

Cornelsen Experimenta

Wärmelehre 2.0

Klassensatz *Temperatur und Kalorimetrie*



Mit QR Code®-
Unterstützung!

Prinzip eines digitalen Thermometers

Thermometer kalibrieren

Siedepunkt

Erwärmung des Wassers

Spezifische Wärmekapazität (Wasser, Metalle)

Schmelzwärme

Mischtemperatur

Newton'sches Abkühlungsgesetz

Cornelsen

Produktentwicklung: Elena Balafa, Oliver Laux

Gesamtgestaltung: Jacqueline Gliesche

cornelsen-experimenta.de

Dieses Werk enthält Vorschläge und Anleitungen für Untersuchungen und Experimente. Vor jedem Experiment sind mögliche Gefahrenquellen zu besprechen. Beim Experimentieren sind die Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht einzuhalten.

Die Webseiten Dritter, deren Internetadressen in dieser Handreichung angegeben sind, wurden vor Drucklegung sorgfältig geprüft. Cornelsen Experimenta übernimmt keine Gewähr für die Aktualität und den Inhalt dieser Seiten oder solcher, die mit ihnen verlinkt sind.

Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Jede Nutzung in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen bedarf der vorherigen schriftlichen Einwilligung von Cornelsen Experimenta. Hinweis zu §§ 60 a, 60 b UrhG: Weder das Werk noch seine Teile dürfen ohne eine solche Einwilligung an Schulen oder in Unterrichts- und Lehrmedien (§ 60 b Abs. 3 UrhG) vervielfältigt, insbesondere kopiert oder eingescannt, verbreitet oder in ein Netzwerk eingestellt oder sonst öffentlich zugänglich gemacht oder wiedergegeben werden. Dies gilt auch für Intranets von Schulen.

Wärmelehre 2.0

Klassensatz

Temperatur und Kalorimetrie

Bestellnummer 48750

Inhalt

Einräumplan / Einzelteilübersicht	5
Allgemeine Hinweise	6
Hinweise zu den Stationskarten	6
Hinweise und Sicherheitsregeln	7
Binnendifferenzierung mit QR-Codes	8

Stationen Versuchsbeschreibungen..... 10

STAT 01	Prinzip des digitalen Thermometers	10
STAT 02	Thermometer kalibrieren	11
STAT 03	Siedepunkt	12

Versuchsbeschreibungen 13

EXP 04	Erwärmung des Wassers	13
EXP 05	Spezifische Wärmekapazität von Wasser	15
EXP 06	Spezifische Wärmekapazität von Metallen	17
EXP 07	Messung der Schmelzwärme von Eis	19
EXP 08	Mischtemperatur	20
EXP 09	Experimentelle Übungen zu Mischtemperatur und Schmelzwärme	21
EXP 10	Abkühlenlassen – Newton'sches Abkühlungsgesetz	22

Calliope mini Versuchsbeschreibungen 24

CAL 11	Prinzip des digitalen Thermometers mit dem Calliope mini	24
CAL 12	Erwärmung des Wassers mit dem Calliope mini	26
CAL 13	Spezifische Wärmekapazität von Wasser mit dem Calliope mini	29

Bestellschein	31
---------------------	----

Editierbare Arbeitsblätter zu den Versuchen finden Sie auf unserer Webseite unter [cornelsen-experimenta.de](https://www.cornelsen-experimenta.de).

Präambel

Um die Schülerinnen und Schüler in die Themen „Temperatur und Kalorimetrie“ einzuführen, gibt es vielfältige Experimente. Die wichtigsten und lehrplanrelevanten Schüler-Experimente sind in diesem Produkt zusammengestellt. Dabei richtet sich paralleles Arbeiten und Arbeit an Stationen nach inhaltlichen Unterrichtseinheiten und dem vorliegenden didaktischen Konzept. Darüber hinaus berücksichtigt das Produktkonzept die experimentellen Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler, wie sie im Lehrplan für Physik aufgeführt und gefordert werden. Zusätzlich lassen sich einige Experimente mit dem Mikrocontroller kombinieren.

Die ersten drei Experimente dienen als Einstieg, zur Wiederholung und Vertiefung in das Thema Temperatur und Thermometer und eignen sich für sechs Gruppen an Stationen. Die Schülerinnen und Schüler führen jedes Experiment durch, entscheiden jedoch selbst die Reihenfolge der Experimente. Dafür gibt es die Stationskarten und ein Checkheft. Jede Stationskarte enthält den Arbeitsauftrag und eine Checkliste für die Durchführung des Experiments. Im Checkheft werden die Ergebnisse gesichert und das Verständnis über konkrete Fragestellungen überprüft. Das Checkheft kann als gebundenes Exemplar in unserem Onlineshop bestellt werden.

Die Experimente 4 bis 10 zu Temperatur und Kalorimetrie können von sechs Gruppen parallel erarbeitet werden. Dafür steht die Anleitung für Lehrkräfte zur Verfügung mit Versuchsbeschreibung, hilfreichen Hinweisen und Tipps sowie der Auswertung. Die Arbeitsblätter im Checkheft sind mit Hilfekästen und QR-Codes versehen, um eine Binnendifferenzierung zu erreichen.

Die letzten drei Experimente, die bereits im Produkt enthalten sind, ermöglichen es, physikalische Experimente mit dem Mikrocontroller Calliope mini und seinen Sensoren durchzuführen. Die passenden Arbeitsblätter sehen zusätzlich integrierte Aufgaben dazu vor. Sie können auch im Rahmen eines interdisziplinären Projekts verwendet werden, das sich auf den Informatik- und Physikunterricht bezieht, und stellen auch eine gute Möglichkeit zur Differenzierung dar.

CE-Konformitätserklärung

Hiermit wird bestätigt, dass das Produkt **Klassensatz Temperatur und Kalorimetrie** (Best.-Nr. 48750) den Anforderungen der Europäischen Norm **EN 50 081-1 (EMV)** entspricht.

Cornelsen Experimenta – Berlin, 10.09.2020



Nicolas Domann

Geschäftsführer

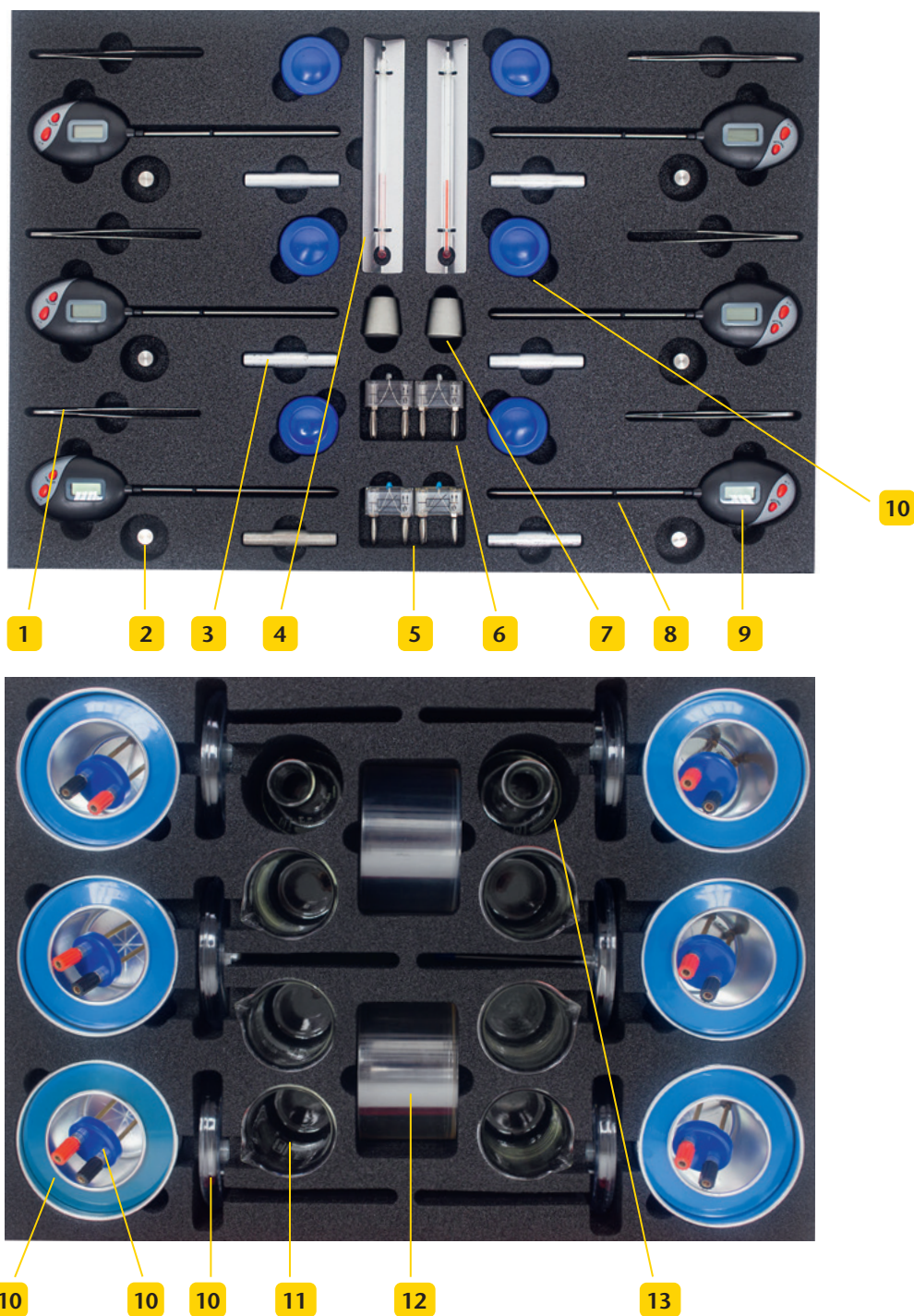


Abb.-Nr.	Anz.	Artikelbezeichnung	Best.-Nr.
1	6	Pinzette	17630
2	6	Metallzylinder 12 g Fe	412351
3	6	Metallzylinder 12 g Al	412352
4	2	Thermometer mit Metallwinkeln	12743
5	2	PTC-Widerstand	62848
6	2	NTC-Widerstand	62724
7	2	Stopfen	62103
8	6	O-Ring	48173
9	6	digitales Thermometer	48170

Abb.-Nr.	Anz.	Artikelbezeichnung	Best.-Nr.
10	6	Kalorimeter	48911
11	6	Becherglas HF 150 ml	603051
12	2	Kunststofftopf	131111
13	2	Erlenmeyerkolben	609501
-	1	Anleitung	487505
-	1	Einräumenplan	487503

Zusätzlich erforderlich: Heizplatte, Multimeter, Waage, Stromversorgungsgerät DC, Kabel, Spitzflasche, Bleistift

Zu den Begleitmaterialien

Das Begleitmaterial enthält die Handreichung, das Checkheft und die Stationskarten.

Die **Handreichung** besteht aus der Versuchsdurchführung, der Auswertung des Versuchs und den methodisch-didaktischen Hinweisen. Dort wird eine kurze Versuchsbeschreibung geschildert und beispielhaft ausgewertet. Bei den methodisch-didaktischen Hinweisen werden sowohl die wichtigsten experimentellen Kompetenzen des Versuchs als auch weiterführende Tipps und Ideen erfasst.

Das **Checkheft** besteht aus den zugehörigen Arbeitsblättern. Sie enthalten eine detaillierte Durchführung mit Hinweisen und Tipps für die Schüler und Schülerinnen sowie zahlreiche Fragen und Aufgaben für die Auswertung des Experiments.

Alle Schülermaterialien stehen **kostenlos als editierbare Word-Vorlagen** auf unserer Webseite unter cornelsen-experimenta.de zur Verfügung.

Hinweise zu den Stationskarten

Im Kopf der Stationskarte ist angegeben, zu welcher **Station** und **welchem Thema** die jeweilige Stationskarte gehört.

Auf der **Uhr** können Sie die für die Station geplante Zeit markieren.

Die **Symbole** zeigen an, welche Schutzkleidung die Schülerinnen und Schüler für das Experiment tragen müssen.

Auf den Stationskarten befinden sich kleine **Informations- und Durchführungsboxen**.

Ph Temperatur und Kalorimetrie
Thermometer kalibrieren

Station 2 Seite 1

Zeit: 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60

Wie kann man ein Thermometer kalibrieren?

Um Temperaturen miteinander vergleichen zu können, muss man sie mithilfe einer Temperaturskala messen. Die in Europa übliche Skala basiert auf den Fixpunkten des Wassers bei Normaldruck (1 atm) und wurde 1742 vom schwedischen Naturforscher Anders Celsius vorgeschlagen. Er konstruierte ein Thermometer mit einer hundertstufigen Temperaturskala. Dabei wählte er als Fixpunkte für seine Skala den Gefrierpunkt des Wassers, den er auf 100 °C einstellte, und den Siedepunkt von Wasser, den er auf 0 °C einstellte. Carl von Linné hat bei der von Celsius eingeführten Skala später die verwendeten Fixpunkte miteinander vertauscht, damit höhere Temperaturen auch einen größeren Zahlenwert haben. Diese Art der Skala wird heute noch genauso verwendet.

Checkliste

- ☐ Lies sorgfältig den Einstiegstext und probiere danach, ohne extra Hinweise das Thermometer zu kalibrieren.
- ☐ Bestimme mit deinem geeichten Thermometer die Raumtemperatur und notiere diese im **Check ✓ Heft**.
- ☐ Schütte in das Becherglas, das schon warmes Wasser enthält, ca. 3 Teelöffel Salz und rühre um. Nutze das schon geeichte Thermometer, um den Siedepunkt des salzigen Wassers mit dem Siedepunkt des Leitungswassers zu vergleichen. Kommentiere deine Ergebnisse im **Check ✓ Heft**.

Material

Thermometer mit Metallwinkel
Becherglas

Zusätzlich erforderlich:

Eis, Wasser, Salz
Heizplatte
Bleistift

Hinweise, wie das Thermometer kalibriert werden soll:

Kopiervorlage © Cornelsen Experimenta

Mit der **Checkliste** auf den Stationskarten lässt sich überprüfen, ob das Experiment vollständig durchgeführt und der Arbeitsauftrag vollumfänglich bearbeitet wurde.

Bei einigen Karten ist die **Durchführung** des Experiments beschrieben.

Illustrationen zeigen den Aufbau und die Durchführung des Experiments.

Ph Temperatur und Kalorimetrie
Thermometer kalibrieren

Station 2 Seite 2

Tauche das Thermometer ohne Skala in ein Becherglas mit einer Mischung aus Wasser und Eis. Warte, bis sich die Flüssigkeitssäule des Thermometers nicht mehr ändert. Markiere dann mit einem Bleistift den Stand der Flüssigkeitssäule mit 0 °C, während es noch in der Eis-Wasser-Mischung ist.

Beachte, dass sich die Metallhülse des Thermometers stark erhitzen kann. Nutze für das Anfassens immer Handschuhe.

Erhitze im zweiten Becherglas Wasser, bis es siedet. Tauche das Thermometer in das siedende Wasser. Warte wieder, bis die Flüssigkeitssäule des Thermometers sich nicht mehr ändert. Markiere den Stand der Flüssigkeitssäule bei 100 °C, während das Thermometer noch im Wasser ist.

Mess den Abstand zwischen 0 °C und 100 °C und unterteile danach in geeignete Abschnitte.

Kopiervorlage © Cornelsen Experimenta

Technische Hinweise zum Kalorimeter

Nach den technischen Eigenschaften des Kalorimeters darf die Stromstärke 2 A nicht überschreiten. Dadurch ergibt sich eine Spannung von höchstens 6 V. Die Volumenkapazität des Kalorimeters beträgt ca. 170 ml.

Die Wärmekapazität des Kalorimeters beträgt ca. $C_K = 80 \frac{\text{J}}{\text{K}}$ mit Heizelement und ca. $C_K = 74 \frac{\text{J}}{\text{K}}$ ohne Heizelement.

Digitales Thermometer

Eine Erklärung zur Funktionsweise und Verwendung des digitalen Thermometers wird als notwendig erachtet.

Bei diesem Thermometer befinden sich beide On/Off-Schalter sowie der °C/°F-Schalter auf der Rückseite.

Bei Messungen mit einem Thermometer sollte die Spitze ins Wasser getaucht sein, aber gleichzeitig den Boden des Behälters nicht berühren. Die Messunsicherheit des Thermometers beträgt $\pm 1^\circ\text{C}$.

Bei Verwendung des bereits montierten O-Rings kann das Thermometer richtig am Kalorimeter positioniert und stabilisiert werden.

Sicherheitshinweise / Risikoberatung

Spannungsquellen (nicht enthalten)

Nach der RiSU (Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht) dürfen als Spannungsquellen für Schülerversuche grundsätzlich (Ausnahmen siehe I – 11.5) *nur Geräte mit Schutzkleinspannung oder Funktionskleinspannung mit sicherer Trennung nach EN 61558-2-6* verwendet werden. Die Schutzkleinspannung ist von der normalen Netzspannung galvanisch getrennt, z. B. durch Sicherheitstransformatoren. Anstelle der o. g. Transformatoren bzw. Umformer dürfen auch Stromquellen mit dem gleichen Sicherheitsgrad, z. B. Akkumulatoren, verwendet werden.

Die Stromkreise der Schülerexperimente müssen immer von der Lehrkraft überprüft werden. Sie dürfen erst dann eingeschaltet werden, wenn sich die Lehrkraft vergewissert hat, dass keine Gefährdungen vorliegen. Nach der Beendigung der Experimente sind die Stromkreise der Schülerexperimente abzuschalten.

Heizplatte (nicht enthalten)

Die Bedienungsanleitung der Heizplatte ist immer zu beachten und es sind nur Geräte mit gültiger Prüfplakette (DGUV V3) zu benutzen. Die Geräte sollten nur bestimmungsgemäß verwendet werden. Es wird eine Sichtprüfung zur Vermeidung möglicher Schäden empfohlen. Das Kabel muss von der Heizplatte ferngehalten werden. Die Heizplatten sollen erst nach dem Abkühlen transportiert werden.

Sicherheitsregeln beim Experimentieren

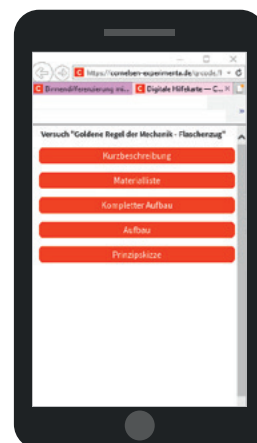
- Wenn es keine speziellen feuerfesten Tische gibt, muss immer eine Brandschutzunterlage unter dem Aufbau verwendet werden.
- Beim Experimentieren mit heißem Wasser und Dampf sollten immer Handschuhe, Kittel und Schutzbrille getragen werden. Kochende Flüssigkeiten können herausspritzen.
- Beim Erhitzen von Flüssigkeiten sollte die Öffnung eines Gefäßes nicht auf Personen gerichtet werden.
- Lange Haare sollten immer zusammengebunden und der Schmuck abgenommen werden.
- Die erhitzten Gefäße sind immer mit Hitzeschutzhandschuhen zu transportieren und die Metallstückchen mit geeigneten und hitzefesten Greifzangen.
- Druckdicht verschlossene Gefäße sollten nicht erwärmt werden. Zusammen mit der Heizplatte sollten keine Kunststoffgefäße verwendet werden.

Einleitung

Für die Binnendifferenzierung in Experimentierstunden benötigen Sie in der Regel Zusatzmaterialien, deren Erstellung sehr zeitaufwendig ist.

Deshalb haben wir ein Konzept für Smartphones und Tablets entwickelt, mit dem die Schülerinnen und Schüler auf von uns bereitgestellte Inhalte im Internet zugreifen können. Der Zugriff auf diese Materialien erfolgt dabei über QR-Codes. Diese lassen sich gemäß Ihren Wünschen in kürzester Zeit kostenlos im Internet generieren.

QR-Code® ist ein eingetragenes Warenzeichen der Denso Wave Incorporated.
www.denso-wave.com

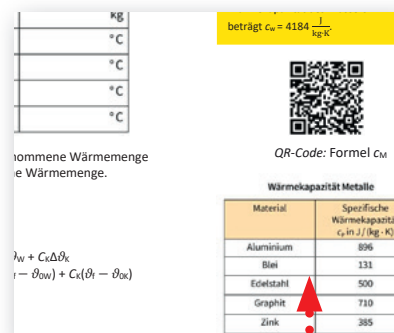


Im ersten Schritt kann ein QR-Code erzeugt werden, der auf einen oder mehrere von uns bereitgestellte Inhalte im Internet verweist. Dabei stehen Ihnen die folgenden Inhalte für jeden Versuch aus diesem Anleitsheft zur Verfügung:

- Kurzbeschreibung des Versuchs
- Materialliste

Zu einigen Experimenten bieten wir zusätzliche Hilfekarten z. B. mit:

- Formeln
- Aufbauhinweisen (in Form eines Fotos oder einer Animation)
- Prinzipskizzen (Versuchsschemata)



Der erzeugte QR-Code kann gespeichert und direkt auf einem der editierbaren Arbeitsblätter eingebunden werden.

Die Arbeitsblätter sind auf unserer Webseite cornelsen-experimenta.de zum Herunterladen verfügbar.

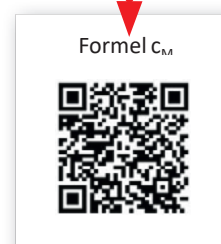
Alternativ kann ein QR-Code, der auf einen einzelnen Inhalt verweist, als Hilfecode ausgedruckt werden, um den Schülerinnen und Schülern bei Bedarf den Zugriff darauf zu ermöglichen.

Empfohlene Größe:
50 x 50 Pixel

Empfohlene Größe:
150 x 150 Pixel

Mit dieser Kombination aus editierbaren Arbeitsblättern und den optionalen Zusatzmaterialien stehen den Schülerinnen und Schülern immer die passenden Angebote zur Verfügung, die sie optimal unterstützen.

Auf den Kopiervorlagen in diesem Heft und auf den editierbaren Arbeitsblättern sind QR-Codes und die oben beschriebenen Inhalte bereits integriert.



Was ist ein QR-Code?

Der QR-Code ist ein Bild, in dem eine Information kodiert ist. Der rechts abgebildete Beispielscode enthält die Internetadresse unserer Homepage, also die Information „cornelsen-experimenta.de“.

Mobilgeräte wie Tablets oder Smartphones sind in der Lage, die Information dieses Bilds mit einem sogenannten Scanner zu lesen und die Adresse anschließend in einem Browser aufzurufen.



Welche technischen Voraussetzungen sind nötig, um den QR-Code zu lesen?

Ein Mobilgerät, das über eine Kamera verfügt und auf das Internet zugreifen kann, wird benötigt. Sind diese technischen Voraussetzungen erfüllt, kann das Gerät einen QR-Code lesen und verarbeiten. Der dazu nötige QR-Code-Scanner ist auf dem Smartphone oder Tablet oft bereits installiert. Ist das gewünschte Programm nicht auf dem Gerät vorinstalliert, sollte ein „QR-Scanner“ im App Store gesucht werden.

Wie generiere ich einen QR-Code?

Die Anleitung zum jeweiligen Versuch beinhaltet einen QR-Code, der bereits auf eine Vorauswahl der angebotenen Inhalte verweist. Darüber hinaus kann ein QR-Code folgendermaßen erzeugt werden:

1. Der QR-Code-Generator wird unter differenzieren-mit-qr-code.de aufgerufen.
2. Das gewünschte Experiment wird ausgewählt.
3. Aus der Liste werden die gewünschten Zusatzinformationen ausgesucht.
4. Die Größe des Codes in Pixel kann definiert werden.
5. Der Code wird durch Drücken der Taste „QR-Code generieren“ erstellt.
6. Der erzeugte QR-Code ist ein Bild, das ausgedruckt oder zur Weiterverwendung in andere Dokumente kopiert werden kann.

Das Hebelgesetz - Zweiseitiger Hebel

Optionen

	Kurzbeschreibung	☒
	Materialliste	☐
	Beispieldaten	☐
	Aufbau	☒
	Prinzpskizze	☒
	Kompletter Aufbau	☐

Optionen px

Wie kann ich den QR-Code im Unterricht einsetzen?

Als Hilfecode bietet sich ein QR-Code an, der auf einen einzelnen Inhalt wie das Video, die Hilfekarte oder das Foto des Aufbaus verweist. Dabei kann die Verwendung der Mobilgeräte am Arbeitsplatz vermieden werden, indem die Benutzung nur an einem speziellen Tisch oder Platz im Raum ermöglicht wird.

Hinweise für die 3 Stationen

Die ersten drei Versuche dieser Reihe sind als Stationen aufbereitet. Diese lassen sich gut als Einstieg, Wiederholung und Vertiefung in das Thema Temperatur und Thermometer nutzen. Um gleichzeitig die Experimente der drei Stationen mit sechs Gruppen durchführen zu können, muss jede davon zweimal aufgebaut werden. Die inhaltlichen Schwerpunkte der Stationen liegen im Arbeiten mit Diagrammen, dem Umgang mit Messungenauigkeit und Messskalen sowie dem Einfluss von Umgebungsgrößen.

Nach der Durchführung der drei Stationen werden eine Zusammenfassung der Schlussfolgerungen und eine Diskussion über den Zusammenhang der drei Experimente empfohlen.

Es ist zu gewährleisten, dass alle Schülerinnen und Schüler mit **den Sicherheitsregeln** des Labors vertraut und jeweils mit Handschuhen, Kittel und Schutzbrille ausgestattet sind. Die Lerngruppen müssen vor Beginn der Durchführung belehrt werden, insbesondere über den **Umgang mit siedenden Stoffen und Heizplatten**.

Station 01

Prinzip des digitalen Thermometers

Versuchsdurchführung

In der ersten Station wird das Prinzip eines Digitalthermometers erkundet. Dabei wird mit einem Multimeter der elektrische Widerstand eines NTC- und eines PTC-Bauelements bei Raumtemperatur und bei Erwärmung bestimmt. Anschließend wird die Temperatur aus einem Widerstands-Temperatur-Diagramm abgelesen und mit der mit dem Thermometer gemessenen verglichen.

Auswertung

Das Symbol von NTC und PTC unterscheidet sich im zweiten Pfeil. Der erste, nach oben gerichtete Pfeil steht für den Temperaturanstieg. Der zweite Pfeil symbolisiert die Änderung des elektrischen Widerstands. Da der elektrische Widerstand beim PTC (positiver Temperaturkoeffizient, engl. „Positive Temperature Coefficient“) mit steigender Temperatur ebenfalls steigt, ist der zweite Pfeil ebenfalls nach oben gerichtet. Beim NTC (negativer Temperaturkoeffizient, engl. „Negative Temperature Coefficient“) hingegen sinkt der elektrische Widerstand bei steigender Temperatur, weshalb hier der zweite Pfeil nach unten gerichtet ist.

Gleiches gilt für die beiden Diagramme. Das Diagramm mit dem Aufwärtstrend gehört zum PTC, während das mit dem Abwärtstrend zum NTC gehört.

Bei der Bestätigung des Raumtemperaturwerts durch die Diagramme ist es notwendig, die Toleranz der Thermistoren zu berücksichtigen. Beim NTC ist die Nennwiderstandstoleranz $\pm 5\%$ und beim PTC $\pm 25\%$. Die folgenden Beispielwerte für Raumtemperaturen mit PTC und NTC wurden aus den Diagrammen bestimmt. Die gleichzeitige Messung der Raumtemperatur mit dem digitalen Thermometer ergibt $23,8^\circ\text{C}$.

PTC $102\ \Omega \rightarrow 23^\circ\text{C}$

NTC $154\ \Omega \rightarrow 24^\circ\text{C}$

An der Spitze eines digitalen Fieberthermometers befindet sich ein Sensor, der über Kabel mit der Batterie und dem Monitor verbunden ist. Der Widerstand des Sensors verändert sich entsprechend seiner Temperatur. Das bedeutet, dass durch den abgeschlossenen Stromkreis verschiedene Stromstärke fließen, die einer bestimmten Temperatur zugeordnet werden können und demgemäß auf dem Display mithilfe eines Microchips angezeigt werden.

Methodisch-didaktische Hinweise

Mit diesem Experiment werden viele Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler gefördert, z. B. Versuche durchführen, beobachten und messen, Diagramme lesen und interpretieren sowie Schlüsse ziehen.

Ein digitales Thermometer ist für die Schüler und Schülerinnen eine „Blackbox“. Anhand dieses Experiments können sie mithilfe von Thermistoren verstehen, wie ein digitales Thermometer funktioniert.

Dieses Experiment stellt einen guten Alltagsbezug dar und dient dazu, die Analyse und Verwendung von Diagrammen im Physikunterricht vorzubereiten. Die Schülerinnen und Schüler lernen, die funktionalen Zusammenhänge zwischen physikalischen Größen zu erkennen und diese grafisch zu analysieren.

Stationskarte 1
zum Download



Station 02

Thermometer kalibrieren

Versuchsdurchführung

In der zweiten Station wird ein klassisches Flüssigkeitsthermometer durch Nutzen der Mischung aus Wasser und Eis sowie siedendem Wasser kalibriert. Beide Fixpunkte werden mit einem Bleistift (oder Filzstift) markiert, wenn sich der Stand der Flüssigkeitssäule nicht mehr ändert. Anschließend wird der Abstand in geeignete Abschnitte unterteilt. Dafür muss man diesen mit einem Lineal abmessen und danach in 100 geeignete Abschnitte gliedern. Auch in diesem Experiment wird die Raumtemperatur gemessen. Schließlich sollen die Schülerinnen und Schüler die Siedetemperatur des salzigen Wassers mit der Siedetemperatur des Leitungswassers vergleichen.

Auswertung

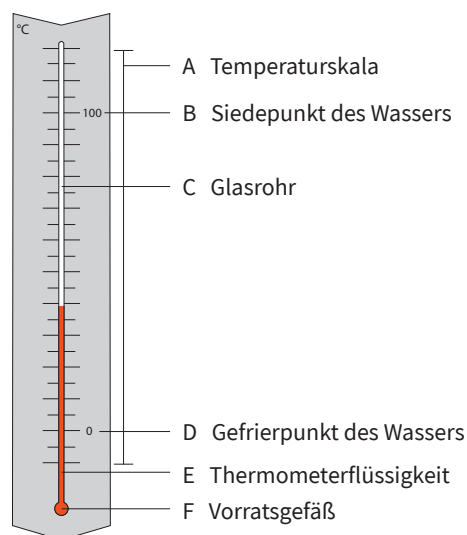
Das Prinzip, auf dem ein Flüssigkeitsthermometer basiert, ist die Wärmeausdehnung von Flüssigkeiten. Es empfiehlt sich, Messungenauigkeit des Flüssigkeitsthermometers zu thematisieren. Die üblichen Abweichungen ergeben sich aus:

- dem Ablesen der Skala aus einem schiefen **Blickwinkel**
- der Abhängigkeit von der geografischen Höhe und damit vom **Luftdruck**, der hauptsächlich die Siede-, aber auch die Schmelztemperaturen der Stoffe beeinflusst
- dem **Beurteilen** von Temperaturen, die zwischen zwei Skalenteilen liegen
- der **Präzision** der Markierungen in einem selbst kalibrierten Thermometer
- dem Verwenden von Leitungswasser statt destilliertem Wasser, das immer Verunreinigungen oder hinzugefügte Stoffe erhält, denn die Siede- und Schmelztemperaturen hängen von der **Substanz** ab

Salzwasser hat einen höheren Siedepunkt als Leitungswasser. Da die Salzmoleküle sich an die Wassermoleküle binden, müssen sich die Wassermoleküle noch schneller bewegen, um sich vom Salz loszureißen und Wasserdampf zu erzeugen. Nur dann wird das salzige Wasser zum Siedepunkt kommen. Das bedeutet, es braucht eine höhere Temperatur, bis es den Siedepunkt erreicht. Das beweist, dass bei hinzugefügten Stoffen zu einer Substanz sich der Siedepunkt derselben ändert.

Tipp:

Neben Salz können Sie dem Wasser Verunreinigungen oder Zusatzstoffe wie Alkohol hinzufügen, dadurch wird der Schmelzpunkt sinken.



Mögliche Antworten für den Lückentext sind: **Temperatur, Referenztemperaturen / Fixpunkte, Schmelzpunkt von Eis, Siedepunkt von Wasser, Temperaturskala.**

Methodisch-didaktische Hinweise

Für dieses Experiment werden für die Durchführung nicht alle detaillierten Anweisungen auf der Vorderseite der Stationskarte angegeben. Zunächst sind der Aufbau und die Aufgaben relativ leicht. Details wie das genaue Volumen des Wassers im Glas sind bewusst weggelassen worden – einerseits, weil sie für das Experiment unbedeutend sind, vor allem jedoch, weil es das Ziel ist, die Schülerinnen und Schüler zum Erwerb experimenteller Kompetenzen und zu kritischem Denken zu führen. Es wird empfohlen, den Einstiegstext lesen zu lassen, um ihnen zu ermöglichen, das Experiment durchzuführen.

Ihre Selbstständigkeit und insbesondere das Fällen ihrer eigenen Entscheidungen sowie die Übernahme von Verantwortung in Bezug auf das Planen, den Aufbau und das Abwickeln des Experiments stellen darüber hinaus ein Mittel zur Vertiefung ihrer Physikkenntnisse dar. Letztendlich dient ihre eigene Beurteilung (Zufriedenheit mit den Ergebnissen) ihrer Motivation.

Für diejenigen, die zusätzliche Hilfe wünschen oder brauchen, gibt es auf der Rückseite der Karte Anweisungen für die Binnendifferenzierung.

Stationskarte 2
zum Download



Station 03 Siedepunkt

Versuchsdurchführung

In der dritten Station werden die Bedeutung von Umgebungsgrößen und insbesondere der Druck bezüglich des Siedepunkts thematisiert. Dazu wird Wasser in einem Erlenmeyerkolben zum Sieden gebracht. Nachdem das Wasser richtig siedet, muss der Kolben von der Heizplatte entfernt und direkt fest mit einem Gummistopfen verschlossen werden. Danach lässt man den Kolben einige Minuten lang abkühlen, bis das Wasser nicht mehr siedet und die Temperatur etwas sinkt. Nach ca. 6 min ist die Temperatur des im Erlenmeyerkolben eingeschlossenen Wassers ca. 80 °C. Übergießt man den Kolben nun mit kaltem Wasser, sodass das Wasser die Oberfläche gleichmäßig benetzt, beginnt das Wasser im Kolben erneut zu siedet.

Auswertung

Das Sieden beginnt sich zu manifestieren, sobald der Dampfdruck der erhitzten Substanz dem vorhandenen Oberflächendruck entspricht. Der Siedepunkt des Wassers hängt in erheblichem Maße vom Umgebungsdruck ab. Übergießt man den Kolben mit kaltem Wasser, kühlt sich der verbliebene Wasserdampf im Kolben ab und zieht sich zusammen. Dadurch sinkt der Luftdruck im Erlenmeyerkolben. Wird der für die aktuelle Temperatur erforderliche Dampfdruck unterschritten, fängt das Wasser an zu siedet. Deshalb führt ein niedriger Umgebungsdruck zu einem niedrigeren Siedepunkt.

Im Schnellkochtopf steigt der Siedepunkt infolge des zunehmenden Dampfdrucks, deswegen ist die Kochzeit verkürzt. Die Siedetemperatur des Wassers ist darin ca. 120 °C. Bei einem normalen Luftdruck von 1013 hPa beträgt die Siedetemperatur des Wassers 100 °C. Auf dem Mount Everest siedet das Wasser bei ca. 70 °C, wohingegen es auf Meereshöhe bei ca. 100 °C siedet. Je größer die Höhe ist, desto niedriger ist der Luftdruck und desto niedriger ist der Siedepunkt des Wassers.

Bei der vierten Aufgabe sind wahr: c, d, e. Eine Flüssigkeit, wie auch Wasser, kann bei, über oder unter Raumtemperatur siedet, wenn sie einem geeigneten Oberflächendruck ausgesetzt wird. Beide Aussagen, die erste

und zweite, sind falsch. Wasser siedet bei 100 °C unter bestimmten Bedingungen. Mit steigendem Umgebungsdruck steigt der Siedepunkt genau wie in einem Schnellkochtopf.

Tipps:

Obwohl mithilfe dieses Experiments die Abhängigkeit des Siedepunkts vom Druck untersucht wird, ist es empfehlenswert, auch auf den Zusammenhang zwischen dem Schmelzpunkt und dem Druck Bezug zu nehmen. Der Schmelzpunkt hängt ebenfalls vom Druck ab, jedoch nur geringfügig. Genauer gesagt, um den Schmelzpunkt nur um 1 °C zu verändern, muss der Druck um ca. 100 bar abgewandelt werden. Das bedeutet, dass die Änderungen des atmosphärischen Drucks keinen erheblichen Einfluss auf den Schmelzpunkt haben, wohingegen sie den Siedepunkt signifikant beeinflussen können.

Methodisch-didaktische Hinweise

Eine Vorstellung der Schülerinnen und Schüler ist, dass das Wasser bei 100 °C siedet. Das wesentliche Ziel dieses Experiments besteht darin, diese Idee zu verwerfen und im Gegensatz zu verdeutlichen, dass Siedepunkt und Druck maßgeblich zusammenhängen. Der Versuchsaufbau ist daher so strukturiert, dass im Zuge dieses Experiments die bestehende Wahrnehmung neu festgelegt wird. Im Checkheft sollen die ersten beiden Fragen beantwortet werden, bevor das Experiment durchgeführt wird. Sie werden nicht nur verwendet, um die vorhandenen Ideen und Wahrnehmungen der Schülerinnen und Schüler zu diagnostizieren, sondern auch um das Denken der Jugendlichen während des Experiments in die bevorzugte Richtung zu lenken. Diese beiden Fragen wiederholen sich schließlich als Bewertungsfragen des Lernprozesses und insbesondere des Lernerfolgs durch dieses Experiment. Das vorgestellte Schülerexperiment zielt auf die korrekte Beobachtung und die begründete Interpretation der Ergebnisse ab.

Stationskarte 3
zum Download



Die Tabelle zeigt den Zusammenhang zwischen Druck und Siedepunkt:

$\vartheta_{\text{Siedepunkt}}$ in °C	150	120	100	97	90	80	70	50
p in hPa	4760	1985	1013	909	701	473	312	123

EXP 04**Erwärmung des Wassers**

In diesem Experiment wird Wasser so lange erwärmt, bis es einige Minuten siedet. Dabei geht es darum, den Temperaturverlauf durch ein Temperatur-Zeit-Diagramm darzustellen und zu erklären.

Versuchsdurchführung

Zu Beginn der Stunde sollte eine Unterweisung zur Verwendung der Heizplatte oder des Brenners und auf den richtigen Umgang mit siedendem Wasser und erwärmten Materialien vorgenommen werden.

Im Experiment wird zunächst kaltes Wasser in ein Becherglas gefüllt. Um die Durchführung des Experiments zu vereinfachen, empfiehlt es sich, Wasser mit Zimmertemperatur zu verwenden. Die standardmäßigen Heizplatten benötigen durchschnittlich ca. 2 min, um so vorgeheizt zu werden, dass eine konstante Wärmezufuhr über das gesamte Experiment gewährleistet wird. Dieses Zeitintervall sollte an die jeweils verwendete Heizplatte angepasst werden. Ist die Starttemperatur des Wassers bestimmt, wird das Becherglas auf die Heizplatte gestellt und fortan die Temperatur alle 30 s gemessen. Dabei ist darauf zu achten, dass das Thermometer während der Messungen tief genug im Wasser ist, ohne jedoch direkten Kontakt mit dem Becherglas zu haben, weil dann die Abweichung zu groß wird. Außerdem sollte vor jeder Messung das Wasser umgerührt werden.

Auswertung

In allen „Vermutungsdiagrammen“ steigt die Temperatur beim Erwärmen kontinuierlich an, weshalb es manchen Schülerinnen und Schülern schwerfallen könnte, eines davon auszuschließen und den tatsächlichen Verlauf des Experiments zu erklären.

Nach einiger Zeit erreicht das Wasser die Siedetemperatur. Wenn das Wasser siedet, steigt die Temperatur nicht mehr an, sondern bleibt konstant. Sie entspricht dann der Siedetemperatur des Wassers für den entsprechenden Luftdruck. Unter Normalbedingungen, also bei einem Luftdruck von 1031 hPa, beträgt die Siedetemperatur des Wassers 100 °C. Insofern ist das Diagramm C zu erwarten.

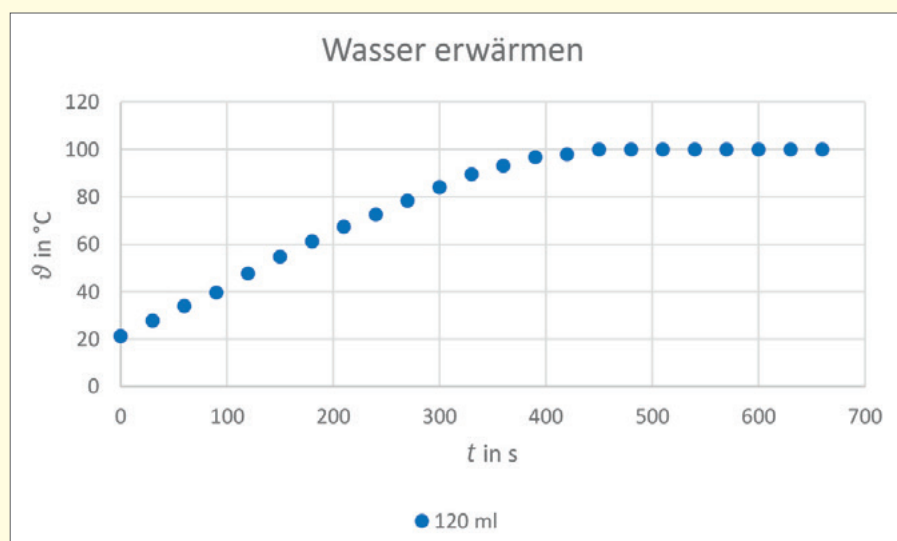
Dem Wasser wird während des gesamten Experiments kontinuierlich eine konstante Wärmemenge pro Zeiteinheit zugeführt.

Der Temperaturverlauf zeigt zwei Phasen: In der ersten Phase steigt die Wassertemperatur mit der Zeit stetig an und in der grafischen Darstellung ergibt sich eine ansteigende Gerade.

Damit gilt: $\frac{\Delta\vartheta}{\Delta t} = \text{konst.}$

Da Δt proportional zur aufgenommenen Wärme ist, ergibt sich, dass auch die aufgenommene Wärmemenge Q proportional zur Temperaturerhöhung $\Delta\vartheta$ ist. In der zweiten Phase bleibt die Temperatur während des Siedens konstant und entspricht dabei dem Siedepunkt des Wassers für den jeweiligen Luftdruck. Dies liegt daran, dass die zugeführte Energie beim Übergang von der flüssigen zur gasförmigen Phase haupt-

Die Messwerte für 120 ml Wasser führen zu dem folgenden Diagramm:



sächlich für das Lösen der zwischenmolekularen Bindungen benötigt wird. Abhängig vom Kenntnisstand der Schülerinnen und Schüler kann es hilfreich sein, wichtige Beobachtungen wie die „Bläschenbildung“ oder das „Sprudeln“ im Diagramm zu kennzeichnen.

Methodisch-didaktische Hinweise

Das Experiment bietet neben der Erkenntnisgewinnung auch die Möglichkeit, die Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler zu fördern, z. B. Hypothesen aufstellen, Versuche durchführen, Diagramme anfertigen, Schlussfolgerungen ziehen und Teamdiskussion durchführen.

Nach der Durchführung des Experiments wird ein geführtes Unterrichtsgespräch mit entsprechenden Fragen vorgeschlagen, um das Thema zu vertiefen. Die Fragen sollten dem Leistungsstand und der Klassenstufe angepasst werden. Wenn es gewünscht wird, dann können sie den editierbaren Arbeitsblättern hinzugefügt werden.

Mögliche Fragen:

- Was ist zu erwarten, wenn du den Versuch mit der halben Menge Wasser wiederholst?
- Überlege, ob und wie sich der Temperaturverlauf in deinem Experiment ändert, wenn dem Wasser die doppelte Wärmeleistung durch die Heizplatte zugeführt wird.
- Berechne die vom Wasser aufgenommene Wärme, bis die Siedetemperatur erreicht wird.

Tipps:

Vor der Durchführung sollte eine Vermutung zum Temperaturverlauf aufgestellt und begründet werden. Im Sinne einer Differenzierung können die vorgegebenen Diagramme sowie auch manche Hinweise zur Durchführung für leistungsstarke Schülerinnen und Schüler weggelassen werden.

Für eine tiefergehende Auseinandersetzung empfiehlt sich, die folgenden experimentellen Übungen nach dem ersten Experiment zur „Erwärmung des Wassers“ durchzuführen.

Auswertung der Übung

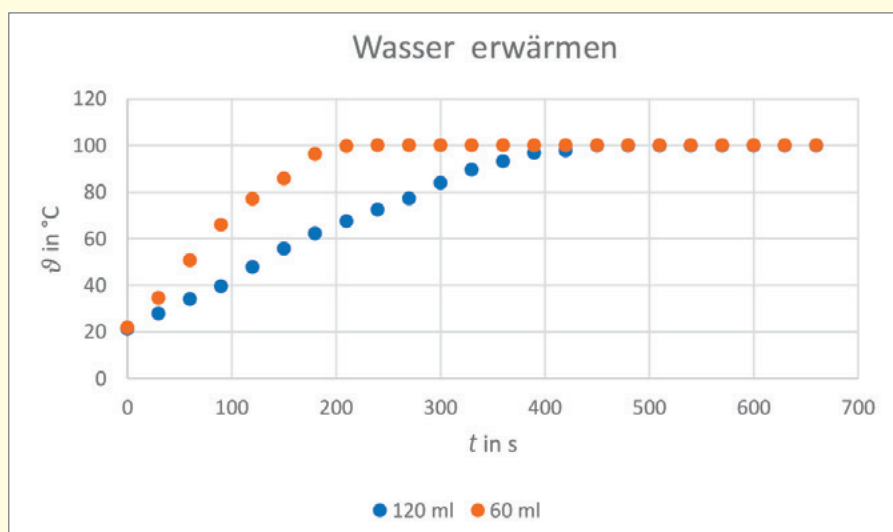
Die von einer Flüssigkeit der Masse m aufgenommene Wärme, die eine bestimmte Temperaturerhöhung $\Delta\vartheta$ verursacht, ist proportional zu ihrer Masse.

$$Q \sim m$$

Aus der Darstellung des Temperaturverlaufs kann man ableiten, dass für die Erwärmung der halben Wassermenge um die gleiche Temperaturdifferenz nur die halbe Zeit benötigt wird und daher auch nur die halbe Wärmemenge zugeführt werden muss.

Die Temperaturdifferenz einer Flüssigkeit der Masse m ist proportional zur aufgenommenen Wärmemenge, sofern sie nicht den Siedepunkt erreicht. Nimmt die vom Wasser der Masse m aufgenommene Leistung zu, dann nimmt auch die Temperaturdifferenz zu.

Die Messwerte für 120 ml und 60 ml Wasser führen zu dem folgenden Diagramm:



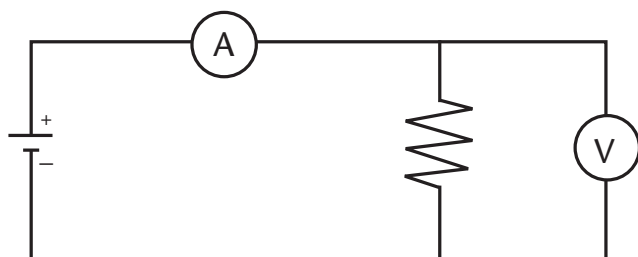
EXP 05

Spezifische Wärmekapazität von Wassers

Mit einem Kalorimeter wird die spezifische Wärmekapazität des Wassers bestimmt. Dabei wird die physikalische Bedeutung der spezifischen Wärmekapazität thematisiert.

Versuchsdurchführung

Zunächst wird das Kalorimeter mit ca. 150 ml Wasser befüllt. Es bietet sich an, vor Beginn der Messung etwas zu warten, damit das Kalorimeter und das Wasser Raumtemperatur annehmen können. Möchte man die elektrische Leistung des Aufbaus bestimmen, sollte die Messung spannungsrichtig erfolgen, da der Widerstand des Messgeräts gegenüber dem Widerstand des Kalorimeters hoch ist (siehe Schaltskizze). Entsprechend den technischen Eigenschaften des Kalorimeters beträgt die Betriebsspannung 6 V, wobei sichergestellt werden sollte, dass dieser Wert nicht überschritten wird. Die maximale Betriebsdauer beträgt 15 min.



Ist die Ausgangstemperatur bestimmt, beginnt die Zeitmessung mit dem Einschalten des Netzgeräts. Die Temperaturmessung sowie auch die Messungen der Spannung und der Stromstärke erfolgen in einem Zeitraum von 5 min. Durch eine Stoppuhr werden die Messwerte alle 60s aufgenommen. Um systematische Messfehler zu minimieren, sollte das Wasser vor jeder Temperaturmessung mit dem Rührer gut durchmischt werden und die Messspitze des Thermometers sollte genügend Abstand zur Heizspule haben.

Auswertung

Die spezifische Wärmekapazität des Wassers lässt sich aus dem Mittelwert der Resultate in Tabelle 2 berechnen. Es gilt der Energieerhaltungssatz, nach dem die zugeführte elektrische Energie der aufgenommenen Wärme entspricht.

$$E_{\text{el}} = Q_{\text{auf}}$$

Die elektrische Energie kann über die elektrische Leistung bestimmt werden. Da das Kalorimeter einen Teil der Wärme selbst aufnimmt, muss dies in der Gleichung berücksichtigt werden.

$$P \cdot t = Q_{\text{auf}}$$

$$P \cdot t = Q_{\text{W}} + Q_{\text{K}}$$

$$P \cdot t = m_{\text{W}} c_{\text{W}} \Delta T + C_{\text{K}} \Delta T \quad (1)$$

Stellt man diese Gleichung nach der spezifischen Wärmekapazität um und setzt die Beispielwerte ein, dann erhält man die spezifische Wärmekapazität von Wasser.

Die Wärmekapazität des Kalorimeters beträgt ca. $C_{\text{K}} = 80 \frac{\text{J}}{\text{K}}$ und die Masse des Wassers lag bei $m_{\text{W}} = 0,15 \text{ kg}$.

Tabelle 1

t in s	0	60	120	180	240	300
ϑ in °C	21,6	22,4	23,3	24,1	25	25,9
U in V	—	5,23	5,12	5,13	5,11	5,12
I in A	—	1,836	1,828	1,832	1,827	1,828

Tabelle 2

Δt in s	0 bis 60	60 bis 120	120 bis 180	180 bis 240	240 bis 300
ΔT in K	0,8	0,9	0,8	0,9	0,9
P in W	9,602	9,359	9,398	9,336	9,359
$P \cdot t$ in J	576,13	561,56	563,89	560,16	561,56
c_{W} in $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	4267,75	3626,37	4165,75	3616	3626,37

Der Mittelwert der spezifischen Wärmekapazität des Wassers, den wir in der Tabelle 2 berechnet haben, ist:

$$c_w = 3860,45 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Somit benötigt man laut Messung ca. 3,86 kJ, um 1 kg Wasser um 1 K zu erwärmen. Der berechnete Wert nähert sich zufriedenstellend dem Literaturwert für die Bedingungen des Experiments. Der Literaturwert der spezifischen Wärmekapazität des Wassers beträgt $4,186 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$.

Tipp:

Der QR-Code bezieht sich auf die Lösung der Gleichung. Bei weniger leistungsstarken Gruppen ist es möglich, bei den editierbaren Arbeitsblättern die Wärme des Kalorimeters Q_K aus der Gleichung zu entfernen.

Die in 5 min dem System zugeführte elektrische Energie beträgt:

$$E_{\text{el}} = P \cdot t$$

Wenn die entsprechenden Messwerte für die elektrische Energie in der 5-min-Zeitspanne (siehe Tabelle 2) summiert werden, ergibt sich: $E_{\text{el}} = 2823,3 \text{ J}$.

Die in 5 min vom Wasser aufgenommene Energie beträgt:

$$Q_w = m_w c_w \Delta T$$

Aus den Messwerten ergibt sich:

$$Q_w = 0,15 \text{ kg} \cdot 3860,45 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 4,3 \text{ K} = 2489,99 \text{ J}$$

Die zugeführte elektrische Energie kann also nicht vollständig in vom Wasser aufgenommene Wärmeenergie umgewandelt werden, weil ein Teil davon an das Kalorimeter und an die Umgebung abgegeben wird. Der Energieverlust in der Umgebung wäre sogar noch größer, wenn anstelle des Kalorimeters ein normales Becherglas verwendet würde.

Methodisch-didaktische Hinweise

Das angeleitete Schülerexperiment zur Wärmekapazität zielt auf die korrekte Beobachtung, Messung und Dokumentation, die sachgerechte Verwertung der aufgenommenen Daten und die begründete Interpretation der Ergebnisse ab.

Es ist legitim, Beispiele wie das vorgeschlagene zu nennen, um tiefer in das Thema einzusteigen. Aufgrund der guten Kühlmittleigenschaften von Wasser werden Wasser-Frostschutzmittel-Gemische in Verbrennungsmotoren wie Fahrzeugmotoren verwendet. Wenn Autokühler also eine Flüssigkeit mit geringerer spezifischer Wärmekapazität verwenden, dann steigt ihre Temperatur bei gleicher Wärmeaufnahme stärker an.

Zur Anwendung im Bereich der digitalen Bildung wird dieses Experiment als zusätzliche Option am Ende der Handreichung mit einem aufgebauten Mikrocontroller (Seite 26) angeboten. In diesem Fall ist es möglich, das Experiment in Form fächerübergreifenden Unterrichts zwischen IT-Programmierung und Physikkurs oder sogar als Unterrichtsprojekt durchzuführen.

EXP 06

Spezifische Wärmekapazität von Metallen

In diesem Experiment wird die spezifische Wärmekapazität zwei gleich schwerer Metallzylinder berechnet. Anhand der Tabelle zu den Wärmekapazitäten werden die beiden Materialien bestimmt.

Versuchsdurchführung

Zunächst müssen die Schülerinnen und Schüler darauf hingewiesen werden, dass sie während des Experiments immer Handschuhe tragen und die heißen Metallkörper stets mit der Pinzette transportieren müssen.

Das Kalorimeter wird mit Wasser befüllt. Dabei ist es wiederum sinnvoll, mit dem Versuch erst dann zu beginnen, wenn das Kalorimeter und das Wasser Raumtemperatur angenommen haben. Im Becherglas wird das Wasser zusammen mit dem Metallstück erhitzt. Die Wassermenge sollte so groß sein, dass das Metall vollständig von Wasser bedeckt ist. Wenn das Wasser ca. 2 min gesiedet hat, kann man davon ausgehen, dass das Metallstück die Siedetemperatur des Wassers angenommen hat. Das heiße Metallstück wird mit der Pinzette zügig in das Kalorimeter überführt und das Kalorimeter wird gut verschlossen. Anschließend wird das Wasser im Kalorimeter so lange gerührt, bis sich die Mischtemperatur eingestellt hat. Dabei ist zu beachten, dass das Thermometer während der Messung tief genug im Wasser sein sollte. Danach wird der Versuch mit dem zweiten Metallstück wiederholt und nach der Berechnung der beiden Wärmekapazitäten der Metallstücke können die beiden Materialien anhand der Tabelle ermittelt werden.

Auswertung

Wird das mit Wasser und dem Metallzylinder befüllte Kalorimeter als abgeschlossenes System betrachtet, dann entspricht nach dem Energieerhaltungssatz die vom Metallzylinder abgegebene Wärmemenge der vom Wasser und dem Kalorimeter aufgenommenen Wärmemenge.

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

$$-Q_M = Q_W + Q_K$$

$$-m_M c_M \Delta \vartheta_M = m_W c_W \Delta \vartheta_W + C_K \Delta \vartheta_K$$

$$-m_M c_M (\vartheta_f - \vartheta_{OM}) = m_W c_W (\vartheta_f - \vartheta_{OW}) + C_K (\vartheta_f - \vartheta_{OK})$$

Stellt man diese Gleichung nach der Wärmekapazität des Metallstücks um, erhält man:

$$c_M = \frac{m_W c_W (\vartheta_f - \vartheta_{OW}) + C_K (\vartheta_f - \vartheta_{OK})}{m_M (\vartheta_{OM} - \vartheta_f)}$$

Aus den Beispielmessungen ergibt sich für das Aluminiumstück:

Aluminium

$$m_W = 0,103 \text{ kg}$$

$$m_M = 0,012 \text{ kg}$$

$$\vartheta_{OW} = 23,3 \text{ °C}$$

$$\vartheta_{OK} = 23,3 \text{ °C}$$

$$\vartheta_{OM} = 100 \text{ °C}$$

$$\vartheta_f = 24,9 \text{ °C}$$

$$c_{Al} = 896,49 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Aus den Beispielmessungen ergibt sich für das Eisenstück:

Eisen

$$m_W = 0,12 \text{ kg}$$

$$m_M = 0,012 \text{ kg}$$

$$\vartheta_{OW} = 22,5 \text{ °C}$$

$$\vartheta_{OK} = 22,5 \text{ °C}$$

$$\vartheta_{OM} = 100 \text{ °C}$$

$$\vartheta_f = 23,3 \text{ °C}$$

$$c_{Fe} = 500,72 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Bei beiden Versuchen lässt sich die Art des Metalls gut bestimmen.

Die Wärmemenge, die 1 kg Aluminium bei einer Erwärmung um 1 K aufnimmt, beträgt 896 J.

2 kg Zinn geben bei einer Abkühlung von 25 °C auf 20 °C eine Wärmemenge von 2210 J ab.

Tipp:

Beide Metalle kann man neben ihrer spezifischen Wärmekapazität auch leicht durch ihr äußeres Erscheinungsbild unterscheiden. Da beide Metallkörper die gleiche Masse von 12 g besitzen, kann über die Bestimmung der Dichte das Ergebnis zusätzlich überprüft werden, wobei dann das Volumen der beiden Metallzylinder berechnet werden muss.

Methodisch-didaktische Hinweise

Das Experiment zielt auf die korrekte Messung, die Dokumentation, die sachgerechte Aufbereitung der aufgenommenen Daten und die begründete Interpretation der Ergebnisse im Vergleich zu den Werten der Tabelle ab.

Im Sinne einer Differenzierung kann der QR-Code für leistungsstarke Schülerinnen und Schüler weggelassen werden. Dabei ist es wichtig, auf fachsprachliche Unterscheidungen zu achten und insofern zwischen spezifischer Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit zu unterscheiden.

EXP 07**Messung der Schmelzwärme von Eis**

In diesem Experiment wird die spezifische Schmelzwärme von Eis gemessen. Bei der Auswertung wird die Bedeutung der spezifischen Schmelzwärme thematisiert.

Versuchsdurchführung

Das Kalorimeter wird mit etwa 100-150 ml Wasser befüllt. Es bietet sich an, vor Beginn der Messung etwas zu warten, damit das Kalorimeter und das Wasser Raumtemperatur annehmen. Anschließend werden ca. 10 bis 20 g Eis in das Kalorimeter gegeben. Das Eis wird aus dem Gefrierschrank entnommen und sollte 0 °C erreicht haben, wenn es zu schmelzen beginnt. Wenn das Eis eine niedrigere Anfangstemperatur als 0 °C hat, dann muss zusätzlich die Wärme berechnet werden, die zum Erwärmen auf 0 °C erforderlich ist. Die Mischung wird so lange verrührt, bis das Eis vollständig geschmolzen ist. Zu diesem Zeitpunkt wird die Mischtemperatur gemessen.

Auswertung

Das mit Wasser und dem Metallzylinder befüllte Kalorimeter kann annähernd als abgeschlossenes System betrachtet werden. Dann gilt der Energieerhaltungssatz.

Das bedeutet, die vom Eiswürfel aufgenommene Wärmemenge (sowohl die Wärmemenge, die für das Schmelzen des Eiswürfels, als auch die Wärmemenge, die für das anschließende Erwärmen des Wassers durch den Eiswürfel auf Mischtemperatur benötigt wird) entspricht der des bereits im Kalorimeter befindlichen Wassers und der vom Kalorimeter selbst abgegebenen Wärme.

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

$$-Q_W - Q_K = Q_{EW} + Q_S$$

$$-m_W c_W \Delta \vartheta_W - C_K \Delta \vartheta_K = m_E c_W \Delta \vartheta_E + m_E s_E$$

$$m_W c_W (\vartheta_W - \vartheta_M) + C_K (\vartheta_K - \vartheta_M) = m_E c_W (\vartheta_M - \vartheta_E) + m_E s_E$$

Wird die Formel zur spezifischen Schmelzwärme gelöst und die Werte aus der Messbox eingetragen, ergibt sich:

$$s_E = \frac{m_W c_W (\vartheta_W - \vartheta_M) + C_K (\vartheta_K - \vartheta_M) - m_E c_W (\vartheta_M - \vartheta_E)}{m_E}$$

Messbox

$$m_W = 0,12 \text{ kg}$$

$$m_E = 0,0125 \text{ kg}$$

$$\vartheta_W = \vartheta_K = 21,8 \text{ °C}$$

$$\vartheta_E = 0 \text{ °C}$$

$$\vartheta_M = 13,4 \text{ °C}$$

$$s_E = 331,06 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Der berechnete Wert nähert sich zufriedenstellend dem Literaturwert.

Bei der dritten Aufgabe treffen die ersten zwei Aussagen nicht zu, mögliche richtige Antworten sind:

- Um **ein Gramm** Eis zu schmelzen, benötigt man **333,5 J**.
- Die Temperatur, bei der ein Stoff schmilzt, wird **Schmelzpunkt** genannt.

Methodisch-didaktische Hinweise

Die wichtigsten experimentellen Kompetenzen, die die Schülerinnen und Schüler in diesem Versuch entwickeln, sind die korrekte Messung, die Dokumentation, die ordnungsgemäße Verarbeitung der aufgenommenen Daten und die begründete Interpretation der Ergebnisse.

Im Sinne einer Differenzierung kann der QR-Code für leistungsstarke Schülerinnen und Schüler weggelassen werden.

Dabei sollte auf gute fachsprachliche Begrifflichkeiten geachtet werden. Es ist zweckdienlich, zwischen Schmelzwärme und spezifischer Schmelzwärme zu unterscheiden. Neben der Schmelzwärme empfiehlt es sich, auch die Erstarrungswärme zu kommentieren, die sich zwar auf den umgekehrten Prozess bezieht, aber der gleichen Wärmemenge entspricht.

Nach dem Experiment 09 folgt die Übung „Wasser abkühlen“, die als Anwendung und Evaluierung zum Thema Schmelzwärme und Mischtemperatur vorge schlagen wird. Es wird jedoch empfohlen, vorher die Experimente 08 und 09 durchzuführen.

EXP 08

Mischtemperatur

In diesem Experiment wird unter Verwendung des Kalorimeters die gemessene Mischtemperatur mit der theoretisch berechneten Temperatur verglichen.

Versuchsdurchführung

Zuerst wird Wasser bei Raumtemperatur in einem Kalorimeter bereitgestellt, nachdem seine Masse und Anfangstemperatur gemessen wurden. Anschließend wird heißes Wasser in ein Becherglas gegeben. Die Masse des heißen Wassers und seine Anfangstemperatur werden bestimmt. Wenn das heiße Wasser direkt nach der Temperaturbestimmung in das Kalorimeter gefüllt wird, kann der Energieverlust vernachlässigt werden, da er zu gering ist. Dann wird das heiße Wasser vom Becherglas in das Kalorimeter gegeben und die Mischung wird kurz verrührt, bis sich die Mischtemperatur eingestellt hat.

Tipp:

Es wird empfohlen, das Kalorimeter anfangs mit Wasser von Raumtemperatur zu füllen. Dann muss nicht lange gewartet werden, bis ein thermisches Gleichgewicht zwischen dem Kalorimeter und dem Wasser erreicht wird.

Die Abweichungen sind geringer, wenn das Kalorimeter zuerst mit dem Wasser von Raumtemperatur gefüllt und danach das heiße Wasser hinzugefügt wird und nicht umgekehrt.

Außerdem ergeben sich dann keine Unklarheiten, z. B.: Wie lange muss man am Anfang warten, bis ein thermisches Gleichgewicht zwischen dem warmen Wasser und dem Kalorimeter erreicht wird? Wann soll das kalte Wasser in das Kalorimeter gefüllt werden?

Auswertung

Das mit kaltem und warmem Wasser befüllte Kalorimeter kann annähernd als abgeschlossenes System betrachtet werden. Nach dem Energieerhaltungssatz entspricht die vom heißen Wasser abgegebene Wärmemenge der vom bereits im Kalorimeter befindlichen Wasser und dem Kalorimeter selbst aufgenommenen Wärmemenge.

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

$$-Q_2 = Q_1 + Q_K$$

$$-m_2 c_W (\vartheta_M - \vartheta_2) = m_1 c_W (\vartheta_M - \vartheta_1) + C_K (\vartheta_M - \vartheta_1)$$

$$m_2 c_W (\vartheta_2 - \vartheta_M) = m_1 c_W (\vartheta_M - \vartheta_1) + C_K (\vartheta_M - \vartheta_1)$$

$$\vartheta_M = \frac{m_1 c_W \vartheta_1 + m_2 c_W \vartheta_2 + C_K \vartheta_1}{m_1 c_W + m_2 c_W + C_K}$$

Wenn man die Werte aus der Messbox in die Formel für die Mischtemperatur einsetzt, kommt man zu folgenden Ergebnissen:

Messbox

$$m_1 = 0,1 \text{ kg}$$

$$m_2 = 0,05 \text{ kg}$$

$$\vartheta_1 = 21,6^\circ\text{C}$$

$$\vartheta_2 = 52,7^\circ\text{C}$$

Für die Mischtemperatur wurde experimentell mit dem digitalen Thermometer der Wert von $31,2^\circ\text{C}$ gemessen. Der berechnete Wert nähert sich zufriedenstellend dem des Thermometers. Die Messunsicherheit von $\pm 1^\circ\text{C}$ muss bei der Verwendung des Thermometers immer berücksichtigt werden.

$$\vartheta_M = 30,9^\circ\text{C}$$

Methodisch-didaktische Hinweise

Dieses Schülerexperiment zur Mischtemperatur zielt auf die korrekte Messung, die sachgerechte Verwertung der aufgenommenen Daten und die begründete Interpretation der Ergebnisse ab.

Im Sinne einer Differenzierung kann der QR-Code für leistungsstarke Schülerinnen und Schüler weggelassen werden.

Zur weiteren Vertiefung wird eine Erklärung der Wärmeübertragung und insbesondere der Konvektion bei Flüssigkeiten auf der Teilchenebene empfohlen.

EXP 09

Experimentelle Übungen zu Mischtemperatur und Schmelzwärme

In der ersten Übung wird in einem Kalorimeter zweimal die gleiche Wassermenge mit der gleichen Anfangstemperatur, einmal mit Eis und einmal mit Wasser, abgekühlt. Sowohl das Eis als auch das kalte Wasser sollten für den Versuch jeweils 0 °C betragen. Die Resultate werden verglichen und diskutiert. In dem Wettbewerb werden die Schüler aufgefordert, die Mischung auf eine bestimmte Temperatur zu bringen. Dies erfordert Messungen und Berechnungen.

Methodisch-didaktische Hinweise

Diese beiden experimentellen Übungen unterscheiden sich in ihrer Struktur von den anderen Experimenten der Handreichung. Sie werden für eine Evaluierungsphase des Unterrichts aufgebaut und vorgeschlagen. Hierfür sollten die Schülerinnen und Schüler die Themen Schmelzwärme und Mischtemperatur kennen und am besten die Experimente 07 und 08 zu diesen Themen schon durchgeführt haben. Die experimentellen Kompetenzen der Jugendlichen spielen eine zentrale Rolle für beide Übungen. Sie sollten selbst die Experimente planen, korrekte Messungen vornehmen und die aufgenommenen Daten sachgerecht verwenden. Zusätzlich werden durch Partnerarbeit und vielmehr noch bei der Wettbewerbsübung auch soziale Kompetenzen gefördert.

Eine Vertiefung durch experimentelle Übungen macht Spaß und ist eine gute Gelegenheit, die Schülerinnen und Schüler auf attraktive und motivierende Weise zu unterrichten und dabei ihre kognitiven und experimentellen Fähigkeiten zu fördern.

Die Übungen werden jedoch als eine Evaluierung des bereits erlernten Wissens angeboten, damit die Lehrkraft überprüfen kann, ob das Lernziel erreicht wurde.

Auswertung Übung „Wasser abkühlen“

Es wird empfohlen, das Experiment im Kalorimeter durchzuführen, um möglichst genaue Ergebnisse zu erzielen. Für die Vorbereitung des Experiments ist ein Krug mit Wasser und Eiswürfeln erforderlich, sodass Wasser und Eis eine Temperatur von 0 °C haben. Bevor das Eis gewogen und in das Kalorimeter gegeben wird, sollte es mit saugfähigem Papier abgewischt werden, um Anteile von Schmelzwasser aus Eis zu entfernen. Wenn 80 g Wasser bei 40 °C mit 20 g Eis bei 0 °C gemischt und abgekühlt werden, dann ergibt sich eine Mischtemperatur von ca. 19,2 °C.

Wenn 80 g Wasser bei 40 °C mit 20 g Wasser von 0 °C gemischt und abgekühlt werden, dann ergibt sich eine Mischtemperatur von ca. 32,1 °C.

Auswertung Wettbewerb „Mischtemperatur“

Bei dieser Übung soll Wasser bei Raumtemperatur, das sich bereits im Kalorimeter befindet, auf eine bestimmte Mischtemperatur gebracht werden. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, dies zu erreichen. Es sollten jedoch jeweils die bekannten Formeln zur Berechnung von Temperaturen und Mengen verwendet werden, um möglichst schnell die besten Ergebnisse erzielen zu können.

Für eine durchschnittliche Lerngruppe wird empfohlen, die Masse des Wassers bei Raumtemperatur m_R anzugeben. Für eine mögliche Binnendifferenzierung könnte man m_R bei leistungsstarken Schülerinnen und Schülern weggelassen, während man bei weniger leistungsstarken m_H und ϑ_H zusätzlich angeben könnte. Es ist zu beachten, dass die Volumenkapazität des Kalorimeters 170 ml beträgt.

Wenn man das gefüllte Kalorimeter angenähert als abgeschlossenes System versteht, dann entspricht nach dem Energieerhaltungssatz die abgegebene der aufgenommenen Wärmemenge:

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

$$-Q_H = Q_R + Q_K$$

$$-m_H c_W \Delta \vartheta' = m_R c_W \Delta \vartheta + C_K \Delta \vartheta$$

$$-m_H c_W (\vartheta_M - \vartheta_H) = m_R c_W (\vartheta_M - \vartheta_R) + C_K (\vartheta_M - \vartheta_R)$$

Stellt man diese Gleichung nach der Masse des heißen Wassers um und setzt die Beispielwerte aus der Messbox ein, dann erhält man die Masse des heißen Wassers.

$$m_H = \frac{m_R c_W (\vartheta_M - \vartheta_R) + C_K (\vartheta_M - \vartheta_R)}{c_W (\vartheta_H - \vartheta_M)}$$

$$m_H = 0,035 \text{ kg}$$

Messbox mit Beispielwerten

$$\vartheta_H = 52 \text{ °C}$$

$$\vartheta_R = 22,1 \text{ °C}$$

$$m_H = \text{_____ kg}$$

$$m_R = 0,08 \text{ kg}$$

$$\text{Zu erreichende Mischtemperatur: } \vartheta_M = 30 \text{ °C}$$

Nach dem Einfüllen von 0,035 kg heißen Wassers von 52 °C in das Kalorimeter wurde die Mischtemperatur unter Verwendung des digitalen Thermometers mit 29,5 °C bestimmt.

EXP 10

Abkühlenlassen – Newton'sches Abkühlungsgesetz

In diesem Versuch wird der Temperaturverlauf bei Abkühlung untersucht. Dabei soll das Temperatur-Zeit-Diagramm erstellt und erklärt werden.

Versuchsdurchführung

Zu Beginn der Stunde sollte der Umgang mit siedendem Wasser und heißen Materialien unbedingt besprochen werden. Sobald die Vermutungsfrage beantwortet ist, können die Schülerinnen und Schüler mit der Versuchsdurchführung beginnen.

Zunächst wird heißes Wasser über 80 °C in ein Becherglas gefüllt. Ist die Starttemperatur bestimmt, wird die Temperatur alle 3 min gemessen. Dabei ist darauf zu achten, dass das Thermometer während der Messungen tief genug im Wasser ist (ca. 2 cm), ohne jedoch direkten Kontakt mit dem Becherglas zu haben.

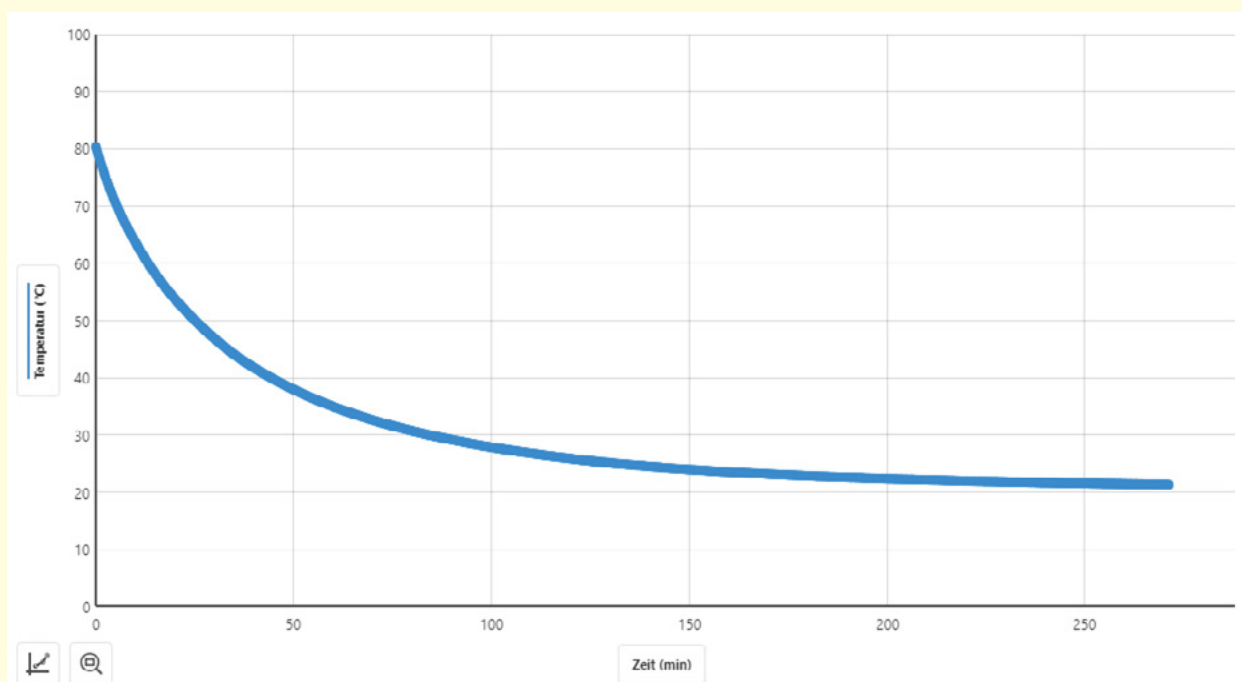
Auswertung

Die drei „Vermutungsdiagramme“ weisen einen Abwärtstrend auf. Weil die Temperatur beim Abkühlen sinkt, ist es für die meisten Schülerinnen und Schüler nicht so einfach, eines davon auszuschließen. Nach einer bestimmten Zeit erreicht das Wasser Raumtemperatur und danach fällt die Temperatur nicht weiter ab. Daher ist das folgende Diagramm zu erwarten.

Messungen, die mit dem **Vernier-Sensor** für 120 ml Wasser über 115 min gesammelt wurden:

t in min	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33
θ in °C	80,2	73,9	68,9	64,9	61,3	58,2	55,4	53	50,7	48,7	46,9	45,1
t in min	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69
θ in °C	43,6	42,2	40,9	39,7	38,6	37,6	36,7	35,8	34,9	34,2	33,5	32,8
t in min	72	75	78	91	94	97	100	103	106	109	112	115
θ in °C	32,2	31,6	31,1	30,5	30	29,6	29,2	28,8	28,4	28	27,6	27,3

Diagramm mit **Vernier-Sensor** für 120 ml Wasser über 270 min (4 Abtastungen/min):



Beim Abkühlen kommt es zu einer exponentiellen Abnahme der Temperatur in den Grenzen zwischen der Anfangs- und der Raumtemperatur (siehe Diagramm auf Seite 22). Der höchstmögliche Wert ist der Siedepunkt des Wassers und der niedrigste die Raumtemperatur.

Am Anfang fällt die Wassertemperatur relativ zügig ab. Je größer die Temperaturdifferenz zwischen dem Wasser und seiner Umgebung ist, umso größer ist der Wärmestrom vom Wasser zur Umgebung und umso schneller kühlt das Wasser auch ab.

Nach einiger Zeit wird die Temperaturdifferenz zwischen Wasser und Umgebung geringer, dann erfolgt der Wärmestrom vom Wasser in die Umgebung langsamer. Somit wird das Wasser auch langsamer abkühlen, bis es die Umgebungstemperatur erreicht.

Wenn Wasser unter einer konstanten Wärmemenge pro Zeiteinheit erwärmt wird, steigt die Wassertemperatur im Laufe der Zeit stetig an. Dies führt zu einem linearen Temperaturverlauf, bis das Wasser zu sieden beginnt. Während des Siedens bleibt die Wassertemperatur konstant und entspricht genau der Siedetemperatur des Wassers für den jeweiligen Luftdruck.

Mögliche Faktoren, die den Temperaturverlauf beim Abkühlen beeinflussen können, sind der Temperaturunterschied zwischen der Anfangs- und der Umge-

bungstemperatur sowie das Material, aus dem der Becher besteht. Auch die Form des Bechers und das Vorhandensein eines Deckels spielen eine Rolle, ebenso wie das Umgebungsmaterial usw.

Methodisch-didaktische Hinweise

Das Experiment bietet die Möglichkeit, die Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler zu fördern, z. B. Vermutungen aufstellen, Versuche durchführen, Diagramme anfertigen, Schlussfolgerungen ziehen und darüber Teamdiskussionen anzuregen.

Vor der Durchführung soll eine Vermutung über den Temperaturverlauf angestellt und begründet werden. Für eine mögliche Differenzierung könnten bei leistungsstarken Schülerinnen und Schülern die vorgegebenen Diagramme und auch manche Hinweise für die Durchführung weggelassen werden.

Da das Experiment lange dauert, wird empfohlen, die Messungen während der Unterrichtsstunde mit Sensoren durchzuführen und danach die Arbeitsblätter und die fertigen Sensoren-Messungen den Schülerinnen und Schülern für die Auswertung zu geben. Die Arbeitsblätter könnten sogar als Hausaufgabe verwendet werden, da die Klasse das Experiment schon beobachtet hat.

CAL 11**Prinzip des digitalen Thermometers mit dem Calliope mini**

In diesem Experiment wird ein digitales Thermometer mit der Hilfe von Calliope mini hergestellt und sein Funktionsprinzip erkundet. Darüber hinaus kann das Experiment als Einstieg, Wiederholung oder Vertiefung zum Thema „Temperatur und Thermometer“ verwendet werden.

Versuchsdurchführung

Zunächst wird empfohlen, den Schülerinnen und Schülern genügend Zeit zu geben, um die Versuchsanleitung zu lesen, bevor sie mit dem Code beginnen. Sobald der Code und der Aufbau von der Lehrkraft bestätigt wurden, kann mit dem Experiment begonnen werden.

Der elektrische Widerstand eines NTC-Bauelements wird bei Raumtemperatur und bei Erwärmung bestimmt. Danach wird die Temperatur aus dem Widerstands-Temperatur-Diagramm abgelesen und mit der mit einem Thermometer gemessenen Temperatur verglichen. Abschließend wird der Versuchsaufbau mit einem digitalen Thermometer verglichen und seine Funktionsweise beschrieben.

Auswertung

Das Symbol für den NTC besteht aus zwei Pfeilen. Der erste Pfeil ist nach oben gerichtet und steht für den Temperaturanstieg. Der zweite Pfeil symbolisiert die Änderung des elektrischen Widerstands. Da der elektrische Widerstand beim NTC (negativer Temperatur-

koeffizient, engl. „Negative Temperature Coefficient“) mit steigender Temperatur sinkt, ist der zweite Pfeil nach unten gerichtet.

Zur Bestätigung des Werts der Raumtemperatur durch das Diagramm ist es notwendig, die Toleranz des Thermistors zu berücksichtigen. Bei einem NTC beträgt die Toleranz für den Nennwiderstand $\pm 5\%$. Der folgende Messwert für die Raumtemperatur mit dem NTC wurde aus dem Diagramm bestimmt. Die gleichzeitige Messung der Raumtemperatur mit dem digitalen Thermometer ergibt einen Wert von $23,8\text{ }^{\circ}\text{C}$.

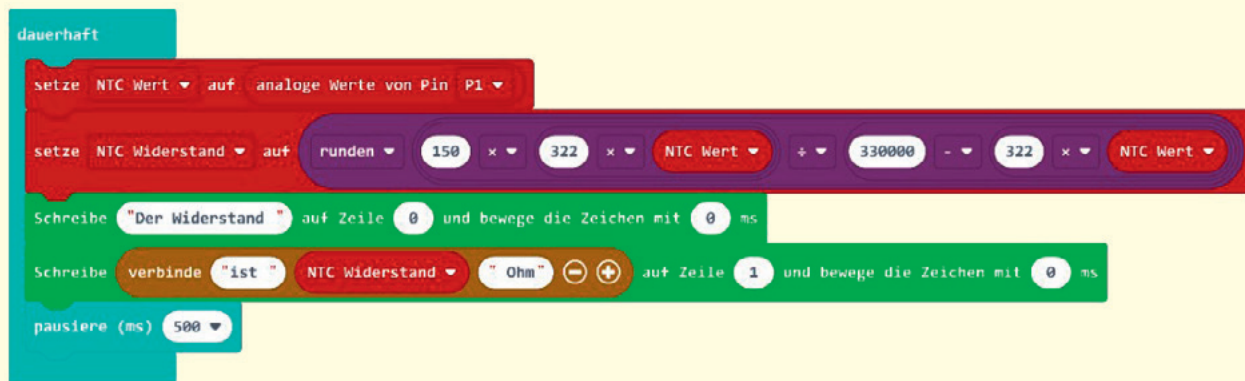
$$\text{NTC} \quad 154\ \Omega \rightarrow 24\text{ }^{\circ}\text{C}$$

An der Spitze eines digitalen Fieberthermometers befindet sich ein Sensor, der über das Kabel mit der Batterie und dem Monitor verbunden ist. Der Widerstand des Sensors verändert sich entsprechend seiner Temperatur. Dadurch laufen durch den abgeschlossenen Stromkreis verschiedene Stromstärken, die zu einer bestimmten Temperatur gehören und dann auf dem Display mithilfe eines Microchips angezeigt werden können.

Der Mikrocontroller wird verwendet, damit auf dem Grove-Display der aktuelle Widerstand des NTC abgelesen werden kann. Zum Verständnis ist es nötig, vorab die Code-Box und die Hinweisbox für NTC und Spannungsteiler zu lesen.

Vor der Verwendung müssen die Schülerinnen und Schüler über die technischen Daten des Displays informiert werden.

Eine mögliche Lösung für den Code mit dem MakeCode-Editor ist die folgende:

**Display Technische Daten**

Displayaufbau: 16 Zeichen * 2 Zeilen
Display Mode: STN
On board MCU

I2C-bus-Interface
Unterstützt englische und japanische Schriftarten
LCD ist mit 3,3 V und 5 V kompatibel

Methodisch-didaktische Hinweise

Mit diesem Experiment werden die Lernkompetenzen sowohl in Physik als auch in Informatik gefördert. Hierzu gehören: Versuchsdurchführung, Lösen komplexer Aufgaben, Konzeptentwicklung für den Code, Beobachten und Messen, Diagramme lesen und interpretieren sowie Schlussfolgerungen ziehen.

Ein digitales Thermometer ist für die Schüler und Schülerinnen eine „Blackbox“. Mit Verwendung der Mikrocontroller wird in diesem Experiment ein digitales Thermometer gebaut und sein Funktionsprinzip erklärt.

Dieses Experiment dient neben dem Bezug auf eine bekannte Anwendung im Alltag auch dazu, die Möglichkeiten der Analyse und der Verwendung von Diagrammen im Physikunterricht vorzubereiten. Die Schülerinnen und Schüler können den funktionalen Zusammenhang zwischen physikalischen Größen erkennen und ihn grafisch analysieren.

Das Experiment könnte im Rahmen eines interdisziplinären Projekts in Bezug auf den Informatik- und den Physikunterricht durchgeführt werden. Es bezieht sich auf den MINT-Fachbereich, weil es Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft und Technik kombiniert. Somit können die Argumentationsfähigkeit und die Kreativität der Schülerinnen und Schüler gefördert und gleichzeitig ihre Kompetenzen im Experimentieren und Programmieren erweitert werden.

Eine mögliche Lösung für den QR-Code steht Ihnen zusätzlich im QR-Code Generator auf unserer Website zur Verfügung. Der QR-Code kann daher auf Wunsch als Lösung oder zusätzliche Hilfe gedruckt und verteilt werden.

Grundkenntnisse zu elektrischen Stromkreisen und zur Programmierung mit einem Mikrocontroller sind erforderlich.

CAL 12*Erwärmung des Wassers mit dem Calliope mini*

In diesem Experiment wird Wasser so lange erwärmt, bis es einige Minuten siedet. Dabei geht es darum, den Temperaturverlauf durch ein Temperatur-Zeit-Diagramm darzustellen und zu erklären.

Versuchsdurchführung

Zu Beginn der Stunde sollte auf die Verwendung der Heizplatte oder des Brenners sowie auf den richtigen Umgang mit siedendem Wasser und erwärmten Materialien eingegangen werden.

Im Experiment wird zunächst kaltes Wasser in ein Becherglas gefüllt. Um die Durchführung des Experiments zu vereinfachen, empfiehlt es sich, Wasser mit Zimmertemperatur zu verwenden. Die standardmäßigen Heizplatten benötigen etwa 2 min, um so vorgeheizt zu werden, dass eine konstante Wärmezufuhr über das gesamte Experiment hinweg gewährleistet wird. Dieses Zeitintervall sollte an die jeweils verwendete Heizplatte angepasst werden. Ist die Starttemperatur des Wassers bestimmt, wird das Becherglas auf die Heizplatte gestellt und fortan die Temperatur alle 30 s gemessen. Dabei ist darauf zu achten, dass der Sensor während der

Messungen tief genug im Wasser ist, ohne jedoch direkten Kontakt mit dem Becherglas zu haben, weil dann die Abweichung zu groß wird. Außerdem sollte vor jeder Messung das Wasser umgerührt werden.

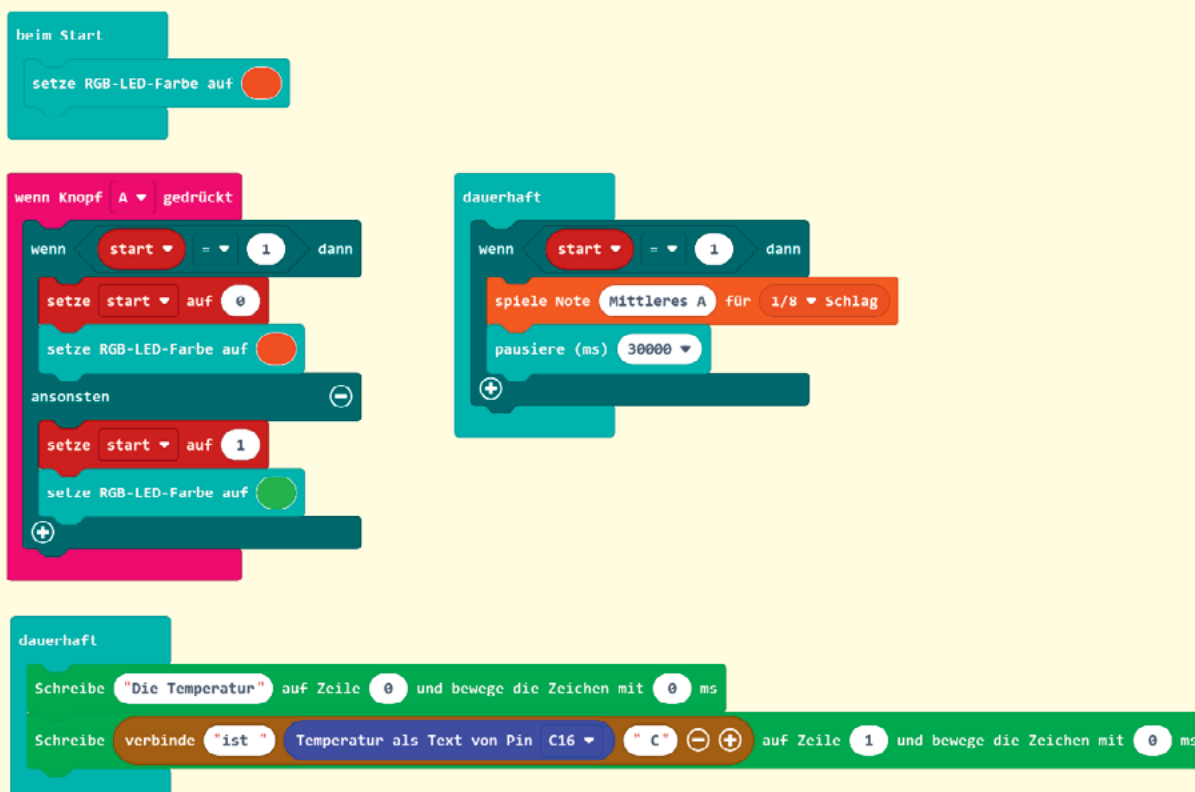
Der Mikrocontroller wird verwendet, um auf dem Grove-Display die aktuelle Temperatur des Sensors ablesen zu können. Wenn das Becherglas auf die Heizplatte gestellt wurde, werden die Schülerinnen und Schüler vom Mikrocontroller mit einem akustischen Signal alle 30 s daran erinnert, die Messwerte zu notieren. Zu Beginn und am Ende des Experiments sollte die Calliope-LED rot sein und während der Messungen sollte sie grün sein.

Tipps:

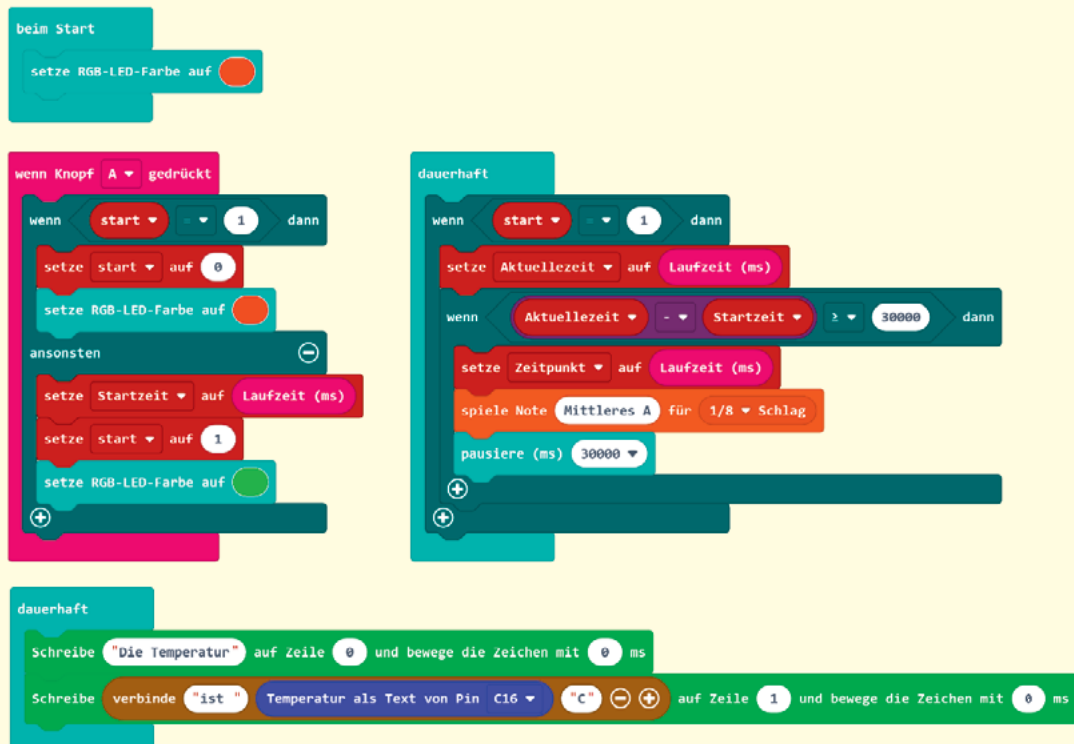
Vor der Verwendung müssen die Schülerinnen und Schüler über die technischen Daten des Sensors und des Displays informiert werden.

Es ist zu beachten, dass der Kabelabschnitt des Sensors Temperaturen über 70°C nicht für lange Zeit ausgesetzt werden darf. Daher muss bei hohen Temperaturen sichergestellt werden, dass nur das Metallteil des Sensors mit Wasser in Kontakt kommt.

Es folgen drei mögliche Lösungen des Block-Codes:

Variante 1

Variante 2



Die folgende einfachere Version ohne LED wird für weniger leistungsstarke Schülerinnen und Schüler empfohlen:



Technische Daten für den Temperatursensor:

Wasserdicht
Grove-kompatibel
Spannung von 3,0 V bis 5,5 V
Temperaturbereich: -55°C bis $+125^{\circ}\text{C}$
Toleranz: $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ (-10°C bis $+85^{\circ}\text{C}$)

Technische Daten des Displays:

Displayaufbau: 16 Zeichen * 2 Zeilen
Display Mode: STN
On board MCU
I2C-bus-Interface
LCD ist mit 3,3 V und 5 V kompatibel

Der Kabelabschnitt des Sensors darf nicht für lange Zeit auf eine Temperatur über 70°C gebracht werden.

Auswertung

In allen „Vermutungsdiagrammen“ steigt die Temperatur beim Erwärmen kontinuierlich an, weshalb es manchen Schülerinnen und Schülern schwerfallen könnte, eines davon auszuschließen und den tatsächlichen Verlauf des Experiments zu erklären.

Nach einiger Zeit erreicht das Wasser die Siedetemperatur. Wenn das Wasser siedet, steigt die Temperatur nicht mehr an, sondern bleibt konstant. Sie entspricht dann der Siedetemperatur des Wassers für den entsprechenden Luftdruck. Unter Normalbedingungen, also bei einem Luftdruck von 1013 hPa, beträgt die Siedetemperatur des Wassers 100 °C. Insofern ist das Diagramm C zu erwarten.

Dem Wasser wird während des gesamten Experiments kontinuierlich eine konstante Wärmemenge pro Zeiteinheit zugeführt.

Der Temperaturverlauf zeigt zwei Phasen:

In der ersten Phase steigt die Wassertemperatur mit der Zeit stetig an und in der grafischen Darstellung ergibt sich eine ansteigende Gerade.

Damit gilt: $\frac{\Delta\vartheta}{\Delta t} = \text{konst.}$

Da Δt proportional zur aufgenommenen Wärme ist, ergibt sich, dass auch die aufgenommene Wärmemenge Q proportional zur Temperaturerhöhung $\Delta\vartheta$ ist.

In der zweiten Phase bleibt die Temperatur während des Siedens konstant und entspricht dabei dem Siedepunkt

des Wassers für den entsprechenden Luftdruck. Dies liegt daran, dass die zugeführte Energie beim Übergang von der flüssigen zur gasförmigen Phase hauptsächlich für das Lösen der zwischenmolekularen Bindungen benötigt wird. Abhängig vom Kenntnisstand der Schülerinnen und Schüler kann es hilfreich sein, wichtige Beobachtungen wie die „Bläschenbildung“ oder das „Sprudeln“ im Diagramm zu kennzeichnen.

Methodisch-didaktische Hinweise

Detaillierte Hinweise zum Block-Code für den Mikrocontroller sind im Checkheft auf den entsprechenden Arbeitsblättern zu finden. Zur Differenzierung können weitere Programmierhinweise hinzugefügt, oder entfernt werden. Eine mögliche Lösung für den QR-Code steht Ihnen zusätzlich im QR-Code Generator auf unserer Website zur Verfügung. Der QR-Code kann daher auf Wunsch als Lösung oder zusätzliche Hilfe gedruckt und verteilt werden.

Mit diesem Experiment werden die Lernkompetenzen sowohl in der Physik als auch in der Informatik gefördert. Zu den Wichtigsten gehören die Versuchsdurchführung, die Vermutungserstellung, das Lösen komplexer Aufgaben, die Konzeptplanung für den Code und seine Konstruktion, das Beobachten und Messen, die Diagrammanfertigung, das Ableiten von Schlussfolgerungen sowie eine Diskussionsvorbereitung.

CAL 13

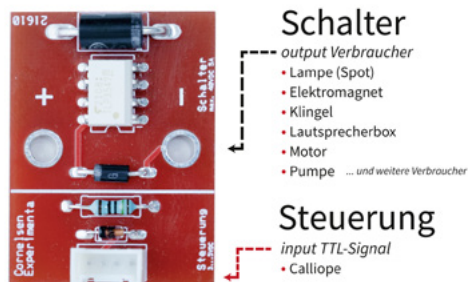
Spezifische Wärmekapazität von Wasser mit dem Calliope mini

Wie lassen sich Physik-Experimente mithilfe des Coding unterstützen? Durch Verwendung des Calliopes wird die spezifische Wärmekapazität des Wassers bestimmt. Dabei wird die physikalische Bedeutung der spezifischen Wärmekapazität thematisiert.

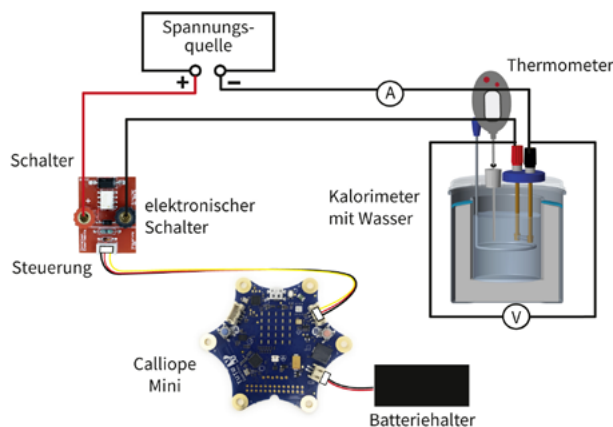
Versuchsdurchführung

Zunächst wird das Kalorimeter mit ca. 150 ml Wasser befüllt. Es bietet sich an, vor Beginn der Messung etwas zu warten, damit Kalorimeter und Wasser Raumtemperatur annehmen. Möchte man die elektrische Leistung des Aufbaus bestimmen, sollte die Messung spannungsrichtig erfolgen, da der Widerstand des Messgeräts groß gegenüber dem Widerstand des Kalorimeters ist (siehe Schaltskizze).

Die Schnittstellen der gängigen Mikrocontroller, z. B. von Calliope mini, Arduino oder Raspberry Pi, liefern nur eine sehr geringe elektrische Leistung. Diese reicht nicht aus, Verbraucher wie Glühlampen, Pumpen, Elektromagnete oder Kalorimeter direkt zu betreiben. Der elektronische Schalter ist Bindeglied beider Geräte und eröffnet damit diese Möglichkeit. Er lässt sich sehr einfach in jeden Gleichstromkreis einbauen und von der Schnittstelle des jeweiligen Mikrocontroller ansteuern. Der elektronische Schalter wird in diesem Experiment zum Schutz des Calliopes benötigt. Er besitzt zwei Positionen, die mit Steuerung und Schalter bezeichnet sind. An der Steuerung wird der Calliope angeschlossen und an der Schalterposition der übrige Stromkreis. Der Schalter ist sofort einsetzbar. Entsprechend den technischen Eigenschaften des Kalorimeters ist zu gewährleisten, dass die Stromstärke nicht höher als 2 A ist.



Der Mikrocontroller wird verwendet, um die Zeit genau zu messen und den Stromkreis gleichzeitig mit dem Start des Calliopes als Stoppuhr ein-



zuschalten. So lange der Schalter noch auf „aus“ ist, muss der Calliope ein Pausensymbol anzeigen. Nach dem Einschalten des Stromkreises muss der Mikrocontroller mit einem akustischen Signal jede Minute die Schülerinnen und Schüler erinnern, die Messwerte zu notieren. Gleichzeitig soll auf dem LED-Bildschirm die aktuelle Minutenzahl ablesbar sein. Nach den 5 min muss der Stromkreis mithilfe des Calliopes ausgeschaltet und auf dem LED-Bildschirm das Häkchen-Signal angezeigt werden.

Die Oberfläche des weißen Fotorelaisbauelements beim elektronischen Schalter kann sich aufgrund höherer Ströme oder nach einigen Minuten Gebrauch stark erhitzen. Dann darf das Fotorelaisbauelement nicht berührt werden, da sonst Verbrennungsgefahr besteht.

Ist die Ausgangstemperatur bestimmt, kann der Stromkreis mit dem Druck des Tasters A am Calliope eingeschaltet werden und die Zeitmessung beginnt. Die Temperaturmessung sowie auch die Messungen der Spannung und der Stromstärke sind auf einen Zeitraum von 5 min angesetzt, wobei die Aufnahme der Messwerte alle 60 s mithilfe des Calliopes erfolgt. Um systematische Messfehler zu minimieren, sollte vor jeder Temperaturmessung das Wasser mit dem Rührer gut durchmischt werden und die Messspitze des Thermometers genügend Abstand zur Heizspule haben.

Auswertung

Die spezifische Wärmekapazität des Wassers lässt sich aus dem Mittelwert der Resultate in Tabelle 2 berechnen. Es gilt der Energieerhaltungssatz, wonach die zugeführte elektrische Energie gleich der aufgenommenen Wärme ist.

$$E_{\text{el}} = Q_{\text{auf}}$$

Die elektrische Energie kann über die elektrische Leistung bestimmt werden. Da das Kalorimeter einen Teil

der Wärme selbst aufnimmt, muss dies in der Gleichung berücksichtigt werden.

$$\begin{aligned} P \cdot t &= Q_{\text{auf}} \\ P \cdot t &= Q_W + Q_K \\ P \cdot t &= m_W c_W \Delta T + C_K \Delta T \quad (1) \end{aligned}$$

Stellt man diese Gleichung nach der spezifischen Wärmekapazität um und setzt die Beispielwerte ein, erhält man die spezifische Wärmekapazität von Wasser.

Die Wärmekapazität des Kalorimeters beträgt ca. $C_K = 80 \frac{\text{J}}{\text{K}}$ und die Masse des Wassers lag bei $m_W = 0,15 \text{ kg}$.

Tipp:

Der QR-Code bezieht sich auf die Lösung der Gleichung. Für weniger leistungsstarke Gruppen ist es möglich, bei den editierbaren Arbeitsblättern die Wärme des Kalorimeters Q_K von der Gleichung zu entfernen.

Tabelle 1

t in s	0	60	120	180	240	300
ϑ in °C	22,4	23,2	23,9	24,7	25,5	26,3
U in V	–	4,87	4,79	4,79	4,8	4,8
I in A	–	1,75	1,69	1,99	1,7	1,7

Tabelle 2

Δt in s	0 bis 60	60 bis 120	120 bis 180	180 bis 240	240 bis 300
ΔT in K	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8
P in W	8,52	8,1	9,53	8,16	8,16
$P \cdot t$ in J	511,35	486	571,93	489,6	489,6
c_W in $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	3727,9	4095,23	4332,75	3546,66	3546,66

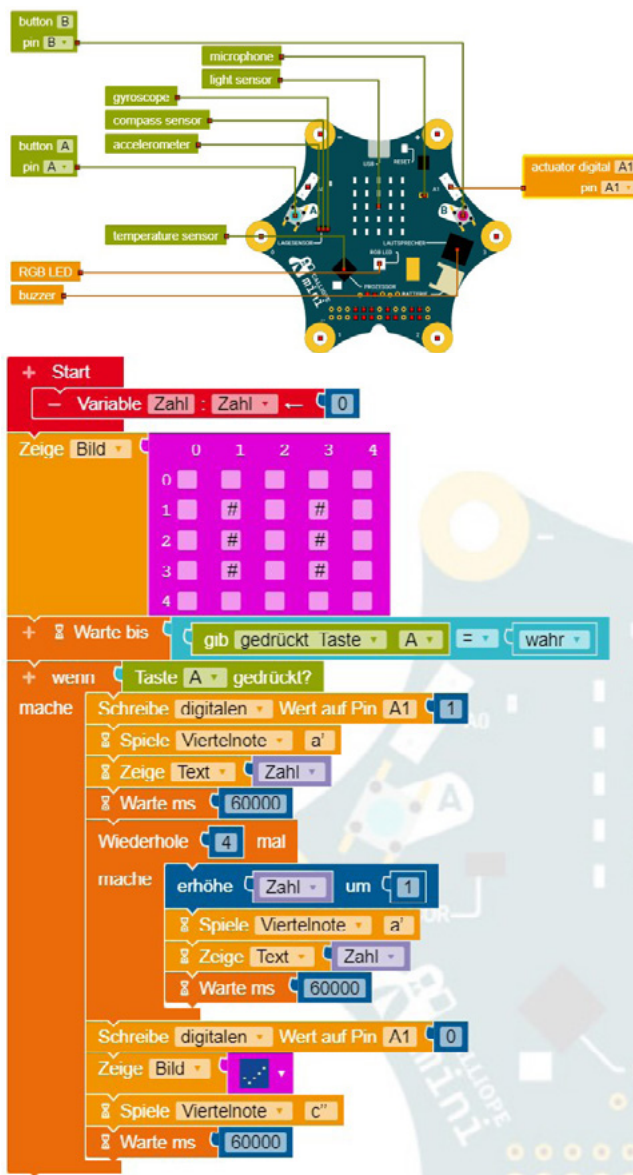
Der Mittelwert der spezifischen Wärmekapazität des Wassers, der anhand der Tabelle 2 berechnet wurde, ist:

$$c_W = 3849,84 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Somit benötigt man laut Messung ca. 3,85 kJ, um 1 kg Wasser um 1 K zu erwärmen. Der berechnete Wert nähert sich zufriedenstellend dem Literaturwert für die Bedingungen des Experiments.

Der Literaturwert der spezifischen Wärmekapazität des Wassers beträgt $4,186 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$.

Folgender Vorschlag gilt für den Code mit Open Roberta:



Methodisch-didaktische Hinweise

Das Experiment ist mithilfe des Codes so strukturiert, dass dieses klassische Physikexperiment genauer durchgeführt werden kann. Es fördert die Lernkompetenzen der Informatik und des Codierens sowie der Physik und des Experimentierens. Die Wichtigsten davon sind, den Versuch durchzuführen, komplexe Aufgaben zu erledigen, ein Konzept für den Code zu planen, zu konstruieren, das Beobachten und Messen, Schlüsse zu ziehen und darüber mit ihren Teams zu diskutieren. Das Experiment eignet sich gut als Projekt zwischen Physik- und IT-Unterricht.

Eine mögliche Lösung für den QR-Code steht Ihnen zusätzlich im QR-Code Generator auf unserer Website zur Verfügung. Der QR-Code kann daher auf Wunsch als Lösung oder zusätzliche Hilfe gedruckt und verteilt werden.

Bestellschein für Fax oder Post, bitte kopieren

Fax: 0800 435 90 22 (gebührenfrei)

Fax: + 49 (30) 435 902-22

E-Mail: info@cornelsen-experimenta.de

Klassensatz

**Temperatur und
Kalorimetrie**

Bestellnummer 48750

Cornelsen Experimenta GmbH
Holzhauser Straße 76
13509 Berlin

Name: _____

Schule: _____

Anschrift: _____

Bestelldatum: _____

Unterschrift/Stempel des Auftraggebers

Best.-Nr.	Anzahl	Artikelbezeichnung
12743		Thermometer mit Metallwinkeln
17630		Pinzette
48170		Digitales Thermometer
48173		O-Ring
48911		Kalorimeter
62103		Gummistopfen 24/19 mm
62724		NTC-Widerstand
62848		PTC-Widerstand
131111		Kunststofftopf
412351		Metallzylinder 12 g Fe
412352		Metallzylinder 12 g Al
603051		Becherglas, HF, 150 ml
609501		Erlenmeyerkolben, enghals, 100 ml

Best.-Nr.	Anzahl	Artikelbezeichnung
-----------	--------	--------------------

Schriftliches Material:

487505		Handreichung Klassensatz Temperatur und Kalorimetrie
487503		Einräumplan Klassensatz Temperatur und Kalorimetrie

Aufbewahrung:

43250		Aufbewahrungskoffer, leer
540751		Schaumstoffeinlage oben (505 x 355 x 40 mm)
540752		Schaumstoffeinsatz unten (515 x 370 x 100)
487508		Textaufkleber „Klassensatz Temperatur und Kalorimetrie“

Einfach und bequem bestellen Sie Ersatzteile in unserem Onlineshop unter:
cornelsen-experimenta.de

