

Angewandte Physik (APH)

Schule: HTBLuVA St. Pölten

Abteilung / Zweig: Elektronik / Technische Informatik

Lehrperson: Prof. Mag. Dr. Maria Bonelli

Jahrgang: 2004/2005

Klasse: 3AHELI

1 Anmerkung

Vor jedem Test oder Prüfung werden sie von Prof. Bonelli ein A4 Blatt mit Rechenbeispielen erhalten, sie sollten diese so früh wie möglich durchrechnen.

Textpassagen mit einem Strich auf der Seite kennzeichnen Rechenbeispiele.

Formeln sind grün hinterlegt.

2 Inhaltsverzeichnis

1	Anmerkung.....	2
2	Inhaltsverzeichnis.....	2
3	Wärmelehre	4
3.1	Temperaturskalen	4
3.2	Temperaturmessung	4
3.3	Wärmeausdehnung	5
3.3.1	Lineare Ausdehnung fester Körper	5
3.3.2	Volumsausdehnung fester Körper	5
3.3.3	Volumsausdehnung von Flüssigkeiten und Gasen	5
3.3.4	Dichte als temperaturabhängige Größe	6
3.4	Gasgesetze	6
3.4.1	Gesetz von Boyle-Mariotte	6
3.4.2	Gesetz von Gay-Lussac	7
3.4.3	Gesetz von Amontons	7
3.4.4	Zustandsgleichung für ideale Gase	7
3.5	Wärmemenge	9
3.5.1	Wärmekapazität fester und flüssiger Stoffe	9
3.5.2	Wasserwert w	10
3.5.3	Heizwert H	10
3.6	Wärmeübertragung	11
3.6.1	Wärmeleitung	11
3.6.2	Wärmeströmung oder Konvektion	12
3.6.3	Wärmeübergang und Wärmedurchgang	12
3.7	Änderung des Aggregatzustandes	13
3.7.1	Schmelzen und erstarren	13
3.7.2	Verdunsten, Verdampfen, Kondensieren	13
3.8	Hauptsätze der Wärmelehre	15
4	Spezielle Relativitätstheorie	15
4.1	Relativitätsprinzip	15
4.2	Gesetz von der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit	15
4.2.1	Zeitdilatation – Zeitdehnung	15
4.2.2	Längenkontraktion	15
4.2.3	Gleichzeitigkeit	15
4.2.4	Relativistische Geschwindigkeits-Addition	16
4.2.5	Relativistische Masse	16
4.2.6	Energie	16
4.2.7	Dopplereffekt	17
5	Allgemeine Relativitätstheorie	17
5.1	Äquivalenzprinzip der Allgemeinen Relativitätstheorie	17

5.2	Der gekrümmte Raum	18
6	Quantentechnik.....	18
6.1	Photoeffekt	18
6.2	Compton Effekt	19
6.3	Eigenschaften der Photonen	19
6.4	Elektronenhülle	19
6.5	Atomkern.....	21
6.5.1	Kernradius – Kernkraft.....	21
6.5.2	Massendefekt Δm und Bindungsenergie	21
6.5.3	Kernkraftwerke.....	22
7	Anhang	23

3 Wärmelehre

Die Temperatur ist eine physikalische Grundgröße.

3.1 Temperaturskalen

	Celsius	Reaumur	Fahrenheit	Kelvin
Siedepunkt	100°C	80°R	212°F	373,15K
Gefrierpunkt	0°C	0°R	32°F	273,15K

Grundeinheit der Temperatur $[T]=1\text{K}$

Celsius Skala $\theta = 20^\circ$

$$T = \theta + 273,15$$

3.2 Temperaturmessung

Sie beruht auf der unterschiedlichen Ausdehnung von Flüssigkeiten, Gasen oder festen Stoffen bei Temperaturerhöhung.

Quecksilberthermometer bis $-38,7^\circ\text{C}$ (Hg wird fest)

bei tieferen Temperaturen

Tolien bis -110°C

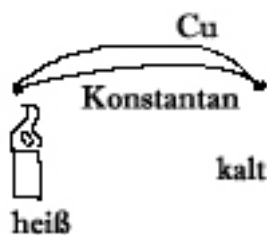
Pentan bis -190°C

Gasthermometer werden von 260°C bis 1700°C benutzt.

Platingefäße, die mit Wasserstoff oder Helium gefüllt sind.

Bimetallthermometer bestehen aus zwei aufeinander gelöteten Blechstreifen verschiedener Metalle, die sich bei gleicher Erwärmung unterschiedlich ausdehnen.

Thermoelement:



Herrschen an den Lötstellen unterschiedliche Temperaturen, so bildet sich eine Thermospannung aus.

Diese ist umso höher, je größer die Temperaturdifferenz der beiden Lötstellen ist. (200°C – 700°C)

Widerstandsthermometer:

Die meisten Metalle leiten bei höheren Temperaturen den elektrischen Strom weniger gut als bei niedrigen. (bis 600°C)

Pyrometer (Strahlungsthermometer):

Festkörper und Flüssigkeiten senden bei hohen Temperaturen eine gut sichtbare Strahlung aus. (über 4000°C)

3.3 Wärmeausdehnung

3.3.1 Lineare Ausdehnung fester Körper

geg.: $l, \Delta\theta$

ges.: Δl Längenänderung

$$\Delta l = \alpha * l * \Delta\theta$$

α ...linearer Ausdehnungskoeffizient (Materialkonstante)

$$l_1 = l + \Delta l = l + \alpha * l * \Delta\theta$$

$$l_1 = l (1 + \alpha * \Delta\theta)$$

Bsp.:

$$0^\circ\text{C} - l = 180\text{m}$$

$$\alpha_{\text{Cu}} = 1,65 * 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$-28^\circ\text{C}$$

$$40^\circ\text{C}$$

$$\Delta l = 1,65 * 10^{-5} * 180 * 68 = 20,196\text{cm}$$

3.3.2 Volumsausdehnung fester Körper

geg.: $V, \Delta\theta$

ges.: ΔV ...Volumsänderung

$$\Delta V = \gamma * V * \Delta\theta$$

$$V_1 = V(1 + \gamma * \Delta\theta)$$

$$V_1 : V_2 = l_1^3 : l_2^3$$

$$= l_1^3 : l_1^3 (1 + \alpha * \Delta\theta)^3$$

$$= 1 : (1 + \alpha * \Delta\theta)^3$$

$$= 1 : (1 + 3\alpha\Delta\theta + 3\alpha^2\Delta\theta^2 + \alpha^3\Delta\theta^3) \quad // 3\alpha^2\Delta\theta^2 + \alpha^3\Delta\theta^3 \text{ ist vernachlässigbar}$$

$$= 1 : (1 + 3\alpha\Delta\theta)$$

$$\gamma = 3\alpha$$

Der räumliche Ausdehnungskoeffizient γ eines festen Körpers beträgt das 3-fache seines linearen Ausdehnungskoeffizienten.

3.3.3 Volumsausdehnung von Flüssigkeiten und Gasen

geg.: $50\text{cm}^3 \text{ Hg}, \Delta\theta = 15^\circ\text{C}, \gamma_{\text{Hg}} = 0,182 * 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}, \alpha_{\text{Glas}} = 0,8 * 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

ges.: ΔV

$$\Delta V = \Delta V_{\text{Hg}} - \Delta V_{\text{Glas}}$$

$$= \gamma_{\text{Hg}} * V * \Delta\theta - V * \Delta\theta * 3\alpha$$

$$= V * \Delta\theta (\gamma_{\text{Hg}} - 3\alpha) = 0,1185\text{cm}^3$$

3.3.4 Dichte als temperaturabhängige Größe

$$\rho = m/V$$

$$\rho_1 = m/V_1 = m/(V \cdot (1 + \gamma \Delta\theta)) = \rho/(1 + \gamma \Delta\theta)$$

$$\rho_1 = \rho/(1 + \gamma \Delta\theta)$$

$$\gamma_{\text{Gase}} = 1/273,15$$

geg.: 20°C $\rho = 13,546 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ $\gamma = 0,182 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

ges.: Dichte von Hg bei 50°

$$\rho_1 = \rho/(1 + \gamma \Delta\theta) = (13,546 \cdot 10^3)/(1 + 0,182 \cdot 10^{-3} \cdot 30) = 13,472 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$

3.4 Gasgesetze

Zustandsgrößen:

Druck p

Temperatur T

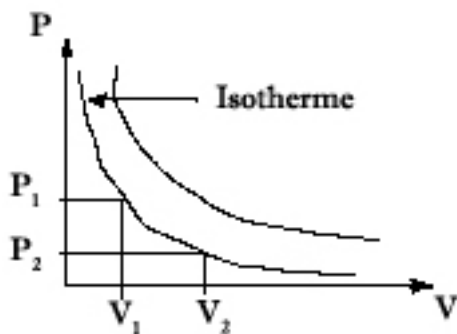
Volumen V

3.4.1 Gesetz von Boyle-Mariotte

T bleibt konstant (isotherme Zustandsänderung)

$$p \cdot V = \text{konst.}$$

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



Bsp.: $10 \times 7 \times 3,5$

$$p_1 = 1018 \text{ mbar}$$

$$p_2 = 985 \text{ mbar}$$

$$V_1 = 10 \cdot 7 \cdot 3,5 = 245$$

$$V_2 = p_1 \cdot V_1 / p_2 = 253,21$$

$$V_{\text{ent}} = V_2 - V_1 = 8,21$$

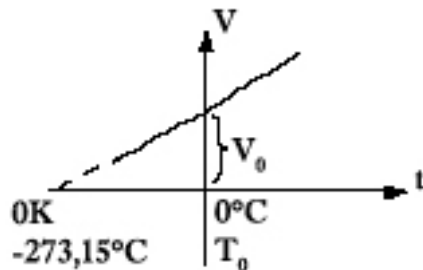
Ändert man ein Volumen, dass ein Gas bei konstanter Temperatur einnimmt, so ändert sich der Druck derart, dass das Produkt aus Druck und Volumen stets den selben Wert liefert.

3.4.2 Gesetz von Gay-Lussac

p bleibt konstant (isobare Zustandsänderung)

$V/T = \text{konst.}$

$$V/T = V_0/T_0$$



Für ein ideales Gas bei konstantem Druck gilt:
Das Verhältnis aus Volumen und absoluter Temperatur bleibt konstant.

3.4.3 Gesetz von Amontons

V bleibt konstant (isochore Zustandsänderung)

$p/T = \text{konst.}$

$$p_1/T_1 = p_2/T_2$$

Beispiel:

$$\theta = 20^\circ\text{C} \quad p = 1013 \text{ mbar} \quad \theta_1 = -10^\circ\text{C}$$

ges.: p_1

$$1013 \text{ m}/293,5 = p_2/263,5 \rightarrow p_2 = 909 \text{ mbar}$$

$$A = 0,8 \text{ m}^2 \quad p = F/A \quad 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ pascal}$$

$$F = p/A$$

$$F = (1,013 \cdot 10^5 - 0,909 \cdot 10^5) \cdot 0,8 = 8293$$

$$\theta_1 = 18^\circ\text{C}$$

$$p_1 = p_2$$

$$T_1 = 273,15 + 18 = 291,15$$

$$V/T = V_0/T_0 \quad 582,3 \text{ K} = 309,15^\circ\text{C}$$

$$2V_0/T_2 = V_0/T_1$$

$$2/T_2 = 1/291,15 \rightarrow T_2 = 582,3 \text{ K}$$

3.4.4 Zustandsgleichung für ideale Gase

$p \cdot V/T = \text{konst.}$

$$p_1 \cdot V_1/T_1 = p_2 \cdot V_2/T_2$$

Beispiel:

$$\theta_1 = 15^\circ\text{C}, V_1 = 7,2 \text{ dm}^3, p_1 = 2,8 \text{ bar}$$

$$\theta_2 = 70^\circ\text{C}, V_2 = 7,4\text{dm}^3, p_2 = ?$$

$$T_1 = 273,15 + 15 = 288,15\text{K}$$

$$T_2 = 273,15 + 70 = 343,15\text{K}$$

$$p_1 \cdot V_1 / T_1 = p_2 \cdot V_2 / T_2 \rightarrow p_2 = p_1 \cdot V_1 \cdot T_2 / (V_2 \cdot T_1) = 3,24\text{bar}$$

Standardbedingungen :

$$\theta = 0^\circ\text{C} \rightarrow T = 273,15\text{K}, p = 1,013 \cdot 10^5 \text{Pa}$$

Beispiel:

$$\theta = 38^\circ\text{C} \quad p = 980\text{mbar} \quad V = 4,2\text{dm}^3$$

$$T_2 = 273,15 + 38 = 321,15\text{K}$$

$$p_1 \cdot V_1 / T_1 = p_2 \cdot V_2 / T_2 \rightarrow V_2 = p_1 \cdot V_1 \cdot T_2 / (T_1 \cdot p_2)$$

$$V_2 = 3,6\text{dm}^3$$

Die Einheit der Stoffmenge ist 1 Mol (mol).

Das ist das in Gramm ausgedrückte Molekulargewicht.

Jedes Mol (egal welchen Stoffes) enthält gleich viel Teilchen.

$$L = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ Teilchen/mol}$$

L...Loschmidt-Konstante (oder Avogadrokonstante)

$$1\text{u (unit)} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

1 mol eines beliebigen Gases besitzt unter Standard Bedingungen ein Volumen von 22,41 dm³, man nennt dieses Volumen Molvolumen.

$$V_{\text{mol}} = 22,41\text{dm}^3$$

Standardbedingungen:

$$T_0 = 273,15\text{K} (\theta = 0^\circ\text{C})$$

$$p_0 = 1013\text{mbar} = 1,013 \cdot 10^5 \text{Pa}$$

1 Mol

$$V \cdot p / T = C$$

$$R = V_m \cdot p_0 / T_0 = 8,314\text{J/Kmol}$$

$$R = 8,314 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1} \dots \text{universelle Gaskonstante}$$

$$\begin{aligned} \text{1 Mol:} \quad & p \cdot V / T = R \\ & p \cdot V = R \cdot T \end{aligned}$$

$$\text{n Mol:} \quad p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

Zustandsgleichung für n Mol des idealen Gases.

N-Teilchen:

$$N/L = n$$

$$p \cdot V = N/L \cdot R \cdot T = N \cdot T \cdot R/L$$

$$R/L = k$$

$$p \cdot V = k \cdot N \cdot T$$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} \dots \text{ Boltzmann Konstante}$$

Beispiel:

15°C 2,3bar 0,8m³ R=8,314JK-1mol-1

ges.: n, N

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \rightarrow n = p \cdot V / (R \cdot T) = (2,3 \cdot 10^5 \cdot 0,8 \text{ m}^3) / (8,314 \cdot 283,15 \text{ K}) = 76,80 \text{ mol}$$

$$N = 5,16 \cdot 10^{25}$$

Beispiel:

260K 50cm³

400K V₂ = ?

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \rightarrow p = n \cdot R \cdot T / V$$

$$P_1 \cdot V_1 / T_1 = P_2 \cdot V_2 / T_2$$

$$V_2 = V_1 \cdot T_2 / T_1$$

$$V_2 = 76,92 \text{ cm}^3$$

3.5 Wärmemenge

$$\Delta Q = m \cdot C \cdot \Delta T$$

m...Masse

c...Materialkonstante (spezifische Wärmekapazität)

ΔT...Temperaturerhöhung

Die spezifische Wärmekapazität ist die Wärmemenge, die nötig ist, um 1kg eines Stoffes um 1K zu erhöhen.

$$C = \Delta Q / (m \cdot \Delta T) \quad [C] = \text{Jkg}^{-1} \text{K}^{-1}$$

$$C_{\text{H}_2\text{O}} = 4187 \text{ Jkg}^{-1} \text{K}^{-1}$$

1kcal = 4187 J ... mechanisches Wärmeequivalent

für n Mol:

$$C = \Delta Q / (n \cdot \Delta T) \dots \text{ molare Wärmekapazität}$$

3.5.1 Wärmekapazität fester und flüssiger Stoffe

Beispiel:

Cu → 200g, 100°C
H₂O → 500g, 15°C } 18°C

$$\Delta Q = m \cdot C \cdot \Delta T = 0,5 \text{ kg} \cdot 4187 \cdot 3^\circ \text{C} = 6280,5$$

$$\Delta Q = m \cdot C \cdot \Delta T \rightarrow C = \Delta Q / (m \cdot \Delta T) = 6280,5 / (0,2 \cdot 82) = 383,96 \text{ Jkg}^{-1} \text{K}^{-1}$$

Beispiel:

H₂O → 24°C
H₂O → 70°C } 40°C, 50g

$$\begin{aligned}\Delta Q &= m_1 \cdot C \cdot \Delta T_1 \\ \Delta Q &= m_2 \cdot C \cdot \Delta T_2 \\ m_1 \cdot \Delta T_1 &= m_2 \cdot \Delta T_2 \\ (50g - m_2) \cdot 16^\circ &= m_2 \cdot 30^\circ \\ 800 - 16m_2 &= 30m_2 \\ 800 &= 46m_2 \\ m_2 &= 17,39g\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m_1 &= 50 - m_2 \\ m_1 &= 32,61g\end{aligned}$$

3.5.2 Wasserwert w

Darunter versteht man jene Wassermenge, die die Selbe Wärmeaufnahme wie das Kolorimeter besitzen würde.

Beispiel:

$$\begin{array}{l} 250gH_2O \text{ mit } 10,4^\circ C \\ 507gH_2O \text{ mit } 31,2^\circ C \end{array} \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} 250gH_2O \text{ mit } 10,4^\circ C \\ 507gH_2O \text{ mit } 31,2^\circ C \end{array}} \right\} 23,4^\circ C$$

ges.: w

$$\begin{aligned}0,507 \cdot C_w \cdot 7,8 &= 0,25 \cdot C_w \cdot 13 + x \cdot l_g 13 \\ //x \cdot l_g 13 \text{ kennt man nicht, wird durch } w \cdot C_w \text{ ersetzt} \\ 0,507 \cdot 7,8 &= 0,25 \cdot 13 + w \cdot 13 \\ w &= 54,2g \dots \text{Wasserwert des Gefäßes}\end{aligned}$$

/*Ich ersetze die beiden nicht vorhandenen Werte durch den Wasserwert w mal der spezifischen Wärmekapazität des Wassers*/

Beispiel:

$$\begin{array}{l} 220g \rightarrow 12,4^\circ C \\ 255g \rightarrow 33,5^\circ C \end{array} \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} 220g \rightarrow 12,4^\circ C \\ 255g \rightarrow 33,5^\circ C \end{array}} \right\} 22,8^\circ C$$

$$\begin{aligned}0,255 \cdot 10,7 &= 0,22 \cdot 10,4 \cdot w \cdot 10,4 \\ w &= 37,21\end{aligned}$$

3.5.3 Heizwert H

Der spezifische Heizwert H gibt an, welche Wärmemenge frei wird, wenn 1kg einer Substanz vollkommen verbrannt wird.

Verbrennungswärme: $Q = m \cdot H$

Beispiel:

14h, Wärmebedarf 50000kJ/h, 62%

$$\begin{aligned}H(\text{Koks}) &= 30000kJ/kg \\ m &= Q/H = 50000 \cdot 14 / (20000 \cdot 0,62) = 37,6kg\end{aligned}$$

3.6 Wärmeübertragung

3.6.1 Wärmeleitung

Wärmeleitung ist in festen, flüssigen und gasförmigen Stoffen möglich. Dabei wird nur Energie transportiert, jedoch keine Teilchen.

Wärmestrom $\dot{Q} = Q/t$... auch Wärmeleistung genannt
Eine Temperaturdifferenz verursacht einen Wärmestrom.

$$[\dot{Q}] = [Q]/[t] = \text{J/s} = 1 \text{ Watt}$$

$$\dot{Q} = \lambda \cdot A \cdot \Delta\theta / l$$

λ ... Wärmeleitfähigkeit

$$\lambda = \dot{Q} \cdot l / (A \cdot \Delta\theta) \quad [\lambda] = \text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$$

$$\dot{q} = \dot{Q} / A$$

$$\dot{q} = \lambda \cdot \Delta\theta / l$$

\dot{q} ... Wärmestromdichte $[\dot{q}] = \text{Wm}^{-2}$

Beispiel:

$$l = 25\text{cm} \quad A = 1\text{m}^2 \quad \text{Betonwand} (\lambda_{\text{Beton}} = 1\text{W/mK}) \quad \Delta\theta = 21^\circ\text{C}$$

$$\dot{Q} = 2 \cdot A \cdot \Delta\theta / l = 1 \cdot 1 \cdot 21 / 0,25 = 84\text{W/mK}$$

$$\dot{q} = 84\text{W/m}^2$$

Wie groß ist der Energieverlust in 10h durch 1m² Wandfläche?

$$q = \dot{q} \cdot t \quad t = 10\text{h}$$

$$q = 84 \cdot 10 \cdot 3600\text{Ws/m}^2$$

$$q = 84 \cdot 10 = 840\text{Wh/m}^2 = 0,84 \text{ kWh/m}^2$$

Hartschaumisolierung kommt auf die Wand (2cm)

$$\lambda = 0,035\text{W/mK}$$

$$\dot{q}_1 = 1 \cdot (21 - \theta_i) / 0,25 \quad 0,25 \dot{q}_1 = 21 - \theta_i$$

$$\dot{q}_2 = 0,035 \cdot (\theta_i - 0^\circ) / 0,02 \quad 0,02 \dot{q}_2 / 0,035 = \theta_i - 0^\circ$$

die zwei Formeln werden addiert:

$$0,25 \dot{q}_1 + 0,02 \dot{q}_2 / 0,035 = 21 - 0^\circ$$

Die Wärmestromdichte ist durch beide Stoffe gleich.

$$\dot{q} = 25,57 \text{ W/m}^2$$

$$\dot{q} = (\theta_1 - \theta_2) / (l_1/\lambda_1 + l_2/\lambda_2) \dots \text{Formel für beliebig viele Wandschichten}$$

3.6.2 Wärmeströmung oder Konvektion

Energie wird mittels des bewegten Stoffes transportiert.

Konvektion ist daher nur in flüssigen und gasförmigen Stoffen möglich.

3.6.3 Wärmeübergang und Wärmedurchgang

Wärmeübergang findet an der Grenzfläche zwischen festen Körpern und Flüssigkeiten bzw. Gasen statt.

$$\dot{Q} = A \cdot \alpha \cdot \Delta T$$
$$\dot{q} = \dot{Q} / A = \alpha \cdot \Delta T$$

α ... Wärmeübergangszahl

Luft-Innenwand $\alpha = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$

Luft-Außenwand $\alpha = 23 \text{ W/m}^2\text{K}$

Die Wärmeübergangszahl α gibt an, welcher Wärmestrom bei einer Temperaturdifferenz von 1K von Luft auf 1m² Wand oder auch umgekehrt übertragen wird.



$$\dot{q} = \Delta T / (1/\alpha_1 + L/\lambda_1 + 1/\alpha_2)$$

$1 / (1/\alpha_1 + L/\lambda_1 + 1/\alpha_2) = k\text{-Wert}$

Die Wärmedurchgangszahl k gibt den Wärmestrom beim Durchgang durch 1m² Wandfläche bei einer Temperaturdifferenz von 1K an.

Beispiel:

$\theta_2 = -5^\circ\text{C}$ $l = 25\text{cm}$

$\theta_1 = 20^\circ\text{C}$ $\lambda = 0,6 \text{ W/mK}$

ges: $k\text{-Wert}$, \dot{Q} , θ_{wi} , θ_{wa}

$$k = 1/(1/8 + 0,25/0,6 + 1/23) = 1,709$$

$$\dot{Q} = k \cdot \Delta T = 1,708 \cdot 25 = 42,72$$

$$\dot{Q} = \alpha \cdot \Delta T = \alpha (\theta_1 - \theta_2)$$

$$\rightarrow \theta_{wi} = \theta_1 - \dot{Q}/\alpha = 20^\circ - 42,72/8 = 14,66^\circ\text{C}$$

$$\rightarrow \theta_{wa} = \theta_2 + \dot{Q}/\alpha = -5^\circ + 42,72/23 = -3,14^\circ\text{C}$$

mit zusätzlicher Isolierung:

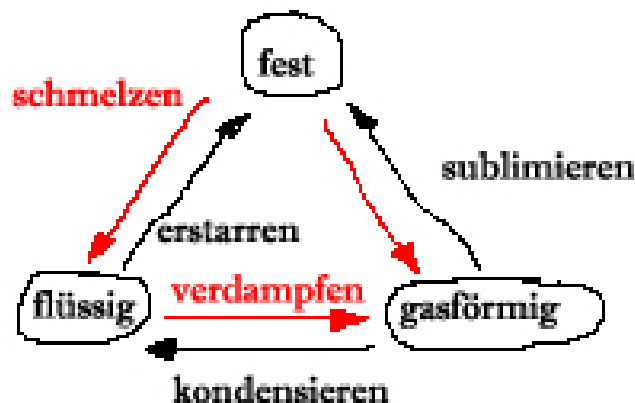
$$l_1 = 2\text{cm} = 0,02\text{m}$$

$$\lambda_1 = 0,035 \text{ W/mK}$$

$$k = 1 / (1/8 + 0,25/0,6 + 1/23 + 0,02/0,035) = 1,157$$

$$\dot{Q} = k * \Delta T = 1,157 * 25 = 28,91$$

3.7 Änderung des Aggregatzustandes



3.7.1 Schmelzen und erstarren

$$Q_s = m * q_s$$

Q_s ...Schmelzwärme

q_s ...spezifische Schmelzwärme

q_s ist jene Wärmemenge, die man braucht, um 1kg eines Stoffes zu schmelzen.

Eis	333,7 kJ/kg
Cu	209,3 kJ/kg
Pt	111,3 kJ/kg
Hg	11,8 kJ/kg

Die Schmelzwärme bewirkt keine Temperaturerhöhung, sie löst die starke Bindung der Moleküle des festen Körpers.

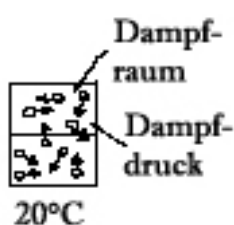
3.7.2 Verdunsten, Verdampfen, Kondensieren

Verdunsten:

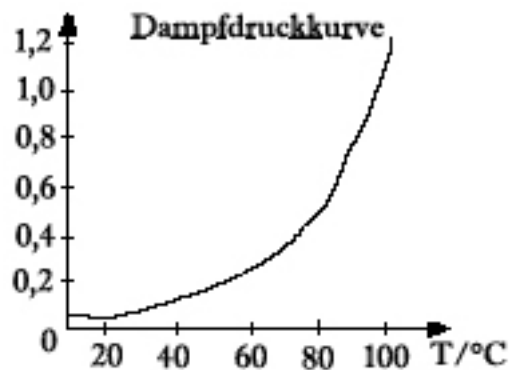
Erfolgt bei jeder Temperatur und an der Oberfläche. Verdunsten wird beschleunigt durch Vergrößerung der Oberfläche, Temperaturerhöhung und niedere Luftfeuchtigkeit bzw. Wind. Die dazu notwendige Wärme wird der Umgebung entzogen, diese empfindet es als Kälte → Verdunstungskälte.

Verdampfen:

Verdampfen erfolgt bei der Siedetemperatur und im Inneren der Flüssigkeit.



Wenn Gefäß zu, Dampf gesättigt.



Der Dampfdruck ist abhängig von der Temperatur und unabhängig vom Dampf volumen.

$$Q_V = q_V \cdot m$$

Q_V ...Verdampfungswärme

q_V ...spez. Verdampfungswärme

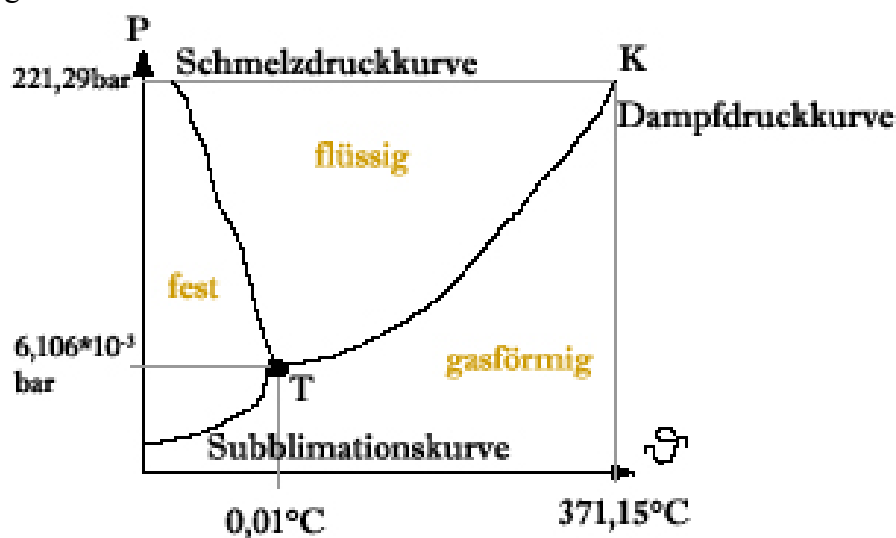
Die spez. Verdampfungswärme q_V ist jene Wärmemenge, die man braucht, um 1kg einer siedenden Flüssigkeit bei Normaldruck zu verdampfen.

$$q_{V\text{Wasser}} = 2256 \text{ kJ/kg}$$

Kondensieren:

Beim Kondensieren wird die Verdampfungswärme frei.

Zustandsdiagramm des Wassers:



T...Tripelpunkt

K...Kritischer Punkt

Kritischer Punkt:

Soll ein Gas verflüssigt werden, muss der Molekülabstand so verringert werden, dass die molekularen Anziehungskräfte wirksam werden.

Je höher die Temperatur ist, desto schwieriger wird die Verflüssigung durch Druckerhöhung.

Die Verflüssigung ist nur unterhalb der kritischen Temperatur möglich.

Der zugehörige Druck heißt kritischer Druck.

Tripelpunkt:

Hier sind alle drei Aggregatzustände gleichzeitig möglich.

1 Kelvin ist der 273,16te Teil des Tripelpunktes von Wasser.

3.8 Hauptsätze der Wärmelehre

- 1) $\Delta U = \Delta Q + \Delta W$
zugeführte innere Energie = zugeführte Wärme + zugeführte Arbeit
“Wärme = Energie“
- 2) Wärme kann nicht von selbst von einem kalten auf einen wärmeren Körper fließen.
Es ist unmöglich eine Maschine zu konstruieren, welche die gesamte Wärme vollständig in Arbeit umwandelt.
- 3) Der absolute Nullpunkt kann nicht erreicht werden.

4 Spezielle Relativitätstheorie

4.1 Relativitätsprinzip

In allen Inertial-Systemen gelten die selben Naturgesetze.
Es gibt kein bevorzugtes System.

4.2 Gesetz von der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit

Elektromagnetische Wellen benötigen für ihre Ausbreitung kein Medium. Die Lichtgeschwindigkeit ist eine **absolute Konstante**. Sie ist unabhängig von der Ausbreitungsrichtung und der Geschwindigkeit des Beobachters.

→ Es gibt keine absolute Zeit und keinen absoluten Raum

4.2.1 Zeitdilatation – Zeitdehnung

$$t_s = k * t_s'$$
$$k = 1/(\sqrt{1-v^2/c^2})$$

c...Lichtgeschwindigkeit
v...Geschwindigkeit des Systems

4.2.2 Längenkontraktion

$$l' = l/k = l * \sqrt{1-v^2/c^2}$$

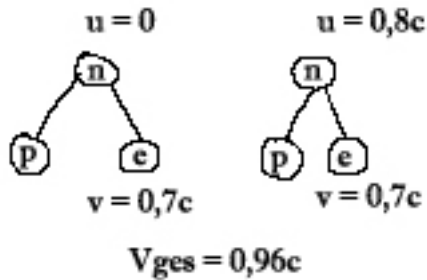
4.2.3 Gleichzeitigkeit

Ereignisse, die am gleichen Ort zur gleichen Zeit stattfinden, tun dies auch für Beobachter in einem bewegten System.

Ereignisse, die in einem System an verschiedenen Orten gleichzeitig stattfinden, sind dies aus der Sicht des bewegten Systems nicht mehr gleichzeitig.

4.2.4 Relativistische Geschwindigkeits-Addition

$$V_{\text{ges}} = (u+v)/(1+u*v/c^2)$$



4.2.5 Relativistische Masse

$$m = k * m_0$$

$m_0 \dots$ Ruhemasse

Bsp.: Welche Geschwindigkeit braucht man, um die Masse zu verdoppeln?

$$1/(\sqrt{1-v^2/c^2}) = 2$$

$$1 - v^2/c^2 = (1/2)^2$$

$$v^2/c^2 = 3/4$$

$$v = \sqrt{3/4}c$$

Die Massenzunahme verhindert, dass ein Körper c erreichen kann (unendliche Energie wäre nötig).

PHOTONEN (Lichtquanten) bewegen sich mit $c \rightarrow m_0 = 0$.

4.2.6 Energie

$$k = 1/(\sqrt{1-v^2/c^2}) = 1 + \frac{1}{2} * v^2/c^2 + \frac{3}{8} * v^4/c^4 + \dots$$

$$m = k * m_0 = (1 + \frac{1}{2} * v^2/c^2) * m_0 = m_0 + \frac{1}{2} * v^2/c^2 * m_0 \quad /*c^2$$

$$E = mc^2 = m_0c^2 + m_0*v^2/2$$

$mc^2 \dots$ bewegte Energie, relative Gesamtenergie

$m_0c^2 \dots$ Ruheenergie

$m_0v^2/2 \dots$ kinetische Energie

E ist die relativistische Energie, die ein Körper hat, wenn er sich mit der Geschwindigkeit v bewegt.

Für $v = c$ wäre ∞ viel Energie notwendig.

$\rightarrow c$ ist eine Geschwindigkeit, die für materielle Teilchen nicht erreicht werden kann.

Für $v = 0$ geht die Gleichung in $E = m_0 \cdot c^2$ über.

$$E = m_0 \cdot c^2$$

Masse und Energie sind equivalente Begriffe.

4.2.7 Dopplereffekt

Entfernen sich Sender und Empfänger, so ist die Empfangsfrequenz f kleiner als die Sendefrequenz f^* .

$$f = f^* \cdot \sqrt{\frac{(1-v/c)}{(1+v/c)}} \quad f < f^*$$

Bei Annäherung ist die Empfangsfrequenz höher als die Sendefrequenz.

$$f = f^* \cdot \sqrt{\frac{(1+v/c)}{(1-v/c)}} \quad f > f^*$$

Bei Entfernung einer Lichtquelle tritt Frequenzverringerng (**Rot-Verschiebung**), bei Annäherung eine Frequenzerhöhung (**Blau-Verschiebung**).

Bsp.: $\lambda = 510\text{nm}$

$B_1 \quad v = 0,4c \quad \text{Annäherung } \lambda_1$

$B_2 \quad v = 0,4c \quad \text{Entfernung } \lambda_2$

$$f = c/\lambda$$

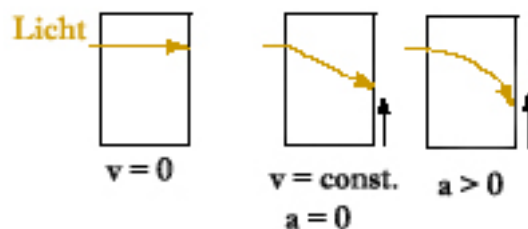
$$f_1 = c/\lambda \cdot \sqrt{\frac{(1+0,4)}{(1-0,4)}} = c/\lambda \cdot \sqrt{1,4/0,6} = 898,5\text{THz}$$

$$\lambda_1 = 333,87\text{nm}$$

$$f_2 = 588\text{THz} \cdot \sqrt{\frac{0,6}{1,4}} = 385,1\text{THz}$$

$$\lambda_2 = 779,03\text{nm}$$

5 Allgemeine Relativitätstheorie



Trägheitskräfte

Ist ein System geradlinig beschleunigt, stehen alle Körper unter dem Einfluss von Kräften. Diese beobachteten Kräfte sind den Massen der Körper proportional.

5.1 Äquivalenzprinzip der Allgemeinen Relativitätstheorie

Wirkungen von Gravitationsfeldern und von Beschleunigungen des Bezugssystems sind nicht nur bei mechanischen Vorgängen, sondern allgemein nicht unterscheidbar.

Nach dem Äquivalenzprinzip muss für den Lichtstrahl dieselbe Krümmung auftreten, wenn er einem Gravitationsfeld ausgesetzt wird. → Lichtstrahlen werden im Gravitationsfeld großer Massen abgelenkt.

5.2 Der gekrümmte Raum

Die allgemeine Relativitätstheorie sagt, dass jede Masse den Raum in ihrer Umgebung derart verändert, dass frei bewegte Objekte einer Bahn folgen, die in Richtung jener Masse gekrümmt ist, die diese Änderung hervorruft.

6 Quantentechnik

Max Plank 1900

$$E = h \cdot f$$

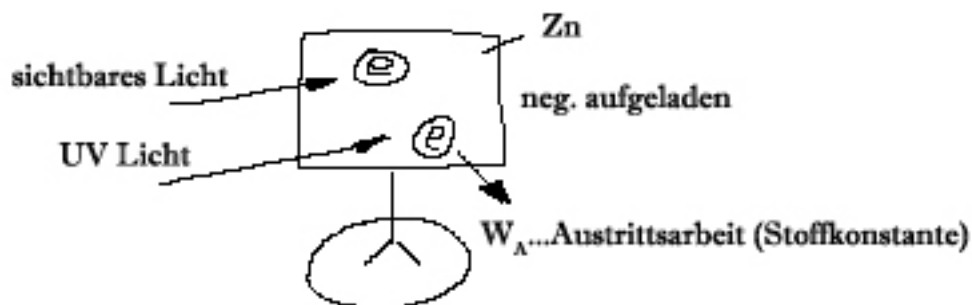
h ...Planksches Wirkungsquantum

$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ (Naturkonstante)

Strahlungen werden nur in diskreten Energiequants $E = n \cdot h \cdot f$ abgegeben.

$n = 1, 2, 3, \dots$

6.1 Photoeffekt



Einstein: **Photonenhypothese**

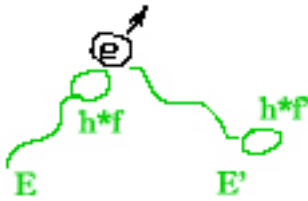
Licht besteht aus Photonen mit der Energie $E = h \cdot f$. Ein Photon verhält sich wie ein Teilchen, es trifft auf ein Elektron und überträgt diesem seine Energie $h \cdot f$. → Photon existiert nicht mehr.

$$h \cdot f_g = W_A$$

$$\begin{array}{ll} f > f_g & h \cdot f = W_A + E_{\text{KIN}} \\ f < f_g & h \cdot f < W_A \end{array}$$

Photonen können nur dann Elektronen aus der Zinkplatte reißen, wenn ihre Energie $h \cdot f$ größer der Austrittsarbeit W_A ist.

6.2 Compton Effekt



$$E > E'$$

$$h \cdot f > h \cdot f'$$

$$f > f'$$

$$\lambda > \lambda'$$

Trifft ein Photon mit der Energie $h \cdot f$ auf ein freies Elektron, \rightarrow elastischer Stoß \rightarrow Energie und Impulsübertragung \rightarrow Energieverringern \rightarrow höhere Wellenlänge

6.3 Eigenschaften der Photonen

- 1) Photonen mit der Frequenz f besitzen die Energie $E = h \cdot f$
- 2) Photonen breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit aus.
- 3) Nach der Energie-Masse-Äquivalenz wird dem Photon eine Masse zugeordnet.
 $E = mc^2$ $E = h \cdot f$
 $mc^2 = h \cdot f$... Planck-Einsteinsche-Formel
- 4) Da Photonen sich mit Lichtgeschwindigkeit bewegen ist ihre Ruhemasse 0.
- 5) Photonen besitzen einen Impuls $p = h/\lambda$

Früher war die Frage ob Welle oder Teilchen. Heute spricht man vom Dualismus, in dem beide Systeme parallel existieren (Licht ist Welle und Teilchen)

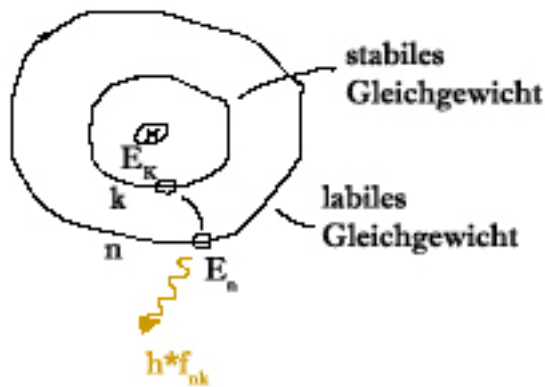
6.4 Elektronenhülle

Rutherford:

Elektronen kreisen wie Planeten um den Kern. Durch die Bewegung würden sie allerdings Energie verlieren und in den Kern krachen.

Niels Bohr:

- 1) Elektronen bewegen sich auf ganz bestimmten (diskreten) Bahnen um den Kern. Diese Bewegung ist strahlungslos.
- 2) Quantenbedingung
 $L = n \cdot h / (2\pi)$ $n = 1, 2, 3, \dots$
 h ... Plancksches Wirkungsquantum
 L ... Drehimpuls
"Drehimpuls ist gequantelt"
- 3) Wechselt ein Elektron von einer höheren Bahn auf eine tiefere (von höherer auf niedrigerer Energie), dann wird die Energiedifferenz in Form eines Photons abgegeben.
Frequenzbedingung
 $E_N - E_K = h \cdot f_{NK}$



Wasserstoff

Der Bahnradius:

$$r_n = 5,3 \cdot 10^{-11} \cdot n^2 \text{ m}$$

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

n...Hauptquantenzahl

Energiezustände:

$$E_n = -13,6 \cdot 1/n^2 \text{ eV}$$



Die Genauigkeit von BOHRs Modell war nicht ausreichend. Schon bei Helium (2 Elektronen) stimmt es nicht mehr.

Arnold Sommerfeld:

Erweiterung auf 4 Quantenzahlen

- 1) Hauptquantenzahl n
K, L, M, N,...
- 2) Nebenquantenzahl l
l = 0, 1, 2, ..., n-1
s, p, d, f

n	l	
1	0	1s
2	0	2s
	1	2p
3	0	3s
	1	3p
	2	3d

- 3) magnetische Quantenzahl m
m = 0, ±1, ±2, ..., ±l
2l + 1 Unterschiede

l	m
0	0
1	0, 1, -1
2	0, 1, 2, -1, -2

- 4) Spin Quantenzahl s
 $s = \frac{1}{2}, s = -\frac{1}{2}$

Wolfgang Pauli (1925)

In einem Atom können sich niemals 2 Elektronen im selben Zustand befinden. Sie dürfen nicht in allen 4 Quantenzahlen n, l, m, s übereinstimmen.

6.5 Atomkern

Protonen p $m_p = 1,007276u$
 Neutronen n $m_n = 1,008665u$
 $u = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

Elektronen e $m_e = 1/1836m_p$
 Massezahl $A = p + n$

Nullide mit gleicher Protonenzahl aber unterschiedlicher Neutronenzahl werden als Isotope bezeichnet.

6.5.1 Kernradius – Kernkraft

Die Kernkraft ist nur bei sehr kleinen Entfernungen (10^{-15} m) wirksam. Sie wirkt zwischen Neutronen und Protonen. Sie ist stärker als die Coulombsche Kraft und wird deshalb auch als starke Wechselwirkung bezeichnet.

$$R = r_0 \cdot A^{1/3} \quad \rightarrow \quad V = 4\pi/3 \cdot r_0^3 \cdot A$$

$$r_0 = 1,4 \cdot 10^{-15} \text{ m}$$

6.5.2 Massendefekt Δm und Bindungsenergie

C^{12} hat 6p und 6n

$$6 \cdot 1,007276u + 6 \cdot 1,008665u = 12,095646u$$

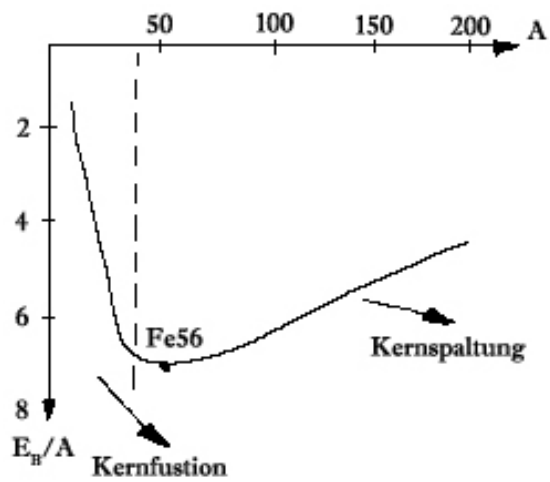
Kernmasse: Atom – Elektron

$$12,000000u - 6 \cdot 0,000549u = 11,996796u$$

$$\Delta m = 0,099u \text{ Massendefekt}$$

$$E_B = m \cdot c^2 = 0,099 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \cdot 9 \cdot 10^{16} = 1,48 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 9,2 \cdot 10^7 \text{ eV} = 92 \text{ MeV}$$

$$E_B/A = E_B/12 = 7,7 \text{ MeV}$$



6.5.3 Kernkraftwerke

In den letzten Unterrichtsstunden wurde die Funktion von Kernkraftwerken, deren unterschiedliche Bauformen und deren Schutzbauten besprochen. Da dies anhand von Folien geschah, kann das Kapitel nicht in diese Mitschrift aufgenommen werden.

7 Anhang

Wie bereits erwähnt gibt Frau Prof. Bonelli vor jedem Test Übungszettel mit den Testbeispielen aus. Da der Test im 2. Semester mündlich war, gibt es nur Angaben vom ersten Test.

1. Eine 300 m lange Rohrleitung aus Stahl wird von heißem Dampf von 400°C durchströmt. Berechne die Längenänderung, wenn die ursprüngliche Temperatur 18°C betragen hat. ($1,6\text{ m}$ $\alpha(\text{Stahl}) = 1,15 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)
2. Ein Kupferlineal ist bei 20°C $68,2\text{ cm}$ lang. Wie verändert sich die Länge bei einer Abkühlung auf -15°C ? ($0,4\text{ mm}$ $\alpha(\text{Kupfer}) = 1,65 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)
3. Ein Stahlzylinder wird auf einer Drehbank bearbeitet, wobei die Temperatur des Werkstückes auf 110°C steigt. Sein Durchmesser wächst dabei auf 140 mm . Berechne den Durchmesser bei 20°C . ($139,82\text{ mm}$)
4. Um wieviel Grad ist ein Stück Quarzglas zu erwärmen, um sein Volumen um $0,04\%$ zu erhöhen? ($266,67^{\circ}\text{C}$ $\alpha(\text{Glas}) = 0,8 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)
5. Berechne die Dichte von Quecksilber bei 50°C , wenn diese bei 20°C $13,546 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ beträgt. (13472 kg/m^3 $\chi = 0,182 \cdot 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)
6. In einer Stahlflasche steht ein Gas bei 20°C unter einem Druck von $3,2\text{ bar}$. Um wie viel nimmt der Druck zu, wenn das Gas auf 40°C erhitzt wird? ($0,22\text{ bar}$)
7. Das Volumen einer Luftblase ist an der Oberfläche ($p = 1013\text{ mbar}$) doppelt so groß wie auf dem Seegrund. Wie tief ist der See? (10 m)
8. Eine Vakuumröhre weist bei 25°C einen Druck von $1,4 \cdot 10^{-3}\text{ Pa}$ auf. Berechne die Anzahl der Gasmoleküle, die sich in der Röhre befinden, wenn diese ein Volumen von 120 cm^3 hat. ($4,1 \cdot 10^{13}$ Teilchen)
9. Die Dichte von Kohlendioxid unter Standardbedingungen beträgt $1,98 \text{ kg/m}^3$. Berechne die Dichte bei 10°C und einem Druck von 950 bar . ($1,79 \text{ kg/m}^3$)
10. Berechne das Volumen einer Sauerstoffmenge bei Standardbedingungen, wenn diese bei einem Druck von 12 atm und einer Temperatur von 28°C ein Volumen von 16 dm^3 besitzt. ($1\text{ atm} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ 174 dm^3)
11. In einer abgeschlossenen Gasmenge von 2500 cm^3 herrscht ein Druck von 5 bar bei 10°C . Durch Erwärmung steigt der Druck auf $5,6\text{ bar}$ an. Welche Temperatur hat das Gas? ($43,98^{\circ}\text{C}$)
12. Eine eingeschlossene Gasmenge wird isochor um 80°C erwärmt. Der sich dabei einstellende Enddruck verhält sich zum Ausgangsdruck wie $5 : 3$. Berechne die Temperaturen vor und nach dem Erwärmen. ($-153,15^{\circ}\text{C}$ $-73,15^{\circ}\text{C}$)
13. Berechne das Volumen einer Gasflasche, die bei einem Druck von 200 bar und einer Temperatur von 25°C ein Gas enthält, das bei einem Druck von $1,4\text{ bar}$ und einer Temperatur von 15°C ein Volumen von $1,3\text{ m}^3$ einnimmt. ($9,42\text{ dm}^3$)
14. Der Rezipient einer Luftpumpe fasst 4 Liter . Bei konstanter Temperatur (18°C) wird Luft herausgepumpt, wobei der Druck von 980 mbar auf 20 mbar sinkt. Berechne die im Rezipienten verbleibende Luftmasse. ($\rho_{\text{Luft}} = 1,293 \text{ kg/m}^3$ $4,6 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$)

15. Ein Gas nimmt bei -15°C und 2,3 bar einen Raum von $0,8\text{ m}^3$.
 - a) Wie viel mol dieses Gases sind vorhanden?
 - b) Berechne die Teilchenanzahl. ($85,73\text{ mol}$ $5,16 \cdot 10^{25}$ Teilchen)
16. Eine Gasmenge nimmt bei 260 K ein Volumen von 50 cm^3 ein. Wie groß ist das Volumen, wenn bei konstantem Druck die Temperatur auf 400 K gesteigert wurde? ($76,92\text{ cm}^3$)
17. Eine Stahlflasche von 12 dm^3 Rauminhalt ist mit CO_2 gefüllt. Berechne die Masse des Inhalts bei einer Temperatur von 20°C und einem Druck von 75 bar. ($1,62\text{ kg}$)
18. Wie viel Wasser von 24°C und wie viel von 70°C sind zu mischen, um 50 g Wasser von 40°C zu erhalten? ($32,61\text{ g}$ $17,39\text{ g}$)
19. 20 kg Wasser von 80°C wird mit 16 kg Wasser von 30°C gemischt. Berechne die Mischungstemperatur! ($57,78^{\circ}\text{C}$)
20. Ein Kalorimeter enthält 600 g Wasser von 18°C . Man fügt 300 g Metallkugeln von 450°C hinzu, wobei sich eine Mischungstemperatur von 40°C einstellt. Berechne die spezifische Wärmekapazität des Metalls. ($449,66\text{ J/(kg K)}$)
21. Ein Kalorimeter enthält 220 g Wasser von $12,9^{\circ}\text{C}$. Fügt man 255 g Wasser von $33,5^{\circ}\text{C}$ zu, stellt sich eine Mischungstemperatur von $22,8^{\circ}\text{C}$ ein. Berechne den Wasserwert des Kalorimeters. ($55,61\text{ g}$)
22. Für ein Vollbad werden insgesamt 230 kg Wasser verwendet. In der Wanne befinden sich zunächst 150 kg von 20°C . Der Rest fließt mit einer Temperatur von 80°C zu. Welche Badetemperatur stellt sich ein, wenn man von Wärmeverlusten absieht? ($40,87^{\circ}\text{C}$)
23. Ein Schnellzug von 300 t fährt mit einer Geschwindigkeit von 120 km/h.
 - a) Welche Wärmemenge wird beim Abbremsen bis zum Stillstand entwickelt, wenn die gesamte kinetische Energie in innere umgewandelt wird?
 - b) Wie viel Wasser von 5°C könnte man damit bis zum Siedepunkt erhitzen? (167 MJ 419 kg)
24. Um wieviel Grad erwärmt sich das Wasser eines Wasserfalls bei einer Fallhöhe von 30 m, wenn 30 % der Energie in innere Energie des Wassers umgewandelt wird? ($0,02^{\circ}\text{C}$)
25. Ein Schwimmbecken ($25\text{ m} \cdot 10\text{ m} \cdot 2\text{ m}$) wird zu 90 % mit Wasser von 14°C gefüllt. Welche Energie muß von der elektrischen Heizanlage geliefert werden, um eine Wassertemperatur von 24°C zu erhalten? ($1,89 \cdot 10^{10}\text{ J}$)
26. Ein frei stehendes Einfamilienhaus erfordert einen Jahres-Wärmeenergiebedarf von 23400 kWh. Wie groß ist der Heizölverbrauch pro Jahr, wenn die Heizanlage 95 % Energie liefert? (2217 kg 40000 kJ/kg)

27. a) Berechne den Wärmestrom durch die 30cm dicke Ziegelmauer ($0,25 \text{ W/mK}$) eines Hauses mit der Wandfläche von 220 m^2 . Die Außenwandtemperatur beträgt -5°C , die Innenwandtemperatur 16°C .
b) Wie groß ist der Energieverlust in 16 Stunden? (3850 W , $61,6 \text{ kWh}$)
28. a) Berechne den Wärmestrom pro m^2 durch eine 25cm dicke Ziegelwand ($0,25 \text{ W/mK}$) mit einer 1,5 cm dicken Hartschaumisolierung. Die Temperaturdifferenz beträgt 25°C .
b) Wie dick müsste die Ziegelwand sein, damit ohne Hartschaumisolierung der gleiche Wärmestrom auftritt? ($17,5 \text{ W/m}^2$, 36 cm)
29. Wie verändert sich der Wärmestrom, wenn
a) die Mauerdicke verdoppelt wird?
b) anstatt einer Betonwand eine gleich dicke Ziegelwand ($0,25 \text{ W/mK}$) errichtet wird? (sinkt auf die Hälfte, sinkt auf ein Viertel)
30. An einem Wintertag herrscht eine Außentemperatur von -5°C . Die Innentemperatur beträgt 20°C . Die Ziegelwand zwischen innen und außen ist 25cm dick ($\lambda = 0,6 \text{ W/mK}$)
Berechne:
a) den k-Wert
b) die Wärmestromdichte
c) die Temperatur an der Innenwand
d) die Temperatur an der Außenwand. ($1,71 \text{ W/m}^2\text{K}$, 43 W/m^2 , $14,6^\circ\text{C}$, $-3,1^\circ\text{C}$)
31. Die Ziegelwand vom vorherigen Beispiel erhält eine Außenisolierung von 2cm Hartschaum ($0,035 \text{ W/mK}$).
Berechne:
a) den k-Wert
b) die Wärmestromdichte
c) die Temperatur an der Innenwand
d) die Temperatur an der Außenwand. ($0,86 \text{ W/m}^2\text{K}$, $21,6 \text{ W/m}^2$, $17,3^\circ\text{C}$, $-4,1^\circ\text{C}$)
32. Welche Wärmemenge ist zum Schmelzen von 10kg Platin erforderlich? $q_s = 111,3 \text{ kJ/kg}$ (1113 kJ)
32. Um die Verdampfungswärme des Wassers experimentell zu bestimmen, führt man folgenden Versuch durch: Eine bestimmte Wassermenge mit der Anfangstemperatur 30°C wird in 15 s zum Sieden gebracht. Nach 4,5 min ist sie verdampft, Berechne die Verdampfungswärme! (2263 kJ/kg)
33. Welche Wärmemenge benötigt man, um 15 kg Ether von 15°C zu verdampfen?
 $c = 3749,6 \text{ J/kg}$, Siedepunkt = $34,5^\circ\text{C}$, $q_v = 356 \text{ kJ/kg}$ (6436 kJ)
34. Wie lange dauert das vollständige Verdampfen von 0,15 kg Tetrachlorkohlenstoff bei Siedetemperatur, wenn das Heizgerät eine Leistung von 1500 W liefert? ($19,5 \text{ s}$)
35. Welche Wärmemenge wird abgegeben, wenn aus 3 kg Wasser von 10°C Eis von 0°C entsteht? (1127 kJ)
36. Wie viel kg Eis von 0°C kann mit der frei werdenden Erstarrungswärme von 5 kg Kupfer geschmolzen werden? ($3,14 \text{ kg}$)
37. Die Schmelztemperatur von Zinn beträgt 232°C , die spezifische Wärmekapazität 227 J/kgK und die spezifische Schmelzwärme $549,6 \text{ kJ/kg}$. Wie viel Energie ist erforderlich, um 60 kg Zinn von 25°C zu schmelzen? (6395 kJ)