3 \cdot 29 \text{ K} + 2.485 \text{ kJ}$$

$$\underline{Q_G = 12.147{,}3 \text{ kJ}}$$

NR: $\Delta\vartheta = 29\ ^\circ\text{C} = \Delta T = 29$ K

$$\eta' = \frac{Q_{tr}}{W_{zu}}$$

$$\Rightarrow W_{zu} = \frac{Q_{tr}}{\eta'}$$

NR: $Q_{tr} = Q_G$

$$W_{zu} = \frac{Q_G}{\eta'}$$

$$W_{zu} = \frac{12.147{,}3 \text{ kJ}}{4}$$

$$\underline{W_{zu} = 3.036{,}825 \text{ kJ}}$$

$$P = W_{zu}/t$$

$$P = \frac{3.036{,}825 \text{ kJ}}{60 \text{ s}}$$

$$\underline{\underline{P = 50{,}6 \text{ kW}}}$$

Erg.: Der Wärmepumpe muss von den Fotoelementen eine Leistung von 50,6 kW zugeführt werden, wenn der Wüstenluft pro Minute 1 Liter Wasser entzogen werden soll.

c)

Geg.: η = 11%, P_{ab} = 50,6 kW, B = 30 kJ/(m^2·min)

Ges.: A, x

Vor.: Wir berechnen zuerst mit η = Pab/Pzu die Leistung P_{zu}, die die Sonne den Fotoelementen zuführen muss. Über die Bestrahlungsstärke B = P_{zu}/A berechnen wir dann A und x.

Lsg.: $\eta = P_{ab}/P_{zu}$

$$\Rightarrow P_{zu} = P_{ab}/\eta$$

$$P_{zu} = \frac{50{,}6\ \text{kW}}{0{,}11}$$

$$\underline{P_{zu} = 460\ \text{kW}}$$

$$B = P_{zu}/A$$

$$\Rightarrow A = P_{zu}/B$$

$$A = \frac{460\ \text{kW}}{30\ \text{kJ}/(\text{m}^2\cdot\text{min})}$$

NR: 460 kW = 460 kJ/s = 27.600 kJ/min

$$A = \frac{27.600\ \text{kJ}/(\text{m}^2\cdot\text{min})}{30\ \text{kJ}/(\text{m}^2\cdot\text{min})}$$

$$\underline{\underline{A = 920\ \text{m}^2}}$$

$$x = \sqrt{A}$$

$$x = \sqrt{920\ \text{m}^2}$$

$$\underline{\underline{x = 30{,}33\ \text{m}}}$$

Erg.: Die Fotoelemente müssen eine Fläche von 920 m^2 bedecken. Dies entspricht einem Quadrat mit 30,33 m Seitenlänge.

d)

Geg.: t = 10 a, 1 a = 365 d, 1 d = 12 h, K_A = 250.000 DM, K_W = 5.000 DM

Ges.: K_{1L} (Kosten für 1 Liter)

Vor.: Mit dem guten alten Dreisatz rechnen wir aus, wieviel Liter Wasser in 10 Jahren kondensieren. Die Gesamtkosten $K_G = K_A + 10 \cdot K_W$ teilen wir durch diesen Wert. Fertig!

Lsg.: In 1 Minute kondensiert V = 1 l Wasser
In 10 Jahren kondensiert V_G = 1 l · 60 · 12 · 365 · 10 = 2.628.000 l Wasser.

$$K_G = K_A + 10\ K_W$$

$$K_G = 250.000\ \text{DM} + 10 \cdot 5.000\ \text{DM}$$

$$K_G = 300.000 \text{ DM}$$

$$K_{1l} = K_G / V_G$$

$$K_{1l} = \frac{300.000 \text{ DM}}{2.628.000 \text{ l}}$$

$$K_{1l} = 0,114 \text{ DM}$$

Erg.: Bei zehnjährigem Betrieb kostet 1 Liter Wasser 11,4 Pfennige.

Zurück zur Aufgabe W 45