



**MEHR
ERFAHREN**

TRAINING

Gymnasium

Physik – Mittelstufe 2

STARK

Inhalt

Vorwort

1	Wärmelehre	1
	1.1 Temperatur und Aggregatzustand	1
	1.2 Druck in Gasen	6
	1.3 Änderung der inneren Energie	12
	1.4 Thermischer Energietransport	18
NTG	1.5 Klima	23
2	Elektromagnetismus	25
	2.1 Elektrisches und magnetisches Feld	25
	2.2 Elektromagnetische Induktion	36
3	Mechanik	51
	3.1 Impuls	51
	3.2 Kinematik geradliniger Bewegungen	60
	3.3 Waagrechter und schräger Wurf	86
4	Kernphysik	92
	4.1 Aufbau von Atomkernen	92
	4.2 Radioaktivität	95
	4.3 Kernumwandlungen	108
	Lösungen	114

Autor: Florian Borges

Hinweise:

Die mit dem Smartphone-Symbol gekennzeichneten Abschnitte enthalten ein **Lernvideo**. An den jeweiligen Stellen im Buch befindet sich ein QR-Code, der mit einem Smartphone oder Tablet gescannt werden kann. Im Hinblick auf eine eventuelle Begrenzung des Datenvolumens wird empfohlen, beim Ansehen der Videos eine WLAN-Verbindung zu nutzen.



Der mit **NTG** gekennzeichnete Abschnitt behandelt vertiefende Themen, die vorwiegend in Gymnasien oder Klassen mit naturwissenschaftlich-technologischer Schwerpunktsetzung vorgesehen sind.

Vorwort

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

Die beiden Bücher „Training Physik Mittelstufe“ helfen dir, physikalische Zusammenhänge zu verstehen und das Rechnen von Physikaufgaben zu trainieren. Der Physikstoff der Klassen 8 bis 10 wird in beiden Bänden ausführlich dargestellt.

Im vorliegenden Band 2 findest du die wichtigen Themengebiete **Wärmelehre, Elektromagnetismus, Mechanik (Impuls, Bewegungen) und Kernphysik**.

Jedes Buchkapitel ist einheitlich gegliedert:

- Zunächst wird der Unterrichtsstoff besprochen, **Fachausdrücke** erklärt und **Formeln** erläutert. Dabei sind die wichtigsten **Regeln** immer in Kästen zusammengefasst und hervorgehoben, sodass sie auch beim Durchblättern leicht auffindbar sind.
- Zu jedem Stoffgebiet lernst du anhand von **Beispielaufgaben** die typischen Fragestellungen zu diesem Thema kennen. Ausführliche Lösungen zeigen dir unmittelbar anschließend, wie man derartige Aufgaben am besten angeht.
- Ganz wichtig sind die zahlreichen **Aufgaben**, die nach jedem neuen Sinnabschnitt folgen. Dadurch, dass du diese Aufgaben **selbstständig** löst, lernst du den Stoff und das Lösen von Physikaufgaben am besten. Orientiere dich dabei an den Beispielaufgaben. Zur **Kontrolle** des Lösungsweges und deiner Ergebnisse findest du die **ausführlichen Lösungen** zu jeder Aufgabe im Lösungsteil am Ende des Buches.

Die mit einem Stern (*) gekennzeichneten Aufgaben sind etwas anspruchsvoller und regen in besonderer Weise zum Nachdenken an; du kannst sie beim ersten Durcharbeiten auch überspringen.

- Ein Abschnitt und einige Aufgaben sind mit **NTG** gekennzeichnet. Hier werden vertiefende Themen behandelt, die vorwiegend in Gymnasien oder Klassen mit naturwissenschaftlich-technologischer Schwerpunktsetzung vorgesehen sind.

Zu ausgewählten Themen gibt es **Lernvideos**, in denen wichtige Zusammenhänge dargestellt werden. An den entsprechenden Stellen im Buch befindet sich ein QR-Code, der mit einem Smartphone oder Tablet gescannt werden kann. Eine Zusammenstellung aller Videos ist über den nebenstehenden QR-Code so wie über folgenden Link abrufbar:

https://www.stark-verlag.de/qrcode/lernvideos_90304



Einige Aufgaben zielen darauf ab, dass du mithilfe einer **Simulationssoftware** kleine Experimente durchführst. Mithilfe von Anweisungen im Buch wirst du Schritt für Schritt durch das jeweilige Experiment geführt. Nach der Durchführung kannst du die Fragen zum Experiment beantworten. An den entsprechenden Stellen im Buch befindet sich ein QR-Code, der mit einem Smartphone oder Tablet gescannt werden kann. Eine Zusammenstellung aller Simulationen ist über den nebenstehenden QR-Code so wie über folgenden Link abrufbar:



https://www.stark-verlag.de/qrcode/simulation_90304

Ich wünsche dir viel Erfolg bei deinem Physiktraining mit diesem Buch!

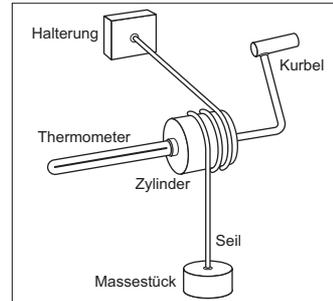
A handwritten signature in black ink, appearing to read 'F. Gajz', located below the text of the author's message.

1.3 Änderung der inneren Energie

Erwärmungsgesetz

Betrachten wir folgendes Experiment, den sogenannten Schürholz-Versuch: Ein an einer Halterung befestigtes Seil wird mehrmals um einen Metallzylinder gewickelt und am anderen Ende mit einem Massestück belastet.

Der eingewickelte Zylinder wird mittels einer Kurbel gedreht, durch die Reibung wird er warm. Dreht man nicht zu schnell, bleibt das Massestück einfach hängen, auch sonst wird keine mechanische Arbeit verrichtet außer der Reibarbeit am Metall. Die Temperaturerhöhung des Zylinders kann man mithilfe eines in eine Bohrung eingeführten Thermometers messen und stellt fest, dass die mechanische



Energie (Bremsarbeit durch Reibung) jetzt in Form einer erhöhten Temperatur (und damit einer höheren inneren Energie) im Zylinder sitzt. Die zugeführte Energie ist dabei proportional zur Zylindermasse m und zur Temperaturerhöhung $\Delta\vartheta$, außerdem hängt sie vom Material ab.

Dieses Ergebnis gilt ganz allgemein für die Erwärmung eines Körpers.

Regel

Die **spezifische Wärmekapazität c** beschreibt die Energiemenge, die notwendig ist, um 1 kg eines Materials um 1 Kelvin zu erwärmen. Sie ist eine Materialkonstante. Es gilt der Zusammenhang, der als **Erwärmungsgesetz** bekannt ist:

$$\Delta E = c \cdot m \cdot \Delta\vartheta$$

Darin bedeuten m : Masse, $\Delta\vartheta$: Temperaturdifferenz, ΔE : Energiedifferenz.

Die spezifische Wärmekapazität besitzt die Einheit $1 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$.

Wärme und Änderung der inneren Energie

Im Schürholz-Versuch ist die verrichtete mechanische Arbeit – genauer die Bremsarbeit, die der Kurbelbewegung entgegenwirkt – verantwortlich dafür, dass Energie auf den Metallzylinder übertragen wird und in Form von innerer Energie gespeichert wird. Doch wie verhält es sich, wenn die Temperatur von Wasser in einem Kochtopf erhöht wird? Der Energieübertrag findet in diesem Fall nicht in Form verrichteter Arbeit statt, sondern durch Wärmezufuhr.

Regel

Berühren sich zwei Körper verschiedener Temperatur, so nimmt die innere Energie des einen Körpers ab, die des anderen nimmt zu. Diese übertragene Energie wird in der Physik als **Wärme Q** bezeichnet.

Die Wärme tritt auf, wenn innere Energie übertragen wird. Jedoch ist sie danach *nicht* in einem Körper gespeichert. Genauso wie physikalische Arbeit beschreibt Wärme in der Physik niemals einen Zustand; sie ist also keine Zustandsgröße, sondern eine **Prozessgröße**.

Anhand der zwei Beispiele haben wir gesehen, dass eine Änderung der inneren Energie in zwei Arten unterteilt werden kann.

Regel Die innere Energie E_i eines Systems lässt sich ändern durch Zufuhr bzw. Abgabe von Wärme Q oder durch Verrichten mechanischer Arbeit W :
 $\Delta E_i = Q + W$
 Die Gesamtenergie bleibt dabei unverändert (**1. Hauptsatz der Wärmelehre**).

Der 1. Hauptsatz der Wärmelehre ist nichts anderes als eine andere Formulierung des Energieerhaltungssatzes.

Beispiel Max friert und möchte sich aufwärmen. Was kann er tun? Wie unterscheiden sich die verschiedenen „Aufwärmmethoden“ physikalisch?

Lösung:

Max hat mehrere Möglichkeiten, um sich aufzuwärmen: Er kann die Hände am offenen Feuer oder am Heizstrahler wärmen (Zufuhr von Wärme durch Strahlung; siehe folgender Abschnitt 1.4); er kann eine heiße Tasse Tee, einen Taschenwärmer, eine Wärmflasche oder einen Heizkörper berühren (Zufuhr von Wärme durch Kontakt); er kann heftig seine Hände reiben (Erwärmung durch Verrichten von Reibarbeit). Immer wird dabei Energie von außen entweder in Form von Wärme- oder von mechanischer Energie zugeführt, die innere Energie auf der Handoberfläche nimmt zu (Temperaturanstieg).

Mischtemperatur

Bisher haben wir uns auf die Temperatur eines einzelnen Körpers konzentriert. Was passiert, wenn wir zwei Körper oder Substanzen mit unterschiedlicher Temperatur in Kontakt bringen, wenn also feste Körper sich berühren, Flüssigkeiten gemischt werden, Gase sich gegenseitig durchdringen?

Regel Zwei Substanzen unterschiedlicher Temperatur, die in Kontakt stehen, nehmen nach einer gewissen Zeit eine einheitliche Temperatur an, die zwischen den beiden Ausgangstemperaturen liegt, die **Mischtemperatur**.
 Den Zustand einheitlicher Temperatur nennt man **thermisches Gleichgewicht**.

Wir ahnen bereits, wie ein thermisches Gleichgewicht zustande kommt: Da die Temperatur ein Maß für die innere Energie einer Substanz ist, bedeutet ein Temperatúrausgleich nichts anderes als den **Austausch von Wärme** zwischen den Stoffen. Durch den Kontakt, also durch die Stöße der Atome, wird so lange Energie vom System höherer Temperatur zum System niedrigerer Temperatur übertragen, bis alle beteiligten Teilchen eine einheitliche mittlere kinetische Energie besitzen.

- Beispiele 1. Welche Mischtemperatur erhält man beim Zusammenschütten von 1,0 kg Wasser von 70 °C und 3,0 kg Petroleum von 25 °C?

$$(c_{\text{Wasser}} = 4\,190 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}, c_{\text{Petroleum}} = 2\,100 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}})$$

Lösung:

Den Betrag der Mischtemperatur nennen wir x . Das Wasser von ursprünglich 70 °C wird dabei um $(70 - x)$ K kälter, die abgegebene Energie beträgt:

$$E_{\text{abgegeben}} = m_{\text{Wasser}} \cdot c_{\text{Wasser}} \cdot (70 - x) \text{ K}$$

Das Petroleum erwärmt sich um $(x - 25)$ K und nimmt dabei genau die Energie auf, die vom Wasser abgegeben wird:

$$E_{\text{aufgenommen}} = m_{\text{Petroleum}} \cdot c_{\text{Petroleum}} \cdot (x - 25) \text{ K}$$

Wir können also $E_{\text{abgegeben}} = E_{\text{aufgenommen}}$ setzen und erhalten:

$$m_{\text{Wasser}} \cdot c_{\text{Wasser}} (70 - x) \text{ K} = m_{\text{Petroleum}} \cdot c_{\text{Petroleum}} \cdot (x - 25) \text{ K}$$

$$1,0 \text{ kg} \cdot 4\,190 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (70 - x) \text{ K} = 3,0 \text{ kg} \cdot 2\,100 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (x - 25) \text{ K}$$

$$4\,190 \frac{\text{J}}{\text{K}} \cdot (70 - x) \text{ K} = 6\,300 \frac{\text{J}}{\text{K}} \cdot (x - 25) \text{ K}$$

$$4\,190 \text{ J} \cdot 70 - 4\,190 \text{ J} \cdot x = 6\,300 \text{ J} \cdot x - 6\,300 \text{ J} \cdot 25$$

$$293\,300 \text{ J} - 4\,190 \text{ J} \cdot x = 6\,300 \text{ J} \cdot x - 157\,500 \text{ J}$$

$$450\,800 \text{ J} = 10\,490 \text{ J} \cdot x$$

$$x \approx 43$$

Es stellt sich also eine Mischtemperatur von etwa 43 °C ein.

2. Wie viel kalten Tee (10 °C) muss man in eine Tasse frisch aufgebrihten Tees (200 ml, 85 °C) geben, damit dieser bei einer Temperatur von 55 °C gerade gut trinkbar wird?

Lösung:

Tee ist (aus physikalischer Sicht) im Wesentlichen Wasser und besitzt daher die gleiche Dichte ($1 \frac{\text{kg}}{\ell}$) und Wärmekapazität. Die Masse des heißen Tees beträgt somit $0,200 \ell \cdot 1 \frac{\text{kg}}{\ell} = 0,200 \text{ kg}$.

Die Menge x an kaltem Tee nimmt von dem 85 °C heißen Tee so viel Energie auf, dass sich gerade eine Temperatur von 55 °C ergibt.

Es ergibt sich folgende Gleichung:

$$x \cdot c_{\text{Wasser}} \cdot (55 - 10) \text{ K} = 0,200 \text{ kg} \cdot c_{\text{Wasser}} \cdot (85 - 55) \text{ K}$$

Teilt man beide Seiten durch c_{Wasser} , erhält man:

$$x \cdot 45 \text{ K} = 0,200 \text{ kg} \cdot 30 \text{ K}$$

$$x = \frac{0,200 \text{ kg} \cdot 30 \text{ K}}{45 \text{ K}} \approx 0,133 \text{ kg}$$

Man muss also etwa 133 ml kalten Tee zuführen.

Zweiter, gleichwertiger Lösungsansatz:

Vor dem Mischen hat man die Menge x an kaltem und 200 g an heißem Tee, nach dem Mischen hat man $(x + 200 \text{ g})$ an warmen Tee.

Beziehen wir die Energiemengen auf die Temperatur 0°C , so gilt nach Gleichsetzen der Energien vor und nach dem Mischen:

$$x \cdot c_{\text{Wasser}} \cdot 10 \text{ K} + 0,200 \text{ kg} \cdot c_{\text{Wasser}} \cdot 85 \text{ K} = (x + 0,200 \text{ kg}) \cdot c_{\text{Wasser}} \cdot 55 \text{ K}$$

$$x \cdot 10 \text{ K} + 0,200 \text{ kg} \cdot 85 \text{ K} = (x + 0,200 \text{ kg}) \cdot 55 \text{ K}$$

$$x \cdot 10 \text{ K} + 17 \text{ kgK} = x \cdot 55 \text{ K} + 11 \text{ kgK}$$

$$6 \text{ kgK} = x \cdot 45 \text{ K}$$

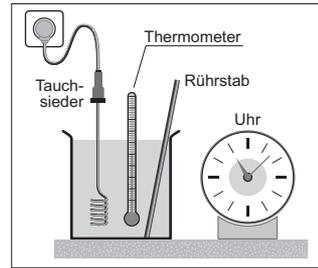
$$x \approx 0,133 \text{ kg}$$

Zusammenfassung

- Das **Erwärmungsgesetz** besagt, dass bei der Temperaturerhöhung eines Körpers die dafür notwendige zugeführte Energie proportional zur Masse des Körpers, zur Temperaturdifferenz und zur für das Material **spezifischen Wärmekapazität** ist.
- Treten zwei Körper unterschiedlicher Temperatur miteinander in Kontakt, wird innere Energie in Form von **Wärme** übertragen. Neben der Wärmezufuhr bzw. -abgabe kann die innere Energie eines Systems auch durch Verrichten mechanischer Arbeit verändert werden.
- Zwei Körper oder Substanzen, zwischen denen (lange genug) ein Austausch innerer Energie stattfindet, befinden sich ab einem gewissen Zeitpunkt im **thermischen Gleichgewicht**. Dies ist dann der Fall, wenn sie die gleiche Temperatur (**Mischtemperatur**) besitzen.

Aufgaben 16. In einem einfachen Versuch lassen sich Hypothesen rund um das Erwärmungsgesetz experimentell überprüfen:

Mit einem Tauchsieder kann Flüssigkeit in einem Gefäß erhitzt werden und dabei stets die Zeit sowie die Temperatur der Flüssigkeit gemessen werden. Außerdem können im Rahmen der Messgenauigkeiten folgende Annahmen gemacht werden:



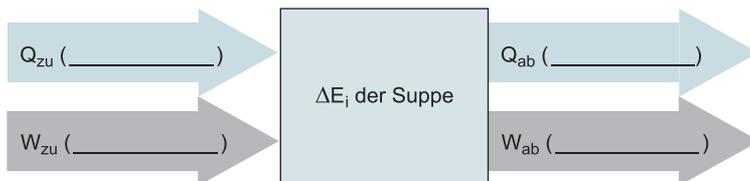
- Die Energie, die der Flüssigkeit mittels des Tauchsieders zugeführt wird, ist zeitlich konstant. Mit anderen Worten: Die zugeführte Energie ist proportional zur vergangenen Zeit.
- Die Energie, die während des Experiments an die Umgebung abgegeben wird, kann sehr gering gehalten werden und ist vernachlässigbar.

Erläutere jeweils eine Versuchsreihe, mit der die folgenden Hypothesen experimentell untersucht werden können.

- „Der Wert, um den sich die Temperatur einer bestimmten Flüssigkeit (1 kg) erhöht, ist proportional zur zugeführten Energie.“
- „Die Energie, die einer bestimmten Flüssigkeit zugeführt werden muss, um deren Temperatur um $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ zu erhöhen, ist proportional zur Masse der Flüssigkeit.“
- „Die Energie, die $0,5\text{ l}$ Flüssigkeit zugeführt werden muss, um deren Temperatur um $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ zu erhöhen, ist proportional zur spezifischen Wärmekapazität der Flüssigkeit.“
- „Wird Wasser eine bestimmte Menge an Energie zugeführt, so gilt: Je kleiner die Masse des Wassers, desto größer der Temperaturanstieg.“

- 17.** Beim Kochen einer Suppe steht der Topf auf der heißen Herdplatte, mit dem Kochlöffel werden die Zutaten im Topf umgerührt. Anschließend wird der Deckel aufgesetzt und weiter erhitzt. Durch die Überhitzung im Topf wird der Topfdeckel irgendwann nach oben gedrückt. Nachdem der Deckel abgenommen wird, kühlt die Suppe aufgrund des Kontaktes mit der Umgebungsluft leicht ab.

Die Abbildung zeigt das zu diesem Ablauf passende **Wärmeflussdiagramm**.



Ergänze die Begriffe „Herdplatte“, „Umgebung“, „Kochlöffel“ und „Deckel“ im Diagramm.

16. Vorbemerkung:

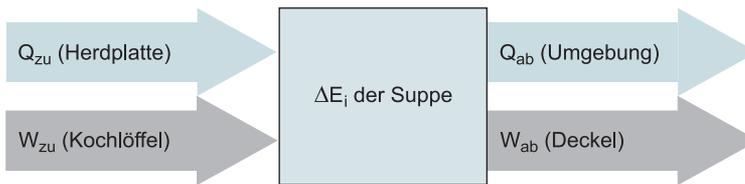
Soll der Zusammenhang zwischen zwei Größen experimentell untersucht werden, sollte eine der beiden Größen (die unabhängige Größe) schrittweise verändert werden und nach jeder Veränderung die andere (abhängige) Größe gemessen werden. Alle anderen Größen müssen währenddessen konstant gehalten werden.

- a) 1 kg einer Flüssigkeit (z. B. Wasser) wird in das Gefäß gefüllt und es wird die Anfangstemperatur gemessen. Dann wird der Flüssigkeit mittels des Tauchsieders konstant Energie zugeführt. In bestimmten Zeitabständen wird die Temperatur gemessen. Für jeden Messpunkt wird ein Wertepaar (vergangene Zeit, Temperaturerhöhung) festgehalten. Trägt man die Wertepaare als Punkte in ein Zeit-Temperaturerhöhung-Diagramm ein und ergibt sich dabei (annähernd) eine Ursprungsgerade, so lässt sich daraus auf eine direkte Proportionalität zwischen der Zeit und der Temperaturerhöhung schließen. Da die Zeit als proportional zur zugeführten Energie angenommen werden kann, kann in diesem Fall die Hypothese als bestätigt betrachtet werden.
- b) Eine bestimmte Menge (bzw. Masse) einer Flüssigkeit (z. B. 0,5 kg Wasser) wird so lange mit dem Tauchsieder erwärmt, bis die Temperatur um $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ gestiegen ist. Es wird die Zeit gemessen, die während des Erhitzungsvorgangs vergeht. Dann wird der Versuch mehrmals wiederholt, allerdings jeweils mit einer anderen Flüssigkeitsmenge (z. B. schrittweise Steigerung um je $0,2\text{ kg}$ Wasser). Ergeben die Wertepaare (Flüssigkeitsmenge, vergangene Zeit) eine Ursprungsgerade, kann die Hypothese (analog zu oben) wiederum als bestätigt betrachtet werden.
- c) $0,5\text{ kg}$ Wasser wird so lange mit dem Tauchsieder erwärmt, bis die Temperatur um $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ gestiegen ist. Es wird die Zeit gemessen, die während des Erhitzungsvorgangs vergeht. Dann wird der Versuch mehrmals wiederholt, allerdings jeweils mit einer anderen Flüssigkeit (z. B. Olivenöl, Ethanol, Terpentin) mit bekannter spezifischer Wärmekapazität. Ergeben die Wertepaare (spezifische Wärmekapazität, vergangene Zeit) eine Ursprungsgerade, kann die Hypothese (analog zu oben) wiederum als bestätigt betrachtet werden.
- d) Eine bestimmte Menge einer Flüssigkeit (z. B. $0,5\text{ kg}$ Wasser) wird eine bestimmte Zeit lang (z. B. 1 Minute) mit dem Tauchsieder erwärmt. Es werden Anfangs- und Endtemperatur gemessen, daraus wird der Temperaturanstieg berechnet. Dann wird der Versuch mehrmals wiederholt, allerdings jeweils mit einer anderen Flüssigkeitsmenge (z. B. schrittweise Steigerung um je $0,2\text{ kg}$ Wasser). Ergeben die Wertepaare (Flüssigkeitsmenge, Temperaturanstieg) eine Kurve, die fällt, kann die Hypothese (analog zu oben) wiederum als bestätigt betrachtet werden.

Anmerkung:

Tatsächlich sollte sich ein fallender Hyperbelast ergeben, der die indirekte Proportionalität der beiden Größen widerspiegelt.

17. Durch die Herdplatte wird der Suppe (mittels des Topfes) Wärme zugeführt, der Kochlöffel verrichtet mechanische Arbeit an der Suppe. Wenn der Topfdeckel nach oben gedrückt wird, wird Energie in Form von Arbeit abgegeben, zusätzlich wird auch Wärme an die Umgebung abgegeben:



18. Die Lehrerin hat den Begriff physikalisch falsch verwendet. Mit dem Alltagsbegriff „Wärme“ meinte sie die überhöhte Temperatur der Luft im Klassenzimmer, also einen Zustand. Wärme im physikalischen Sinne ist jedoch eine Prozessgröße; sie beschreibt also den Übergang von Energie.
19. Die Raumtemperatur wird steigen.

Begründung: Der Kühlschrank kühlt nicht den umgebenden Raum über die offene Tür! Er ist lediglich ein Wärmetauscher, der über ein Kühlmittel der Innenluft des Kühlschranks innere Energie entzieht und diese dann außerhalb über die Kühlrippen an der Rückseite wieder an die Raumluft abgibt. Zusätzlich wird für das Pumpen des Kühlmittels ein Motor angetrieben, der Energie benötigt und Wärme erzeugt. Insgesamt nimmt das Zimmer elektrische Energie über die Steckdose auf, diese muss dann als innere Energie in der Raumluft bleiben.

20. Die vom Kaltwasser aufgenommene und die vom Heißwasser abgegebene Energie sind gleich groß, also gilt:

$$\begin{aligned}
 x \cdot c_{\text{Wasser}} \cdot (36^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C}) &= 80 \text{ kg} \cdot c_{\text{Wasser}} \cdot (65^\circ\text{C} - 36^\circ\text{C}) \\
 x \cdot 21 \text{ K} &= 80 \text{ kg} \cdot 29 \text{ K} \\
 x &= \frac{80 \text{ kg} \cdot 29 \text{ K}}{21 \text{ K}} \approx 110 \text{ kg} \hat{=} 110 \ell
 \end{aligned}$$

Man muss also etwa 110 Liter Kaltwasser beimischen.



© **STARK Verlag**

www.stark-verlag.de
info@stark-verlag.de

Der Datenbestand der STARK Verlag GmbH ist urheberrechtlich international geschützt. Kein Teil dieser Daten darf ohne Zustimmung des Rechteinhabers in irgendeiner Form verwertet werden.

STARK