1. a) Die Kurve verläuft parallel zur p-Achse  
b) Es ist V=konst, also gilt p1/T1 = p2/T2,

|  |  |
| --- | --- |
| Temperatur T2 | 1047,8 K |

c) aus der Grundgleichung der Wärmelehre Q=m·c·T

|  |  |
| --- | --- |
| Wärme | 545,7 kJ je kg |

[voll](vlsgtherm.docx" \l "t1)[stän](vlsgtherm.docx" \l "t1)[d](vlsgtherm.docx" \l "t1)[ige](vlsgtherm.docx" \l "t1) [Lösung](vlsgtherm.docx" \l "t1)

2.

|  |  |
| --- | --- |
| W = p·V = 0,1 MPa · 0,22m³ Volumenarbeit = 22 kJ Das neue Volumen berechnet sich aus der Zustandsgleichung zu 0,72 m³. [vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t2) |  |

3. Um die Zustandsgleichung anwenden zu können, muss die Temperatur in Kelvin umgerechnet werden. Es ist p=konst, also gilt V1/T1 = V2/T2

|  |  |
| --- | --- |
| Temperatur | 303°C |

4. Der thermische Wirkungsgrad berechnet sich 1-Tab/Tzu.

|  |  |
| --- | --- |
| Wirkungsgrad | 0,6 |

5. a) Die Zustandsgleichung liefert für die Temperatur 300K.  
c) Arbeit 1383 J.  
[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t5)  
  
6. Die Leitung ändert bei dieser Temperaturänderung ihre Länge um 0,03m. Mit dem Satz des Pythagoras kommt man dann auf einen Durchhang von 1,37 m.  
  
7. Aus dem Klassenraum entweichen 2,3 m³.  
[voll](vlsgtherm.docx" \l "t7)[ständi](vlsgtherm.docx" \l "t7)[ge Lösung](vlsgtherm.docx" \l "t7)  
  
8. Die Volumenänderung beträgt 8\*10-5 cm³, die Fläche der Kapillare ist 8\*10-4 cm². Damit ergibt sich ein Durchmesser von 0,32 mm.  
[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t8)  
  
9. V = V0··T

|  |  |
| --- | --- |
| Volumenänderung | 2,4 l |

10. Das Volumen der Blase beträgt in der Tiefe 0,52 cm³, der Druck 3\*105 Pa. An der Oberfläche herrscht ein Normaldruck von 1\*105 Pa. Die Zustandsgleichung liefert für das Volumen der Kugel nahe der Oberfläche 1,556 cm³ und der Durchmesser beträgt dann 1,44 cm.  
[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t10)  
  
11.

|  |  |
| --- | --- |
| Zeit | 10,4 Tage |

[vollstä](vlsgtherm.docx" \l "t11)[ndige L](vlsgtherm.docx" \l "t11)[ösung](vlsgtherm.docx" \l "t11)

12. es gilt m1 = mg –m2. Das wird in die Mischungsregel eingesetzt und nach m2 umgestellt.

|  |  |
| --- | --- |
| m1 = m2 | 100 Liter |

13. notwendige Wärmemenge = 375,2 kJ  
Leistung = 522 W  
[vollstän](vlsgtherm.docx" \l "t13)[di](vlsgtherm.docx" \l "t13)[g](vlsgtherm.docx" \l "t13)[e Lösung](vlsgtherm.docx" \l "t13)  
  
14. Das Volumen des Kanisters muss 20,77 l betragen.  
[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t14)  
  
15. Es sind 26 MJ Wärme notwendig.  
[vollstä](vlsgtherm.docx" \l "t15)[n](vlsgtherm.docx" \l "t15)[di](vlsgtherm.docx" \l "t15)[ge Lösung](vlsgtherm.docx" \l "t15)  
  
16.

|  |  |
| --- | --- |
| Temperaturerhöhung | 332 K |

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t16)  
  
17. Der Stein erwärmt sich bei seinem Sturz um 0,1 K. Das ist sehr wenig.  
Fallen Steine aus größeren Höhen, z.B. aus dem Weltall (Meteorit), reicht die Reibung aus, um die Steine zu verdampfen!  
[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t17)  
  
18.

|  |  |
| --- | --- |
| Volumenarbeit | 1610 Nm |

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t18)  
19.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| isobar | Druck | 100 kPa |
|  | Volumen | 2 m³ |
|  | Temperatur | 546 K |
| isochor | Druck | 200 kPa |
|  | Volumen | 1 m³ |
|  | Temperatur | 546 K |
| isotherm | Druck | 50 kPa |
|  | Volumen | 2 m³ |
|  | Temperatur | 273 K |

isotherme Zustandsänderung

|  |  |
| --- | --- |
| V | P |
| 1,3 m³ | 77 kPa |
| 1,5 m³ | 66,7 kPa |
| 1,7 m³ | 58,8 kPa |

Volumenarbeit

|  |  |
| --- | --- |
| isobar | - 100\*10³ J |
| isochor | 0 |
| isotherm | 7\*104 J |

Wärme

|  |  |
| --- | --- |
| isobar | 355339 J |
| isochor | 253562 J |
| isotherm | -70058 J |

Änderung innere Energie

|  |  |
| --- | --- |
| isobar | 455339 J |
| isochor | 253562 J |
| isotherm | 0 |

[voll](vlsgtherm.docx" \l "t19)[ständi](vlsgtherm.docx" \l "t19)[ge Lösung](vlsgtherm.docx" \l "t19)

20. Die Länge des Stabes ändert sich um 0,258 cm.

[volls](vlsgtherm.docx" \l "t20)[tä](vlsgtherm.docx" \l "t20)[ndige Lösung](vlsgtherm.docx" \l "t20)

21.

|  |  |
| --- | --- |
| Masse | 40 g |
| Dichte | 0,8 kg/m³ |
| Volumen | 460,2 l |
| Dichte | 0,078 kg/m³ |

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t21)  
  
22. Es dauert 262 s = 4 min 22s bis Eis und Wasser auf 20°C erwärmt sind.  
[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t22)  
  
23. P=F·v

|  |  |
| --- | --- |
| Leistung | 1 kW |

W = P·t

|  |  |
| --- | --- |
| Arbeit | 60 kJ |

U=Q+W, Q=0,  
U=30kJ

|  |  |
| --- | --- |
| Temperaturerhöhung | 341 K |

24.

|  |  |
| --- | --- |
| Mischtemperatur | 36,7 °C |

[Vollst](vlsgtherm.docx" \l "t24)[ä](vlsgtherm.docx" \l "t24)[n](vlsgtherm.docx" \l "t24)[dige Lösung](vlsgtherm.docx" \l "t24)

25. z.B: aufgenommenen Wärme = abgegebene Wärme,  
V1·ϑ1 = V2·ϑ2  
ϑ1 = ϑm - ϑ1, ϑ2 = ϑ2 - ϑm

|  |  |
| --- | --- |
| Volumen | 13,75 l |

26.

|  |  |
| --- | --- |
| Temperatur | 24,8 °C |

[Vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t26)  
  
27. Wasser kann zum Sieden gebracht werden.  
[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t27)  
  
28.

|  |  |
| --- | --- |
| Temperatur | 198,8 K |

29.  
a) Die Luft hat eine Masse von 1,29 kg.

b) Zum isochoren Erwärmen um 1 K sind 929 J erforderlich.

c) Beim isobaren Erwärmen sind 1302 J erforderlich. Es muss noch Volumenarbeit verrichtet werden.  
d) Das Volumen wächst um 0,0036 m³, das sind 360 cm³.

e) Beim isobaren Erwärmen verrichtet die Luft 360 J.  
[vo](vlsgtherm.docx" \l "t29)[llst](vlsgtherm.docx" \l "t29)[ä](vlsgtherm.docx" \l "t29)[ndige Lösung](vlsgtherm.docx" \l "t29)

30. Durch Diffusion kommt es zu einer eigenständigen Vermischung der Flüssigkeiten.  
  
31. 1 – 2 : isobar V ~ T  
2 – 3 : isochor V = konst.

|  |
| --- |
|  |

32.  
2 – 3 isobar  
3 – 1 isochor p ~T

|  |
| --- |
|  |

33.   
1 – 2 isotherm  
3 – 4 isotherm  
2 – 3 isochore  
4 – 1 isochore

|  |
| --- |
|  |

34.

|  |  |
| --- | --- |
| p3 | 1,15\*105 Pa |
| V3 | 9,78 m³ |
| p4 | 2,3\*105 Pa |
| V4 | 4,88 m³ |
| Q1 | 1,1 MJ |
| Q2 | 0,78 MJ |
| η | 0,3 |

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t34)  
  
35. Wirkungsgrad η=1-(Tab/Tzu)  
2η1 = η2nach Tzu2 umstellen = 527,9K

|  |  |
| --- | --- |
| Temperatur | 254,9 °C |

36. η=(Qzu+Qab)/Qzu und η=1-(Tab/Tzu)

|  |  |
| --- | --- |
| Wärme | -800 J |
| Temperatur | 360 K |

l  
37. a) Volumenänderung=Volumen\*1/273\*Temperaturänderung  
b) isochore Erwärmung: p/T = konst.

|  |  |
| --- | --- |
| Volumenänderung | 1,98 m³ |
| Druck | 993 mbar |

38. Die eine Schiene ist 3,38m, die andere 4,62 m lang   
[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t38)  
  
39. Bei einer Erhöhung um 50K schließt sich die Lücke.  
Die Lücke war ursprünglich 17,5 mm breit.  
[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t39)  
40. a) Das Öl steht jetzt 4,12 m hoch, ist also um etwa 20 cm gestiegen.  
b) Nach dem Erwärmen beträgt die Dichte 0,83 t/m³.  
[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t40)  
  
41. Die Düse muss bei 350 °C einen Durchmesser von 5,64 mm haben. Im kalten Zustand ist der Durchmesser kleiner. Mit der Gleichung der linearen Ausdehnung erhält man einen Durchmesser von 5,605 mm.

|  |  |
| --- | --- |
| Querschnitt | 24,67 mm² |

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t41)

42. Das Kaillarröhrchen des Thermometers muss eine Querschnittsfläche von 8\*10-3 mm² haben.  
[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t42)

43.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Öl im Gehäuse | 179,5 l | |
| Ausdehnung des Öls | 6,9 l | |
| Ausdehnung Fe, Cu | 0,19 l | |
| Ausdehnung Stahl | 0,43 l | |
| Überlauf | 6,66 l |

[voll](vlsgtherm.docx" \l "t43)[ständige Lösung](vlsgtherm.docx" \l "t43)  
  
44. Das Wasserstoffgas hat eine Dichte von 12,4 km/m³.

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t44)

45.

|  |  |
| --- | --- |
| Arbeit | 34,4 MJ |

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t45)  
46.   


|  |  |
| --- | --- |
| Druck | 4,1\*105 Pa |

47. Es wird ein Enddruck von 0,87 MPa erreicht.

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t47)

48.

|  |  |
| --- | --- |
| Druck | 4,48\*105 Pa |

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx" \l "t48)  
  
49. Wasser würde von unten zufrieren: schlecht für Fische usw. weniger Verwitterung

50. Die Länge der Brücke schwankt zwischen Sommer und Winter um 9,1 cm.

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t50)  
  
51. Aluminium dehnt sich stärker aus =>zur Eisenseite  
  
52. Wasser dehnt sich beim Erwärmen aus, das Volumen der Flüssigkeit in der Heizung wird größer. Das Mehr an Wasser wird in das Ausdehnungsgefäß gedrückt.  
  
53. Längenänderung = Länge \* Ausdehnungskoeffizient \* Temperaturänderung

|  |  |
| --- | --- |
| Längenänderung | 0,18 m |

54.

|  |  |
| --- | --- |
| Das Lineal hat sich als Folge der Erwärmung ausgedehnt. Damit sind die Abstände zwischen den Markierungen größer geworden. Man misst zu kurz. |  |

55. Der Turm neigt sich von der Sonnenseite etwas weg.  
  
56. Längenänderung = Länge \* Ausdehnungskoeffizient \* Temperaturänderung

|  |  |
| --- | --- |
| Längenänderung | 480 m |
| Radiusänderung | 76,4 m |

57. Wasser dehnt sich beim Gefrieren wieder aus (Anomalie). Gestein wird dadurch zerstört (Verwitterung)  
  
58. Volumenänderung = Volumen \* Ausdehnungskoeffizient \* Temperaturänderung

|  |  |
| --- | --- |
| Volumen | 30,774 l |

59. Holz und Kunststoff haben eine geringe Wärmeleitfähigkeit. Damit werden sie selbst nicht so heiß wie der Topf und man kann anfassen.  
  
60. Luft wirkt als Wärmeisolator  
Gerillte Oberfläche = große Oberfläche = große Angriffsfläche für die Wärme  
Kupfer ist guter Wärmeleiter  
  
61. Das Drahtnetz leitet Wärme auf die gesamte Oberfläche des Glases. Damit entstehen keine Spannungen, die das Glas zerstören könnten.  
  
62. Temperaturunterschiede zwischen Innen und Außen = unterschiedliche Ausdehnung = Spannung  
Das Glaser muss vorher erwärmt, dazu kann man es in warmes Wasser stellen.  
  
63. Metall ist ein besserer Wärmeleiter. Damit wird die Wärme besser weg transportiert und die Stelle kühlt schneller ab.  
  
64. a) Die Luft in der Kleidung isoliert, da Luft ein schlechter Wärmeleiter ist.  
b) Mehrere dünne Kleidungsstücke sind besser, da dadurch mehrere isolierende Luftschichten entstehen.  
  
65. Durch Konvektion (Wärmeströmung) strömt kalte Luft von unten durch die Heizkörper nach oben. Die kalte, einströmende Luft wird gleich mit erwärmt.  
Ist das Fenster offen, strömt die kalte Luft von draußen über die Heizkörper nach unten und wird dabei erwärmt.  
  
66. Der Wind weht von kalt zu warm, weil warme Luft nach oben steigt. Dadurch muss dort neue Luft nachströmen.   
  
67. Da der Schnee schmilzt, wird er von unten erwärmt. Das Haus hat also eine schlechte Wärmedämmung.  
  
68. Die dunklen Stellen absorbieren Wärme besser als helle Stellen. Damit erwärmt sich diese Stelle schneller.  
  
69. a) Die Masse des Heliums beträgt 0,048 g.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Zustand | p in MPa | V in cm³ | T in K |
| 1 | 0,20 | 150 | 300 |
| 2 | 0,40 | 150 | 600 |
| 3 | 0,20 | 300 | 600 |
| 4 | 0,10 | 300 | 300 |

|  |  |
| --- | --- |
| c)  Die abgegebene Arbeit ist die Fläche unter der Kurve.  Der Motor gibt eine je Umlauf eine Arbeit von 20,8 J ab.  d) Wirkungsgrad 24% |  |

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t69)

70.

Das Wasser erwärmt sich um 22,9 K und dehnt sich dabei um 2,1 ml aus.  
  
[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t70)  
71. 

|  |  |
| --- | --- |
| Volumenänderung | 23 cm³ |
| Koeffizient | 3,6\*10-3 K-1 |

72. V = (Pi/4)\*d²\*h

|  |  |
| --- | --- |
| Volumen der Flasche | 0,03m³ |

p\*V = m\*R\*T

|  |  |
| --- | --- |
| Stoffmenge | 138,3 mol |

M = M\*n

|  |  |
| --- | --- |
| Masse | 6,4 kg |

73. Durch die Längenänderung entsteht ein Fehler von 0,43 m³.

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t73)  
  
74.

Der Heißwasserbereiter kann in einer Minute 240 ml Wasser heiß machen.  
[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t74)  
  
75. p\*V=RS\*m\*T

|  |  |
| --- | --- |
| Druck | 7,8 MPa |

76.

|  |  |
| --- | --- |
| Temperatur | 1009 °C |

[Vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t76)  
  
77. Qges = Schmelzwärme + aufgenom. Wärme + Verdampfungswärme  
Qges = QS + QW + QVQS = 0,15 kg \* 334 kJ/kg = 50,1 kJ  
QW = 0,4 kg \* 4,186 kJ/(kg\*K) \* 100 K = 167,4 kJ  
QV = 0,4 kg \* 2260 kJ/kg = 904 kJ  
Also: Qges = 1121,5 kJ  
Wirkungsgrad = abgegebene Wärme / zugeführte Wärme  
abgegebene Wärme = 1121,5 kJ = 1121,5 \* 103 Ws  
zugeführte Wärme = P\*t = U\*I\*t = U²\*t/R  
alles einsetzen und die Gleichung nach t umstellen:   
t=Qges \* R/(0,4\*U²)  
t= 7,9 \* 103 s etwa 8\*103 s  
t = 133 min  
t = 2,2 h  
t = 2 h 12 min  
  
78. c) ist richtig. Das Loch wird größer.  
Man stelle sich vor: Ein Stab wird zu einem Kreis gebogen und erwärmt. Dabei wird der Stab länger, der Umfang des Kreises wächst und damit auch das Loch.  
  
79. Man braucht:  
1. warmes Wasser

2. Eiswasser, in dem Eisstücken schwimmen

3. Thermometer

4. Waage

Man macht:

1. Temperatur und Masse des warmen Wassers messen.

2. Das Eis aus dem Eiswasser entnehmen. Es hat eine Temperatur von 0°C.  
3. Das Eis schnell in das warme Wasser geben.

4. Solange rühren, bis das Eis geschmolzen ist.

5. Sofort die Temperatur dieses Wassers messen.

6. Masse messen

Was ist passiert:

Das warme Wasser gibt Energie an das Eis ab. Dieses schmilzt und nimmt dabei Schmelzwärme auf. Das geschmolzene Eis (Wasser) nimmt weiter Wärme auf und erhöht seine Temperatur solange, bis ein Temperaturgleichgewicht herrscht. Die Temperatur des warmen Wassers ist also bis auf die Gleichgewichtstemperatur gesunken. Gleichzeitig nimmt aber das Gefäß noch Wärme auf und gibt sie an die Umgebung ab.  
Wärmeabgabe warmes Wasser = Wärmeaufnahme Gefäß + Schmelzwärme + Wärmeaufnahme Wasser  
[Herleitung der Gleichung](vlsgtherm.docx#t79)  
  
  
80. a) Temperatur: Jedes Teilchen eines Gases ist in Bewegung, besitzt also eine kinetische Energie. Der Mittelwert der kinetischen Energien aller Teilchen stellt die Temperatur dar.  
Druck: Die große Anzahl von Teilchen in einem Gas sind in ständiger Bewegung. Ein Teil dieser Teilchen prallen dabei an die Außenwände und erzeugen einen Kraftstoß. Die Summe aller Kraftstöße bilden den Druck.  
  
b) Isotherme Expansion heißt, das sich das Volumen des Gases vergrößert, ohne das sich die Bewegung der Teilchen (kinetische Energie) ändert. Damit stoßen aber pro Zeit weniger Teilchen an die Außenwände, was eine Druckerniedrigung zur Folge hat.  
  
81. Thermometer wird einmal in Eiswasser (Schnee + Wasser) und in kochendes Wasser gehalten. Beide Stellungen der Thermometerflüssigkeit werden markiert und die dazwischen liegende Strecke in 100 gleiche Teile geteilt. Ob man damit eine Genauigkeit auf 1/10 °C erreicht, ist fraglich!  
  
82. Beim Erwärmen schwingen die Teilchen schneller, benötigen dadurch mehr Platz und der Körper dehnt sich aus.   
  
83. Längenänderung = Länge \* Temperaturänderung \* lin. Ausdehnungskoeffizient

|  |  |
| --- | --- |
| Länge | 0,4996 m |

84.

|  |  |
| --- | --- |
| Längenänderung | 0,056 m |

85. Die Fixpunkte der Celsiusskala sind leichter zu reproduzieren. Sie lassen sich mit einfachen Experimenten darstellen: Eiswasser und kochendes Wasser  
  
86. Da das Trapez gleichschenklig ist, lässt sich seine Fläche auf ein Rechteck vereinfachen, wobei eine Seitenlänge der Einfüllhöhe von 30cm entspricht.  
Die zweite Seite beträgt 122,5cm (nach dem Strahlensatz einfach herleitbar).  
Daraus folgt:  
  
Als erstes Zwischenergebnis lässt sich daraus der Wasserpreis berechnen: 99 Cent.  
Das errechnete Volumen entspricht einer Masse Wasser von 220,5kg.  
Weiter geht es mit der Berechnung der Wärmemenge:  
   
  
  
  , wobei   
  
  
Das ergibt einen Energieverbrauchspreis von 31 Cent.  
Somit kostet ein solches Wannenbad am Ende einer langen Woche etwa 1,3 €.  
  
87. Thermische Energie: die in einem Körper gespeicherte Energie auf Grund der Temperatur des Körpers.  
Wärme: Thermische Energie, die ihren Besitzer wechselt, damit gewinnt ein Körper an Energie (Temp. erhöht sich oder Aggregatzustand ändert sich) ein anderer verliert Energie (Temp. wird kleiner oder Aggregatzustand ändert sich)  
Kälte ist damit nicht notwendig. Wird ein Körper kälter, gibt er Wärme ab. Gäbe es den Begriff Kälte, müsste man sagen: Der Körper nimmt Kälte auf.  
  
88. Beispiele wären: See- und Kontinentalklima, Warmwasserheizung, Kühlmittel im Auto  
Das Wasser kann eine große Wärmemenge aufnehmen. Damit ist Wasser in der Lage, besonders gut zu kühlen als auch wärmen. Kaltes Wasser kann sehr viel Wärme aufnehmen, warmes Wasser kann viel Wärme abgeben.  
  
89. Q=m\*c\* T

|  |  |
| --- | --- |
| Wärme | 125,7 kJ |
| Energie Spiritus | 320 kJ |

Energie reicht aus.  
[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t89)  
  
90. Unterschiedliche Temperatur heißt, dass die Teilchen des einen Stoffs eine höhere thermische Energie besitzen als die anderen. Beim Mischen gibt der Stoff mit der höheren Temperatur Wärme an den Stoff mit der niedrigen Temperatur ab, thermische Energie geht also von einem Stoff auf den anderen über. Das geht so lange, bis die Temperaturen ausgeglichen sind.  
  
91. a)

|  |  |
| --- | --- |
| Druck | 1025,3 hPa |

b)

|  |  |
| --- | --- |
| Masse | 2,49\*10-3 kg |

c)

|  |  |
| --- | --- |
| Höhe | 58,4 cm |

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t91)  
  
92. Auf Skala b haben die Gradstriche einen größeren Abstand als auf Skala a. Auf Skala b kann man deshalb genauer ablesen; Skala a erfasst bei gleicher Skalenlänge den größeren Temperaturbereich.  
  
93.

|  |  |
| --- | --- |
| Differenz | 76,8 K |
| Differenz | 18,4 K |
| Differenz | 6,5 K |

94. Der Flaschenhals weitet sich wie ein erwärmter Ring, während der Stopfen seinen Durchmesser zunächst noch nicht ändert.  
  
95. mit l=l\*\*T

|  |  |
| --- | --- |
| Differenz | 7,2 cm |

Da sich die Außenhaut des Flugzeuges abkühlt, zieht sie sich um 7,2 cm zusammen. Die Innenhaut wird sich aber nicht zusammenziehen, so dass im Flugzeug Spannungen auftreten werden.  
  
96.

|  |  |
| --- | --- |
| Das heiße Wasser hat eine geringere Dichte als das kalte. Dadurch ist der Schwerdruck am Boden des Gefäßes kleiner als im Gefäß mit dem kalten Wasser und es erfolgt über die Verbindung ein Druckausgleich. Kaltes Wasser fließt so lange in das andere Gefäß, bis der Druck auf beiden Seiten der Verbindung gleich ist. |  |

97. Bei der Talfahrt wir die Lageenergie des Fahrzeugs als Wärme an die Umgebung abgegeben. Dabei wird die Bremsanlage heiß und schließlich unwirksam. Der Motor ist durch seinen Kühlwasserkreislauf besser für die Wärmeabgabe eingerichtet.  
  
98. Der Aluminiumzylinder sinkt am tiefsten ein, denn er kann die größte Wärmemenge abgeben.  
  
99. Die Reifenwandung wurde sehr oft verformt und dadurch erwärmt. Also stieg im Reifen die Lufttemperatur und damit auch der Luftdruck.  
  
100. Die vom Verdampfer aus der Zimmerluft aufgenommene Wärme geben der Kondensator und der heiße Kompressor wieder ab, zusätzlich aber auch die zugeführte elektrische Energie in Form von Wärme. Diese bleibt als Überschuss und erwärmt die Küche.  
  
101. Der Längenausdehnungskoeffizient von Beton und Stahl ist gleich. Aluminium hat einen größeren Koeffizienten und würde bei Temperaturänderungen den Beton zerstören.  
  
102. isotherm, also T=const.  
p2=0,85p1Eingesetzt in V1p1/T1 = V2p2/T2:  
V1p1=V2\*0,85p1V2=1,176V1Das Volumen nimmt um etwa 18% zu.  
  
103. Die Anfangstemperatur des Gases betrug 68,3 °C.  
[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t103)  
  
104. Q = m \* c \* T

|  |  |
| --- | --- |
| Energie | 4,19\*1012KJ |

=> Leistung von 4,19\*1012 KW

|  |  |
| --- | --- |
| Anzahl | 4,19\*106 Stück |

105.

|  |  |
| --- | --- |
| Volumen | 64 m³ |
| Masse des Wassers | 64 \* 10³ kg |

Q = m \* c \* T

|  |  |
| --- | --- |
| Energie | 74,5 kWh |

über die potentielle Energie

|  |  |
| --- | --- |
| Wasser | 273 m³ |

106. Warme Luft kann mehr Wasser aufnehmen als kalte Luft. Wird nun warme Luft abgekühlt, fällt das Wasser als Tröpfchen heraus, es kondensiert. (Regen)  
Kommt man mit der kalten Brille in einen warmen Raum, kühlt die Luft in der Nähe der Gläser schnell ab und das Wasser schlägt sich als feine Tröpfchen an den Gläsern ab, die Brille beschlägt.

Wird die Brille mit der Zeit wärmer, geht das Wasser wieder in die Luft über und man kann wieder durchschauen. Das Wasser abwischen hilft nicht viel, das dann gleich wieder Flüssigkeit kondensiert. Außerdem verschmiert dadurch die Brille. (eigene Erfahrung)

107. Flüssigkeit kommt an die Außenschicht des Gefäßes und verdunstet. Dazu wird Wärme benötigt, die dem Gefäß entzogen wird => Gefäß kühlt ab.  
  
108. Alkohol verdunstet und entzieht dem Gesicht dabei Wärme (Verdampfungswärme).   
  
109. Bei feuchten Haaren kühlt das verdunstende Wasser den Kopf. Sind die Haare trocken, trifft der warme Luftstrom direkt den Kopf und es fehlt die kühlende Wirkung des Wassers.  
  
110. An der Windseite verdunstet die Flüssigkeit schneller und entzieht dem Finger Wärme. Das spürt man als Abkühlung.  
  
111. a) Masse bleibt gleich, Volumen wird kleiner  
b) Masse wird kleiner, Volumen bleibt gleich, Öl läuft über den Rand.  
  
112. Q=m\*c\*T

|  |  |
| --- | --- |
| Volumen | 210 Liter |

Es wird nur ein Viertel der Energie genutzt, also kann auch nur ein Viertel der Wassermenge zum Sieden gebracht werden.

|  |  |
| --- | --- |
| Volumen | 52,6 Liter |

113. Falsch. Schnellkochtopf kocht schneller, weil er bei einer höheren Temperatur als 100°C kocht.  
Falsch. Gase können auch ihr Volumen ändern (isotherme Kontraktion).  
  
114. Das Röhrchen des Thermometers ist sehr dünn. Dadurch bewirkt eine kleine Temperaturänderung eine große Veränderung der Höhe der Thermometerflüssigkeit.  
  
115. Bügel- und Waschtemperatur  
  
116.   
  
117. Holz und Glas dehnen sich unterschiedlich aus. Glas muss sich bewegen können, sonst springt es. Kitt gibt nach, Klebstoff nicht.  
  
118. Die Luft im Ball dehnt sich aus und Ball verliert seine Beulen.  
  
119. Kupfer hat eine niedrigere Schmelztemperatur als Eisen und würde zuerst Schmelzen.  
  
120. Zugabe von Frostschutzmittel, das eine wesentlich niedrigere Erstarrungstemperatur als Wasser hat.  
  
121. Hoch über der Erde ist die Atmosphäre stark verdünnt, und die Zahl der Moleküle pro Volumeneinheit ist klein. Obwohl also jedes Molekül eine beträchtliche kinetische Energie besitzt, sind zu wenig Teilchen vorhanden, um bei Zusammenstößen mit den Wänden eines Satelliten eine merkliche Energie zu übertragen.  
  
122. Der Flug eines Meteoriten durch die Erdatmosphäre dauert nur wenige Sekunden. In dieser kurzen Zeit kann die durch Reibung des Meteoriten an der Luft entstehende Wärme nicht in sein Inneres eindringen, da die Wärmeleitfähigkeit des Materials klein ist.  
Fällt der Meteorit ins Wasser, so kühlen sich die Oberflächenschichten schnell ab und seine Oberfläche bedeckt sich mit einer Eiskruste.  
  
123. Die von einem Körper in der gleichen Zeit an den umgebenden Raum abgegebene Wärmemenge ist umso größer, je mehr sich seine Temperatur von der des umgebenden Mediums unterscheidet. Die Abkühlung erfolgt deshalb am Anfang schnell und wird dann immer langsamer. Aus diesem Grunde ist es vernünftiger, zunächst fünf Minuten zu warten, da der sich abkühlende Körper seine Wärme schneller verliert.  
  
124. Der Anstieg der Flüssigkeit erfolgt auf Kosten eines Verlustes an innerer Energie der Flüssigkeit. Die Flüssigkeit kühlt ab. Diese Abkühlung ist aber sehr gering.  
  
125. Im Innern einer Flüssigkeit sind bei beliebiger Temperatur sowohl schnellere als auch langsamere Moleküle vorhanden. Die Verdampfung erfolgt durch den Weggang der schnelleren Moleküle aus der Flüssigkeit, da sie Energien besitzen, die für die Überwindung der Kohäsionskräfte mit dem restlichen Teil der Flüssigkeit ausreichen. Mit dem Weggang der schnellen Moleküle verringert sich die mittlere Geschwindigkeit der verbleibenden Moleküle; damit erniedrigt sich aber auch die mittlere Temperatur der Flüssigkeit. Damit sind die Temperaturen nicht mehr gleich und ein Wärmeaustausch wird möglich.  
  
126. Bei einer Verringerung des Druckes siedet das Wasser bei niedriger Temperatur. Wichtig ist aber nicht die Tatsache des Siedens sondern die Temperatur des siedenden Wassers. Was nützt denn siedendes Wasser bei einer Temperatur von 60°C? In solchem Wasser lässt sich weder Fleisch noch Fisch gar kochen und selbst ein Teeliebhaber wird sich mit einer solchen Temperatur des Tees nicht zufrieden geben.  
  
127. Diese Überlegungen sind natürlich falsch, denn es würde die Realisierbarkeit eines Perpetuum mobile bedeuten.  
Beispiel: Wir nehmen an, vor den Verbesserungen verbraucht die Anlage 100 kg Brennstoff pro Stunde. Nach Ausnutzung der ersten Erfindung hat sich der Verbrauch auf 70 kg verringert.  
Die zweite Verbesserung erlaubt eine Einsparung von weiteren 25%, aber jetzt schon von 70 kg. Nach Einsatz der beiden ersten Erfindungen beträgt der Brennstoffverbrauch somit 52,5 kg pro Stunde. Die dritte Erfindung schließlich bringt noch eine weitere Einsparung von 45%, d.h. eine Verringerung des Verbrauchs auf 28,9 kg.  
Es ergibt sich eine Einsparung von 71,1%.  
  
128. Die Platte ist so heiß, dass ein Teil des Wassers bereits verdampft, bevor die ganze Wassermenge die Platte berühren kann. Zwischen dem Wasser und der Herdplatte bildet sich eine dünne Dampfschicht. Durch dieses Dampfkissen, auf dem sich das Wasser hält, wird eine direkte Berührung des Wassers und der Platte unterbunden. Gase und Dämpfe sind aber äußerst schlechte Wärmeleiter, so dass die Wärme nur sehr schlecht zu dem Wasser vordringen kann.  
Die Erscheinung wird als Leidenfrostsches Phänomen bezeichnet.  
  
129. Am Tage ist in heißen Wüsten die Luft wärmer als unser Körper. Dort wird die Wärme von der Luft auf den menschlichen Körper übertragen. Je größer daher die Luftmassen sind, die je Zeiteinheit am Körper vorbeiströmen, umso stärker empfinden wir die Wärme.  
  
130. Beim Gefrieren des feuchten Bodens wird eine erhebliche Menge der Erstarrungswärme des Eises abgegeben, die eine Erwärmung des Bodens bewirkt.  
  
131. Vorteile: in großen Mengen vorhanden, deshalb preiswertes Material,   
ungefährlich, falls das Thermometer kaputt geht,  
nutzbar von 4°C bis knapp vor der Siedetemperatur, eventuell als Zimmerthermometer.  
Nachteile: im Temperaturbereich kleiner 4°C nicht anwendbar, 3°C von 5°C nicht unterscheidbar, Zerstörung bei Frost)  
  
132. Die Lösung lautet: b), also beide Würfel haben das gleiche Endvolumen, da sich ein Hohlkörper bei Erwärmung stets so ausdehnt, als ob der gesamte Hohlraum mit Werkstoff ausgefüllt wäre, aus dem die Wandung besteht.  
  
133. 1 Wasserstoffmolekül = 2 Wasserstoffatome = Masse 2\*1,016 u = 2\*1,016 \* 3,3313\*10-27 kg  
Damit sind in einem kg Wasserstoff 1/3,3313\*10-27 Teilchen = 3\*1026 Teilchen.

|  |  |
| --- | --- |
| Anzahl | 3 \* 10 23 |

134. Über die Zustandsgleichung und Dichte umgekehrt proportional zum Volumen

|  |  |
| --- | --- |
| Dichte | 3,47 kg / m³ |

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t134)  
  
135. aus p\*V=N\*k\*T wird

|  |  |
| --- | --- |
| Anzahl | 3,2\*10 11 |

136. Der Wirkungsgrad beträgt 0,22 oder 22%.  
[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t136)  
  
137. Es wird auf dem Berg die Siedetemperatur des Wassers ermitteln, für grobe Abschätzungen reicht es aus zu wissen, dass je 100 Meter Höhe die Siedetemperatur um 0,3 K geringer wird. Siedet das Wasser bereits bei 90°C, befindet man sich in einer Höhe von etwa 3300 m.  
  
138. Sättigungsdampfdruck an der Oberfläche des Tropfens ist von der Tropfengröße abhängig, es gilt: je größer der Tropfen, um so kleiner der Sättigungsdampfdruck; Dampf über kleinem Tropfen gesättigt, über großem Tropfen ungesättigt; Dampf kondensiert auf großem Tropfen, also Verdunstung des kleinen Tropfens; es verbleibt ein großer Tropfen.  
  
139. Bei der Temperaturmessung muss die Flüssigkeit von Zimmertemperatur an erwärmt werden, also etwa 15 - 17°C. Zurückschütteln kann man schon nach einer Abkühlung von 2 - 3 °C, da die Skala bei 34°C beginnt, die Abkühlung erfolgt sehr schnell, da bei größeren Temperaturdifferenzen ein schnellerer Wärmeaustausch erfolgt.  
  
140.

|  |  |
| --- | --- |
| Masse | 1,738 \* 10 3  kg |
| Volumen | 2,045 \* 10 3 Liter |

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t140)

141. In einer Stunde müssen 257 000 Kubikmeter Wasser durch das Kraftwerk gepumpt werden.

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t141)

142. Die Dampfteilchen übertragen einen Teil ihrer Bewegungsenergie auf die Maschinenteile. Dadurch wird der Dampf kälter.  
  
143.

|  |  |
| --- | --- |
| Wärmeleistung | 114 kW |
| Energie pro h | 411,4 MJ |
| Benzin pro h | 8,9 l |

über Verhältnis 100/120 erhält man

|  |  |
| --- | --- |
| Benzin pro 100 km | 7,4 l |

144. Der Wärmetransport in Luft ist weniger intensiv als im Wasser. Außerdem kann Schweiß in der Luft verdunsten und den Körper kühlen, im Wasser dagegen nicht.  
  
145. Lockerer Schnee enthält viel Luft und ist deshalb ein schlechter Wärmeleiter.  
  
146. Glas leitet die Wärme schlecht und ist nicht brennbar. Es wird von Feuchtigkeit und von Schädlingen nicht angegriffen. Vor allem aber dient die zwischen den Fasern vorhandene Luft zur Isolation.  
  
147. Das Abkühlen führt zu einer Verringerung des Drucks, damit können auch viele Wasserteilchen in den gasförmigen Zustand übergehen, die eine bisher zu geringe kinetische Energie haben.  
Die Siedetemperatur ist vom Druck abhängig. Mit kleiner werdenden Druck sinkt auch die Temperatur, bei der das Wasser zu sieden anfängt.  
  
148. a) falsch, b) falsch, c) falsch, d) falsch, e) wahr, f) wahr, g) falsch)  
  
149. Wenn die Kerze unter dem Glas brennt, passieren zwei Dinge:  
\* die Kerze verbrennt den Sauerstoff der Luft zu Kohlendioxid  
\* die Luft im Glas erwärmt sich und dehnt sich aus. Dadurch tritt Luft aus dem Glas aus.

Ist der Sauerstoff für das Brennen zu wenig geworden, geht die Kerze aus, sie erstickt. Dadurch kühlt die Luft aber wieder ab und zieht sich zusammen. Der nun kleiner werdende Raum wird mit dem Wasser aus dem Teller aufgefüllt, das Wasser steigt im Glas etwas nach oben.

150. R=p\*V/n\*T

|  |  |
| --- | --- |
| Gaskonstante | 8,33 J mol-1 K-1 |

Relativer Fehler: (RH - R) / R = 0,002, als 0,2 % Abweichung : ideales Gas  
  
151. a) Luftleerer Raum : schlechte Wärmeleitung,   
Gummiabdichtung: keine Wärmeströmung,   
Glas : Treibhauseffekt, da wenig Wärmestrahlung hindurchgeht  
Vorteil : niedrige Heizkosten  
Nachteil : Zimmer sind abgeschlossen, Gasaustausch mit Umwelt schlecht möglich  
b) nein, sie schafft es nicht. Zum Kochen des Wassers sind etwa 1,7 kJ notwendig, die Kochplatte gibt in 10 min aber nur 480 kJ ab.  
c) Luftbefeuchtung, da Wasser verdunstet.  
Dabei wird der Umgebung Wärme entzogen -> im Sommer Kühlung  
d) Ethanol hat ein Volumenausdehnungskoeffizient von 1,1 \*10-3 K-1  . Damit ergibt sich eine Temperaturänderung von etwa 8 K. Die maximale Temperatur an diesem Tag betrug 26°C.  
Funktioniert auch im Winter, da die Schmelztemperatur -114,1 °C ist.  
e) Wein wird heiß gemacht, der Alkohol verdampft und geht durch eine Kühlschlange hindurch. Bei der Abkühlung kondensiert der Alkohol. Prost.   
f) aus der Richmannschen Mischungsregel ergibt sich 33,3 l.  
g) Man benötigt Schmelzwärme und Wärme zum Erhitzen der Suppe. Die Zahlenwerte werden für Eis und Wasser verwendet.  
Q=1670 kJ + 2095 kJ = 3765 kJ.  
Damit braucht die Kochplatte 941s. Das sind etwa 16 min.  
Der ganze Vorgang kostet etwa 11 Cent.  
h) Da die Nacht sternenklar ist, fehlt die schützende Wolkenschicht. Durch Wärmestrahlung entweicht ein Teil der in der Luft und im Boden gespeicherten Energie in den Weltraum, es kühlt schnell ab.  
Kalte Luft kann weniger Wasser binden als warme Luft. Das Wasser fällt aus und bildet den Morgentau.

152. siehe auch Aufgabe 29.

a)l= l \*  \* T  
mit Q = m \* c \* T,  = m/V und V = A\*l  
erhält man   
l=(Q\*)/\*A\*c  
Damit ist die Ausgangslänge und die Temperaturänderung nicht mehr von Bedeutung.  
b) mit der unter a) gewonnenen Gleichung erhält man

|  |  |
| --- | --- |
| Längenänderung | 5,7 mm |

c)

|  |  |
| --- | --- |
| Länge | 2,75 m |

153.a) Es sind 9,9 g Helium vorhanden.

b) Nach dem Komprimieren herrscht in dem Helium ein Druck von 1 MPa.

c) Beim Komprimieren wird eine Arbeit von 9,7 kJ am System verrichtet.  
[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t153)

154. V2 = 1,44m³  
[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t154)  
  
155. Unter der Aluminiumkugel schmilzt mehr Eis.  
Begründung: Grundgleichung der Wärmelehre



Da beide Kugeln die gleiche Masse m haben und die Temperaturänderungen ebenfalls gleich sind, spielt nur die spezifische Wärmekapazität c eine Rolle. Und die ist bei Alu fast 3-mal so groß wie bei Kupfer. Also kann Alu mehr thermische Energie speichern und auch an das Eis abgeben.  
  
156. Mischungstemperatur 31 °C  
  
157. Q = m \* c \* ϑ  
m = 78 kg  
ϑ= 5 K  
Q = 390 kJ  
unter Berücksichtigung von 20% Verlust:  
Q = 487,5 kJ  
  
158. a) Temperatur 371 K  
b) Masse 25,3 kg  
[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t158)

159.   
Der Nagel kühlt ab, gibt also Wärme ab. Das Wasser und das Gefäß erwärmen sich, nehmen also Wärme auf. Dabei ist das, was der Nagel abgibt, genau so groß wie das, was Wasser und Gefäß aufnehmen. (Energieerhaltung)  
Das Wasser nimmt auf: QW = m \* c \* ϑ0,1 kg \* 4,18 kJ\*kg-1\*K-1 \* 4 K = 1,672 kJ  
Das Gefäß nimmt auf: QG = m \* c \* ϑ0,01 kg \* 4,18 kJ\*kg-1\*K-1 \* 4 K = 0,1672 kJ  
Das sind zusammen 1,839 kJ.   
Der Eisennagel mit der spezifischen Wärmekapazität 0,45 kJ\*kg-1\*K-1 hat sich damit um etwa 1022 K abgekühlt. Da er jetzt eine Temperatur von 22°C hat, war seine ursprüngliche Temperatur 1044°C.  
  
160. Die Wärme, die das Wasser abgibt, ist genau so groß, wie die Wärme die die Tasse aufnimmt. -QW = QTDie Endtemperaturen ϑE von Tasse und Wasser sind gleich groß. ϑW = ϑE - ϑW1 und ϑT = ϑE - ϑT1  
Nach dem Einsetzen von Q = m \* c \* ϑ in die erste Gleichung und dem Umstellen nach ϑE erhält man eine Temperatur von 68,4°C.  
Berücksichtigt man die 20% Verlust, setzt man einfach die Masse des Wassers auf 80 g herunter und erhält 66,2°C.  
  
161. Die Schmelzwärme ist etwa 134 kJ/kg.   
[Vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t161)  
  
162. W = 559 kJ  
[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t162)

163.   
Wärme: 626 kJ

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t163)  
  
164.



165. Die verrichtete Arbeit ist die Fläche, die von der p-V-Kurve eingeschlossen wird.  
  
166. Die Temperaturdifferenz kann 53 K betragen.  
[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t166)  
  
167. im Winter: 249,9 m  
im Sommer: 250,075 m  
  
168. Temperatur 605 °C  
[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t168)  
  
169. Der Niet zieht sich um 0,054 mm zusammen.  
[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t169)  
170. Ein Federbett enthält zwischen den Federn viel Luft. Luft ist ein schlechter Wärmeleiter, so dass die Wärme des Körpers nicht entweichen kann und unter der Bettdecke bleibt.   
Legt man einen kalten Körper under das Federbett, bleibt es auch kalt, weil keine Wärme von außen heran kann.  
  
171. Die neue Dichte beträgt 8,12 g/cm³.  
[Vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t171)   
  
172.   
Mit der Gleichung für die Ausdehnung eines Körpers bei Erwärmung erhält man eine Temperaturdifferenz von 102 K. Damit beträgt die maximale Temperatur 82°C.  
  
173.

a) Die Masse des eingeschlossenen Heliums beträgt 3,5\*10-5 kg.  
b) Nach der Temperaturerhöhung beträgt der Druck im Kolben 3,8\*105 Pa.  
c) Der Betrag der verichteten Volumenarbeit beträgt 42 J.  
[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t173)  
174.   
Die Luft hat dann eine Temperatur von –51°C.

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t174)  
  
175. Es sind mindestens drei Eiswürfel notwendig.  
[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t175)  
  
176.

Der Wirkungsgrad beträgt 6,7%.  
[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t176)

177.   
Es sind 72 l warmes Wasser notwendig.  
[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t177)  
  
178. Lösung: c) ist richtig.

Begründung: In dem Topf steigt durch die Temperaturerhöhung der Druck über der Wasseroberfläche. Damit steigt auch die Siedetemperatur des Wassers, das heißt, es siedet nicht bei 100°C, sondern bei einer höheren Temperatur. Bei dieser höheren Temperatur garen aber die Speisen schneller.

179. Durch die schmalen Kufen entsteht unter den Kufen ein sehr hoher Druck. Damit wird der Gefrierpunkt des Eises gesenkt und das Eis unter den Kufen schmilzt. Auf diesem dünnen Wasserfilm gleiten die Schlittschuhe.  
  
180. Druck 379 kPa  
[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t180)

181. a) Das kalte Wasser und das Kalorimetergefäß haben eine bestimmte thermische Energie, das warme Wasser ebenfalls. Wird das warme Wasser in das Kalorimetergefäß gegeben, gibt es Wärme ab, kaltes Wasser und Kalorimetergefäß nehmen diese Wärme auf.   
  
Die Wärme, die das Kalorimetergefäß aufnimmt, ist dessen Wärmekapazität mal der Temperaturänderung:  
  
Damit kann man die gesuchte Gleichung herleiten.  
b) Das Kalorimetergefäß hat eine Wärmekapazität von 120 J je K.  
[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t181)  
  
182.   
Masse: 11 g

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Zustand | A | B | C | D |
| Druck | 0,20 MPa | 0,40 MPa | 0,64 MPa | 0,20 MPa |
| Volumen | 5,0 dm³ | 2,5 dm³ | 2,5 dm³ | 8 dm³ |
| Temperatur | 30°C | 30°C | 210°C | 210°C |

|  |  |
| --- | --- |
| Arbeit: 693,1 J  Wärme -693,1 J  Änderung der inneren Energie 0 J [vollständ](vlsgtherm.docx" \l "t182)[ige Lösung](vlsgtherm.docx" \l "t182) |  |

183.

|  |  |
| --- | --- |
| Schaut man von oben auf das Thermometer, wird die gemessene Temperatur zu niedrig, schaut man von unten, wird die Temperatur zu hoch. Nur wenn man gerade draufblickt, kann man exakt ablesen. |  |

184.  
Wird die Temperatur eines Körpers kleiner, schwingen seine Teilchen langsamer.  
Man kann einen Körper so weit abkühlen, bis seine Teilchen still stehen. Das ist die kleinste mögliche Temperatur (-273,15 °C)  
  
185. Die Luft hat in der Tiefkühltruhe eine Dichte von 1,39 kg/m³.  
  
[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t185)

186. Der Wirkungsgrad des Bierwärmers beträgt 0,63.

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t186)

187. Es sind 0,132 kg Argongas vorhanden. Es wird eine Arbeit von 13,3 kJ verrichtet.  
  
[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t187)

188. Das Eis hatte eine Anfangstemperatur von -72,2 K.

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t188)

189. Die Zinkstäbe müssen 0,7m lang sein.

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t189)

190.

a)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Punkt | Druck | Volumen | Temperatur |
| (1) | 45 MPa | 16 cm³ | 1200 K |
| (2) | 15 MPa | 48 cm³ | 1200 K |
| (3) | 18 MPa | 48 cm³ | 1440 K |
| (4) | 18 Mpa | 16 cm³ | 480 K |

b)

|  |  |
| --- | --- |
| Die Kurve verläuft von Punkt (1) zum Punkt (2) als Isotherme. Der Druck und das Volumen sind zueinander umgekehrt proportional. |  |

c) Vom Zustand (1) zum Zustand (2) bleibt die Temperatur konstant, das Volumen wird größer und der Druck kleiner. Es muss die Volumenarbeit berechnet werden. Für den Fall, dass die Temperatur konstant bleibt, gilt:  


Die Volumenarbeit ist negativ, das heißt, das System verrichtet nach außen Arbeit. Das bedeutet aber, es muss nach dem 1. Hauptsatz der Wärmelehre dem System Wärme zugeführt werden.

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t190)

191. Mit dieser Energie können 30 Liter Wasser von 20°C zum Kochen gebracht werden.

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t191)

192. Es muss ein Heizplatte mit 1,7 kW verwendet werden.

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t192)

193. Die Verdampfungswärme von Wasser beträgt 2,3 MJ/kg.

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t193)

194. Das Gas verrichtet beim Entspannen eine Arbeit von 2,77 MJ.

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t194)

195. Bei dieser Erwärmung verrichtet die Luft eine Arbeit von 63,3 kJ.

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t195)

196. Um das Eis zu Schmelzen, sind 33,4 kJ notwendig. 41,9 kJ reichen dann aus, um es auf 100°C zu erwärmen. Und 226 kJ braucht man, um dieses Wasser in den gasförmigen Zustand zu überführen.

Man erkennt, dass zum Verdampfen des Wassers deutlich mehr Energie notwendig ist als für die beiden anderen Vorgänge zusammen.

Das Schmelzen benötigt nur etwas weniger Energie als das Erwärmen des Wassers um 100°C.

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t196)

197. Zum Schmelzen des Eises ist eine sehr große Wärmemenge notwendig, nämlich 334 kJ für 1 kg Eis. Diese Wärme muss aus der Luft auf das Eis übertragen werden. Da die Luft im Frühjahr auch noch nicht viel wärmer ist als das Eis, kann sie noch nicht soviel Wärme abgeben.

198. Das Schwimmbecken erwärmt sich um 1,7 K und das Planschbecken um 4,3 K.

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t198)

199.

a) Es ist eine Energie von 13,6 eV notwendig.

Das Elektron fliegt mit einer Geschwindigkeit von  weg.

b) Mit der Zustandsgleichung für ideale Gase kann nachgewiesen werden, dass der Druck  beträgt.

c) Die Temperatur der Wolke erhöht sich auf 65 K.

Die Volumenarbeit entspricht der Fläche unter der p(V)-Kurve. Diese Fläche kann entweder durch Auszählen im Diagramm oder mit Hilfe der Integration im GTR bestimmt werden.

Für den GRT müssen Messwertpaare in Listen eingegeben werden.

Aus dem Diagramm lassen sich folgenden Werte ablesen:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| 44 | 1 |
| 40 | 1,1 |
| 36 | 1,2 |
| 32 | 1,3 |
| 28 | 1,4 |
| 24 | 1,6 |
| 20 | 1,8 |
| 16 | 2 |
| 12 | 2,5 |
| 8 | 3,5 |
| 4 | 6 |
| 2 | 10 |

Diese Werte werden als Listen in den Taschenrechner eingegeben und über eine Regression die Funktion bestimmt. Eine mögliche Funktion lautet:



Über diese Funktion kann die Fläche unter der Kurve über Integration bestimmt werden. In den gegebenen Grenzen erhält man eine Volumenarbeit von .

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t199)

200. Der Bimetallstreifen hat einen Krümmungsradius von 0,72 m.

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t200)

201. Es treten 113 cm³ Teer aus.

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t201)

202.

|  |
| --- |
|  |
| c) Die Länge wird zu groß bestimmt.  Bei der Temperatur von 5°C zieht sich das Stahlmessband etwas zusammen, der Garten nicht! Damit werden die Abstände zwischen den Markierungen kleiner und auf die gleiche Länge des Gartens gehen mehr Markierungen. |

203. Auch der Schnee besteht aus einzelnen Teilchen, den Wassermolekülen. Die meisten schwingen mit einer annähernd konstanten Geschwindigkeit, die der Temperatur des Schnees entspricht. Einzelne Teilchen aber sind langsamer oder schneller als die anderen Teilchen. Die langsamen sind uninteressant (wie üblich). Von den schnellen sind einige so schnell, dass sie praktisch die Temperatur von kochendem Wasser erreichen. Damit können sie aber den Schnee verlassen, sie verdampfen und sind weg. Das bedeutet aber, dass der Schnee immer weniger wird, er sublimiert.

204. Der Kocher hat einen Wirkungsgrad von 69%.

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t204)

205.

Lösung: c ist richtig.

Man kann den Raum als abgeschlossenes System betrachten. Bleibt die Kühlschranktür offen, versucht die Regeltechnik im Kühlschrankinneren die Temperatur niedrig zu halten. Dazu muss der Kompressor für die Erzeugung des Druckes in der Kühlflüssigkeit ständig arbeiten. Dabei wird die Flüssigkeit erwärmt und gibt über den Wärmetauscher an der Rückseite die Wärme an die Umgebung ab. Im Kühlschrank dehnt sich die Flüssigkeit aus und nimmt dabei wieder Wärme auf (Kühlprozess). Da der Wirkungsgrad aber immer unter 100% liegt, nimmt die Flüssigkeit weniger Wärme auf als sie vorher abgibt. Damit ist die Energiebilanz so, dass der Raum sich langsam erwärmt. Die dazu benötigte Energie wird über die elektrische Energie zugeführt und wird mit der Zeit teuer.

206.

b) ist richtig.

Eigentlich sind Braten und Kochen die gleichen Vorgänge. Lebensmittel werden in eine Flüssigkeit gegeben und sollen dessen Temperatur annehmen. Beim Kochen erreicht man maximal 100°C, beim Braten aber wesentlich mehr.

207.

a) ist richtig.

Obwohl die Ausdehnung isotherm verlaufen soll, muss Wärme zugeführt werden oder besser: weil der Vorgang isotherm verlaufen soll, muss Wärme zugeführt werden.

Durch die Kolbenbewegung (bei einer Expansion eines Gases) wird mechanische Arbeit delta\_W verrichtet und damit vom System abgegeben. Wegen einer isothermen Zustandsänderung ist die Änderung der inneren Energie delta\_U = 0

=> unter Verwendung des Energieerhaltungssatzes bzw. des 1. Hauptsatzes der Thermodynamik: Änderung der verrichteten, abgegebenen Expansionsarbeit = zugeführte Wärme delta\_Q. Oder: zugeführte Wärmeenergie = abgegebene Expansionsarbeit.

Beispiel: Wenn man aus einer Sprayflasche viel Inhalt herauslässt, kühlt sich die Flasche merklich ab. Damit die Temperatur konstant bleibt, muss Wärme zugeführt werden, in diesem Fall aus der Hand und das merkt man.

208.

b) ist richtig.

209. Zur Erzeugung des Dampfes sind ohne Berücksichtigung des Wirkungsgrades 3547 MJ Wärme notwendig. Die Anlage muss eine Leistung von 59,12 MW haben. Unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades benötigt man dafür 171m³ Erdgas.

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t209)

210.

|  |
| --- |
|  |
| a) Das Thermometer in der silbernen Dose zeigt mehr an.  Das größte Abstrahlungsvermögen hat ein schwarzer Körper. Alle anderen Körper strahlen weniger ab. Damit gibt die schwarze Dose in der gleichen Zeit spürbar mehr Energie ab als die silberne Dose. |

211.

Das Essen taut langsamer auf. Unter der Bettdecke ist es angenehm warm, weil die Wärme des Menschen darunter nicht hervorkommt, die Decke isoliert. Stelle man das gefrorene Essen darunter, kann von außen keine Wärme heran und Auftauvorgang dauert deutlich länger.

212.

|  |  |
| --- | --- |
|  | |
|  | |
| **1-2: isotherme Expansion:**  Die Luft wird erwärmt und dehnt sich aus. Der Arbeitskolben bewegt sich nach oben. Da die Kurbelwelle für den Verdrängungskolben im oberen Teil ist, bewegt sich dieser praktisch nicht. Die Luft verrichtet Arbeit. Die dafür notwendige Energie wird durch die Erwärmung zugeführt. Da sie sich gleichzeitig ausdehnt, ändert sich die Temperatur nicht. | Da die Temperatur konstant bleibt, ändert sich die innere Energie nicht. Es gilt also und damit kann schreiben:  Die dem System zugeführte Wärme (positiv) wird als Arbeit vom Motor abgegeben (negativ). |
| **2-3: isochore Abkühlung:**  Der Arbeitskolben befindet sich im oberen Umkehrpunkt und bewegt sich praktisch nicht. Damit bleibt das Volumen konstant.  Der Verdrängungskolben bewegt sich nach unten und schiebt die Luft durch den Zwischenraum zwischen Kolben und Zylinder in den oberen Teil. Dort kühlt die Luft ab.  Da sich der Arbeitskolben nicht bewegt, wird keine Arbeit verrichtet. | Es wird keine Arbeit verrichtet, also ist . Damit wird  Da eine Wärmeabgabe erfolgt, sinkt die innere Energie und damit die Temperatur von T1 auf T2. |
| **3-4 isotherme Kompression:**  Auf Grund der Energie des Schwungrades, dass im Bild nicht mit dargestellt ist, bewegt sich der Arbeitskolben jetzt von oben nach unten und drückt die Luft zusammen. Die Luft ist immer noch im kühleren Teil des Verdrängungszylinders und gibt Wärme ab. Die Temperatur bleibt konstant. An der Luft wird Arbeit verrichtet, sie wird zusammengepresst. | Da die Temperatur konstant bleibt, ist die Änderung der inneren Energie wieder 0.  Da dass System Wärme abgibt, wird daraus    Am System wird Arbeit verrichtet. |
| **4-1 isochore Temperaturerhöhung**  Der Verdrängungskolben bewegt sich nach oben. Die kalte Luft strömt an ihm vorbei in den unteren Teil und wird dort erwärmt. Der Druckt steigt, es wird keine Arbeit verrichtet. | Die verrichtete Arbeit ist 0, also wird    Da dem System Wärme zugeführt wird, steigt die innere Energie, also die Temperatur. |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Zustand |  |  | T in K |
| 1 | 2 | 4,32 | 623 |
| 2 | 5 | 1,73 | 623 |
| 3 | 5 | 0,897 | 323 |
| 4 | 2 | 2,24 | 323 |

**1-2: isotherm**

Für eine isotherme Zustandsänderung gilt:



Die beiden Volumina sind gegeben, aber beide Drücke sind unbekannt. Also muss noch eine zweite Gleichung gefunden werden, damit ein Druck berechnet werden kann.

Es gilt weiterhin:



n ist die Stoffmenge und für die gilt:



Das kann man nun einsetzen und erhält eine Gleichung für den Druck bei Zustand 1:



Damit kann der Druck berechnet werden:



und gleich weiter der Druck für Zustand 2:



**2-3: isochor**

Das Volumen bleibt konstant und es gilt:



**3-4: isotherm**



|  |
| --- |
| V-T-Diagramm |
|  |
| T-p-Diagramm |
| Da für die beiden isochoren Zustandsänderungen gilt:  , müssen die beiden Geraden sich im Nullpunkt schneiden! |

c) Es müssen für alle 4 Änderungen die Größen berechnet werden.

**1-2 isotherm:**

Die Änderung der inneren Energie ist Null.

Für eine isotherme Zustandsänderung berechnet sich die Volumenarbeit mit der Gleichung



Das ergibt



Da für eine isotherme Änderung das Produkt aus p und V konstant ist, kann man die Werte für Zustand 1 oder Zustand 2 einsetzen:



In Aufgabe a) wurde gezeigt, dass



Damit wird vom System 7,93 kJ Arbeit verrichtet und 7,93 kJ Wärme aufgenommen.

**2-3 isochor:**

Vom System wird Wärme abgegeben, es gilt:



und eingesetzt:



Das System gibt 10,8 kJ Wärme ab.

**3-4 isotherm**:

Das wird wieder wie bei der Zustandänderung 1-2 gerechnet:



Diese Arbeit von 4,11 kJ muss in das System gesteckt werden. Dabei wird genau dieser Betrag in Form von Wärme abgegeben.

**4-1 isochor**

Es wird wie bei der Änderung 2-3 gerechnet und man erhält eine Wärme von 10,8 kJ, die das System aufnehmen muss.

d) Für eine Maschine, in der ein Kreisprozess abläuft, gilt allgemein für den Wirkungsgrad:



Die in den Änderungen 2-3 und 4-1 auftretenden Wärmengen heben sich auf, so dass nur noch die Änderungen 1-2 und 3-4 betrachtet werden müssen. Da entsprechen die Wärmen den verrichteten Arbeiten.



Nun kann man ersetzten:





Da gilt:



und



wird



gekürzt:



Mit den gegebenen Temperaturen erhält man einen maximalen Wirkungsgrad von 48%. In der Realität ist er kleiner, da in diese Rechnung keine Reibungsverluste eingegangen sind.

|  |
| --- |
|  |

213.

**a)** Die vier Zustände werden in einer Tabelle dargestellt:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Zustand** | **p in kPa** | **V in cm³** | **T in K** |
| **1** | 232 | 150 | 247 |
| **2** | 270 | 150 (isochor) | 287 (247 + 40) |
| **3** | 140 | 290 | 287 |
| **4** | 120 | 290 | 247 |

Der Druck beim Übergang von Zustand 1 nach Zustand 2 berechnet sich mit



Beim Übergang 2 nach 3 gilt für die isotherme Zustandsänderung:



Beim Übergang 3 nach 4 gilt:



**b)** Für die isothermen Zustandsänderungen werden für selbst gewählte Volumen die Drücke berechnet. Dazu wird der in Aufgabe a) gezeigte Zusammenhang zwischen Druck und Volumen für die isotherme Zustandsänderung verwendet:



Übergang 2->3 (isotherme Expansion)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| V in cm³ | 180 | 210 | 240 | 270 |
| p in kPa | 225 | 193 | 169 | 150 |

Übergang 4->1 (isotherme Kompression)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| V in cm³ | 180 | 210 | 240 | 270 |
| p in kPa | 193 | 166 | 145 | 129 |

|  |  |
| --- | --- |
| Kreisdiagramm  [Excel-Tabelle](th213.xls) |  |

**c)** Die von einem System abgegeben Arbeit ist allgemein die Fläche unter der Kurve im V-p-Diagramm.

Der Vorgang 2->3 ist eine Expansion, also der Vorgang, bei dem das System Arbeit verrichtet. Der Übergang 4->1 ist eine Kompression, am System muss Arbeit verrichtet werden.

Der Betrag des Anteils 2 -> 3 ist größer als der Betrag des Anteils 4 -> 1, insgesamt wird also vom System Arbeit abgegeben.

**d)** Damit ist auch klar, wie sich diese Arbeit berechnen lässt. Es muss die Arbeit für den Übergang 2->3 berechnet werden. Davon zieht man die Arbeit ab, die beim Übergang 4->1 wieder in das System hinein gesteckt wird. Diese Arbeit wird bei einem Motor z.B. in einer Schwungscheibe gespeichert.

Für eine isotherme Zustandänderung berechnet sich die Volumenarbeit nach der Gleichung:



A kennzeichnet den Anfang und E das Ende.

Gibt ein System Arbeit ab, hat die Arbeit ein negatives Vorzeichen. Nimmt es Arbeit auf, wird das Vorzeichen automatisch positiv, da das Endvolumen kleiner ist als das Anfangsvolumen.

Die Gesamtarbeit ist dann also:



Plus deshalb, weil sich die Vorzeichen bei der Berechnung ergeben.



Der Stirlingmotor gibt bei jeder Umdrehung 3,8 J Arbeit ab,

**e)** Der thermische Wirkungsgrad eines Kreisprozesses wird durch die beiden Temperaturen bestimmt. Es gilt:



Der Wirkungsgrad kann nur durch die Änderungen der Temperaturen erhöht werden. Entweder wird die große Temperatur weiter erhöht oder die niedrige Temperatur weiter verkleinert.

214.

a) ist richtig, die große Kerze geht zuerst aus.

Durch die Verbrennung wird der Sauerstoff der Luft in Kohlenstoffdioxid umgewandelt. Unterschreitet die Konzentration des Sauerstoffs eine bestimmte Konzentration, verlischt die Kerze.

Da Kohlenstoffdioxid bei Normalbedingungen eine größere Dichte als Luft hat, müsste es sich unten sammeln und die untere Kerze zuerst ersticken.

Durch die Verbrennung erwärmt es sich aber und hat deshalb eine kleinere Dichte als der noch kalte Sauerstoff. Das Kohlendioxid sammelt sich im oberen Teil des Glases und erstickt die große Kerze zuerst.

215.

|  |  |
| --- | --- |
| Lösung: a) ist richtig  Kommt das Salz mit dem Eis-Wasser-Gemisch in Berührung, beginnt das Salz sich aufzulösen. Dieser Vorgang benötigt Energie, die aus der Umgebung abgezogen wird. Die Temperatur des Eises sinkt auf unter –15°C!  Früher wurde dieser Vorgang z.B. zur Herstellen von Speiseeis verwendet. (Kältemischung) |  |

216. c) ist richtig. Damit ein Stoff siedet, muss er 1. die Siedetemperatur erreichen. Dann ist aber zusätzliche Wärme zuzuführen, um ihn in den gasförmigen Zustand zu überführen. Die Temperatur erhöht sich dabei nicht.

Das Wasser im Topf hat beim Sieden eine Temperatur von 100°C. Der Kaffe in der Kanne ebenfalls. Dem Wasser wird über das Feuer unter dem Boden zusätzliche Wärme zugeführt, da das Feuer deutlich heißer als 100°C ist.

Dem Kaffee kann aber keine Wärme mehr zugeführt werden, da er in dem Wasser hängt, dessen Temperatur er ja auch hat. Wärme kann aber nur von einem Körper hoher Temperatur zu einem Körper niedriger Temperatur fließen.

Der Kaffee bleibt zwar heiß, wird aber nicht sieden, egal, wie das Wasser um ihn herum brodelt.

217.

a) Fieber, Wetter, Tiefkühlschrank, Heizung, Backofen

b) 1) 38°C

2) -7°C

3) 38,8°C

4) 152°C

5) -18°C

6) -18°C

c) Bimetallthermometer: nutzt die unterschiedliche Ausdehnung von festen Soffen bei Temperaturänderung

Widerstandsthermometer: nutzt die Widerstandsabhängigkeit von der Temperatur bei elektrischen Leitern

Vorteil von elektronischen Thermometern: Die Anzeige kann digital erfolgen, die sich leit ablesen lässt.

218.

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t218)

219. Der Ballon hat in dieser Höhe ein Volumen von 21,8 m³. Im Ballon sind 2,1 kg Helium.

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t219)

220. In der Flasche beträgt der Überdruck nach der Entnahme noch 3,3 MPa.

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t220)

221. Die Anlage hat einen Wirkungsgrad von 34%. Das heißt, von der Energie des Diesel werden nur etwa ein Drittel effektiv genutzt. Der Rest geht in die Erwärmung des Motors und Reibungswärme über und ist für den Nutzer verloren.

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t221)

222. Es sind 350 g Kohle notwendig.

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t222)

223.

|  |
| --- |
|  |
| In etwa 18 min hat sich das Wasser auf 40°C abgekühlt. (rote Linien)  Nach 25 min hat das Wasser eine Temperatur von etwa 32°C. (grüne Linien)  [Diagrammquelle](th223.xls) |

224.

|  |
| --- |
|  |
| b)Die Null-Grad-Grenze befindet sich in 2,8 km Höhe.  c) Auf dem Brocken herrscht eine Temperatur von etwa 11°C.  d) Auf einem 8000 m hohen Berg könnte eine Temperatur von etwa –55°C herrschen.  [Diagrammquelle](th224.xls) |

225. Jeder Stoff ist aus Teilchen aufgebaut. Diese Teilchen schwingen ständig hin und her. Je schneller sie schwingen, umso größer ist die Temperatur des Körpers.

Kühlt man einen Körper ab, schwingen die Teilchen langsamer. Das geht so lange, bis die Teilchen still stehen. Weiter abkühlen kann man nicht, die Temperatur hat eine untere Grenze.

Beim Erwärmen werden die Schwingungen heftiger. Dafür gibt es keine Begrenzung, die Temperatur kann theoretisch immer weiter erhöht werden.

226. Kommt man aus dem Wasser, ist die Haut nass. Das Wasser beginnt sofort zu verdunsten. Dazu ist Wärme notwendig, die dem Körper entzogen wird. Die Temperatur der Haut sinkt und man friert.

227.

a) Die spezifische Wärmekapazität von Wasser beträgt 4,19 kJ/(kg\*K) und ist damit rund fünf mal größer als von trockenem Sand.

b) Da der Sand eine deutlich kleine Wärmekapazität hat, kann er auch viel weniger Wärme speichern als Wasser.

In der Nacht kühlt es deshalb in einer Wüste schnell ab, da die Wärme des Tages im Weltraum verschwindet und der Sand nichts nachliefern kann.

Am Tag nimmt der Sand zwar Wärme auf, aber viel weniger als Wasser. Deshalb erwärmt sich in der Wüste die Luft viel schneller als am Meer.

Das Wasser wirkt wie ein Puffer: Am Tag saugt es Wärme auf, die Luft darüber bleibt relativ kalt und in der Nacht gibt es die Wärme ab, die Luft darüber kühlt nicht so stark ab.

228. Viele Tiere brauchen eine konstante Körpertemperatur von 30°C bis 40°C. Diese Temperatur erzeugen sie durch die chemischen Prozesse beim Verdauen der Nahrung.

Die dabei entstehende Wärme wird an die Umgebung abgegeben. Im Winter ist bei einer niedrigen Außentemperatur diese Wärmeabgabe viel intensiver als im Sommer. Deshalb würde ein ungeschützter Körper schnell auskühlen.

Im Fell befindet sich durch die Struktur der Haare viel Luft. Diese Luft leitet die Wärme schlecht nach außen und das Lebewesen kühlt nicht so schnell aus.

229. Die wirkliche Temperatur ist die, die am Thermometer abgelesen werden kann.

Der Mensch hat meistens eine höhere Temperatur als die Umgebung. Deshalb gibt er ständig Wärme ab. Je stärker diese Abgabe ist, umso kälter ist es uns.

Die meiste Wärme geben wir über Wärmestrahlung ab. Dieser Effekt ist von der Umgebungsluft unabhängig.

Ein Teil wird aber auch durch Wärmeströmung abgegeben, die Luft an der Hautoberfläche erwärmt sich und steigt nach oben. Kalte Luft strömt nach.

Bei Wind wird die warme Luft viel schneller weggeblasen und viel kalte Luft strömt nach. Dadurch kann der Körper viel mehr Wärme abgeben und wir spüren die Außentemperatur viel niedriger als sie ist.

230.

Das Wasser in dem Gefäß mit Alufolie kühlt viel schneller ab als das mit Schal.

Durch die Folie wird die Wärmestrahlung verstärkt.

Der Schal unterdrückt durch die isolierende Eigenschaft der eingeschlossenen Luft die Wärmeübertragung an die Umgebung.

Anwendungen:

1. doppelwandige Edelstahlbecher, die den Kaffee schön lange warm halten

2. Styropor für die Wärmedämmung von Häusern. Die Luft im Styropor schützt vor Auskühlung.

231. kinetische Energie im ICE = 1056 MJ, Energie, die zum Kochen zur Verfügung steht = 528 MJ, damit können 1571 kg Wasser um 80 K erwärmt werden => 785 Hausfrauen können mit der Bremsenergie ihr Süppchen kochen.

232. b) Das Wasser verdampft.

Die Siedetemperatur von Wasser ist druckabhängig. Je kleiner der Druck, umso schneller schiedet das Wasser. Auf hohen Bergen dauert der Kochprozess deshalb länger, da das Wasser nicht die Temperatur von 100°C erreicht.

Im Weltraum ist kein Druck, so dass die Siedetemperatur extrem niedrig wird. das Wasser verdampft sofort.

Wasser siedet dann, wenn der Dampfdruck größer als der Außendruck ist. Da im Weltraum kein Druck herrscht, ist der Dampfdruck immer größer als der Außendruck.

233. c) Sie muss steigen.

Bei Temperaturänderung ändert Kupfer seine Länge schneller als Eisen. Kühlt man ab, wird das Kupfer rascher kürzer als Eisen.

Bei Erwärmung wird es aber schneller länger als Eisen und kann die Länge des Eisenstabes erreichen.

234. Der Volumenausdehnungskoeffizient ist.

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t234)

235. Wasser hat eine sehr große spezifische Wärmekapazität. Es kann also viel thermische Energie aufnehmen und speichern.

Zwei kalte Tage reichen nicht aus, um einem Schwimmbecken so viel Wärme zu entziehen, dass es deutlich kälter wird.

Genau so reichen zwei warme Tage nicht aus, um das Schwimmbecken richtig aufzuwärmen.

236. Der halbe Liter Wasser kocht nach 1,9 Minuten.

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t236)

237.

konstante Größen: Masse und spez. Wärmekapazität

Messgrößen: Temperatur, Zeit

Messung: Es wird eine bestimmte Menge Wasser erhitzt. Damit sind Masse und Stoff konstant.

Aus der Zeit lässt sich über die Leistung der Wärmequelle die zugeführte Wärme berechnen:



Es werden mehrere Messung vorgenommen.

Die Wärme und die Temperaturänderung werden in ein Diagramm eingetragen. Die Proportionalität sollte erkennbar sein.

238. Die notwendige Wärme berechnet sich mit der Grundgleichung der Wärmelehre:



Die Masse des Wassers beträgt 150 kg, die Temperaturänderung ist 24 K groß. Für Wasser ist



Damit lässt sich die Wärme berechnen:



Für diese Energie muss man etwa 75 Cent bezahlen.

239. a) ist richtig.

Porzellan hat eine fast doppelt so große spezifische Wärmekapazität wie Stahl. Damit kann das Porzellan deutlich mehr Wärme aufnehmen und kühlt den Tee stärker ab.

240. a)Zum Schweißen können 1850 Liter Sauerstoff entnommen werden.

b) Es wurden 3725 Liter in die Flasche gefüllt.

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t240)

241. Da sich der Reifen nicht ausdehnt, liegt eine isochore Zustandsänderung vor, V=konst. Es gilt also:



und nach dem gesuchten Druck p2 umgestellt:



Vor dem Einsetzen müssen die Temperaturen in Kelvintemperaturen umgerechnet werden!



Der Druck steigt im Reifen um etwa 40 kPa, also 0,4 bar. Das dürfte einem ordentlichen Reifen nichts ausmachen.

242.

Der Vorgang läuft isochor ab, da sich das Volumen nicht ändert. Es gilt:



und nach dem gesuchten Druck p2 umgestellt:



Vor dem Einsetzen müssen die Temperaturen in Kelvintemperaturen umgerechnet werden!



Der Druck steigt um 70 kPa, was die Flasche locker aushält.

243. Aluminium hat eine spezifische Wärmekapazität von 

[vollstä](vlsgtherm.docx" \l "t243)[ndige Lösung](vlsgtherm.docx" \l "t243)

244.

|  |  |
| --- | --- |
| a) Der Kreisprozess mit einer Skizze in einem p(V)-Diagramm darzustellen. Dabei erkennt man die fehlenden Zustandsänderungen.  1 -> 2 isobare Expansion  2 -> 3 isochore Abkühlung  3 -> 4 isobare Kompression  4 -> 1 isochore Erwärmung |  |

b)

In der Tabelle werden die bekannten Größen für alle vier Zustände blau eingetragen.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Zustand | p | V | T |
| 1 |  | 750cm³ | 300K |
| 2 |  | 1500 cm³ | 600K |
| 3 |  | 1500 cm³ | 300 K |
| 4 |  | 750 cm³ | 150 K |

Nun werden die fehlenden Größen berechnet und grün eingetragen.

1. Temperatur für Zustand 1

Es gilt:



n ist die Stoffmenge in mol und R die universelle Gaskonstante.



2. Temperatur für Zustand 2

Von 1 nach 2 findet eine isochore Expansion statt, der Druck bleibt konstant. Nach der Zustandsgleichung für das ideale Gas ist bei konstantem Druck die Temperatur proportional zum Volumen. Da das Volumen verdoppelt wird, steigt die Temperatur ebenfalls auf das Doppelte, also 600 K.

3. Die Temperatur fällt auf die Ausgangstemperatur, also auf 300 K.

Da die Zustandänderung isochor verläuft, also bei konstantem Volumen, ist nach der Zustandsgleichung der Druck proportional zur Temperatur. die Temperatur halbiert sich, also auch der Druck.

4. Das Gas gelangt in den 4. Zustand durch eine isobare Kompression, der Druck bleibt konstant, das Volumen sinkt auf die Hälfte. Volumen und Temperatur sind proportional zueinander, also sinkt die Temperatur auf die Hälfte des Wertes vom Zustand 3, 150 K.

c) [Excel-Tabelle](th244.xls) mit Diagramm

d) Volumenarbeit wird nur bei den beiden isobaren Zustandsänderungen verrichtet, da dies ja immer mit einer Volumenänderung verbunden ist.

1 -> 2

Volumenarbeit:



Das System gibt diese Arbeit ab.

Wärme:

Die Wärme ist allgemein 

Bei Gasen muss man aber die spezifische Wärmekapazität bei konstanten Druck cp und bei konstantem Volumen cV unterscheiden.

Für die isobare Zustandsänderung gilt:



2 -> 3



Für die isochore Zustandsänderung gilt jetzt:



Da das Gas bei konstantem Volumen zusammengepresst wird und die Temperatur sinkt, muss Wärme abgegeben werden.

3 -> 4



4 -> 1



Zusammenfassung

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Vorgang | Arbeit | Wärme |
| 1 -> 2 | -3,49 kJ | 8,73 kJ |
| 2 -> 3 | 0 | - 5,24 kJ |
| 3 -> 4 | 1,75 kJ | 4,36 kJ |
| 4 -> 1 | 0 | 2,62 kJ |
| Gesamt | - 1,74 kJ | 5,23 kJ |

In dem Prozess werden pro Durchlauf 1,74 kJ an Arbeit abgegeben. Dazu ist eine Wärme von 5,23 kJ notwendig.

e) Die Isotherme verbindet im Diagramm die Zustände 1 und 3, denn da ist ja die Temperatur gleich. Damit sind schon zwei Punkte für die gesuchte Kurve gegeben.

Für die geforderten zwei weiteren Punkte müssen Wertepaare Druck-Volumen berechnet werden.

Bei einer isothermen Zustandsänderung gilt:



Der erste Quotient enthält z.B. die Werte für den Zustand 1. Nun gibt man sich einen Druck im gewünschten Bereich vor und berechnet daraus das Volumen.

Der gewünschte Druckbereich liegt zwischen p1 und 0,5 p1. Damit sind möglich: 0,9 p1, 0,8 p1, 0,85 p1 ...

Ich wähle 0,8 p1 und 0,65 p1.



[Excel-Tabelle](th244.xls)

f) Der Wirkungsgrad ist allgemein das Verhältnis aus der abgegebenen Arbeit und der zugeführten Wärme.

Dabei muss beachtet werden, dass während des Kreisprozesses auch Arbeit in das System gesteckt und Wärme wieder abgegeben werden kann. Es muss also sehr genau untersucht werden, was bei den einzelnen Teilprozessen mit der Arbeit und der Wärme passiert.

Der erste Kreisprozess verläuft 1 -> 2 -> 3 -> 1.

1 -> 2: isobar (Druck konstant)

Die Arbeit und die Wärme wurde in Teilaufgabe d) berechnet:

und eingesetzt:



2 -> 3: isochor (Volumen konstant)

Die Arbeit ist Null und die Wärme kommt wieder aus d):



3 -> 1

Das ist eine isotherme Kompression, das Gas wird zusammengedrückt, wobei die Temperatur gleich bleibt. Dafür muss aber Wärme abgegeben werden, die genau so groß ist wie die Arbeit, die am System verrichtet wird. (1. Hauptsatz)

Es gilt:



Dem Gas werden also bei diesem Prozess 2,42 kJ Energie zugeführt, die es als Wärme wieder abgeben muss. Die abgegebene Wärme spielt beim Wirkungsgrad aber keine Rolle, da sie nicht nutzbar ist.

Der Wirkungsgrad ist die Summe aller bei diesem Prozess verrichteten Arbeiten durch die zugeführte Wärme:



Es wird nur im Teilprozess 1 -> 2 Wärme zugeführt. Also kann man schreiben:



Der zweite Kreisprozess verläuft 1 -> 3 -> 4 -> 1.

1 -> 3

Das ist aus dem ersten Teil der Aufgabe der gleiche Betrag wie 3 -> 1, nur diesmal Arbeit abgegeben wird:



Damit die Temperatur konstant bleibt, muss der gleiche Betrag als Wärme zugeführt werden:



3 -> 4

Die Arbeit wurde in Teil d) berechnet



Bei diesem Teil wird Wärme abgegeben, die nicht beachtet werden muss.

4 -> 1

In Teil d) wurde die Arbeit mit 0 berechnet. Es wird Wärme zugeführt, also



Der Wirkungsgrad berechnet sich also mit:



Nutzarbeit: Der erste Prozess liefert 1,07 kJ, der zweite nur 0,67 kJ.

Wirkungsgrad: Der zweite Prozess hat einen größeren Wirkungsgrad.

245.

Der Wirkungsgrad ist das Verhältnis aus nutzbarer Energie und zugeführter Energie.



Beim Motor enthält der Treibstoff die zugeführte Energie. Die Bewegungsenergie ist die nutzbare Energie.

Leider werden beim Motor aus der Energie des Treibstoffes Wärmeenergie, die wieder abgeführt wird. Diese Energie ist für das Autofahren nicht nutzbar.

Die nutzbare Energie ist die zugeführte Energie minus der abgeführten Energie.

Je größer die nutzbare Energie ist, umso größer ist der Wirkungsgrad.

Bei der Konstruktion eines Motors muss darauf geachtet werden, die wieder abgeführte Energie möglichst klein zu halten. Dadurch kann der Wirkungsgrad vergrößert werden.

246.

1: Ansaugen

2: Ausstoßen

3: Verbrennen

4: Verdichten

richtige Reihenfolge: 1, 4, 3, 2

247.

1 Einlassventil

2 Zündkerze

3 Auslassventil

4 Zylinder

5 Kolben

6 Pleuelstange

7 Kurbelwelle

248.

Es werden die einzelnen Abschnitte der beiden Prozesse untersucht.

Kreisprozess 1:

1 -> 2 isotherme Expansion, es wird Wärme zugeführt, das System verrichtet Arbeit

2 -> 3 isochore Druckerniedrigung, es wird keine Arbeit verrichtet

3 -> 4 isotherme Kompression, dem System muss Arbeit zugeführt werden

4 -> 1 isochore Druckerhöhung, es wird keine Arbeit verrichtet.

Im p-V-Diagramm ist die Fläche unter der Kurve ein Maß für die verrichtete Arbeit. Da die Fläche unter 1-> 2 größer ist als unter 3 -> 4 gibt das System insgesamt nach außen Arbeit ab.

Kreisprozess 2:

1 -> 2 isotherme Kompression, dem System muss Arbeit zugeführt werden.

2 -> 3 isochore Druckerniedrigung, es wird keine Arbeit verrichtet

3 -> 4 isotherme Expansion, es wird Wärme zugeführt, das System verrichtet Arbeit

4 -> 1 isochore Druckerhöhung, es wird keine Arbeit verrichtet.

Die Fläche 1-> 2 ist wieder größer als 3->4. Das heißt aber jetzt, dass das System weniger Arbeit abgibt als es aufnimmt. Dem System muss also von außen Arbeit zugeführt werden, damit es im Laufen bleibt.

Ist das praktisch sinnvoll?

Eine Maschine, die diesen Kreisprozess durchläuft, wandelt Arbeit in Wärme um. Dabei verläuft der eine Teil bei einer niedrigeren Temperatur als der andere.

Praktisch wird das als Wärmepumpe (Heizung) oder im Kühlschrank genutzt.

|  |  |
| --- | --- |
| 249. a) Er wandert deutlich langsamer durch das Eis.  Nach etwa 24 Stunden ist der Stahldraht vollständig durch das Eis gewandert, der Nylondraht hängt immer noch am Eis.  Durch den Druck unter den Drähten schmilzt das Eis etwas auf, da die Schmelztemperatur etwas niedriger wird. Dieser Effekt spielt hier aber praktisch keine Rolle.  Viel bedeutender ist aber die Wärmeleitfähigkeit, die in Stahl deutlich größer ist. Dadurch wandert Wärmeenergie durch den Stahldraht zum Eis und taut es auf. |  |

250. Durch die Erwärmung ändert sich der Druck um 107,7 kPa oder 0,1077MPa oder 1077 hPa.

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t250)

251. Wie in der Tabelle der [Längenausdehnungskoeffizienten](formeln.docx#werte_längenänderung) zu sehen ist, haben Beton und Stahl die gleichen Werte. Damit ändern sie bei Temperaturänderungen ihr Volumen im gleichen Maße.

Aluminium und Messing haben einen größeren Wert und würden sich bei Erwärmung stärker als der Beton ausdehnen. Das zerstört den Beton. ☹

252. a) Es zeigt deutlich weniger an.

Der Spiritus verdampft recht schnell. Dabei verlassen zuerst die schnellen Teilchen den Zellstoff, also die, mit einer hohen Temperatur. Zurück bleiben die langsamen, also die mit einer niedrigen Temperatur. Damit kühlen der Spiritus und der Zellstoff ab. Durch Temperaturausgleich wandert Wärme vom Thermometergefäß zum Spiritus und die Thermometerflüssigkeit zieht sich zusammen.

253. a) Deutlich mehr als 38°C.

Neben einer experimentellen Bestätigung lässt sich auch theoretisch nachweisen, dass das heiße Wasser schnelle abkühlt.

Für einen Abkühlungsprozess gilt das Newtonsche Abkühlungsgesetz:



T ist die Temperatur nach einer Zeit t, T0 die Anfangstemperatur, TU die Umgebungstemperatur. Das k ist eine Materialkonstante, die z.B. den Einfluss des Gefäßes auf die Abkühlung enthält.

Leider ist diese Konstante nicht bekannt, sonst könnte die Temperatur für beide Gefäße nach einer bestimmten Zeit berechnet werden.

Die Kenntnis dieser Konstanten ist auch nicht nötig, da ja beide Gefäße gleich sind. Damit lässt sich die Temperatur im Gefäß mit der geringen Temperatur berechnen!

Man stellt das Abkühlungsgesetz nach  um:



und setzt die Gleichungen für die beiden Gefäße gleich:



Tow ist die Starttemperatur des warmen Wassers, Tok die des kalten Wassers, Tw die Endtemperatur des warmen und Tk die des kalten Wassers.

Die einzige Unbekannte in dieser Gleichung ist die Endtemperatur des kalten Wassers:



Vor dem Einsetzten müssen alle Temperaturen in Kelvin-Werte umgewandelt werden. Dazu ist zu jedem Wert 273 zu addieren.



254. Der Draht hat während des Stromflusses eine Temperatur von 684°C.

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t254)

255. Die Waage zeigt 21,1 kg an.

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t255)

|  |  |
| --- | --- |
| 256. |  |

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t256)

257.

Es sind mindestens 21 g Brennspiritus notwendig.

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t257)

258. Es können maximal 0,3 kg oder 0,3 Liter Wasser verdampfen.

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t258)

259.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| t in min | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 |
|  | 90 | 55 | 38 | 28 | 24 |
|  | 0 | 35 | 52 | 62 | 66 |



[Zur Diagrammquelle](th259.xls)

Zwischen der Zeit und der Temperaturänderung ist kein proportionaler Zusammenhang. Die Kurve beginnt zwar im Nullpunkt, verläuft dann aber nicht linear.

Die Abkühlung verläuft in der ersten Zeit schneller als in der letzten Zeit.

Die abgegebene Wärme ist von der Temperaturänderung abhängig. Je schneller sich die Temperatur ändert, umso mehr Wärme wird abgegeben.

Damit wird in der Zeit von 10min bis 20 min mehr Wärme abgegeben als in der Zeit von 30 min bis 40 min, obwohl die Zeitspannen gleich sind.

Der Tee hat zu Beginn eine hohe Temperatur, die Umgebung eine niedrige Temperatur. Der Tee gibt Wärme an die Umgebung ab. Damit verliert er thermische Energie, die die Umgebung aufnimmt. Die Temperatur des Tees wird kleiner. Die Temperaturerhöhung der Umgebung wird man nicht merken, da die thermische Energie zu klein ist, um einen merklichen Temperaturanstieg zu spüren.

**260.** c) deutliche mehr als 40°C.

Auf Grund der großen Oberfläche des Wassers geht die meiste thermische Energie durch Verdunstung weg, die schnellen Wasserteilchen können die Oberfläche verlassen und die langsamen bleiben zurück. Damit wird die Temperatur des Wassers immer niedriger, bis es die Umgebungstemperatur erreicht hat.

Durch die dünne Ölschicht wird die Verdunstung stark eingeschränkt. Da Öl eine deutlich höhere Siedetemperatur als Wasser hat, verdunstet Öl bei dieser Temperatur nur sehr wenig, die dicken Ölmoleküle kommen nur sehr schwer aus der Oberfläche raus.

Damit wirkt die Ölschicht wie ein Deckel auf einem Topf und das Wasser kühlt sehr langsam aus.

Diese Erfahrung hat jeder schon mal erlebt, der sich an einer fettigen Brühe den Mund verbrannt hat.

261.

|  |  |
| --- | --- |
| a) Es laufen folgende Zustandsänderungen ab:  1 – 2: isotherm  2 – 3: isochor  3 – 4: isotherm  4 – 1: isochor |  |

Der erste Hauptsatz der Wärmelehre lautet:



Die Änderung der inneren Energie einer abgeschlossenen Gasmenge ist die Summe der Volumenarbeit und der Wärme.

In den beiden Fällen 2 – 3 und 4 – 1 bleibt das Volumen des Gases konstant. das heißt, es wird weder am System noch vom System Volumenarbeit verrichtet. Damit gilt:



Die Änderung der inneren Energie entspricht der zugeführten oder angegebenen thermischen Energie (Wärme)

Die Wärme berechnet sich durch



Die beiden Zustandsänderungen verbinden im Diagramm zwei Isothermen. Damit ist die Temperaturdifferenz in beiden Zustandsänderungen vom Betrag her gleich groß und damit auch die Wärmen Q23 und Q41.

c) Volumenarbeit wird nur in den Zustandsänderungen 1 – 2 und 3 – 4 verrichtet. In Teil 1 – 2 verrichtet das System Arbeit (es dehnt sich aus) und im Teil 3 – 4 wird am System Arbeit verrichtet (es wird zusammengepresst)

Die Volumenarbeit berechnet sich mit



Daraus wird mit



dann



Aus dem Diagramm werden die benötigten Größen abgelesen:



und die Volumenarbeit V12 berechnet



Für V34 erfolgt das auch



Die Nutzarbeit ist dann



Die zugeführte Wärme Q12 entspricht der abgegebenen Arbeit W12, denn der Vorgang läuft isotherm ab. damit ist die Änderung der inneren Energie aber 0 und die zugeführte Wärme wird nach dem ersten Hauptsatz vollständig in Volumenarbeit umgewandelt.



Der Wirkungsgrad ist dann



262. Rings um das Kugellager sind beim Einsetzen 0,026 mm Luft.

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t262)

263. a)

Die Vorgänge 1-2 und 3-4 sind isotherm. Dabei wird das Volumen bei 1-2 kleiner, der Druck damit größer und bei 3-4 das Volumen wieder größer und der Druck kleiner.

Bei 2-3 ändert sich das Volumen nicht und der Druck wird kleiner. Das wird durch eine Abkühlung erreicht, die Temperatur wird also kleiner.

Der Vorgang 1-4 stellt das Gegenstück dar, bei konstantem Volumen wird durch eine Temperaturerhöhung der Druck erhöht.

264.

Die Flüssigkeit hat eine spezifische Wärmekapazität von . Es war Brennspiritus.

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t264)

265.

|  |
| --- |
| Vorüberlegung: wie sehen die p-V-Diagramme für die drei Zustandsänderungen aus? |
|  |

Diese drei Zustandsänderungen sollen einen Kreisprozess bilden. Legt man sich auf der Isothermen zwei Punkte fest, müssen diese beiden Punkt durch die beiden anderen Prozesse verbunden werden.

|  |  |
| --- | --- |
| Das wäre die eine Möglichkeit. |  |
| Und das die andere. |  |

b) Zustandsänderung (a): Der erste Hauptsatz heißt:



Da die Zufuhr von Wärme Q ausschließlich zur Erhöhung der inneren Energie führen soll, ist die Volumenarbeit 0. Es kommt also nur einer der beiden isochoren Zustandsänderungen in Frage.

Der Hauptsatz wird zu



Da die Temperatur ein Maß für die innere Energie ist, muss die Temperatur bei dem Vorgang größer werden. Das ist im zweiten Prozess die Zustandsänderung 3-1.

Zustandsänderung (b): Die Volumenarbeit am Gas führt zur Abgabe von Wärme. Die innere Energie soll sich nicht ändern. Der erste Hauptsatz sieht dann so aus:



Die Temperatur bleibt bei diesem Vorgang unverändert, es kann also nur eine Zustandsänderung auf einer Isothermen sein.

Da am Gas Arbeit verrichtet wird, wird das Volumen kleiner und der Druck größer. Das kann im ersten Prozess nur die Zustandsänderung 1-2 sein.

**266.** Der Teller muss auf 29°C vorgewärmt werden.

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t266)

**267.** Das Wasser kocht nach 2min 48s. Nach etwa 9 min ist die Hälfte verdampft.

[vollständige Lösung](vlsgtherm.docx#t267)

**268.** Bei einer Wärmekraftmaschine kann nicht die gesamte zugeführte Wärme in mechanische Arbeit umgewandelt werden. Damit dem System periodisch Wärme zugeführt werden kann, muss es auch periodisch gekühlt werden. Das System muss also, um einen Kreisprozess durchführen zu können, einen Teil der zugeführten Wärme wieder abgeben. Die zugeführte Wärme teilt sich auf in die mechanische Arbeit und die Wärme, die wieder abgegeben werden muss. Die mechanische Arbeit, die verrichtet wird, ist der eigentliche Nutzen der Anlage.

Es kann gezeigt werden, dass der Wirkungsgrad einer Wärmekraftmaschine nur vom Temperaturunterschied zwischen der Heizung und der Kühlung abhängt.



Damit lässt sich der Wirkungsgrad der ersten Stufe der zweistufigen Maschine berechnen:



Das heißt, aus den hineingesteckten 3 J Wärme wird ein Drittel, also 1 J in mechanische Arbeit umgewandelt. Der Rest, also 2 J, gehen aus dem System ungenutzt wieder raus.

Die zweite Stufe hat einen Wirkungsgrad von 0,5. Von den hineingesteckten 2 J werden 1 J als mechanische Arbeit genutzt und 1 J wieder abgegeben.

Insgesamt werden von den 3 J, die in die Anlage hineingehen, 2 J als mechanische Arbeit genutzt und 1 J abgegeben. Damit beträgt das Verhältnis von genutzter Arbeit zur zugeführten Wärme .

Die zweite Maschine macht die Umwandlung der Wärme in mechanische Arbeit in einem Rutsch. Der Wirkungsgrad berechnet sich mit der oben aufgeführten Gleichung



Damit werden von den hineingesteckten 3 J sofort 2 J in mechanische Arbeit umgewandelt und 1 J wieder abgegeben.

Der Wirkungsgrad der beiden Anlagen ist gleich groß.

|  |  |
| --- | --- |
| **270.**  Da sich das Gas ideal verhält, gilt    Isotherm heißt, der Vorgang läuft bei einer konstanten Temperatur ab.  Damit muss gezeigt werden, dass  gilt.  [Excel-Tabelle](th270.xlsx) |  |

**b)** Es gilt die Gleichung



Das ist die Temperatur für den ersten Messwert. Der Mittelwert für die Temperaturen, die man bei den weiteren Messwerten erhält, ist



|  |  |
| --- | --- |
| **c)** Wenn das Gas erneut komprimiert wird, ändert sich das Volumen im gleichen Maße. Diesmal wird aber die Volumenarbeit, die an dem Gas verrichtet wird, ausschließlich zur Änderung der inneren Energie benutzt.    Damit steigt die Temperatur an und es stellt sich ein höherer Druck ein.  Blau ist die ursprüngliche Kurve, grün die neue Kurve. Sie ist keine Isotherme, sondern verbindet zwei Isothermen. |  |

**271.**

Allgemein gilt



a) Es ist ⇨ T=konstant (isotherm)

b) Es ist  ⇨ p=konstant (isobar)

c) Es ist  ⇨ V=konstant (isochor)

d) p=konstant (isobar)

e) V=Konstant (isochor)

f) p=konstant (isobar)

g) V=konstant (isochor)

h) T=konstant (isotherm)

i) T=konstant (isotherm)

**272.**

**a)** Bei einer isothermen Zustandsänderung (T=konstant) gilt vereinfacht



Es soll eine Aussage über V2 gemacht werden. Deshalb wird die Gleichung nach V2 umgestellt:



Der Druck p1 entspricht 100% und der Druck p2 dann nur noch 85%.

Dann ist das Verhältnis von beiden



Damit erhält man



oder



Das Volumen ist um 18% größer geworden.

**b)** Bei einer isobaren Zustandsänderung wird aus der Grundgleichung



und nach dem gesuchten Volumen umgestellt:



Laut Aufgabenstellung gilt für das Temperaturverhältnis



Setzt man das ein, erhält man



Das Volumen nimmt also um 23% zu.

**c)** Jetzt braucht man die komplette Zustandsgleichung:



Nach V2 umgestellt:



Wie sind die Verhältnisse der Drücke und Temperaturen?





Damit kann das Volumen berechnet werden:



Das Endvolumen ist nur noch 60% vom Anfangsvolumen. Es nimmt also um 40% ab.

**273.**

Es geht jeweils um die Temperaturänderungen, die bestimmt werden müssen. Es gilt die allgemeine Grundgleichung der Wärmelehre:



Nach der Temperaturänderung umgestellt lautet sie:



c ist die spezifische Wärmekapazität. Da es in allen Fällen Wasser ist, spielt sie keine Rolle.

Aus der Gleichung ist zu entnehmen:

**1.**

 , wenn die Masse konstant ist.

Das heißt aber nichts anderes, dass die gleiche Menge Wasser bei doppelter zugeführter Wärmemenge sich um den doppelten Wert erwärmt.

Erwärmet sie sich in 5 min mit einer Kerze um 10 K, schafft sie es bei zwei Kerzen um 20 K. Und lässt man die eine Kerze nicht 5 min drunter, sondern 10 min, erwärmt sich das Wasser auch um 20 K. eine Verdopplung der Wärme kann man also mit der doppelten Anzahl Wärmequellen oder der doppelten Zeit erreichen.

Falls man die Wärmequellen und die Zeit gleichzeitig verdoppelt, vervierfacht sich die Temperaturänderung.

**2.**

 , wenn die Wärmemenge konstant ist.

Das heißt, dass sich die doppelte Menge Wasser nur halb so viel erwärmt.

Erwärmet sie sich in 5 min mit einer Kerze um 10 K, erwärmt sich die doppelte Menge nur um 5 K.

Damit lassen sich die unbekannten Endtemperaturen bestimmen. Es erfolgt immer der Bezug auf das erste Experiment, bei dem die Endtemperatur bekannt war.

**1. Zeile**

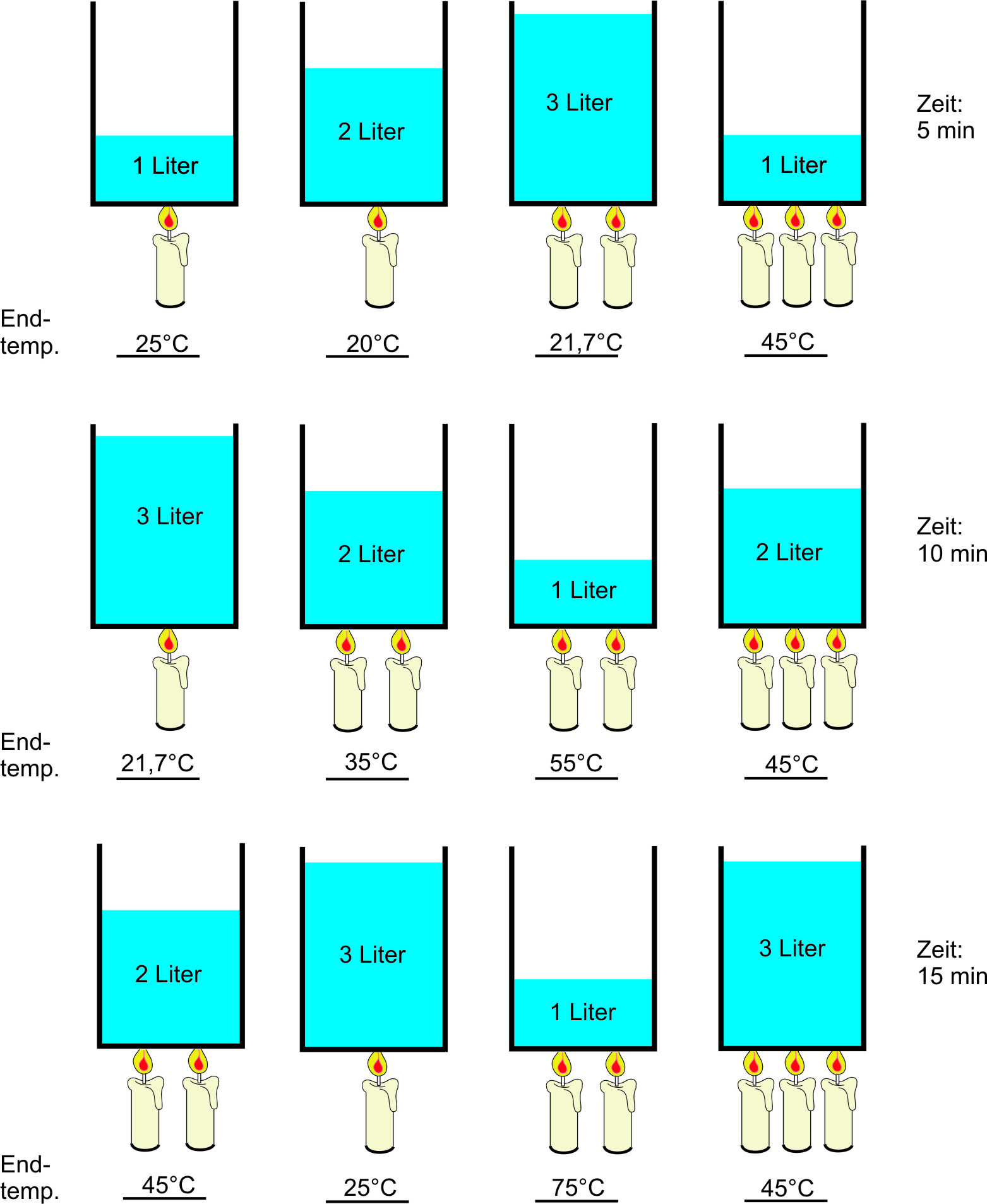
* Das Wasser erwärmt sich von 15°C auf 25°C. Die Temperaturerhöhung beträgt 10 K. (Bezug)
* Es ist die doppelte Menge Wasser, also ist die Temperaturänderung nur halb so groß, 5 K.
* Dreifache Menge Wasser, also ist die Temperaturerhöhung nur ein Drittel von 10 K. Es sind aber zwei Kerzen drunter, so dass sich die Temperatur um zwei Drittel von 10 K erhöht. Das sind 6,7 K.
* Drei Kerzen heißt, dreifache Wärmemenge, als steigt die Temperatur um 30 K.

**2. Zeile**

* Die Wassermenge ist drei Mal zu groß, also hat man eine Temperaturerhöhung von einem Drittel von 10 K. Da die Zeit aber doppelt so groß ist, sind es zwei Drittel, also wieder 6,7 K.
* Doppelte Wassermenge bedeutet erst mal eine halbe Temperaturerhöhung, 5 K. Zwei Kerzen mit der doppelten Zeit vervierfacht diesen Wert aber wieder, so dass man 20 K Erhöhung hat.
* Jetzt hat man einfach die vierfache Temperaturerhöhung, 40 K.
* Doppelte Wassermenge liefert als erstes wieder 5 K Erhöhung. Es wird aber die sechsfache Wärmemenge zugeführt (drei Kerzen, doppelte Zeit. Das bringt eine Temperaturerhöhung von 30 K.

**3. Zeile**

* Doppelte Wassermeng liefert wieder 5 K. Es wird aber die sechsfache Wärme zugeführt (2 Kerzen, dreifache Zeit). Das bringt wieder 30 K Erhöhung.
* Dreifache Wassermenge und dreifache Zeit gleichen sich aus. Das Wasser erwärmt sich wie im ersten Experiment um 10 K.
* Zur gleichen Wassermenge wird die sechsfache Wärme zugeführt. Das liefert sensationelle 60 K Erwärmung.
* Die dreifache Wassermenge bringt 3,3 K. Es wird die neunfache Wärme zugeführt (3 Kerzen, dreifache Zeit). Das hat eine Erhöhung von 30 K zur Folge.



**274.**

**a)** Der Druck im Behälter setzt sich aus zwei Drücken zusammen: der sowieso herrschende Luftdruck und der Druck, der durch die Gewichtskraft des Kolben entsteht.

Der Druck durch den Kolben lässt sich über die Masse und die Fläche berechnen:



Das wird zum Luftdruck addiert:



**b)** Die Dichte ist definiert als das Verhältnis von Masse zum Volumen



Die in der Aufgabe gegebene Zustandsgleichung wird so umgeschrieben, dass auf der einen Seite der Quotient aus Masse und Volumen steht:



Das entspricht der gesuchten Dichte, die nun berechnet werden kann:



**c)** Durch die Erwärmung des Gases hebt sich der Kolben nach oben. Das heißt, erdrückt nach der Erwärmung mit der gleichen Gewichtskraft wie vorher auf das Gas. Das bedeutet aber, dass sich der Druck in dem Gas nicht geändert hat: es liegt eine isobare Zustandsänderung vor.

Damit gilt:



Das Volumen V1 und die Temperatur T1 sind laut Aufgabenstellung bekannt. Das Volumen V2 kann über die Hubhöhe der Kolben berechnet werden.

Der Kolben hat eine Grundfläche von 0,04 m² und er hebt sich um 0,05 m. Damit kann die Volumenvergrößerung berechnet werden:



Das ursprüngliche Volume in dem Gefäß war 40 Liter groß. Ein Liter entspricht 1 dm³, so dass in dem Gefäß



sind.

Damit sind nach der Erwärmung



Damit kann die gesuchte Temperaturerhöhung berechnet werden:



Damit beträgt die Temperatur nach der Erwärmung 35°C und die Temperatur hat sich um 15 K erhöht.

Die zugeführte Wärme berechnet sich ganz allgemein mit



Da der Vorgang isobar ist, wird die Gleichung zu



Außer der Masse ist alles gegeben. Die kann aber mit der allgemeinen Zustandsgleichung bestimmt werden:



Das kann in die Wärmegleichung eingesetzt werden. Aber welches V und welches T setzt man ein? Das vor oder das nach der Ausdehnung?

Das ist egal, da der Quotient aus V und T ja konstant sind. Man muss nur darauf achten, dass man ein zusammenpassendes Paar verwendet. Im Beispiel werden die beiden Größen „vor der Wärmezufuhr“ verwendet.



Für die Volumenarbeit bei konstantem Druck gilt allgemein:



Alles ist bekannt, also kann die Volumenarbeit berechnet werden.



**d)**

Für eine isotherme Zustandsänderung berechnet sich die Arbeit mit



Daraus erhält man



**275.**

**a)** Die Teilchen eines idealen Gases haben folgende Eigenschaften:

* sie haben keine räumliche Ausdehnung.
* alle Zusammenstöße zwischen den Gasteilchen untereinander oder den Gasteilchen und der Gefäßwand sind völlig elastisch
* zwischen den Gasteilchen wirken außer bei Zusammenstößen keine Kräfte.

Zusatz: Ein Gas wird als ideales Gas betrachtet, wenn gilt:



**b)** Zustand A:

Vom Zustand A weiß man, dass das Gas 1 dm³ Raum einnimmt. Zum Zustand B hin wird das Volumen auf 5 dm³ vergrößert, ohne dass sich die Temperatur ändert.

Bei einer solchen isothermen Zustandsänderung ist das Volumen umgekehrt proportional zum Druck. Der Druck nimmt also im gleichen Maße ab, wie das Volumen größer wird.

Da im Zustand B der Druck 0,10 MPa beträgt, muss er im Zustand A fünfmal so groß gewesen sein, also 0,50 MPa.

Zustand C:

Das Volumen für den Zustand C lässt sich nicht so einfach wie der Druck im Zustand A bestimmen. Über Druck und Volumen werden keine Aussagen gemacht.

Man weiß aber, dass das Gas beim Übergang von B zu C seinen Druck nicht ändert (isobar) und Wärme abgibt. Wenn es sich bei gleichem Druck Wärme abgibt, zieht es sich zusammen; die Temperatur wird kleiner.

Da das Gas mehr Wärmeenergie abgibt, als sich die innere Energie ändert, wir bei dieser Zustandsänderung mechanische Arbeit am Gas verrichtet.

Das lässt sich ganz gut mit dem 1. Hauptsatz der Wärmelehre beschreiben. Der besagt ja, dass die innere Energie eines Gases durch Wärme oder mechanische Arbeit geändert werden kann:



Entsprechend der Aufgabenstellung gibt das Gas Wärme ab () und die innere Energie sinkt ()

Setzt man das in den 1. Hauptsatz ein, erhält man



Das bedeutet, dass an dem Gas 190 J mechanische Arbeit verrichtet werden müssen. Das geht, in dem das Volumen des Gases verkleinert wird, es nimmt danach weniger Raum ein.

Für eine isobare Zustandsänderung gilt nun



Damit kann die Volumenänderung berechnet werden. Als Druck wird der Druck vom Zustand B verwendet, der sich ja bei der Zustandsänderung von B nach C nicht ändert.



Das Volumen wird also beim Übergang B → C um 1,9 dm³ kleiner. Da es im Zustand B 5,0 dm³ groß war, sinkt es im Zustand C auf 3,1 dm³.

|  |  |
| --- | --- |
| **c)** Die Kurve zwischen Punkt A und Punkt B ist eine Isotherme. Von B nach C verläuft die Kurve parallel zur V-Achse; der Druck bleibt konstant.  Die Verbindung zwischen C und A verbindet zwei Punkte auf zwei Isothermen. Die eine ist die Kurve zwischen A und B und die zweite verläuft unterhalb davon durch den Punkt C. Diese Isotherme ist im Diagramm aber nicht zu sehen, da sie nicht notwendig war. |  |

**d)** Bei einem Kreisprozess durchläuft das Gas mehrere Zustände. Der Endpunkt des Kreises fällt mit dem Startpunkt zusammen (hier Punkt A).

In diesem Punkt hat das Gas beim Start und am Ende genau die gleichen Eigenschaften. Das heißt, dass sich die innere Energie während eines Umlaufs zwar ändern kann, am Start und am Ende ist sie jedoch gleichgroß.

Das heißt, für einen Umlauf gilt:



In dem konkreten Kreisprozess ist die Zustandsänderung von A nach B isotherm. Das bedeutet, dass sich die innere Energie dabei nicht ändert und noch der inneren Energie vom Start entspricht.

Demnach muss die Änderung der inneren Energie von B nach C während der Zustandsänderung von C nach A wieder rückgängig gemacht werden. Beide Änderungen sind also gleich groß, haben aber entgegengesetztes Vorzeichen.

**e)** Die verrichtete Arbeit entspricht der Fläche unter der Kurve. Bei jedem Kreisprozess verrichtet das System Arbeit, es muss aber zum Erreichen des Ausgangszustandes wieder Arbeit am System verrichtet werden. Natürlich muss die vom System verrichtete Arbeit größer als die am System verrichtete Arbeit.

Für jede einzelne Zustandsänderung wird die Arbeit berechnet.

**1. A → B**

Für die Volumenarbeit gilt ganz allgemein:



Man weiß, dass



gilt. Das bedeutet, dass man en Druck p für ein bestimmtes Volumen V berechnen kann, wenn man ein Wertepaar von Druck und Volumen hat, da ja bei einer isothermen Zustandsänderung das Produkt aus Druck und Volumen immer gleich ist.

Setzt man das nun in das Integral ein, erhält man



Das Produkt über dem Bruchstrich ist die Konstante und kann vor dem Intergral geschrieben werden:



Das ergibt dann



und eingesetzt erhält man die Arbeit:



**2. B → C**

Hier braucht man gar nicht rechnen. Bei der Lösung b) wurde ja schon berechnet, dass System für diese Zustandsänderung 190 J verrichtet werden müssen.

**3. C → A**

Die Berechnung wie im 1. Fall ist nicht möglich, da die Zustandsänderung nicht isotherm verläuft. Damit ist das Produkt von Druck und Volumen nicht konstant.

Das einzige, was über diese Zustandsänderung bekannt ist, ist der adiabatische Verlauf. Das bedeutet, dass der Vorgang ohne Wärme stattfindet. Es wird also keine thermische Energie mit der Umgebung ausgetauscht. Das kann man dann annehmen, wenn der Vorgang sehr schnell abläuft.

Aber was hilft das weiter? Der erste Hauptsatz sieht dann so aus:



Die gesuchte mechanische Arbeit entspricht also der Änderung der inneren Energie. Aber darüber weiß man ja auch nichts.

Doch!

Wie schon beschrieben ist die Änderung der inneren Energie für einen gesamten Durchlauf Null, sie ändert sich also nicht.

Über den Vorgang A → B weiß man, das er isotherm verläuft. Bei einem isothermen Vorgang bleiben die Temperatur und damit die innere Energie konstant. Die innere Energie im Punkt A und Punkt B sind gleich groß.

Über den Vorgang B → C wissen wir laut Aufgabenstellung, dass die innere Energie um 0,46 kJ sinkt. Damit muss sie aber beim Vorgang C → A wieder um 0,46 kJ steigen, damit sie am Ende so groß ist wie am Anfang.

Damit ist aber die mechanische Arbeit beim Vorgang C → A ebenfalls 0,46 kJ groß.

Nun kennt man für jeden Teilprozess die mechanischen Arbeiten und kann die Endbilanz aufstellen. Es werden -805 kJ geliefert und man muss 190 J + 450 J wieder reinstecken. Dann bleiben -165 J übrig, die effektiv aus dem Kreisprozess herauskommen.

**276.**

**a)** Wenn der Zylinder offen ist, also kein Kolben vorhanden ist, ist im Zylinder einfach nur der äußere Luftdruck. Durch den Kolben entsteht ein zusätzlicher Druck durch dessen Gewichtskraft. Wird der Kolben eingesetzt, sinkt er nach unten und erhöht dadurch den Druck im Zylinder.

Das geht solange, bis die Kraft durch den Druck im Gefäß so groß ist die die Kraft durch den Luftdruck und die Kraft durch den Kolben.

Es muss also zum Luftdruck der Druck addiert werden, der durch den Kolben entsteht.

Der Druck ist allgemein



F ist die Gewichtskraft des Kolbens und A seine Fläche. Beides ist bekannt und damit kann der Druck berechnet werden:



Das ist ausgesprochen wenig im Vergleich zum Luftdruck. Damit erhöht der Kolben den Druck im Zylinder nur unwesentlich auf 1,02 ⋅ 105 Pa.

**b)**

Die Dichte ist allgemein Masse je Volumen:



Masse und Volumen eines idealen Gases sind über die allgemeine Gasgleichung verknüpft:



Die Gleichung kann man so umstellen, dass man die Dichte des Gases direkt bestimmen kann. Die Temperatur muss natürlich vorher von den °C in Kelvin umgerechnet werden.



**c)** Da die zusätzliche Kraft nach unten wirkt, bewegt sich der Kolben auch nach unten. Damit wird in beiden Fällen das Volumen der Luft kleiner.

Im ersten Fall handelt es sich um eine adiabatische Kompression. Das heißt, der Vorgang läuft so schnell ab, dass keine Wärme mit der Umgebung ausgetauscht wird.

Die am System verrichtete Arbeit erhöht sowohl den Druck im Gas als auch dessen Temperatur.

Im zweiten Fall liegt eine isobare Zustandsänderung vor, der Druck bleibt also konstant. Da sich das Volumen aber verkleinert, muss die Temperatur kleiner werden. Das System gibt Wärme ab.

|  |  |
| --- | --- |
| Im p(V)-Diagramm kann man sich die beiden Vorgänge gut veranschaulichen.  Im Teil 1 verbindet die Adiabate zwei Isothermen.  Im zweiten Teil verläuft die Kurve wegen dem konstanten Druck parallel zur V-Achse. |  |

**d)**

Als erstes überlegt man, wie man die Höhe in die Betrachtung mit hineinbekommt.

Allgemein ist bekannt, dass in einem Zylinder das Volumen gleich der Grundfläche mal der Höhe ist:



Über das Volumen kann uns die allgemeine Zustandsgleichung eine Aussage machen:



Setzt man das ein, erhält man



Der Druck p, der jetzt unter dem Bruchstrich steht, ist der Gesamtdruck in der Luft. Dieser Druck setzt sich aus drei Teildrücken zusammen:

* Luftdruck von außen
* Druck durch den Kolben
* Druck durch die zusätzliche Kraft

Diese drei Drücke werden addiert:



Das kann man in die Gleichung für die Höhe einsetzten und Ausmultiplizieren:



Fertig!

**277.**

Wenn man die Eiswürfel in den lauwarmen Tee gibt, passieren mit den Eiswürfeln nacheinander drei Dinge:

1. Das Eis wird von -12°C auf 0°C erwärmet
2. Das Eis schmilzt
3. Das Wasser, das aus dem Eis entstanden ist, wird auf 4°C erwärmt

Bei diesen drei Vorgängen ist immer Wärme notwendig, die irgendwo her kommen muss. Da die Eiswürfel im Tee schwimmen, gibt der Tee die Wärme ab und erreicht dadurch die gewünschte Trinktemperatur.

Als erstes muss man nun bestimmen, welche Wärme dem Tee entzogen werden muss, damit es die Temperatur von 4°C erreicht. Das ist nicht schwer, wenn man die Gleichung für die Wärme benutzt:



Also: Wärme ist das Produkt aus der Masse, der spezifischen Wärmekapazität und der Temperaturänderung.

Die Masse von 300 ml Tee beträgt 0,3 kg, die spezifische Wärmekapazität von Tee entspricht der von Wasser und die findet man in jeder Formelsammlung oder im Tafelwerk und die Temperaturänderung beträgt 21K. (von 25°C auf 4°C)



Diese Wärme muss dem Tee als entzogen werden.

Jetzt zum Eis!

Die Wärme, die das Eis aufnimmt, wird wieder über die Gleichung zur Wärme berechnet. Die Masse ist dabei die gesuchte Größe.

Die spezifische Schmelzwärme für Eis findet man wieder im Tafelwerk. Von Eis beträgt sie



Also um 1 kg Eis zu schmelzen, benötigt man 334 kJ. Für die gesuchte Menge Eis ist die Schmelzwärme die spezifische Schmelzwärme mal die Eismasse. Und da ist wieder die gesuchte Größe!

Aus dem Eis entsteht beim Schmelzen die gleiche Masse an Wasser, dass dann auf die 4°C erwärmt wird. Für die dazu benötige Wärme nimmt man wieder die bekannte Wärmegleichung, in der wieder die Masse des Wassers die unbekannte Größe ist.

Es gilt also



Das sieht komplizierter aus, als es ist.

Zuerst wird die Masse ausgeklammert. Sie ist ja in jedem Summanden gleich groß.



Diese Gleichung lässt sich nach der gesuchten Masse umstellen.



Die Wärme Q, die über dem Bruchstrich steht, ist die Wärme, die das Mineralwasser abgeben muss und die schon berechnet wurde.

Nun ist alles bekannt und die gesuchte Masse kann berechnet werden:



Es muss also 70 g Eis in den Tee gegeben werden. Wenn ein Eiswürfel z.B. 10 g Masse hat, sind 7 Eiswürfel notwendig.

**278.**

**a)** Erster Hauptsatz der Thermodynamik:

Die Änderung der inneren Energie eines Gases ist die Summe aus der Volumenarbeit und der Wärme.



Im konkreten Fall liegt eine isotherme Zustandsänderung vor. Das heißt, die Temperatur und damit die innere Energie des Gases bleiben unverändert.



Die Summe aus Wärme und Volumenarbeit muss dann ebenfalls Null ergeben.

Da sich beim Übergang von Zustand 2 zu Zustand 3 das Gas ausdehnt, das Volumen also größer wird, verrichtet das Gas Volumenarbeit. Damit muss dem Gas Wärme zugeführt werden.

Vom Betrag her ist die Wärme so groß wie die Volumenarbeit.

**b)** Im p(V)-Diagramm entspricht die Volumenarbeit der Fläche unter der Kurve. Die müssen für die beiden Zustandsänderungen bestimmt und verglichen werden.

Die Flächen kann man einfach auszählen.

Für die Zustandsänderung 1 → 2 sind das 6 Kästchen.

Für die Zustandsänderung 2 → 3 kann man mehr als 6 Kästchen zählen.

Damit gilt



Bei der Zustandsänderung 1 → 2 wird das Volumen des Gases kleiner. Es wird also dem System Volumenarbeit zugeführt. Bei der anderen Zustandsänderung dehnt sich das Gas wieder aus und gibt Volumenarbeit ab.

|  |  |
| --- | --- |
| **c)** Während der Zustandsänderung 1 → 2 bleibt der Druck konstant. Daraus ergibt sich, dass das Volumen und die Temperatur zueinander proportional sind. Die Kurve im Diagramm liegt demnach auf einer Geraden, die durch den Nullpunkt und den Punkt 1 geht. Das Volumen wird um eine Einheit kleiner. |  |

Bei der 2. Zustandsänderung bleibt die Temperatur konstant und das Volumen wird um zwei Einheiten größer. Genau so wird das eingezeichnet.

**279.**

**a)** Es werden die einzelnen Abschnitte des Kreisprozesses untersucht.

A → B

Die Temperatur als auch der Druck steigt an. Durch die gestrichelte Linie ist zu erkennen, dass dabei der Druck proportional zur Temperatur ist.

Das bedeutet, dass das Volumen konstant bleibt. (Isochore Zustandsänderung)

B → C

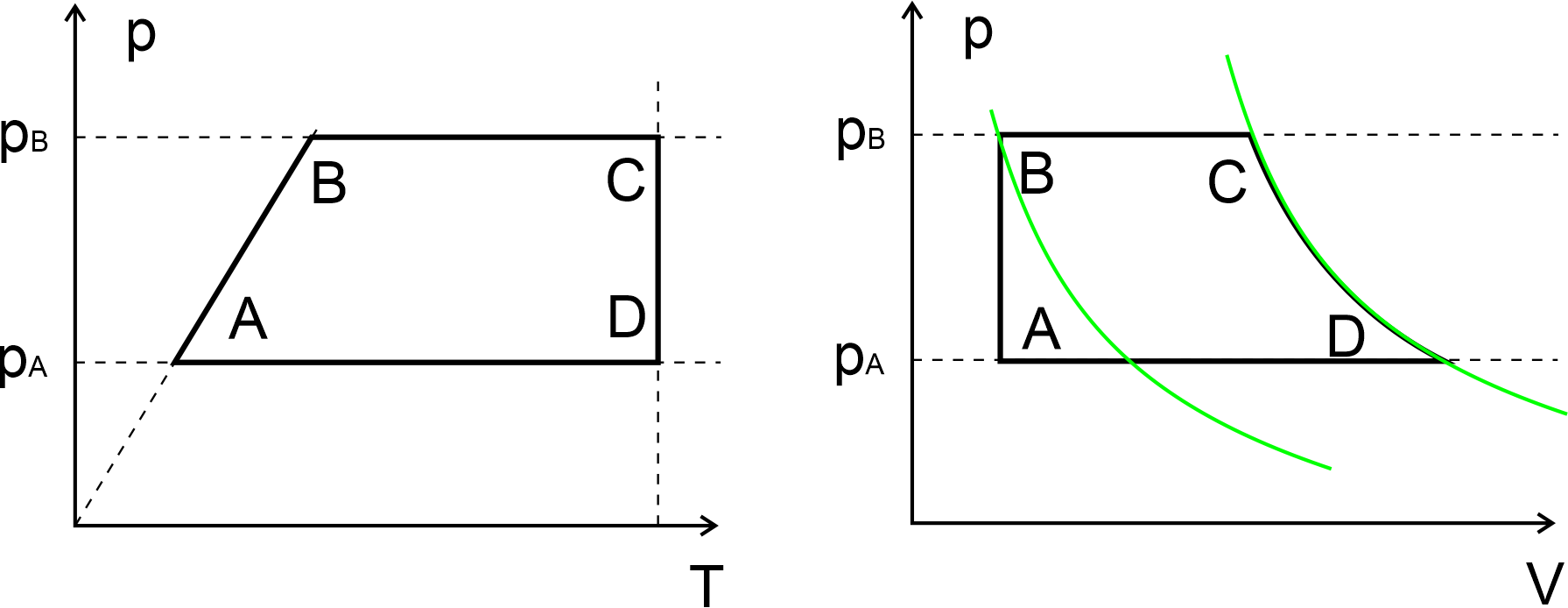
Der Druck bleibt konstant und die Temperatur erhöht sich. Das geht nur, wenn sich das Gas gleichzeitig ausdehnt. Die Kurve verläuft parallel zur V-Achse und verbindet zwei Isothermen. (Isobare Zustandsänderung)

C → D

Die Temperatur bleibt gleich und der Druck wird geringer. Damit verläuft die Kurve auf der Isothermen abwärts. Es ist zu sehen, dass sich das Gas ausdehnt. (Isotherme Zustandsänderung)

D → A

Wie bei B → D bleibt der Druck konstant. Diesmal nimmt aber die Temperatur ab und erreicht wieder die Ausgangstemperatur. Das Volumen wird dadurch wieder kleiner (Isobare Zustandsänderung)



**b)** Mechanische Arbeit wird nur dann verrichtet, wenn sich das Volumen des Gases ändert. Damit fällt der Abschnitt A→B weg.

In den Abschnitten B → C und C → D dehnt sich das Gas aus und verrichtet demnach Arbeit. Von D → A wird das Volumen wieder kleiner und am System wird Arbeit verrichtet.

Die Arbeit entspricht immer der Fläche unter der Kurve. Da die Fläche von B → D eindeutig größer ist als die Fläche unter D → A heißt das, dass das Gas nach außen Arbeit verrichtet.

Der Maschine wird thermische Energie zugeführt, die sie in mechanische Arbeit umwandelt. Das ist ja der ursprüngliche Sinn der Wärmekraftmaschinen (z.B. Verbrennungsmotor)

**c)**

Der erste Hauptsatz der Wärmelehre lautet:



Die Änderung der inneren Energie ist die Summe aus der verrichteten Arbeit und der Wärme.

Der Vorgang A →B ist eine isochore Zustandsänderung. Das heißt, das Volumen des Gases bleibt bei diesem Vorgang gleich, das Gas dehnt sich nicht aus und zieht sich nicht zusammen.

Damit wird aber vom Gas keine mechanische Arbeit verrichtet und es wird auch am Gas keine Arbeit verrichtet. W ist 0!

Die Änderung der inneren Energie kommt nur durch die zugeführte Wärme zustande.

**280.**

**a)** Die notwendige Wärme berechnet sich nach der Grundgleichung der Wärmelehre:



Das das Volumen mit 0,8 m³ bekannt ist, kennt man auch die Masse mit 800 kg. Die Wärmekapazität von Wasser ist eine feste Naturgröße und beträgt



Damit kann die Wärme berechnet werden:



**b)** Da die Hälfte der zugeführten Energie zum Erwärmen der Umgebung verwendet wird, muss die doppelte Energie der soeben berechneten Energie zugeführt werden. Das sind dann also 10 056 kJ.

**c)** Die Leistung ist die verrichtete Arbeit je Zeit



Die verrichtete Arbeit entspricht der zugeführten Energie, also der Wärme.



Die Heizung muss mindesten eine Leistung von 2,8 kW haben. 3 kW sind aber sicher besser.