1 Wiederholung Kräfte

1.1 Gewichtskraft

Auf eine Masse m wirkt im Schwerefeld eines Körpers mit dem Ortsfaktor g die Gewichtskraft F_g, für die gilt:

$$F_\mathrm{g} = m \cdot g \tag{1.1}$$

A 1.1. Eris ist der größte bekannte Zwergplanet unseres Sonnensystems. Er ist nach der griechischen Göttin der Zwietracht und des Streits Eris benannt und hat einen um 100 km größeren Durchmesser als Pluto. In ferner Zukunft landet eine 90 kg schwere Raumsonde auf Eris. In den Landebeinen eingebaute Kraftmesser messen eine Gewichtskraft von 53,1 N. Bestimme den Ortsfaktor auf Eris.

A 1.2. Professor Phisigma möchte die Masse eines Pakets bestimmen. Leider ist die Waage im Labor defekt. Im Schrank findet er einen Kraftmesser. Der Kraftmesser zeigt für das Paket eine Gewichtskraft von 27,5 N an. Bestimme die Masse des Pakets.

A 1.3. Das galaktische Kreuzfahrtschiff *Pegasus* ($m = 48000\,\mathrm{t}$) schwebt in 200 m Höhe über der Oberfläche der Venus. Berechne die Kraft, die seine Maschinen aufwenden müssen, damit das Schiff nicht abstürzt.

1.2 Federkraft: Hookesches Gesetz

Eine elastische Feder mit der Federhärte D, die um die Strecke s verlängert wurde, übt eine Federkraft F_F aus.

Um eine elastische Feder mit der Federhärte D um die Strecke s auszudehnen benötigt man eine Spannkraft F_F.

Es gilt

$$F_\mathrm{F} = D \cdot s \tag{1.2}$$

A 1.4. Eine Feder mit der Länge $l_0 = 50\,\mathrm{cm}$ und der Federkonstante $D = 25\,\mathrm{N/m}$ dient zum Schließen einer Schiebetür. Bei geschlossener Tür ist die Feder 70 cm und bei geöffneter Tür 150 cm lang. **Berechne** die jeweils wirkenden Federkräfte.

A 1.5. Eine Feder wird durch eine Kraft von 5 N um 10 cm ausgelenkt. Bestimme die Federkonstante D der Feder.

A 1.6. An einer Feder mit der Federkonstanten $D = 20\,\mathrm{N/m}$ und der Länge $l_0 = 10\,\mathrm{cm}$ im unbelasteten Zustand wirkt eine Kraft von 5 N. Bestimme die Länge der belasteten Feder.

2 Hubarbeit

Erwin, Kalle, Paul und Willi arbeiten auf der Baustelle eines vierstöckigen Hauses.

1. Erwin arbeitet im 1. Stock, Kalle im 2. Stock, Paul im 3. Stock und Willi im 4. Stock. Mit einem Seil ziehen sie jeweils einen Sack Zement hoch. Dabei verrichten sie Hubarbeit.
   Trage die folgenden Worte an der richtigen Stelle in den Sätzen ein:
   (*Erwin - Kalle - Paul - Willi - halb - ein Drittel - doppelt - doppelt - dreimal - viermal*)
   a) Kalle muss ___________ so viel arbeiten wie Erwin.
   b) Paul muss ___________ so viel arbeiten wie Erwin.
   c) Willi muss ___________ so viel arbeiten wie Erwin.
   d) Kalle muss ___________ so viel arbeiten wie Willi.
   e) Erwin muss ___________ so viel arbeiten wie Paul.
   f) Willi muss ___________ so viel arbeiten wie Kalle.
   g) Paul muss gleich viel arbeiten wie ___________ und ___________ zusammen.
   h) Erwin und ___________ zusammen müssen gleich viel arbeiten wie Kalle und ___________ zusammen.

   Ergänze den Satz passend zu den obigen Aussagen:

   Die Hubarbeit ist proportional zur ________________.

2. Erwin, Kalle, Paul und Willi sollen Pakete mit Fliesen vom Erdgeschoss in den 2. Stock heben. Erwin und Paul heben jeweils zwei Pakete gleichzeitig, der starke Kalle vier Pakete und der faule Willi nur ein Paket.
   Trage die folgenden Worte an der richtigen Stelle in den Sätzen ein:
   (*halb so - halb so - gleich - gleich - doppelt so - doppelt so - viermal so - viermal so*)
   a) Erwin arbeitet ___________ viel wie Willi.
   b) Paul arbeitet ___________ viel wie Kalle.
   c) Kalle arbeitet ___________ viel wie Willi.
   d) Erwin und Paul zusammen arbeiten ___________ viel wie Kalle.
   e) Willi muss ___________ häufig heben um die gleiche Arbeit wie Kalle zu verrichten.
   f) Erwin arbeit ___________ viel wie Paul.
   g) Willi arbeitet ___________ viel wie Paul.
   h) Erwin muss ___________ oft heben wie Kalle um die gleiche Arbeit zu verrichten.

   Ergänze den Satz passend zu den obigen Aussagen:

   Die Hubarbeit ist proportional zur ________________.

3. Stell Dir vor, in ferner Zukunft arbeiten die vier Bauarbeiter auf verschiedenen Himmelskörpern. Erwin arbeitet auf der Erde, Kalle auf dem Mond, Paul auf dem Mars und Willi auf dem Planetoiden Ceres. Sie ziehen jeweils einen Sack Zement in den ersten Stock eines Gebäudes.

   Ortsfaktor für Himmelskörper

	Erde	Mars	Ceres	Mond
g $[N/kg]$	9,81	3,71	0,27	1,62

   Trage die folgenden Worte an der richtigen Stelle in den Sätzen ein:
   (*Erwin - Willi - ein Sechstel - doppelt - 36 mal - mehr - mehr - weniger*)
   a) ___________ muss die größte Hubarbeit verrichten.
   b) ___________ muss die kleinste Hubarbeit verrichten.
   c) Kalle muss ___________ arbeiten als Willi.
   d) Paul muss ___________ arbeiten als Erwin.
   e) Erwin muss ___________ arbeiten als die anderen zusammen.
   f) Erwin muss etwa ___________ so viel arbeiten wie Willi.
   g) Paul muss etwa ___________ so viel arbeiten wie Kalle.
   h) Kalle muss etwa ___________ so viel arbeiten wie Erwin.

   Ergänze den Satz passend zu den obigen Aussagen:

   Die Hubarbeit ist proportional zum ________________.

4. Erwin, Kalle, Paul und Willi arbeiten wieder auf der Erde in einem Neubau. Erwin arbeitet im 1. Stock, Kalle im 2. Stock, Paul im 3. Stock und Willi im 4. Stock.
   Ergänze die folgenden Sätze so, dass die Hubarbeit gleich ist:
   (*Erwin - Kalle - Paul - Willi - eins - zwei - drei - drei - vier*)
   a) Wenn Willi einen Sack Zement hochzieht, dann muss Erwin ___________ hochziehen.
   b) Wenn Kalle zwei Pakete Kacheln hochzieht, dann muss Willi ___________ hochziehen.
   c) Wenn Paul einen Eimer Sand hochzieht, dann muss Erwin ___________ hochziehen.
   d) Wenn Paul zwei Bottiche Beton hochzieht, dann muss Kalle ___________ hochziehen.
   e) Wenn Erwin sechs Säcke Zement hochzieht, dann muss Paul ___________ hochziehen.
   f) Wenn Kalle vier Säcke Zement hochzieht, dann muss ___________ zwei hochziehen.
   g) Wenn ___________ vier Pakete Fliesen hochzieht, dann muss ___________ zwölf hochziehen.
   h) Wenn ___________ acht Eimer Sand hochzieht, dann müssen die anderen jeweils zwei hochziehen.

   Ergänze den Satz passend zu den obigen Aussagen:

   Die Hubarbeit ist proportional zum Produkt aus ________________ und ________________.

5. Ergänze die folgenden Aussagen:
   (*Gewichtskraft - Gewichtskraft - Gewichtskraft - Höhe - Höhe - Höhe - Höhe - Masse - Masse - Ortsfaktor - Ortsfaktor - F_g - g - h - h - m*)

   Die Hubarbeit ist gleich dem Produkt aus ________________, ________________ und ________________.

   Das Produkt aus Masse und Ortsfaktor ist die ________________.

   Dann ist Hubarbeit ________________ mal ________________.

   Als Formel ausgedrückt gilt:

   $$\text{Hubarbeit} = \underline{\hspace{3cm}} \cdot \underline{\hspace{3cm}} = \underline{\hspace{3cm}} \cdot \underline{\hspace{3cm}} \cdot \underline{\hspace{3cm}} \tag{2.1}$$

   Das Größensymbol für die Hubarbeit ist W_h.

   $$W_h = \qquad \cdot \qquad = \qquad \cdot \qquad \cdot \tag{2.2}$$

   Die Arbeit wird in **Joule** gemessen. Die Einheit Joule wird mit dem Buchstaben **J** abgekürzt. Es gilt

   $$1\,\mathrm{J} = 1\,\mathrm{Nm} \tag{2.3}$$

6. Forme die Formel (2.2) für die Hubarbeit nach den einzelnen Größen um.

   $$F_G = \tag{2.4}$$

   $$h = \tag{2.5}$$

   $$m = \tag{2.6}$$

   $$g = \tag{2.7}$$

3 Arbeit berechnen

Als Arbeit wird das Produkt aus Kraft und der entgegen der Kraft zurückgelegten Strecke bezeichnet.

$$W = F \cdot s \tag{3.1}$$

1. Ein Sack Zement ($m = 50\,\mathrm{kg}$) wird drei jeweils drei Meter hohe Stockwerke hochgezogen. Berechne die Gewichtskraft und die verrichtete Arbeit.

2. Auf einen 100 m hohen Fernsehturm wird eine neue Antenne hochgezogen. Dabei wird eine Arbeit von 30 kJ verrichtet. Bestimme die Gewichtskraft und daraus die Masse der Antenne.

3. Um einen Container ($m = 700\,\mathrm{kg}$) auf eine Staumauer zu heben wird eine Arbeit von 350 kJ verrichtet. Bestimme die Gewichtskraft und die Höhe der Staumauer.

4. Toni fährt mit seinem Fahrrad ($m = 30\,\mathrm{kg}$) eine Strecke von 20 km. Der Luft- und Rollwiderstandkraft beträgt im Durchschnitt 54 N. Bestimme die Arbeit, die Toni verrichten muss.

5. Manuela schiebt einen Karren mit Zeitungen ($m = 40\,\mathrm{kg}$) von dem Zeitungsverlag zu ihrem 1 km entfernten Zustellbereich. Sie hat eine Arbeit von 24 kJ verrichtet. Bestimme die durchschnittliche Rollwiderstandskraft.

6. Hannes schiebt eine Schubkarre mit Steinen ($m = 70\,\mathrm{kg}$) über eine Strecke von 300 m auf einen Deich. Der Deich ist 10 m hoch. Die Rollwiderstandskraft beträgt 20 N. Bestimme die Arbeit, die Hannes verrichten muss.

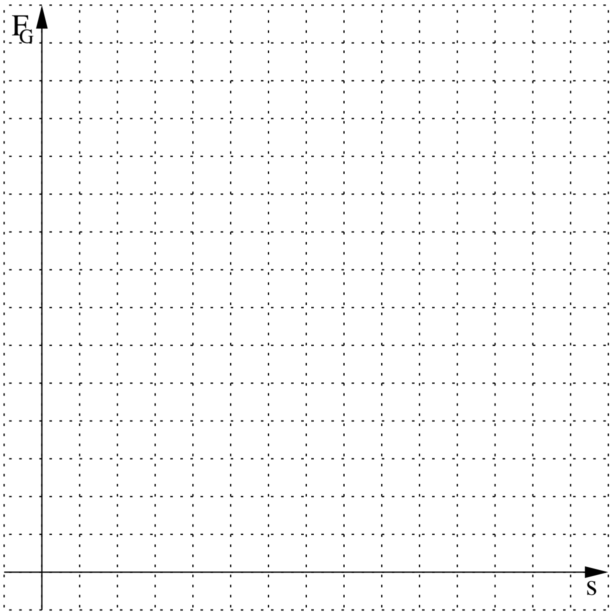
4 Graphische Deutung der Arbeit

1. Ein Eimer Wasser ($m = 5\,\text{kg}$) wird aus einem 10 Meter tiefen Brunnen heraufgezogen. Bestimme die nötige Hubarbeit.

2. Gegengewichte reduzieren die für die Hubarbeit relevante Masse. Ein Fahrstuhl hat eine relevante Masse von 80 kg. Für jede beförderte Person wird eine Masse von 80 kg gerechnet. Ein Stockwerk hat eine Höhe von 3 Meter. Im Erdgeschoss steigen zwei Personen ein. Im zweiten Stock steigt eine Person ein. Im dritten Stock steigen zwei Personen aus. Die letzte Person fährt bis zum fünften Stock.

   a) Berechne die Gewichtskraft des Fahrstuhls mit Personen für jedes Stockwerk und trage es in die Tabelle ein.
   b) Stelle die Gewichtskraft in einem $F(s)$-Diagramm dar.
   c) Schraffiere die Fläche unter dem $F(s)$-Graphen.
   d) Bestimme die komplette Hubarbeit bis zum fünften Stock.

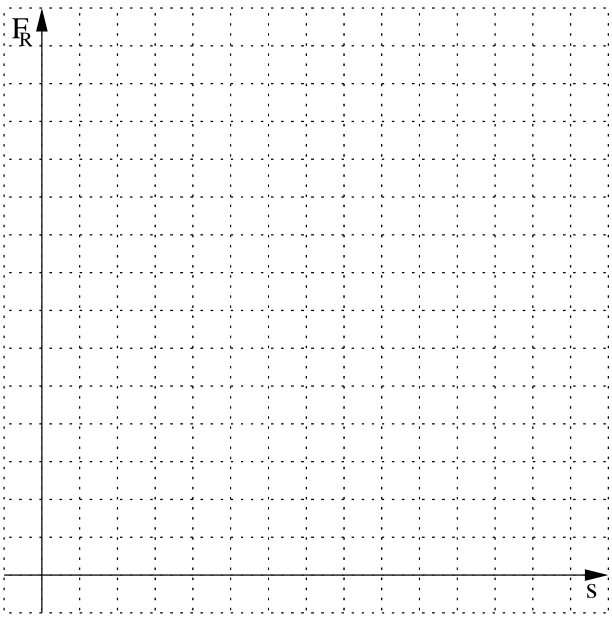
Stockwerk	Gewichtskraft F_G in N
Erdgeschoss	
1. Stock	
2. Stock	
3. Stock	
4. Stock	
5. Stock	



3. Ein PKW ($m = 1000\,\text{kg}$) bremst mit blockierenden Reifen. Die ersten 10 Meter reiben die Reifen über trockenen Asphalt, die nächsten 10 Meter über Eis und dann wieder 10 Meter über nassen Asphalt bis er zum Halten kommt.

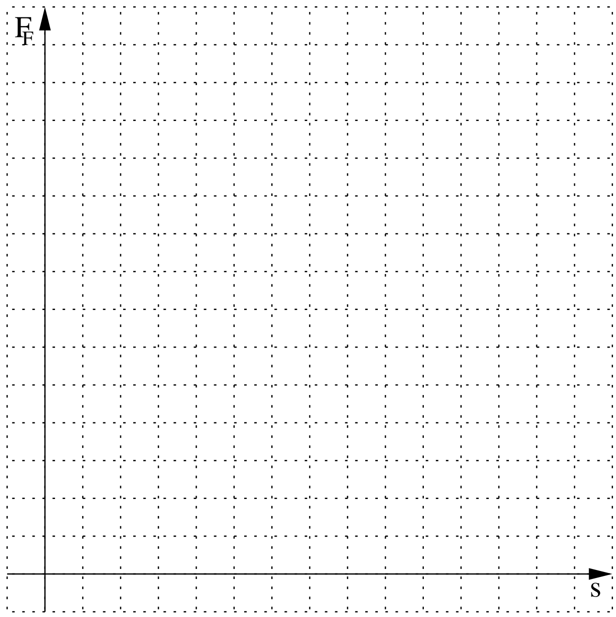
   a) Stelle die Reibungskraft in einem $F(s)$-Diagramm dar.
   b) Schraffiere die Fläche unter dem $F(s)$-Graphen.
   c) Bestimme die komplette Reibungsarbeit bis zum Ende der Bremsung.

Strecke in m	Reibungskraft F_R in N
0 - 10	3000
10 - 20	500
20 - 30	1500



4. Gegeben ist eine Feder mit einer Federkonstante von $D = 1\,\mathrm{N/cm}$.
   a) Berechne die jeweilige Federkraft für die in der Tabelle angegebenen Auslenkungen.
   b) Stelle die Federkraft in einem F-s-Diagramm dar.
   c) Beschreibe den Graphen der Federkraft.
   d) Schraffiere die Fläche unter dem F-s-Graphen und beschreibe ihr geometrischen Figur.
   e) Gebe an, wie man die Fläche unter dem Graphen bestimmen kann.
   f) Bestimme die komplette Reibungsarbeit bis 6 cm Auslenkung.

Auslenkung s in cm	Federkraft F_F in N
0	
1	
2	
3	
4	
5	
6	



5. Ergänze!
   Die allgemeine Formel der Arbeit lautet:

$$W =$$

   Die Formel für die Federarbeit lautet:

$$W_F =$$

   Die Formel für die Federkraft lautet:

$$F_F =$$

   Kombiniere die obigen Aussagen. Die Formel für die Federarbeit lautet:

$$W_F =$$

6. Gegeben ist eine Feder mit der Federkonstante $D = 3\,\mathrm{N/cm}$.
   a) Die Feder wird von der Ruhelage um 3 cm ausgelenkt. Bestimme die verrichtete Arbeit.
   b) Die Feder wird nun um weitere 6 cm ausgelenkt. Bestimme die dazu notwendige Arbeit.

7. Um eine Feder von ihrer Ruhelage um 10 cm zu verlängern, musste eine Arbeit von 1 J aufgewendet werden. Bestimme die Federkonstante der Feder.

8. Eine Feder mit der Federkonstante $D = 5\,N$ wird von der Ruhelage ausgedehnt. Dabei wird eine Arbeit von 10 J verrichtet. Bestimme die Auslenkung der Feder.

5 Leistung

Erwin, Kalle, Paul und Willi arbeiten wieder mal auf einer Baustelle eines vierstöckigen Hauses.

1. Alle arbeiten im 4. Stock und ziehen jeweils mit einem Seil einen Sack Zement hoch. Erwin braucht dafür 10 Sekunden, Kalle 20 Sekunden, Paul 30 Sekunden und Willi 40 Sekunden.
   Trage die folgenden Worte an der richtigen Stelle in den Sätzen ein:
   (*doppelt - dreimal - ein Drittel - ein Viertel - Erwin - halb - halb - Paul - Paul - Willi*)
   a) Kalle leistet ___________ so viel wie Erwin.
   b) Paul leistet ___________ so viel wie Erwin.
   c) Willi leistet ___________ so viel wie Erwin.
   d) Kalle leistet ___________ so viel wie Willi.
   e) Erwin leistet ___________ so viel wie Paul.
   f) Willi leistet ___________ so viel wie Kalle.
   g) Kalle leistet gleich viel wie ___________ und ___________ zusammen.
   h) Erwin und ___________ leisten gleich viel wie Kalle und ___________ zusammen.

   Ergänze den Satz passend zu den obigen Aussagen:

   Die Leistung ist _________________________ zur Zeit.

2. Erwin arbeitet im 1. Stock, Kalle im 2. Stock, Paul im 3. Stock und Willi im 4. Stock. Mit einem Seil ziehen sie jeweils in 20 Sekunden einen Sack Zement hoch.
   Trage die folgenden Worte an der richtigen Stelle in den Sätzen ein:
   (*Erwin - Kalle - Paul - Willi - halb - ein Drittel - doppelt - doppelt - dreimal - viermal*)
   a) Kalle leistet ___________ so viel wie Erwin.
   b) Paul leistet ___________ so viel wie Erwin.
   c) Willi leistet ___________ so viel wie Erwin.
   d) Kalle leistet ___________ so viel wie Willi.
   e) Erwin leistet ___________ so viel wie Paul.
   f) Willi leistet ___________ so viel wie Kalle.
   g) Paul leistet gleich viel wie ___________ und ___________ zusammen.
   h) Erwin und ___________ zusammen leisten gleich viel wie Kalle und ___________ zusammen.

   Ergänze den Satz passend zu den obigen Aussagen:

   Die Leistung ist _________________________ zur Arbeit.

3. Ergänze die folgenden Aussagen:
   (*Arbeit - Arbeit - t - W - Zeit - Zeit*)

   Die Leistung ist gleich dem Quotienten aus ____________ und ____________.

   Das Größensymbol für die Leistung ist P. Als Formel ausgedrückt gilt:

   $$\text{Leistung} = \frac{\qquad}{\qquad} \qquad P = \frac{\quad}{\quad} \tag{5.1}$$

   Die Leistung wird in **Watt** gemessen. Die Einheit Watt wird mit dem Buchstaben **W** abgekürzt. Es gilt

   $$1\,\mathrm{W} = 1\,\mathrm{J/s} = 1\,\mathrm{Nm/s} \tag{5.2}$$

4. Forme die Formel (5.1) für die Leistung nach den einzelnen Größen um.

   $$W = \tag{5.3}$$

   $$t = \tag{5.4}$$

5.1 Aufgaben zur mechanischen Leistung

Die Leistung P ist gleich dem Quotienten aus Arbeit W und Zeit t.

$$P = \frac{W}{t} \qquad [P] = 1\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{s}} = 1\,\mathrm{W}$$

Hinweis: Ortsfaktor $g = 10\,\mathrm{N/kg}$ falls nicht anders angegeben.

A 5.1. Für jede Arbeitsform gibt es eine passende Leistung. Im folgenden sind die Leistungen für die bekannten Arbeitsformen aufgeschlüsselt. Forme die Gleichungen nach den jeweils aufgeführten Größen um.

Arbeit allgemein

$$P = \frac{W}{t} = \frac{F\,s}{t} = F\,v$$

$F =$

$s =$

$t =$

Hubarbeit

$$P = \frac{W_\mathrm{H}}{t} = \frac{m\,g\,h}{t}$$

$m =$

$g =$

$h =$

$t =$

Reibungsarbeit

$$P = \frac{W_\mathrm{R}}{t} = \frac{R\,F_\mathrm{N}\,s}{t}$$

$R =$

$F_\mathrm{N} =$

$s =$

$t =$

Federarbeit

$$P = \frac{W_\mathrm{F}}{t} = \frac{D\,s^2}{2t}$$

$D =$

$s =$

$t =$

A 5.2. James Watt hat seine Leistungseinheit Pferdestärke (PS) wie folgt definiert: Wenn ein Pferd in der Lage ist eine Masse von 75 kg in einer Sekunde einen Meter hoch zu heben, dann besitzt es eine Leistung von 1 PS.

a) Bestimme die Größe der Leistung von 1 PS in Watt. ($g = 9{,}81\,\mathrm{N/kg}$)
b) Rechne die Leistung von 1 kW in PS um.
c) Der Audi TT RS plus TFSI quattro hat eine Leistung von 265 kW. Gebe die Leistung in Pferdestärken an.
d) Der Audi S8 4.0 TFSI quattro hat eine Leistung von 520 PS. Gebe die Leistung in Kilowatt an.

A 5.3. Ein Kran besitzt eine effektive Leistung von 2 kW und eine maximale Hubgeschwindigkeit von 1 m/s. Bestimme die maximale Masse, für die die maximale Hubgeschwindigkeit erreicht wird.

A 5.4. Ein Auto erfährt bei einer Geschwindigkeit von 72 km/h eine Reibungskraft von F = 750 N.

a) Berechne die nötige Leistung um die Geschwindigkeit aufrechtzuerhalten. (Tipp 1)
b) Bestimme die nötige Leistung, wenn bei gleicher Reibungskraft die Geschwindigkeit bei 108 km/h liegt.

Tipp 1: $v = \frac{s}{t}$

6 Elektrische Leistung

Durch den elektrischen Strom kann Arbeit verrichtet werden. In einem elektrischen Stromkreis wird daher eine Leistung erbracht. Wie sich diese Leistung bestimmen läßt, kann man sich aus den bekannten Gesetzen herleiten.

Ein Stromkreis besteht aus einer Spannungsquelle und einer Lampe. Zu dieser Lampe wird eine identische Lampe parallel geschaltet.

1. An der zweiten Lampe liegt ______ ______________ Spannung an wie an der Ersten.
2. Durch die zweite Lampe fließt ______ ______________ Stromstärke wie durch die Erste.
3. Die Lichtleistung der Schaltung hat sich ____________________.
4. Die Gesamtstromstärke der Schaltung hat sich ____________________.
5. Erweitern wir die Schaltung und schalten vier identische Lampen parallel. Im Vergleich zu der Schaltung mit einer Lampe hat sich ...
   (a) ... die Lichtleistung ________________________.
   (b) ... die Stromstärke ________________________.
6. Die Leistung ist ________________________ zur ______________________.

Ein Stromkreis besteht aus einer Spannungsquelle mit Spannung U_0 und einer Lampe. Zu dieser Lampe wird eine identische Lampe in Reihe geschaltet.

1. Im Vergleich mit der Schaltung mit einer Lampe hat sich die Spannung an den einzelnen Lampen ________________.
2. Damit die richtige Spannung an jeder der Lampen anliegt, muss die Spannung an der Spannungsquelle ____________________ werden.
3. Jetzt ist die Stromstärke ____________ der Stromstärke in der Schaltung mit einer Lampe.
4. Die Lichtleistung der Schaltung hat sich ____________________.
5. Erweitern wir die Schaltung und schalten vier identische Lampen in Reihe.
   (a) Im Vergleich zu der Schaltung mit einer Lampe muss, damit alle Lampen richtig funktionieren, die Spannung ________________________ werden.
   (b) Die Lichtleistung hat sich ________________________, wenn alle Lampen richtig funktionieren.
6. Die Leistung ist ________________________ zur ______________________.

Fassen wir die Aussagen zusammen.

1. Ergänze die folgenden Aussagen:
   (I - *Spannung* - *Spannung* - *Stromstärke* - *Stromstärke* - U)

   Die Leistung ist gleich dem Produkt aus _________________ und _________________.

   Das Größensymbol für die elektrische Leistung ist ebenfalls P. Als Formel ausgedrückt gilt:

   $$\text{Leistung} = \qquad\qquad \cdot \qquad\qquad\qquad P = \qquad \cdot \tag{6.1}$$

   Die elektrische Leistung wird ebenfalls in **Watt** gemessen. Die Einheit Watt wird mit dem Buchstaben **W** abgekürzt. Es gilt

   $$1\,\mathrm{W} = 1\,\mathrm{VA} = 1\,\mathrm{J/s} \tag{6.2}$$

2. Forme die Formel (6.1) für die Leistung nach den einzelnen Größen um.

   $$U = \tag{6.3}$$

   $$I = \tag{6.4}$$

6.1 Übungen

A 6.1. Gehe bei folgenden Fragen davon aus, dass nicht genannte Größen konstant bleiben. Erläutere, was ...

a) ... mit der Leistung passiert, wenn sich die Spannung verdoppelt.
b) ... mit der Leistung passiert, wenn sich die Stromstärke um 20% reduziert.
c) ... mit der Spannung passieren muss, wenn man die Leistung verdreifachen will.
d) ... mit der Spannung passieren muss, wenn man die Stromstärke halbieren will.
e) ... mit der Stromstärke passiert, wenn man die Leistungsaufnahme vervierfacht.
f) ... mit der Stromstärke passiert, wenn man die Spannung halbiert.

A 6.2. Für den Amateurfußballverein 1. FC Holzbein von 1906 baut Pfiffikus Pfinn Pfingsten eine Flutlichtanlage auf. Dazu benutzt er Halogenscheinwerfer ($U = 230\,\mathrm{V}$; $P = 500\,\mathrm{W}$) aus dem Baumarkt. Es stehen ihm vier mit 16 A abgesicherte Stromkreise ($U = 230\,\mathrm{V}$) zur Verfügung.

a) Berechne die Anzahl der Lampen, die Pfiffikus ohne Gefahr betreiben kann.
b) Als Pfiffikus die Lampen eines Stromkreises auf einmal einschaltet, fliegt ihm die Sicherung raus. Wenn er die Lampen aber hintereinander einschaltet, gibt es keine Probleme. Erläutere dieses Phänomen.

A 6.3. Spannung und Stromstärke sind keine unabhängige Größen, das sie mit dem Widerstand (bzw. Leitwert) im Zusammenhang stehen. Der Widerstand ist dabei eine typische Eigenschaft eines Stromkreises, die im Falle eines ohmschen Leiters sogar konstant ist.

a) Nenne das Ohmsche Gesetz und die passende Formel.
b) Zeige, dass

$$P = \frac{U^2}{R} \tag{6.5}$$

und

$$P = I^2 \cdot R \tag{6.6}$$

c) Erläutere, was mit der Leistung passiert, wenn man die Spannung an einem Ohmschen Leiter verdreifacht.
d) Erläutere, wie sich die Stromstärke ändert, wenn die Leistung durch einen Ohmschen Leiter sich verneunfacht.

A 6.4. Bei einer Lieferung von Heizspiralen fand man nur die Angabe $2\,300\,\mathrm{W}$ auf dem Karton. Beim Messen wurde ein Widerstand von $5{,}75\,\Omega$ gemessen.

a) Bestimme, für welche Spannung die Heizspiralen ausgelegt sind.
b) Entwerfe eine Schaltung, mit der man die Heizspiralen trotzdem mit $230\,\mathrm{V}$ betreiben könnte.

A 6.5. Um zu sehen, ob der Heizlüfter ($U = 230\,\mathrm{V}$; $P = 2000\,\mathrm{W}$) in der Gartenlaube läuft, hat Pfiffikus eine Glühbirne ($U = 230\,\mathrm{V}$; $P = 25\,\mathrm{W}$) in Reihe in die Leitung geschaltet. Zu seiner Verwunderung leuchtet die Lampe, aber der Heizlüfter läuft nicht. Erkläre den Fehler von Pfiffikus.

7 Wärme und Temperatur

Experiment 1. Wassererwärmung mit dem Tauchsieder

Material: Tauchsieder, Becherglas, Leistungsmesser, Wasser, Thermometer, Stoppuhr

Durchführung: Fülle das Becherglas mit 200 ml kaltem Leitungswasser. Rühre das Wasser um und messe die Temperatur. Schließe den Tauchsieder über den Leistungsmesser an die Steckdose an und halte ihn in der Hand. Warte einen Moment, bis der Tauchsieder heiß wird. Stelle den Tauchsieder ins Wasser und starte gleichzeitig die Zeitmessung. Bestimme über einen Zeitraum von 5 Minuten jede Minute die Temperatur. Rühre vor der Messung das Wasser um und halte das Thermometer immer möglichst weit vom Tauchsieder entfernt.

Auswertung: Bestimme aus Zeit und Leistung die Erwärmungsarbeit, die vom Tauchsieder verrichtet wird. Erstelle ein Energie-Temperatur-Diagramm aus den Messwerten. Ermittle den Zusammenhang zwischen Temperatur und Energie. Nutze dafür auch die Funktionen des GTR.

Experiment 2. Wassererwärmung mit der Heizplatte

Material: Heizplatte, Metalltopf, Leistungsmesser, Wasser, Thermometer, Stoppuhr

Durchführung: Fülle den Metalltopf mit 200 ml kaltem Leitungswasser. Rühre das Wasser um und messe die Temperatur. Schließe die Heizplatte über den Leistungsmesser an die Steckdose an und warte einen Moment, bis sie heiß wird. Stelle den Topf auf die Heizplatte und starte gleichzeitig die Zeitmessung. Bestimme über einen Zeitraum von 5 Minuten jede Minute die Temperatur. Rühre vor der Messung das Wasser um und halte das Thermometer möglichst in der Mitte des Topfes.

Auswertung: Bestimme aus Zeit und Leistung die Erwärmungsarbeit, die von der Heizplatte verrichtet wird. Erstelle ein Energie-Temperatur-Diagramm aus den Messwerten. Ermittle den Zusammenhang zwischen Temperatur und Energie. Nutze dafür auch die Funktionen des GTR.

Experiment 3. Wassererwärmung in der Mikrowelle

Material: Mikrowelle, Becherglas, Wasser, Thermometer, Stoppuhr

Durchführung: Fülle das Becherglas mit 400 ml kaltem Leitungswasser und etwas Salz. Rühre das Wasser um und messe die Temperatur. Stelle das Becherglas in die Mikrowelle und erhitze das Wasser bei voller Leistung 30 Sekunden. Rühre vor der Messung das Wasser um und bestimme dann die Temperatur. Wiederhole die Messung, bis das Wasser 100°C erreicht.

Auswertung: Bestimme aus Zeit und Leistung die Erwärmungsarbeit, die von der Mikrowelle verrichtet wird. Erstelle ein Energie-Temperatur-Diagramm aus den Messwerten. Ermittle den Zusammenhang zwischen Temperatur und Energie. Nutze dafür auch die Funktionen des GTR.

7.1 Wärmekapazität

Größen

Größe	Formel-zeichen	Einheit	Einheiten-zeichen
Innere Energie	U	Joule	J
Wärmekapazität	C	Joule pro Kelvin	$\frac{\text{J}}{\text{K}}$
Spezifische Wärmekapazität	c	Joule pro Kilogramm u. Kelvin	$\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$
Wärme	Q	Joule	J

Gesetz 1. ***Grundgleichung der Wärmelehre***
Ändert sich der Aggregatzustand nicht, dann gilt für den Zusammenhang zwischen Wärme Q und Temperaturänderung ΔT:

$$Q = C \cdot \Delta T \tag{7.1}$$

Der Proportionalitätsfaktor ist die Wärmekapazität C. Diese ist eine Eigenschaft eines Körpers bzw. Objekts.

Formelanalyse
Das große Tafelwerk interaktiv, Cornelsen: Seite 100

In Worten: Ändert sich der Aggregatzustand nicht, dann ist die Wärme gleich dem Produkt aus Wärmekapazität und Temperaturänderung.

Umstellen:

$$Q = C \cdot \Delta T \qquad C = \frac{Q}{\Delta T} \qquad \Delta T = \frac{Q}{C}$$

Veränderungen Bei Veränderungsfragen wird angenommen, dass alle nicht genannten Größen konstant bleiben.

Wenn sich die Wärmekapazität verdoppelt, ...
... dann verdoppelt sich die Wärme.
... dann halbiert sich die Temperaturänderung.

Wenn sich die Temperaturänderung verdoppelt, ...
... dann verdoppelt sich die Wärme.
... dann halbiert sich die Wärmekapazität.

Wenn sich die Wärme verdoppelt, ...
... dann verdoppelt sich die Wärmekapazität.
... dann verdoppelt sich die Temperaturänderung.

Einheiten:

$$\begin{aligned}
[Q] &= 1\,\text{J} = 1\,\text{Ws} = 1\,\text{VAs} = 1\,\text{Nm} = 1\,\text{kg}\,\text{m}^2/\text{s}^2 \\
[\Delta T] &= 1\,\text{K} \\
[C] &= 1\,\text{J/K} = 1\,\text{Ws/K} = 1\,\text{VAs/K} = 1\,\text{Nm/K} = 1\,\text{kg}\,\text{m}^2/\text{s}^2\text{K}
\end{aligned}$$

A 7.1. Ein Swimmingpool mit der Wärmekapazität von $200\,\text{MJ/K}$ soll um 5 Kelvin erwärmt werden. Berechne die benötigte Wärmemenge.

A 7.2. Um einen Stahlklotz um 1000 Kelvin zu erhitzen, wurde eine Wärme von $2{,}35\,\text{MJ}$ benötigt. Bestimme die Wärmekapazität.

A 7.3. Einem Topf mit Wasser und der Wärmekapazität $9{,}5\,\text{kJ}$ wurde eine Wärme von $475\,\text{kJ}$ zugeführt. Berechne die Temperaturänderung.

7.2 Mischen von Stoffen verschiedener Temperatur

A 7.4. Ein Tauchsieder hat eine effektive Leistung von 500 Watt. Er wird eingeschaltet und dann in einen Styroporbecher mit 200 ml Wasser getaucht. Mit einem Thermometer wird in regelmäßigen Abständen die Temperatur gemessen und diese in einer Tabelle notiert.

a) Bestimme die Wärme, die ins Wasser übertragen wurde.
b) Stelle die Daten in einem Q-T-Diagramm dar.
c) Bestimme die Wärmekapazität unter Verwendung der sinnvollen Datenpunkte aus dem Graphen.
d) Übertrage die sinnvollen Datenpunkte in das STAT-Menü des GTR und bestimme die Wärmekapazität.

t [s]	Q [kJ]	T [°C]
0		12
20		24
40		36
60		48
80		60
100		72
120		84
140		96
160		99
180		100
200		100

Experiment 4. Wasser mit Wasser mischen

Material: 2 Bechergläser, Wasser, Thermometer

Durchführung: Fülle 200 ml kaltes Wasser aus der Leitung in ein Becherglas. Bestimme die Temperatur des Wassers. Gieße 200 ml kochendes Wasser in das Becherglas. Rühre das Gemisch um und bestimme nach ca. 10 Sekunden die Temperatur. Wiederhole den Versuch einmal mit 100 ml kaltem Wasser und 200 ml kochendem Wasser und mit 200 ml kaltem Wasser und 100 ml kochendem Wasser.

Auswertung: Stelle eine Vermutung auf, wie die Endtemperatur sich ergibt.

Experiment 5. Wasser über Kupfer

Material: 2 Bechergläser, Kupfergranulat, Wasser, Thermometer, Küchenwaage

Durchführung: Fülle 400 g Kupfergranulat in ein Becherglas. Bestimme die Temperatur des Kupfergranulats. Gieße 200 ml kochendes Wasser über das Granulat. Rühre das Gemisch um und bestimme nach ca. 30 Sekunden die Temperatur.

Auswertung: Bestimme das Verhältnis der Wärmekapazität des Kupfers zur Wärmekapazität des Wassers.

Experiment 6. Messing in Wasser

Material: 1 Metalltopf, 1 Styroporbecher, 1 Heizplatte, Messingblock, Wasser, Thermometer, Küchenwaage, Haken

Durchführung: Fülle heißes Wasser in den Metalltopf und bringe es auf der Heizplatte zum Sieden. Bestimme die Masse des Messingblocks. Halte an einem Haken den Messingblock ca. 1 Minute ins siedende Wasser. Fülle inzwischen 50 ml kaltes Leitungswasser in den Styroporbecher. Gebe den Messingblock ins Wasser und rühre das Wasser so lange, bis sich ein Temperaturgleichgewicht eingestellt hat. Bestimme dann die Temperatur.

Auswertung: Bestimme das Verhältnis der Wärmekapazität des Messings zur Wärmekapazität des Wassers.

Experiment 7. Eisen in Wasser

Material: 1 Metalltopf, 1 Styroporbecher, 1 Heizplatte, Messingblock, Wasser, Thermometer, Küchenwaage, Haken

Durchführung: Fülle heißes Wasser in den Metalltopf und bringe es auf der Heizplatte zum Sieden. Bestimme die Masse des Eisenblocks. Halte an einem Haken den Messingblock ca. 1 Minute ins siedende Wasser. Fülle inzwischen 50 ml kaltes Leitungswasser in den Styroporbecher. Gebe den Messingblock ins Wasser und rühre das Wasser so lange, bis sich ein Temperaturgleichgewicht eingestellt hat. Bestimme dann die Temperatur.

Auswertung: Bestimme das Verhältnis der Wärmekapazität des Messings zur Wärmekapazität des Wassers.

Definition 1. *Als **System** bezeichnet ein Physiker eine genau definierte Menge von Objekten und deren möglichen Wechselwirkungen aufeinander. In einem **abgeschlossenen System** wechselwirken die enthaltenen Objekte nicht mit Objekten außerhalb des Systems im Gegensatz zu einem **offenen System**.*

Zwei Stoffe mit der Temperatur T_1 und T_2 werden vermischt, wobei T_1 die niedrigere Temperatur sei. Die Temperatur des Gemisches ist T'. Der ganze Vorgang erfolge in einem abgeschlossenen System. Die Energie vor dem Mischen E ist gleich der Energie nach dem Mischen E': $E = E'$

Wenn wir davon ausgehen, dass eine reine physikalische Mischung erfolgt, dann müssen wir nur die innere Energie betrachten: $U = U'$

Wenn die Mischung in einem offenen Gefäß erfolgt, kann der Anteil der Spannenergie vernachlässigt werden. Wir können uns also nur auf die Wärme konzentrieren: $Q = Q'$

$$Q_1 + Q_2 = Q_1' + Q_2' \tag{7.2}$$

Wir gehen davon aus, dass es zu keiner Aggregatzustandsänderung kommt. Dann folgt mit $Q = C \cdot T$

$$C_1 \cdot T_1 + C_2 \cdot T_2 = C_1 \cdot T' + C_2 \cdot T'$$

$$C_1 \cdot T_1 + C_2 \cdot T_2 = (C_1 + C_2) \cdot T'$$

Bei der Mischung kommt es nicht auf die Absoluttemperatur sondern auf die Temperaturunterschiede an. Wir können daher den Nullpunkt unser Temperaturskala auf die niedrigste Temperatur T_1 verschieben. Damit ergeben sich die neuen Temperaturen:

$$\Delta T_1 = 0 \qquad \Delta T_2 = T_2 - T_1 \qquad \Delta T' = T' - T_1$$

Damit vereinfacht sich die Mischungsgleichung zu

$$C_2 \cdot \Delta T_2 = (C_1 + C_2) \cdot \Delta T' \tag{7.3}$$

7.3 Spezifische Wärmekapazität

Gesetz 2. ***Spezifische Wärmekapazität***
Ändert sich der Aggregatzustand nicht, dann ist die Wärmekapazität C proportional zur Masse m.

$$C = c \cdot m \tag{7.4}$$

Der Proportionalitätsfaktor ist die spezifische Wärmekapazität c bzw. c_w. Diese ist eine Eigenschaft eines Stoffes bzw. Materials.

A 7.5. *Spezifische Wärmekapazität*

a) Wo findest Du im Tafelwerk die Tabellen mit spezifischen Wärmekapazitäten?
b) Führe für die Gleichung 7.4 eine Formelanalyse durch.
c) Ein Swimmingpool enthält 45 t Wasser. Bestimme die Wärmekapazität.
d) Ein Stahlklotz mit der Masse 5 kg hat eine Wärmekapazität von 2,35 kJ/K. Bestimme die spezifische Wärmekapazität von Stahl und vergleiche sie mit dem Literaturwert.
e) Bei einer Messung hat man für einen Kupferblock eine Wärmekapazität von 234 J/K herausgefunden. Bestimme die Masse des Kupferblocks.

Kombiniert man die Formeln 7.1 und 7.4, dann ergibt sich die Formel für die Wärme in Abhängigkeit von Masse, spezifischer Wärmekapazität und Temperaturänderung:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \tag{7.5}$$

A 7.6. *Wärme und spezifische Wärmekapazität*

a) Führe für die Gleichung 7.5 eine Formelanalyse durch.
b) Ein Swimmingpool enthält 45 t Wasser. Bestimme die benötigte Wärme um das Wasser um 8 K zu erwärmen.
c) Ein Goldbarren mit der Masse 12,4 kg wurde durch ein Wärmezufuhr von 1,29 MJ um 800 K erhitzt. Bestimme die spezifische Wärmekapazität von Gold und vergleiche sie mit dem Literaturwert.
d) Bei einer Abkühlung um 70 K hat ein Kupferblock eine Wärme von 6,8 kJ abgegeben. Bestimme die Masse des Kupferblocks.
e) Bei einem Test wird einem Wolfram-Zylinder mit der Masse 8,5 kg eine Wärme von 3,3 MJ zugeführt. Bestimme die Temperaturänderung des Wolfram-Zylinders.

A 7.7. *Kombination von Stoffen*

Beispiel: 10 kg Wasser mit einer Temperatur von 80°C wird mit 5 kg Wasser mit einer Temperatur von 20°C vermischt. Bestimme die Endtemperatur.

Gesucht: Endtemperatur $T' =?$
Gegeben: Wasser $m_1 = 10\,\text{kg}$, $T_1 = 80°\text{C}$; Wasser $m_2 = 5\,\text{kg}$, $T_2 = 20°\text{C}$

Wir setzen die niedrigste Temperatur T_2 als Nullpunkt fest und erhalten dann als Temperaturdifferenz $\Delta T = T_1 - T_2 = 60\,\text{K}$ vor dem Mischen.

Die für eine Erwärmung ab der Temperatur T_2 nötige Wärme ist vor und nach dem Mischen gleich, weil ein geschlossenes System vorliegt.

$$Q = Q' \implies Q_1 + Q_2 = Q_1' + Q_2' \quad \text{mit } Q_2 = 0 \implies m_1 \cdot c \cdot \Delta T = m_1 \cdot c \cdot \Delta T' + m_2 \cdot c \cdot \Delta T'$$

$$\implies m_1 \cdot c \cdot \Delta T = (m_1 + m_2) \cdot c \cdot \Delta T' \implies \frac{m_1 \cdot c \cdot \Delta T}{(m_1 + m_2) \cdot c} = \Delta T' \implies \frac{m_1}{m_1 + m_2} \cdot \Delta T = \Delta T'$$

$$[\Delta T'] = \frac{1\,\text{kg}}{1\,\text{kg}} \cdot 1\,\text{K} = 1\,\text{K} \qquad \{\Delta T'\} = \frac{10}{10+5} \cdot 60 = 40 \qquad \Delta T' = 40\,\text{K}$$

$$\implies T' = 20\,°\text{C} + 40\,\text{K} = 60\,°\text{C}$$

a) 1200 kg Wasser mit $T = 60\,°\text{C}$ werden mit 400 kg Wasser mit $T = 16\,°\text{C}$ vermischt. Bestimme die Endtemperatur.
b) Bestimme die Masse an 90°C warmen Wasser, das 150 kg Badewasser mit $T = 18\,°\text{C}$ hinzugemischt werden muss, um eine angenehme Temperatur von 30°C zu erreichen.
c) Ein Stahlblock ($m = 2\,\text{kg}$, $T = 100\,°\text{C}$) wird in einen Eimer mit Wasser ($m = 8\,\text{kg}$, $T = 20\,°\text{C}$) gegeben. Bestimme eine Formel für die Endtemperatur und berechne sie.

1. Ein Mensch besitzt eine Heizleistung von ca. 100 Watt. In einem Experiment werden in einem thermisch perfekt isolierten Raum, dessen Luft die Wärmekapazität von 65 kJ/K und die Anfangstemperatur von 16°C besitzt, 10 Menschen eingeschlossen. Der quaderförmige Raum hat eine Grundfläche von $A = 20\,\mathrm{m}^2$ und eine Höhe von 2,5 m. Die Dichte der Luft beträgt $1{,}29\,\mathrm{kg/m}^3$.
   a) Berechne die Zeit, in der die Lufttemperatur 28°C erreicht hat.
   b) Bestimme die spezifische Wärmekapazität der Luft.

8 Schmelz- und Verdampfungswärme

8.1 Schmelzwärme

Definition 2. *Für den Übergang zwischen festem und flüssigem Aggregatzustand wird Energie benötigt. Diese Energie bezeichnet man als Schmelzwärme bzw. Schmelzenergie. Beim Erstarren wird diese Energie wieder freigesetzt.*

Gesetz 3. *Während des Schmelzvorgangs und des Erstarrungsvorgang bleibt die Temperatur konstant.*

Gesetz 4. ***Spezifische Schmelzwärme***
Die Schmelzwärme Q_s ist proportional zur Masse m.

$$Q_s = q_s \cdot m \tag{8.1}$$

Der Proportionalitätsfaktor ist die spezifische Schmelzwärme q_s. Diese ist eine Eigenschaft eines Stoffes bzw. Materials.

A 8.1. *Spezifische Schmelzwärme*

a) Wo findest Du im Tafelwerk die Tabellen mit spezifischen Schmelzwärmen?
b) Führe für die Gleichung 8.1 eine Formelanalyse durch.
c) Ein Eimer enthält 10 kg Eis. Bestimme die Schmelzwärme.
d) Ein Stahlklotz mit der Masse 5 kg benötigt eine Energie von 1,34 MJ zum Schmelzen. Bestimme die spezifische Schmelzwärme von Stahl und vergleiche sie mit dem Literaturwert.
e) Bei einer Messung hat man für das Schmelzen eines Kupferblocks eine Schmelzwärme von 630 kJ ermittelt. Bestimme die Masse des Kupferblocks.

8.2 Verdampfungswärme

Definition 3. *Für den Übergang zwischen flüssigem und gasförmigem Aggregatzustand wird Energie benötigt. Diese Energie bezeichnet man als Verdampfungswärme bzw. Verdampfungsenergie. Beim kondensieren wird diese Energie wieder freigesetzt.*

Gesetz 5. *Während des Verdampfungsvorgangs und des Kondensationsvorgangs bleibt die Temperatur konstant.*

Gesetz 6. ***Spezifische Verdampfungswärme***
Die Verdampfungswärme Q_v ist proportional zur Masse m.

$$Q_v = q_v \cdot m \tag{8.2}$$

Der Proportionalitätsfaktor ist die spezifische Verdampfungswärme q_v. Diese ist eine Eigenschaft eines Stoffes bzw. Materials.

A 8.2. *Spezifische Verdampfungswärme*

a) Wo findest Du im Tafelwerk die Tabellen mit spezifischen Verdampfungswärmen?
b) Führe für die Gleichung 8.2 eine Formelanalyse durch.
c) Ein Eimer enthält 10 kg Wasser. Bestimme die Verdampfungswärme.
d) Ein Eimer enthält 5 kg Quecksilber. Das Quecksilber benötigt eine Energie von 1,43 MJ zum Verdampfen. Bestimme die spezifische Verdampfungswärme von Quecksilber und vergleiche sie mit dem Literaturwert.
e) Bei einer Messung hat man für das Verdampfen von Ethanol eine Schmelzwärme von 2950 kJ ermittelt. Bestimme die Masse des Ethanols.

9 Wärmetransport

Experiment 8. Topf vs. Teller

Material: Becherglas, Suppenteller, Wasser, Thermometer, Stoppuhr

Durchführung: Fülle Becherglas und Suppenteller mit jeweils 200 ml heißem Wasser. Bestimme über einen Zeitraum von 5 Minuten jede Minute die Temperatur des Wassers in beiden Gefäßen. Rühre vor der Messung das Wasser um und halte das Thermometer möglichst in der Mitte.

Auswertung: Erstelle ein Temperatur-Zeit-Diagramm aus den Messwerten. Deute Deine Beobachtung.

Experiment 9. Isolierung

Material: 3 Bechergläser, Luftpolsterfolie, Alufolie, Wasser, Thermometer, Stoppuhr

Durchführung: Umwickle ein Becherglas mit Luftpolsterfolie und ein Becherglas mit Alufolie. Fülle in jedes Becherglas 200 ml heißes Wasser. Bestimme über einen Zeitraum von 5 Minuten jede Minute die Temperatur des Wassers in allen Gefäßen. Rühre vor der Messung das Wasser um und halte das Thermometer möglichst in der Mitte.

Auswertung: Erstelle ein Temperatur-Zeit-Diagramm aus den Messwerten. Deute Deine Beobachtung.

10 Zusatzmaterial: Reibungsarbeit

1. Angi, Biggi, Conni und Dani ziehen ihren Koffer vom Bahnhof nach Hause. Angi wohnt 1 km, Biggi 2 km, Conni 3 km und Dani 4 km vom Bahnhof entfernt.
   Trage die folgenden Worte an der richtigen Stelle in den Sätzen ein:
   (*Angi - Biggi - Conni - Dani - halb - ein Drittel - doppelt - doppelt - dreimal - viermal*)
   a) Dani muss ___________ so viel Reibungsarbeit verrichten wie Angi.
   b) Conni muss ___________ so viel Reibungsarbeit verrichten wie Angi.
   c) Biggi muss ___________ so viel Reibungsarbeit verrichten wie Angi.
   d) Biggi muss ___________ so viel Reibungsarbeit verrichten wie Dani.
   e) Angi muss ___________ so viel Reibungsarbeit verrichten wie Conni.
   f) Dani muss ___________ so viel Reibungsarbeit verrichten wie Biggi.
   g) Conni muss gleich viel Reibungsarbeit verrichten wie ___________ und ___________ zusammen.
   h) Angi und ___________ müssen gleich viel Reibungsarbeit verrichten wie Biggi und ___________.

   Ergänze den Satz passend zu den obigen Aussagen:

   Die Reibungsarbeit ist proportional zur zurückgelegten ________________.

2. Vier gleiche Autos stehen auf einer Teststrecke. Auto T steht auf trockenem Asphalt, Auto N auf nassem Asphalt, Auto B auf Beton und Auto E auf Eis. Die Bremsen sind angezogen. Alle vier Autos werden über eine Strecke von 20 m geschoben.
   Trage die folgenden Worte an der richtigen Stelle in den Sätzen ein:
   (*B - E - N - T - dreimal - dreimal - fünfmal - neunmal*)
   a) Die geringste Reibungsarbeit muss bei Auto _____ aufgewendet werden.
   b) Um Auto T zu schieben muss man ___________ so viel arbeiten wie bei Auto E.
   c) Um Auto T zu schieben muss man ___________ so viel arbeiten wie bei Auto N.
   d) Um Auto B zu schieben muss man ___________ so viel arbeiten wie bei Auto E.
   e) Um Auto N zu schieben muss man ___________ so viel arbeiten wie bei Auto E.
   f) Wenn man Auto _____ dreimal schiebt, hat man gleich viel Arbeit geleistet wie wenn man Auto T einmal schiebt.
   g) Wenn man Auto E fünfmal schiebt, hat man gleich viel Arbeit geleistet wie wenn man Auto _____ einmal schiebt.
   h) Die Arbeit Auto _____ zu schieben ist größer als die Arbeit die Autos E und B zusammen zu schieben.

   Ergänze den Satz passend zu den obigen Aussagen:

   Die Reibungsarbeit ist proportional zur ________________.

3. Erwin, Kalle, Paul und Willi fahren Motorrad. Auf einer Teststrecke pressen sich die Bremsbacken bei Erwin mit 1000 N gegen die Bremsscheiben, bei Kalle mit 2000 N, bei Paul mit 3000 N und bei Willi mit 4000 N. Alle Motorräder kommen nach der gleichen Strecke zum Halten.
   Trage die folgenden Worte an der richtigen Stelle in den Sätzen ein:
   (*Erwin - Kalle - Paul - Willi - Normal - doppelt - dreimal - ein Viertel - vier Drittel*)
   a) Die Kraft, die die Bremsbacken auf die Bremsscheiben drückt, nennt man ___________kraft.
   b) Die Bremsen von ___________ mussten die größte Reibungsarbeit verrichten.
   c) Die Bremsen von ___________ mussten die kleinste Reibungsarbeit verrichten.

Reibungszahl	Haftreibung	Gleitreibung
Autoreifen auf		
- Trockenem Asphalt	1,0	0,9
- Beton	0,8	0,5
- Nassem Aspalt	0,6	0,3
- Eis	0,2	0,1

Tabelle 10.1: Reibungszahlen für verschiedene Materialkombinationen

d) Die Bremsen von Erwin mussten __________ so viel Reibungsarbeit aufbringen, wie die von Willi.
e) Die Bremsen von Willi mussten __________ so viel Reibungsarbeit aufbringen, wie die von Kalle.
f) Die Bremsen von Paul mussten __________ so viel Reibungsarbeit aufbringen, wie die von Erwin.
g) Die Bremsen von Willi mussten __________ so viel Reibungsarbeit aufbringen, wie die von Paul.
h) Die Bremsen von Erwin und Willi mussten genau so viel Reibungsarbeit verrichten, wie die von __________ und __________.

Ergänze den Satz passend zu den obigen Aussagen:

Die Reibungsarbeit ist proportional zur __________.

4. Vier Autos (A, B, C und D) stehen auf trockenem Asphalt mit blockierten Rädern.
Berechne die fehlenden Angaben für Masse, Gewichtskraft und Reibungskraft:

A	$m = 500\,\mathrm{kg}$	$F_g =$ __________	$F_R =$ __________
B	$m =$ __________	$F_g = 20\,000\,\mathrm{N}$	$F_R =$ __________
C	$m =$ __________	$F_g =$ __________	$F_R = 9000\,\mathrm{N}$
D	$m = 1500\,\mathrm{kg}$	$F_g =$ __________	$F_R =$ __________

Ergänze die folgenden Sätze so, dass die Reibungsarbeit gleich ist:
(*A - B - C - D - 30 m - 40 m - 50 m - 120 m*)

a) Auto _____ muss doppelt so weit geschoben werden wie Auto C.
b) Auto _____ muss ein Drittel so weit geschoben werden wie Auto A.
c) Auto _____ muss nur halb so weit geschoben werden wie Auto C.
d) Auto _____ muss doppelt so weit geschoben werden wie Auto B.
e) Wenn Auto A 100 m geschoben wird, dann muss Auto C __________ geschoben werden.
f) Wenn Auto B 30 m geschoben wird, dann muss Auto A __________ geschoben werden.
g) Wenn Auto C 60 m geschoben wird, dann muss Auto D __________ geschoben werden.
h) Wenn Auto D 10 m geschoben wird, dann muss Auto A __________ geschoben werden.

Ergänze den Satz passend zu den obigen Aussagen:

Die Reibungsarbeit ist proportional zum Produkt aus __________ und __________.

5. Ergänze die folgenden Aussagen:
(*Normalkraft - Normalkraft - Reibungskraft - Reibungskraft - Reibungskraft - Reibungszahl - Reibungszahl - Strecke - Strecke - Strecke - Strecke*)

Die Reibungsarbeit ist das Produkt aus __________, __________ und __________.

Das Produkt aus Normalkraft und Reibungszahl ist die __________.

Dann ist Reibungsarbeit __________ mal __________.

Als Formel ausgedrückt gilt:

Reibungsarbeit = __________ · __________ = __________ · __________ · __________ (10.1)

Drücke die Formel mit Größensymbolen aus:

$$W_r = \quad \cdot \quad = \quad \cdot \quad \cdot \qquad (10.2)$$

11 Lösungen

A 1.1 Eris ist der größte bekannte Zwergplanet unseres Sonnensystems. Er ist nach der griechischen Göttin der Zwietracht und des Streits Eris benannt und hat einen um 100 km größeren Durchmesser als Pluto. In ferner Zukunft landet eine 90 kg schwere Raumsonde auf Eris. In den Landebeinen eingebaute Kraftmesser messen eine Gewichtskraft von 53,1 N. Bestimme den Ortsfaktor auf Eris.

$g = ?$; $m = 90\,\mathrm{kg}$; $F_G = 53{,}1\,\mathrm{N}$; $F_G = m \cdot g \Longrightarrow g = \frac{F_G}{m}$

$$[g] = \frac{[F_G]}{[m]} = \frac{1\,\mathrm{N}}{1\,\mathrm{kg}} = 1\,\mathrm{N/kg} \qquad \{g\} = \frac{\{F_G\}}{\{m\}} = \frac{53{,}1}{90} = 0{,}59 \qquad g = 0{,}59\,\mathrm{N/kg}$$

Eris hat einen Ortsfaktor von $0{,}59\,\mathrm{N/kg}$.

A 1.2 Lehrer Lehman möchte die Masse eines Pakets bestimmen. Leider ist die Waage im Lehrerzimmer defekt. Im Postfach eines Kollegen findet er einen Kraftmesser. Der Kraftmesser zeigt für das Paket eine Gewichtskraft von 27,5 N an. Bestimme die Masse des Pakets.

$m = ?$; $g = 9{,}81\,\mathrm{N/kg}$; $F_G = 27{,}5\,\mathrm{N}$; $F_G = m \cdot g \Longrightarrow m = \frac{F_G}{g}$

$$[m] = \frac{[F_G]}{[g]} = \frac{1\,\mathrm{N}}{1\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}}} = 1\,\mathrm{N} \times 1\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{N}} = 1\,\mathrm{kg} \qquad \{m\} = \frac{\{F_G\}}{\{g\}} = \frac{27{,}5}{9{,}81} = 2{,}8 \qquad m = 2{,}8\,\mathrm{kg}$$

Das Paket hat eine Masse von $2{,}8\,\mathrm{kg}$.

A 1.3 Das galaktische Kreuzfahrtschiff *Pegasus* ($m = 48000\,\mathrm{t}$) schwebt in 200 m Höhe über der Oberfläche der Venus. Berechne die Kraft, die seine Maschinen aufwenden müssen, damit das Schiff nicht abstürzt.

$F_G = ?$; $m = 48\,000\,\mathrm{t}$; $g = 8{,}87\,\mathrm{N/kg}$; $F_G = m \cdot g$

$$[F_G] = [m] \cdot [g] = 1\,\mathrm{t} \times 1\,\mathrm{N/kg} = 1\,000\,\mathrm{kg} \times 1\,\mathrm{N/kg} = 1\,000\,\mathrm{N} = 1\,\mathrm{kN}$$

$$\{F_G\} = \{m\} \cdot \{g\} = 48\,000 \times 8{,}87 = 425\,760 \qquad F_G = 425\,760\,\mathrm{kN} \approx 426\,\mathrm{MN}$$

Die Maschinen der *Pegasus* müssen eine Kraft von $426\,\mathrm{MN}$ aufbringen.

Inhaltsverzeichnis