

Experimente mit digitalen Werkzeugen rund ums Klima

Klimaveränderungen verstehen – Wege aus der Krise untersuchen

Herausgeber: Frank Liebner



Teachers Teaching with Technology™



Herausgeber:
Frank Liebner

Autoren:
Jürgen Enders, Eva Friedrich, Clara Hendreich, Jörg Huber, Hans-Ulrich Lampe,
Frank Liebner, Kristin Müller, Dirk Schulze, Roland Pflöging

Wir danken für die Unterstützung
Michael Deittert, Dr. Thomas Reiske, Daniel Spieker, Nora Simon

Dieses und weiteres Material steht Ihnen zum pdf-Download bereit:

www.ti-unterrichtsmaterialien.net

Bei der Erarbeitung der Experimente wurden die aktuell gültigen Sicherheitsbestimmungen im Umgang mit Chemikalien zu Grunde gelegt. Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die betreuende Fachlehrkraft die Verantwortung für den sachgerechten Umgang mit Chemikalien, die Einhaltung von Sicherheitsbestimmungen und das fachgerechte Entsorgen der Chemikalien trägt. Alle Anleitungen wurden sorgfältig erarbeitet und erprobt. Dennoch übernehmen die Autor*innen für die Richtigkeit von Aufgaben, deren Lösungen, Hinweisen und Ratschlägen keine Haftung.

Dieses Werk wurde in der Absicht erarbeitet, Lehrerinnen und Lehrern geeignete Materialien für den Unterricht in die Hand zu geben. Die Anfertigung einer notwendigen Anzahl von Fotokopien für den Einsatz in der Klasse, einer Lehrerfortbildung oder einem Seminar ist daher gestattet. Hierbei ist auf das Copyright von T³-Deutschland hinzuweisen. Jede Verwertung in anderen als den genannten oder den gesetzlich zugelassenen Fällen ist ohne schriftliche Genehmigung von T³ nicht zulässig.

Er wird in den Medien thematisiert, über ihn wird in der Schule gesprochen, er beeinflusst inzwischen unser Leben und wir müssen etwas gegen ihn tun – der Klimawandel. Immer häufiger nehmen unsere Schülerinnen und Schüler die Worte „Klimawandel“ und „Klimakrise“ bei passenden aber auch unpassenden Gelegenheiten in den Mund. Sie sprechen über Ursachen, Auswirkungen und mögliche Alternativen, wozu wir mit dem vorliegenden Heft notwendiges Hintergrundwissen bereitstellen, um eine sachkompetente Beurteilung zu ermöglichen.

Die Autorinnen und Autoren des vorliegenden Materials waren bemüht, eine Reihe von Experimenten, die sich mit verschiedenen Aspekten von Klimaveränderungen und möglichen Gegenmaßnahmen beschäftigen, zu entwickeln.

Die Lernenden sollen anhand ihrer experimentellen Untersuchungen fundierte Aussagen über die angesprochenen Themen treffen können und lernen, sich entsprechend zu positionieren. Ein weiteres Ziel dieses Materials ist die Entwicklung der experimentellen Fähigkeiten, d. h. Experimente zu planen, durchzuführen und im entsprechenden Kontext auszuwerten.

Das vorliegende Material, das sich insbesondere an Schülerinnen und Schüler der Klassenstufen 7 – 10 richtet, zeigt an verschiedenen Beispielen die Vielfältigkeit der in Bezug auf die Klimaveränderung zu betrachtenden Prozesse und Möglichkeiten des Gegenwirkens auf.

Die Lernenden sollen einen Einblick in die Notwendigkeit des komplexen Betrachtens verschiedener Faktoren erhalten.

Damit ist diese Zusammenstellung von Experimenten eine Fortsetzung bzw. Ergänzung des durch das Lehrerfortbildungsprojektes T³ bereits veröffentlichten Materials „Klimaveränderungen verstehen, heißt komplex denken und Zusammenhänge herstellen“.

Die vorgeschlagenen Experimente können in unterschiedlichen Kombinationen im projektorientierten Unterricht bzw. als Einzelexperimente im Fachunterricht eingesetzt werden.

Die beschriebenen Durchführungen und Arbeitsaufträge regen häufig zu einer eigenen Weiterentwicklung der Untersuchungen an. Unterstützen Sie diesbezüglich ihre Schüler und Schülerinnen beim Entdecken naturwissenschaftlicher Zusammenhänge und deren Nutzung im täglichen Leben.

Die Nutzung digitaler Werkzeuge zum Erfassen, Darstellen und Auswerten von Messdaten eröffnet in diesem Kontext neue experimentelle Zugänge.

Insbesondere der Einsatz des Kohlenstoffdioxid- und Sauerstoffsensors schaffen Möglichkeiten, bisher nur schlecht zugängliche Messdaten aufzunehmen.

Bei der Auswahl der Experimente wurde u. a. auch darauf geachtet, dass wenige, insbesondere ungefährliche und preiswerte Geräte und Chemikalien zum Einsatz kommen.

Bei vielen der beschriebenen Experimente werden mehrere Sensoren genutzt. Hier können beispielsweise noch vorhandene LabCradle oder die Computersoftware genutzt werden. Alternativ bietet sich der Einsatz von zwei Datenerfassungsgeräten an.

Wir wünschen allen interessierten Lehrenden und Lernenden viel Freude und Neugier beim Experimentieren und Auswerten der Ergebnisse.

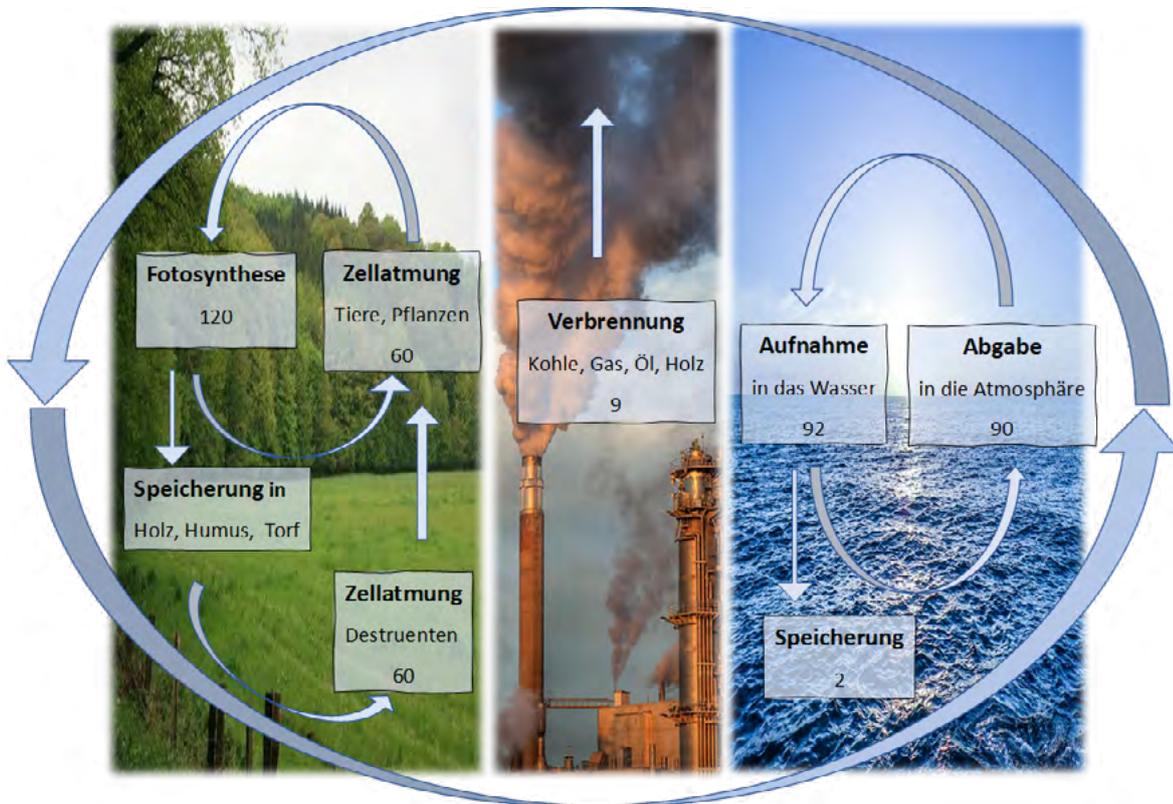
Das Autorenteam

Inhaltsverzeichnis

1	Natürliche Prozesse und Kreisläufe	
1.1	Untersuchung der Fotosynthese am Beispiel von Efeu (Kohlenstoffdioxid- und Sauerstoffsensor)	4
1.2	Untersuchung der Atmung am Beispiel von Efeu (Kohlenstoffdioxid- und Sauerstoffsensor)	5
1.3	Zellatmung am Beispiel von Mehlwürmern (Kohlenstoffdioxidsensor)	8
2	Ursachen und Auswirkungen von globaler Erwärmung	
2.1	Auswirkung der Sonneneinstrahlung auf die Bodentemperatur unterschiedlicher Oberflächenbeschaffenheiten (Temperatursensor)	10
2.2	Welche Auswirkungen hat die globale Erwärmung auf stehende Gewässer? Droht ein Fischsterben in Seen? (Temperatur- und Sauerstoffsensor (gelöster Sauerstoff))	13
2.3	Der anthropogene Treibhauseffekt – Analyse von Verbrennungsgasen (Trübungssensor)	17
3	Energieeinsparung als Weg aus der fossilen Abhängigkeit	
3.1	Wirksamer Wärmeschutz an Fensterscheiben (Oberflächentemperatursensor)	21
3.2	Der Maximum-Power-Point (MPP) einer Solarzelle (Spannungs- und Stromsensor)	23
3.3	Wasserstoff – der Stoff der Zukunft Herstellung, Speicherung, Verwendung (Gasdrucksensor)	26
3.4	Wege aus der Krise: Wärmedämmung (Temperatursensoren)	28
3.5	Energieeffizienz von Lichtquellen (Temperatursensor)	32

1 Natürliche Prozesse und Kreisläufe

Der natürliche Kohlenstoffdioxidkreislauf



In der Diskussion zum Klimawandel spielen Pflanzen eine wichtige Rolle.

Bei der Fotosynthese nehmen diese Kohlenstoffdioxid und Wasser auf und wandeln es in Glucose um. Dabei wird u.a. Biomasse aufgebaut und der Kohlenstoff fixiert.

Bei der Fotosynthese entsteht als „Abfallprodukt“ u. a. Sauerstoff. Dieser ist wiederum für die tierischen Lebewesen von großer Bedeutung, die diese Biomasse verstoffwechseln und dabei über die Zellatmung Kohlenstoffdioxid freisetzen.

Auch Pflanzen haben einen Energiestoffwechsel, bei dem Kohlenstoffdioxid freigesetzt wird, wobei die Produktion von Sauerstoff überwiegt.

In dem natürlichen Kreislauf des Kohlenstoffdioxids halten sich die Aufnahme über die Fotosynthese und die Abgabe über die Zellatmung ungefähr im Gleichgewicht.

Die im natürlichen Prozess stattfindende Freisetzung von in Sedimenten gespeichertem Kohlenstoffdioxid (Verwitterung von Kalkstein, Vulkanismus) ist dazu vergleichsweise gering, zumal tote Biomasse unter Sauerstoffabschluss abgelagert (Moore) bzw. Kalksteinsediment neu gebildet und damit Kohlenstoffdioxid dem Kreislauf wieder entzogen wird. Betrachtet man die Kohlenstoffdioxidkreisläufe an Land und in den Ozeanen getrennt, kann man je nach Datenquelle davon ausgehen, dass ca. 75 % der Sauerstoffproduktion der Erde in den Ozeanen abläuft. Dass dabei Kohlenstoffdioxid aus der Atmosphäre verbraucht wird, unterstreicht die wichtige Bedeutung der Ozeane.

Durch das Wirken des Menschen wird der natürliche Kohlenstoffdioxidkreislauf verändert. Über z. B. die Verbrennung fossiler Brennstoffe (Kohle, Gas, Erdöl), chemisch-technische Prozesse und die Brandrodung wird dem Kreislauf Kohlenstoffdioxid zugeführt, welches jedoch in diesem Umfang nur bedingt aufgenommen werden kann und sich in der Atmosphäre anreichert.

Mit Hilfe der folgenden drei Experimente soll der Beitrag von Pflanzen und Tieren zum Kohlenstoffdioxidkreislauf gezeigt werden.

1.1 Untersuchung der Fotosynthese am Beispiel von Efeu

Pflanzen spielen im natürlichen Kohlenstoffdioxidkreislauf eine bedeutende Rolle. Sie sind in der Lage, Kohlenstoffdioxid in energiereiche organische Stoffe umzuwandeln und lebensnotwendigen Sauerstoff an die Umwelt abzugeben.

Aufgabenstellung

Untersuche den Sauerstoff- und Kohlenstoffdioxidstoffwechsel von Pflanzen bei Belichtung am Beispiel von Efeu.

Experiment 1

Baue eine Versuchsanordnung wie in nebenstehender Abbildung dargestellt auf.

Befülle dazu die Bio-Luft-Kammer locker mit Efeublättern. Verschließe das Gefäß mit dem Deckel, in dem jeweils ein Kohlenstoffdioxid- und ein Sauerstoffsensor fixiert wurden.

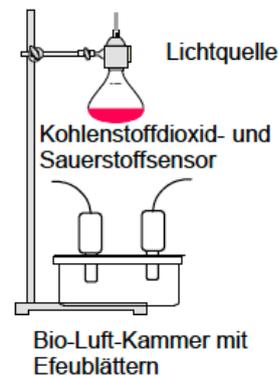
Achte darauf, dass die Sensoröffnungen frei bleiben.

Stelle eine Lichtquelle so bereit, dass die Biokammer beleuchtet werden kann.

Bereite die Datenaufnahme so vor, dass über einen Zeitraum von 600 Sekunden pro Sekunde ein Messwert aufgenommen wird.

Schalte die Lampe ein und starte nach ca. 2 Minuten die Messung.

Versuchsaufbau



Auswertung

Fertige ein Protokoll unter Einbeziehung nachfolgender Aufgaben an.

- 1 Führe das Experiment durch.
Skizziere die Graphen in ein Koordinatensystem oder drucke diese aus.
- 2 Beschreibe die erhaltene graphische Darstellung.
- 3 Interpretiere die graphische Darstellung und stelle Zusammenhänge zwischen dem Sauerstoff- und dem Kohlenstoffdioxidstoffwechsel her.

1.2 Untersuchung der Atmung am Beispiel von Efeu

Pflanzen spielen im natürlichen Kohlenstoffdioxidkreislauf eine bedeutende Rolle. Sie sind in der Lage, Kohlenstoffdioxid zu energiereichen organischen Stoffen umzuwandeln und lebensnotwendigen Sauerstoff an die Umwelt abzugeben.

Aufgabenstellung

Untersuche den Sauerstoff- und Kohlenstoffdioxidstoffwechsel von Pflanzen im Dunkeln am Beispiel der Efeupflanze.

Experiment 2

Baue eine Versuchsanordnung wie in nebenstehender Abbildung dargestellt auf.

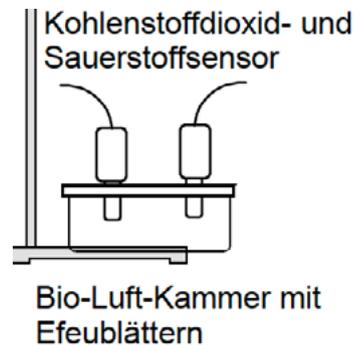
Befülle dazu die Bio-Luft-Kammer locker mit Efeublättern, die mindestens eine halbe Stunde im Dunkeln gelagert wurden.

Verschließe das Gefäß mit dem Deckel, in dem jeweils ein Kohlenstoffdioxid- und ein Sauerstoffsensoren fixiert wurden.

Achte darauf, dass die Sensoröffnungen frei bleiben. Umwickle anschließend die Bio-Luft-Kammer mit Aluminium-Folie.

Bereite die Datenaufnahme so vor, dass über einen Zeitraum von 900 Sekunden pro Sekunde ein Messwert aufgenommen wird.

Versuchsaufbau



Auswertung

Fertige ein Protokoll unter Einbeziehung nachfolgender Aufgaben an.

- 1 Führe das Experiment durch.
Skizziere die Graphen in ein Koordinatensystem oder drucke diese aus.
- 2 Beschreibe die erhaltene graphische Darstellung.
- 3 Interpretiere die graphische Darstellung und stelle Zusammenhänge zwischen dem Sauerstoff- und dem Kohlenstoffdioxidstoffwechsel her.

1.1/2 Untersuchung der Fotosynthese und Atmung am Beispiel von Efeu

Lehrermaterial

Materialien/Chemikalien

- 2 Stück TI-Nspire™ Handheld oder Software
- starke Lampe (Pflanzenstrahler)
- Stativmaterial
- Vernier Bio-Luft-Kammer (V = 2000 mL)
- frische Efeublätter
- Aluminium-Folie

Sensoren

- Sauerstoff-Sensor
- Kohlenstoffdioxid-Sensor

Versuchsaufbau



Hinweise zur Durchführung

Experiment 1 (Belichtung)

Die Lampe wird mithilfe des Stativs so über der Kammer befestigt, dass eine gute Belichtung erreicht wird.

Aufgrund der Trägheit der Sensoren sollte nach Einschalten der Lampe ca. zwei Minuten mit dem Start der Messwerterfassung gewartet werden.

Experiment 2 (Dunkelheit)

Die Efeublätter sollten vor dem Versuch mindestens eine halbe Stunde im Dunklen aufbewahrt werden (z.B. im Schrank). Die Bio-Luft-Kammer wird nach Befüllen mit den Efeublättern mit Aluminium-Folie abgedeckt.

Aufgrund der Trägheit der Sensoren sollte ca. zwei Minuten mit dem Start der Messwerterfassung gewartet werden.

Auswertung

Experiment 1

- 1 Durchführung und graphische Darstellung der Messwerte.
Die Unregelmäßigkeit in der unteren Kurve des Sauerstoff-Sensors ist ein sensorbedingter Messfehler.

Graph 1: Kohlenstoffdioxidanteil in ppm in Abhängigkeit von der Zeit in s

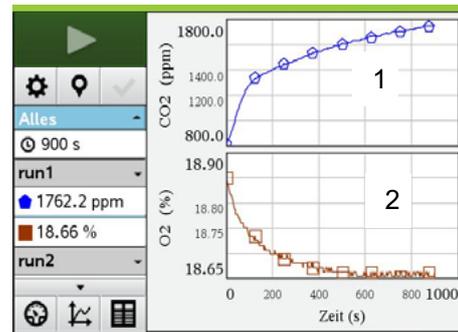
Graph 2: Sauerstoffkonzentration in Volumenprozent in Abhängigkeit von der Zeit in s



- Die Graphen zeigen die Entwicklung der Kohlenstoffdioxid- bzw. der Sauerstoffkonzentration in Abhängigkeit von der Zeit bei belichteten Efeublättern. Die Kohlenstoffdioxidanteil nimmt zunächst langsam ab, nach ca. 50 s erfolgt die Abnahme schneller und gegen Ende des Versuchs nach ca. 500 s scheint sich die Abnahme wieder zu verlangsamen.
Während der Versuchsdauer von 600 s nimmt der Kohlenstoffdioxidanteil von anfänglich ca. 1200 ppm auf ca. 400 ppm ab.
Die Sauerstoffkonzentration steigt zunächst schnell an. Nach ca. 20 s erfolgt eine fast konstante Zunahme und zum Ende des Versuchs verlangsamt sich die Zunahme.
Während der Versuchsdauer nimmt die Sauerstoffkonzentration von anfangs ca. 17,7 % auf ca. 18,0 % zu.
- Bei Belichtung nimmt die Pflanze Kohlenstoffdioxid auf und gibt Sauerstoff ab. Die Pflanze betreibt Fotosynthese.
Anmerkung: Da in der Pflanze bei Belichtung parallel zur Fotosynthese auch andere Stoffwechselprozesse ablaufen, findet auch eine Zellatmung statt. Bezüglich des Gasstoffwechsels ist diese aber gegenüber der Fotosynthese vom Effekt her gering.

Experiment 2

- Durchführung und graphische Darstellung der Messwerte.
 - Kohlenstoffdioxidanteil in ppm in Abhängigkeit von der Zeit in s
 - Sauerstoffkonzentration in Volumenprozent in Abhängigkeit von der Zeit in s



- Die Graphen zeigen die Entwicklung der Kohlenstoffdioxid- bzw. der Sauerstoffkonzentration in Abhängigkeit von der Zeit in s bei in Dunkelheit gehaltenen Efeublättern. Die Kohlenstoffdioxidkonzentration steigt zunächst schnell an, nach ca. 50 s erfolgt eine fast konstante Zunahme bis zum Versuchsende bei 900 s.
Während der Versuchsdurchführung nimmt der Kohlenstoffdioxidanteil von anfangs ca. 800 ppm auf ca. 1800 ppm zu.
Die Sauerstoffkonzentration nimmt zunächst schnell ab, nach ca. 200 s verlangsamt sich die Abnahme und scheint sich ab ca. 600 s nicht mehr zu ändern.
Während der Versuchsdauer von 900 s nimmt die Sauerstoffkonzentration von anfänglich ca. 18,85 % auf ca. 18,65 % ab.
- Bei Dunkelheit nimmt die Pflanze Sauerstoff auf und gibt Kohlenstoffdioxid ab. Die Pflanze betreibt Zellatmung.

1.3 Zellatmung am Beispiel von Mehlwürmern

Ein messbares Stoffwechselprodukt bei Lebewesen ist das Kohlenstoffdioxid. Am Beispiel der Larve des Mehlkäfers, umgangssprachlich als Mehlwurm bezeichnet, wird die Veränderung des Kohlenstoffdioxidanteils in einem geschlossenen System betrachtet.

Der Mehlwurm ist wie alle Insekten wechselwarm, d. h. seine Stoffwechselaktivität hängt von der Umgebungstemperatur ab.

Aufgabenstellung

Untersuche die Zellatmung von Mehlwürmern bezüglich des Kohlenstoffdioxidausstoßes.

Experiment 1

Gib zwei Esslöffel Mehlwürmer in einen luftgespülten Erlenmeyerkolben (Erlenmeyerkolben umdrehen, um eventuelles Kohlenstoffdioxid zu entfernen).

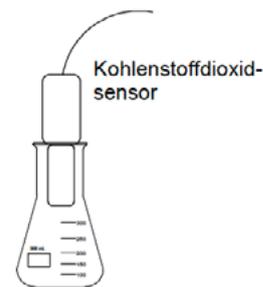
Verschieße diesen vorsichtig mit dem Kohlenstoffdioxidensor.

Bereite die Datenaufnahme so vor, dass über einen Zeitraum von 600 Sekunden pro Sekunde ein Messwert aufgenommen wird.

Beginne mit der Messung ca. 2 Minuten nach dem Verschießen des Erlenmeyerkolbens.

Speichere die aufgenommenen Messwerte.

Versuchsaufbau



Erlenmeyerkolben mit Mehlwürmern

Experiment 2

Wiederhole Experiment 1.

Gib wiederum zwei Esslöffel Mehlwürmer in einen luftgespülten Erlenmeyerkolben und stelle diesen mindestens eine Stunde in den Kühlschrank (ca. 5 °C).

Isoliere den Erlenmeyerkolben nach dem Herausnehmen aus dem Kühlschrank und vor dem Beginn der Messung mit dem bereitgelegten Material.

Führe die Datenaufnahme wie in Experiment 1 beschrieben durch.

Auswertung

Fertige ein Protokoll unter Einbeziehung nachfolgender Aufgaben an.

- 1 Führe die Experimente durch.
Skizziere die Graphen in einem Koordinatensystem oder drucke diese aus.
- 2 Beobachte und beschreibe das Verhalten der Mehlwürmer.
- 3 Beschreibe die erhaltene graphische Darstellung.
- 4 Interpretiere die graphische Darstellung unter Berücksichtigung der Atmung des Mehlwurms.

1.3 Zellatmung am Beispiel von Mehlwürmern

Lehrermaterial

Materialien/Chemikalien

- TI-Nspire™ Handheld oder Software
- Weithalslerlenmeyerkolben (V = 250 mL)
- ca. 2 Esslöffel lebende Mehlwürmer
- Isoliermaterial (Luftpolsterfolie)
- Kühlschrank
- Thermometer

Versuchsaufbau



Sensoren

- Kohlenstoffdioxidensor

Hinweise zur Durchführung

Das Experiment wird einmal bei Zimmertemperatur und einmal mit im Kühlschrank gehaltenen Mehlwürmern durchgeführt.

Dazu wird ein Erlenmeyerkolben mit Mehlwürmern für ca. eine Stunde in den Kühlschrank gestellt. Dies sollte aus Gründen der Zeitersparnis bereits in der Vorbereitung geschehen. Nach dem Herausnehmen und vor der Messung des Kohlenstoffdioxidgehaltes wird der Erlenmeyerkolben sofort mit z. B. einer Luftpolsterfolie isoliert.

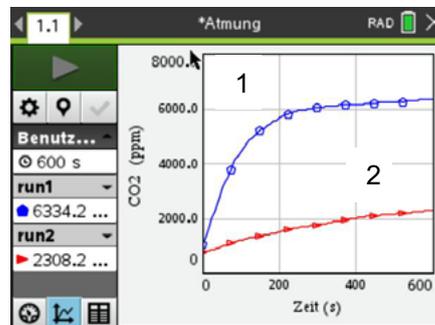
Auswertung

Experiment 1

- 1 Durchführung und graphische Darstellung der Messwerte.

Graph 1: Kohlenstoffdioxidanteil in ppm in Abhängigkeit von der Zeit in s bei Zimmertemperatur

Graph 2: Kohlenstoffdioxidanteil in ppm in Abhängigkeit von der Zeit in s bei ca. 5 °C



- 2 Bei Zimmertemperatur zeigen die Mehlwürmer ein lebhaftes Verhalten, während sie bei 5 °C starr wirken.
- 3 Die Graphik zeigt die Entwicklung der Kohlenstoffdioxidkonzentration in Abhängigkeit von der Zeit.

Experiment 1: Die Kohlenstoffdioxidkonzentration steigt von ca. 1000 ppm schnell an und erreicht nach ca. 200 s ein annähernd konstantes Niveau von ca. 6300 ppm.

Experiment 2: Die Kohlenstoffdioxidkonzentration steigt kontinuierlich von ca. 600 ppm auf ca. 2300 ppm an.

- 4 Mehlwürmer geben Kohlenstoffdioxid ab, dieses reichert sich in dem abgeschlossenen Versuchsfäß an.
Der Prozess ist temperaturabhängig, da die Mehlwürmer wechselwarme Tiere sind. Mit der Erhöhung der Temperatur steigert sich der Stoffwechsel und damit der Kohlenstoffdioxidausstoß, ersichtlich an der erhöhten Lebhaftigkeit.
Bei dem durchgeführten Experiment führt die Temperaturerhöhung zur Steigerung des Kohlenstoffdioxidausstoßes nach 600 Sekunden um den Faktor 2,5.

2.1 Auswirkung der Sonneneinstrahlung auf die Bodentemperatur unterschiedlicher Oberflächenbeschaffenheiten

Als Folge der fortschreitenden Klimaerwärmung ist zu beobachten, dass Schnee- und Eisflächen abschmelzen und die Bodenflächen sichtbar werden. Dabei kommt es in Abhängigkeit der Oberfläche zur Erwärmung des Bodens.

Aufgabenstellung

Untersuche in einem Modellexperiment die Auswirkung verschiedener Materialien auf die Bodenerwärmung und Reflexion einfallender Strahlung.

Experimente 1

Beklebe eine Streichholzschachtel auf der Oberfläche mit schwarzem Pappkarton.

Stich in eine der Seitenflächen ein Loch, sodass der Temperatursensor bündig hineinpasst.

Der Sensor wird in der Streichholzschachtel so fixiert, dass

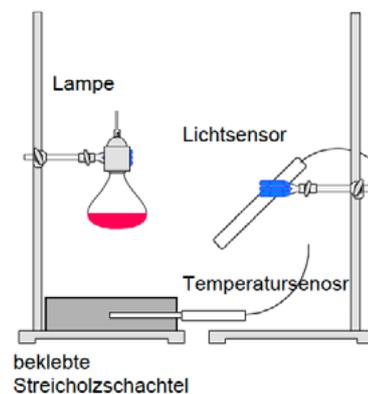
- das Schubfach nach oben geöffnet ist,
- kein Kontakt zu den Seitenwänden besteht und
- sich die Spitze des Sensors etwa in der Mitte der Schachtel befindet.

Richte die bereitgestellte Lampe und den Lichtintensitätssensor so auf die Streichholzschachtel aus, dass das von der Oberfläche der Schachtel reflektierte

Licht gemessen werden kann. Bereite die Datenaufnahme so vor, dass über einen Zeitraum von 300 Sekunden pro Sekunde ein Messwert aufgenommen wird.

Starte die Messung ca. 30 Sekunden nach dem Einschalten der Lampe.

Versuchsaufbau



Experiment 2

Wiederhole Experiment 1 mit einer mit weißem Pappkarton beklebten Streichholzschachtel.

Auswertung

Fertige ein Protokoll unter Einbeziehung nachfolgender Aufgaben an.

- 1 Führe das Experiment mit den beiden unterschiedlich präparierten Streichholzschachteln durch.
- 2 Stelle die Messwerte so dar, dass die Temperaturänderungen und die Lichtreflexionen miteinander verglichen werden können. Beschreibe die graphische Darstellung.
- 3 Interpretiere die Ergebnisse hinsichtlich der Erwärmung unterschiedlicher Bodenbeschaffenheiten unter Lichteinstrahlung. Beurteile, inwiefern das Modellexperiment die Realität beschreiben kann.

Weiterführende Aufgabenstellungen

- 4 Recherchiere zum Abschmelzen von Schnee- und Eisflächen an den Polen und in Gletscherregionen.
- 5 Entwickle weitere Modell-Experimente zu anderen Oberflächen, die in der Realität im Zusammenhang mit der Oberflächenerwärmung relevant sind.

2.1 Auswirkung der Sonneneinstrahlung auf die Bodentemperatur unter unterschiedlicher Oberflächenbeschaffenheiten

Lehrermaterial

Materialien/Chemikalien

- TI-Nspire™ Handheld oder Software
- Stativmaterial
- z. B. Baustrahler (Lichtquelle mit Wärmeentwicklung, keine LED-Lampe)
- mehrere Streichholzschachteln
- weißes und schwarzes Papier oder Pappe
- Klebestift

Sensoren

- Lichtintensitätssensor
- Temperatursensor

Versuchsaufbau



Hinweise zur Durchführung

Aus Gründen der Zeitersparnis sollten die Streichholzschachteln im Vorfeld entsprechend präpariert werden.

Auswertung

Experiment

- 1 Durchführung und graphische Darstellung der Messwerte.

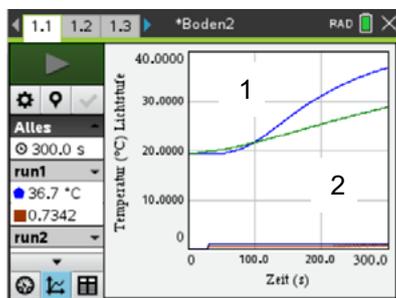


Abbildung 1

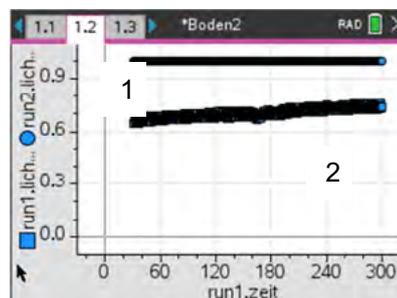


Abbildung 2

- 2 Die linke Abbildung (Abbildung 1) zeigt die Temperaturveränderung in Abhängigkeit von der Zeit.
Ab der 30. Sekunde (Einschalten der Lampe) nimmt in beiden Versuchsdurchführungen die Temperatur zu. Der Anstieg ist bei der Schachtel mit der schwarzen Oberfläche (Graph 1) stärker als bei der Schachtel mit der weißen Oberfläche (Graph 2).

Die rechte Abbildung (Abbildung 2) zeigt die Lichtintensitätsänderung in Abhängigkeit von der Zeit.

In den ersten 30 Sekunden liegen die Werte jeweils bei null. Die größere Lichtintensität wird bei der Schachtel mit der weißen Oberfläche (Graph 1) gemessen. Hier kann von einer Totalreflektion mit dem Wert 1,0 gesprochen werden.

Bei der schwarzen Oberfläche (Graph 2) schwankt die gemessene Lichtintensität zwischen 0,65 und 0,76. Bei dieser Versuchsdurchführung wird ein Teil des Lichts absorbiert.

Eine weiße Oberfläche hat eine sehr stark reflektierende Wirkung des Lichtes, daher wird die Lichteinstrahlung nur zum kleinen Teil in Wärme umgewandelt. Eine schwarze Oberfläche absorbiert die Lichteinstrahlung, die dann in Wärme umgewandelt wird.

- 3 Die weiße Oberfläche stellt in dem Modellexperiment eine schneebedeckte Oberfläche dar. Durch den Schnee wird die Lichteinstrahlung zum größten Teil reflektiert und nicht in Wärme umgewandelt. Der unter dem Schnee liegende Boden wird nicht erwärmt, entsprechend wird das Meerwasser unter einer Eisschicht nicht erwärmt. Die schwarze Oberfläche stellt in dem Modellexperiment eine Oberfläche ohne Schnee oder Eis dar. Die Lichteinstrahlung erwärmt den Boden respektive das Meerwasser. Durch das Schmelzen von Schnee- oder Eisflächen durch die Klimaerwärmung wird der Erwärmungseffekt noch verstärkt.
- 4 Individuelle Recherche-Ergebnisse.
- 5 Hier sind sehr individuelle Lösungen möglich. Diese richten sich z. B. nach den zur Verfügung stehenden Materialien (z. B. grün für eine bewachsene oder grau für eine steinige Oberfläche).

2.2 Welche Auswirkungen hat die globale Erwärmung auf stehende Gewässer? Droht ein Fischsterben in Seen?

Die Löslichkeit vieler Gase in Wasser nimmt mit zunehmender Temperatur ab. So entweicht Kohlenstoffdioxid zum Beispiel aus Colaflaschen, die durch Sonnenstrahlen erwärmt wurden, mit teilweise spektakulärem Zischen und Spritzen.

In Seen könnte die globale Erwärmung zu einer Verminderung der Sauerstoffkonzentration führen. Dieses Phänomen ist nicht unbekannt, da in jedem Sommer immer Seen in Deutschland „umkippen“. Als „Umkippen“ wird dabei eine drastische Verschlechterung der Wasserqualität bezeichnet, die zum Sterben vieler im Gewässer heimischer Tiere führt. Die Hauptursache für das Umkippen ist dabei eine starke Verminderung der Konzentration an gelöstem Sauerstoff im Wasser.

Sichtbar wird diese Veränderung häufig durch die Bildung eines Algent Teppichs (unter anderem durch Grün- und Blaualgen hervorgerufen) sowie durch an der Wasseroberfläche treibende verendete Tiere – vor allem Fische. Zudem kann häufig ein Verwesungsgeruch wahrgenommen werden.

Aufgabenstellung

Untersuche die Veränderung der Sauerstoffkonzentration in einer Gewässerprobe bei Temperaturerhöhung.

Experiment

Fülle die aus einem See oder Teich entnommene Gewässerprobe in das bereitgestellte Becherglas.

Stelle dieses auf einen Magnetrührer mit Heizplatte. Fixiere anschließend den Dissolved Oxygen- (gelöster Sauerstoff) und den Temperatursensor mittels Stativmaterial in der Gewässerprobe. Schließe die Sensoren an jeweils einen Taschenrechner an und bereite für den Oxygen-Sensor eine Messung „Ereignis mit Eingabe“ vor.

Schalte die Heizplatte und den Magnetrührer ein. Achte darauf, dass der Rührfisch sehr langsam rührt, damit durch das Rühren kein Sauerstoff entweicht.

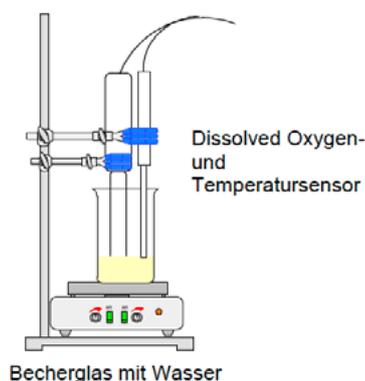
Miss die Sauerstoffkonzentration nach jeder Temperaturänderung um $\Delta T = 1 \text{ K}$ bis zu einer Endtemperatur von $\vartheta = 45 \text{ }^\circ\text{C}$. Trage als Ereignis jeweils die gemessene Temperatur ein.

Auswertung

Fertige ein Protokoll unter Einbeziehung nachfolgender Aufgaben an.

- 1 Führe das Experiment durch.
Stelle die Änderung der Sauerstoffkonzentration in Abhängigkeit der Temperatur dar.
- 2 Beschreibe, den Einfluss den die Temperatur auf die Konzentration an gelöstem Sauerstoff in Wasser hat.
- 3 Interpretiere die Ergebnisse mit Bezug auf den Einleitungstext. Erkläre, dass das „Umkippen“ von Seen im Sommer deutlich häufiger auftritt als im Winter.

Versuchsaufbau



Weiterführende Aufgabenstellungen

- 4 Entwickle ein Experiment unter Verwendung digitaler Werkzeuge, mit dem der nebenstehend beschriebene BSB5 bestimmt werden könnte. Vergleiche den Experimentiervorschlag mit herkömmlichen Vorgehensweisen.

Der Biochemische Sauerstoffbedarf nach fünf Tagen (BSB5) gibt die Menge an Sauerstoff an, welche Bakterien und andere Kleinstlebewesen in einer Wasserprobe im Zeitraum von fünf Tagen bei einer Temperatur von $\nu = 20^{\circ}\text{C}$ verbrauchen, um die Wasserinhaltsstoffe aerob abzubauen (Biochemische Oxidation).

- 5 Im Winter ($\vartheta = 0^{\circ}\text{C}$) wird einem See eine Wasserprobe entnommen, deren BSB5 mit $6\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ bestimmt wird. Der „fischkritische“ Sauerstoffgehalt liegt bei $3\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Beurteile, ob der Fischbestand in diesem See während des Jahres gefährdet ist.
- 6* Bei der Bestimmung des BSB5 wird die Nitrifikation (d. h. der oxidative Abbau von Ammoniak bzw. Ammonium-Ionen) nicht ermittelt, da dieser Prozess gehemmt wird. Bei diesem Prozess setzen Bakterien Ammoniak bzw. Ammonium-Ionen zuerst zu Nitrit- und anschließend zu Nitrat-Ionen um. Entwickle zu diesen Prozessen Reaktionsgleichungen und erkläre, welche Konsequenzen sich daraus für den tatsächlichen Sauerstoffbedarf eines Sees ergeben. Recherchiere, welche Quellen für den Ammoniak-/Ammonium-Eintrag in Seen bestehen und nenne diese.

2.2 Welche Auswirkungen hat die globale Erwärmung auf stehende Gewässer? Droht ein Fischsterben in Seen?

Lehrermaterial

Materialien/Chemikalien

- 2 Stück TI-Nspire™ Handheld oder Software
- Stativmaterial
- Heizplatte und Magnetrührer mit Rührfisch
- Becherglas (V = 400 mL; hohe Form)
- 250 mL Wasser aus einem Teich / See oder anderem stehenden Gewässer



Sensoren

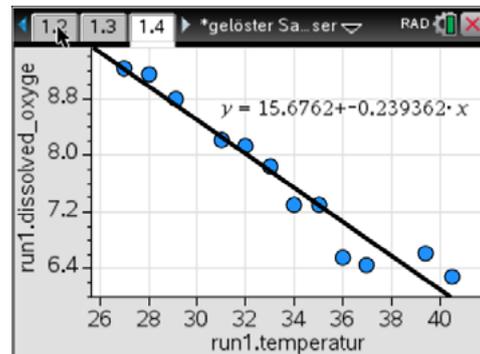
- Temperatursensor (Stainless Steel)
- Dissolved Oxygen – Sensor

Hinweise zur Durchführung

Wenn Sie die Dissolved Oxygen Probe (Sensor) benutzen, muss diese vor dem Experiment mit einem Milliliter der mitgelieferten Lösung gefüllt werden (Membrandeckel abschrauben, Lösung einfüllen, Membrandeckel wieder aufschrauben, wobei etwas Flüssigkeit überlaufen sollte). Vor Beginn der Messung muss die Elektrode zehn Minuten in destilliertem Wasser „einweichen“.

Auswertung

- 1 Durchführung und graphische Darstellung der Messwerte.

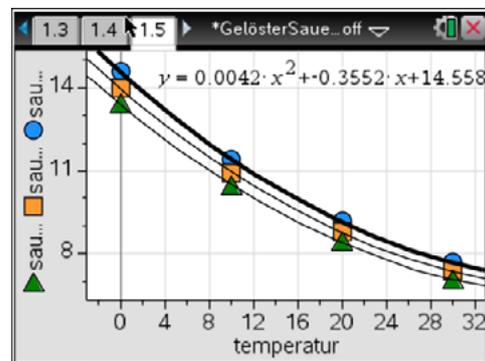
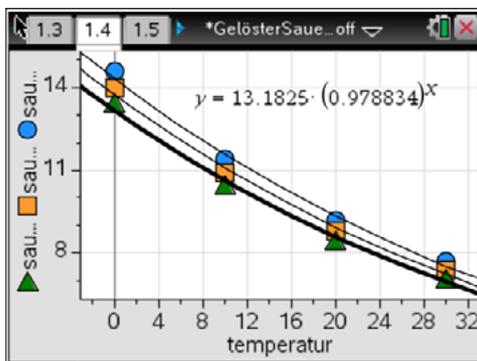


- 2 Deutlich zu erkennen ist, dass mit zunehmender Temperatur die Massenkonzentration an gelöstem Sauerstoff im Wasser sinkt. In einem Temperaturintervall von etwa $\Delta T = 40\text{ °C}$ fällt die Massenkonzentration etwa auf die Hälfte ab.
- 3 Aus den erhaltenen Ergebnissen lässt sich ableiten, dass die Sauerstoffkonzentration im Seewasser bei höheren Temperaturen relativ gering ist. Diese Temperaturen sind aber gerade im Sommer zu erwarten. Hinzu kommt, dass die Populationsgrößen im Sommer höher sind als im Winter, was auch für die biologische Aktivität gilt, da kein Organismus im Sommer in Winterstarre oder –schlaf ist. Somit steigt die Gefahr, dass der See umkippt (höherer Sauerstoffbedarf bei geringerem Sauerstoffanteil).

- 4 Die drei derzeit benutzten Bestimmungsmethoden sind:
- Manometrische Bestimmung (Diese wäre mit einem Gasdrucksensor auch an Schulen möglich.)
 - Verdünnungsmethode (Diese würde als Messelektrode wieder den DO-Messsensor nutzen.)
 - Sapromatmethode (Die Umsetzung dieser auch kontinuierlich durchführbaren Messung wäre mit einem Motion Detector sowie einem Force Sensor möglich.)

5 Es bieten sich generell zwei Vorgehensweisen an. Bei beiden müsste zunächst die Höchsttemperatur ϑ_{Max} des Seewassers geschätzt werden (z. B. $\vartheta_{\text{Max}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$).

- A) Experimentelle Ermittlung, bei der eine Probe bei $\vartheta = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ angefertigt werden müsste, die eine Massenkonzentration von $\beta = 6 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ an gelöstem Sauerstoff enthält. Anschließend müsste die Probe auf die Maximaltemperatur erwärmt und der Sauerstoffgehalt bestimmt werden.
- B) Prognose durch mathematische Modellierung der bekannten Daten und Übertragung auf die veränderte Situation des neuen Startwertes:

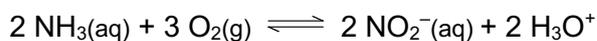


Die hier abgebildeten Graphiken entstanden auf der Grundlage der Daten aus dem Handbuch zum Sensor bei verschiedenen Drücken.

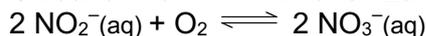
Die exponentielle Regression liefert einen Abnahmefaktor von etwa $q = 0,9788$ für alle Drücke. Die Gleichung $6 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1} \cdot 0,9788^T = \beta(\text{O}_2)$ mit $T_{\text{Max}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ liefert einen Wert von $\beta(0) \approx 3,51 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Somit muss keine Gefährdung vorliegen. Zu bedenken ist, dass man im Sommer auch von einer Erhöhung der biologischen Aktivität ausgehen muss.

Abhängig von der verwendeten Modellierung können Ergebnis und Beurteilung abweichen.

6 Oxidation von Ammoniakmolekülen zu Nitrit-Ionen:



Oxidation von Nitrit-Anionen zu Nitrat-Anionen:



Der tatsächliche Sauerstoffbedarf eines Sees kann somit größer sein als der BSB5 vermuten lässt, da für die spontan ablaufende Nitrifikation zusätzlicher Sauerstoff benötigt wird.

Quellen für den Ammoniak- bzw. Ammoniumeintrag sind vor allem Düngemittel oder auch Biomasse, bei deren Abbau (insbesondere aus Proteinen) ebenfalls Ammonium-Ionen bzw. Ammoniakmoleküle entstehen können. Ein weiteres Problem ist, dass durch die Anreicherung mit Nitrat-Ionen im See das Wachstum von Phytoplankton angeregt wird (Algenblüte), so dass „Algentepiche“ entstehen können. Diese können den Gasaustausch mit der Luft blockieren, wodurch ein Sauerstoffeintrag in den See aus der Luft verhindert wird.

2.3 Der anthropogene Treibhauseffekt – Analyse von Verbrennungsgasen

Eines der bekanntesten Klimaziele des Abkommens von Paris ist die Forderung, dass sich die mittlere globale Temperatur im Vergleich zum Jahr 1850 nicht um mehr als $\Delta T = 1,5^\circ\text{C}$ erhöhen soll. Dieses Jahr wurde gewählt, weil danach weltweite Industrialisierungsprozesse begannen, die schon vorher in Europa durch die Entwicklung von Dampfmaschinen, Eisenbahnen u.v.m. ihren Anfang nahmen. Mit der Industrialisierung nahmen von Menschen genutzte Verbrennungsprozesse in ungeahntem Maße zu. Die bei diesen Verbrennungen entstehenden Verbrennungsgase (Kohlenstoffdioxid und Wasserdampf sowie Stick- und Schwefeloxide) verursachen im Wesentlichen den anthropogenen Treibhauseffekt (anthropogen bedeutet: von Menschen gemacht/gebildet).

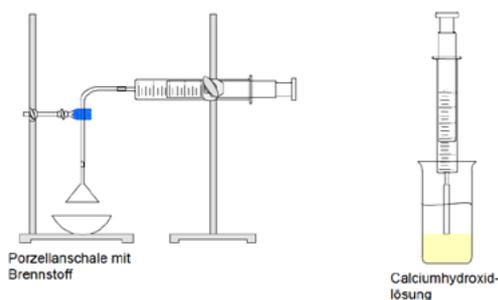
Aufgabenstellung

Untersuche die Entwicklung von Treibhausgasen bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe.

Experiment

Baue das Experiment wie in nebenstehender Skizze dargestellt auf. Gib ca. 1 mL der zu untersuchenden Flüssigkeit in die Porzellanschale und zünde diese an. Ziehe während der Verbrennung mit dem Kolbenprober eine Gasportion von $V = 100\text{ mL}$ auf. Leite diese anschließend in 20 mL gesättigte Calciumhydroxidlösung ein.

Versuchsaufbau



Auswertung

Fertige ein Protokoll unter Einbeziehung nachfolgender Aufgaben an.

- 1 Führe das beschriebene Experiment mit den bereitgestellten, unterschiedlichen Brennstoffen durch.
- 2 Beschreibe deine Beobachtungen bei den einzelnen Versuchsdurchführungen.
- 3 Miss die Trübung in der mit dem Gas versetzten Calciumhydroxidlösung. Tausche Ergebnisse mit anderen Arbeitsgruppen aus. Ergänze und interpretiere die Tabelle.

Brennstoff	Ethanol	Leichtbenzin	Schwerbenzin	Öl		
Trübung in NTU						

NTU ist eine gebräuchliche Einheit zur Angabe der Trübung. Der Grenzwert für Trinkwasser liegt z. B. in Deutschland bei 1 NTU.

Weiterführende Aufgabenstellungen

- 4 Beschreibe, wofür die Menschheit Benzine, Öl (insbesondere auch Heizöl) seit Beginn der Industrialisierung hauptsächlich verwendet.
- 5 Entwickle Reaktionsgleichungen für die vollständige Verbrennung der eingesetzten Brennstoffe. Folgende Summenformeln können benutzt werden:
Ethanol (C_2H_5OH), Leichtbenzin (C_7H_{16}), Schwerbenzin ($C_{13}H_{28}$) und Öl ($C_{51}H_{96}O_2$).
- 6 Erkläre auch unter Nutzung der Messergebnisse mit dem Trübungssensor und der Reaktionsgleichungen aus Aufgabe 5, welche der verwendeten Brennstoffe vergleichsweise viel Kohlenstoffdioxid freisetzen und welche relativ wenig.
- 7 Erläutere mithilfe Deiner Ergebnisse, die Ursachen des anthropogenen Treibhauseffekt und welchen Einfluss eine wachsende Weltbevölkerung auf diesen hat.
Im Jahr 1850 lebten etwa 1,265 Mrd. Menschen auf der Erde, 2022 fast 8 Mrd.
- 8 Beurteile folgende Vorschläge zur Reduktion des anthropogenen Treibhauseffektes:
 - (I) Gruppenmobilität (z.B. in Bus und Bahn) statt Einzelmobilität (Auto)
 - (II) Verwendung von grünem (d.h. ohne Kohlendioxidentstehung erzeugtem) Wasserstoff
 - (III) Verwendung von Methan (hauptsächlich CH_4) statt Heizöl
- 9 Entwickle eigene Ideen zur Reduktion des anthropogenen Treibhauseffektes.

2.3 Der anthropogene Treibhauseffekt – Analyse von Verbrennungsgasen

Lehrermaterial

Materialien/Chemikalien

- TI-Nspire™
- 1 Kolbenprober oder Einwegspritze (je 100 mL)
- Trichter
- Schlauchstück
- Porzellanschale, Verbrennungsgefäß
- Ethanol, Benzine, Öl (ebenfalls möglich sind Brennergas, Holzspäne u.v.m.)
- 20 mL frisch hergestellte, gesättigte Calciumhydroxidlösung pro Versuchsdurchführung

Versuchsaufbau



Sensoren

- Trübungssensor

Hinweise zur Durchführung

Bei dem Versuch wurden quantitative Betrachtungen bewusst zurückgestellt, damit eine Bearbeitung auch schon im Kontext der Verbrennungen möglich ist. Hier müssten die Lehrkräfte dafür sorgen, dass die eingesetzten Stoffmengen vergleichbar sind.

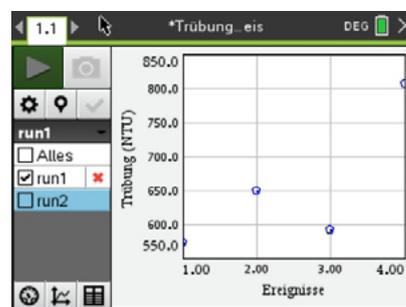
Eine sinnvolle Erweiterung stellt die Bestimmung des Brennwertes dar, welche mit einem Kalorimeter erfolgen könnte. Auch hier müsste sichergestellt werden, dass die spezifische Wärmekapazität von Wasser als Wissen vorhanden ist.

Es empfiehlt sich, bei den Versuchen die Flüssigkeiten in der Reihenfolge Ethanol, Leichtbenzin, Schwerbenzin und Öl zu untersuchen. Ist eine Porzellanschale stark verschmutzt, sollte eine neue verwendet werden. Achtung: die Porzellanschale wird heiß.

Der Trübungssensor muss vor der Verwendung mittels Zweipunktekali­brierung kalibriert werden.

Auswertung

- 1 Durchführung und graphische Darstellung der Messwerte.



- 2 Anstelle des Kolbenprobers können auch Einwegspritzen benutzt werden. Diese sind gasdicht und können nicht zerbrechen. Es sollte etwa der gleiche Abstand zum Ort der Verbrennung bestehen. Das entstehende Kohlenstoffdioxid hat eine größere Dichte als Luft und kann bei zu großem Abstand nur in geringen Dosen aufgefangen werden. Als Beobachtungen sollten die Schüler*innen erkennen, dass ein weißes Gas entsteht und bei Schwerbenzin und Öl ein starkes Rußen zu erkennen ist.

- 3 Tendenziell nimmt die Trübung bei der Untersuchung der Brennstoffe in der angegebenen Reihenfolge zu, da der Kohlendioxidanteil im Verbrennungsgas ansteigt. Die exakten Werte hängen stark vom Abstand des Trichters zur Verbrennung ab, die Tendenz wird aber deutlich.

Verwendet man Brennergas, ist die Trübung deutlich kleiner – hier fängt man aber ggf. auch nicht verbranntes Erdgas auf.

Brennstoff	Ethanol	Leichtbenzin	Schwerbenzin	Öl		
Trübung in NTU	678,4	722,1	760	798		

- 4 Mögliche Antworten:

- Mobilität (Autos, Flugzeuge, u. a.),
- Heizwirkung (z. B. Gas- und Ölheizungen),
- Antrieb von Maschinen in Betrieben,
- Erzeugung elektr. Energie in z. B. Gas- und Kohlenkraftwerken

- 5
- | | | | |
|--------------|----------------------------|-------------------|---------------------|
| Ethanol | $C_2H_6O + 3 O_2$ | \longrightarrow | $2 CO_2 + 3 H_2O$ |
| Leichtbenzin | $C_7H_{16} + 11 O_2$ | \longrightarrow | $7 CO_2 + 8 H_2O$ |
| Schwerbenzin | $C_{13}H_{28} + 20 O_2$ | \longrightarrow | $13 CO_2 + 14 H_2O$ |
| Öl | $C_{51}H_{96}O_2 + 74 O_2$ | \longrightarrow | $51 CO_2 + 48 H_2O$ |

- 6 Bei Ethanol beträgt der Anteil an Kohlenstoffdioxid im Verbrennungsgas 40%. Bei Öl liegt der Anteil schon über 50%, was die höchste Trübung im Vergleich erklärt. Insgesamt ist auch die Schlussfolgerung aus den Versuchsergebnissen richtig, dass die Verbrennung großer Moleküle mehr Kohlenstoffdioxid freisetzt als die kleiner. Das müsste im Unterrichtsgespräch relativiert werden – beim Verbrennen der Benzine oder des Öls, merkt man selbst in der Luft die Temperaturzunahme. Ebenfalls zu konstatieren ist, dass bei einem Anteil von mindestens 33% Kohlenstoffdioxid im Gasgemisch alle solchen Verbrennungen nicht unproblematisch sind (Vergleich mit der Atemluft ca. 4% Kohlenstoffdioxidanteil).

- 7 Den anthropogenen Treibhauseffekt gibt es im Wesentlichen, weil Menschen seit Beginn der Industrialisierung verstärkt fossile und organische Brennstoffe nutzen. Dies geschieht zu lebensnotwendigen Zwecken (Heizen), aber auch zu Zwecken der Wohlstandssteigerung, der Erhöhung der Wirtschaftskraft (Industrie) und der Mobilität. Das Anwachsen der Weltbevölkerung und der damit wachsende Bedarf ist ein sehr wichtiger Faktor, da sich der anthropogene Treibhauseffekt durch die Ansprüche einer immer größer werdenden Anzahl an Menschen weiter verstärkt. Das liegt hauptsächlich an den betrachteten Verbrennungsreaktionen und dem dabei freiwerdenden Kohlenstoffdioxid.

- 8 Gruppenmobilität kann eine sinnvolle Maßnahme sein, da mehr Personen zu einem etwa gleichen Kohlenstoffdioxideintrag mobil werden (hier könnte man einwenden, dass diese Fahrzeuge oft mit Schwerbenzinen fahren).

Die Verwendung von grünem Wasserstoff verhindert die Entstehung von Kohlenstoffdioxid, da als Verbrennungsgas Wasserdampf entsteht, der einen geringeren Beitrag zum anthropogenen Treibhauseffekt hat.

Die Verbrennungsgase von Methan enthalten ein Drittel Kohlenstoffdioxid, thematisiert man den Brennwert zusätzlich, erhält man für Methan die günstigste Kohlendioxidbilanz aller Alkane. Das verdeutlicht, warum Deutschland auf Erdgas als Zwischenlösung gesetzt hat, auch wenn auch der Beitrag der Methanverbrennung zum anthropogenen Treibhauseffekt nicht klein ist (nur kleinstmöglich bei fossilen Brennstoffen).

- 9 Individuelle Lösung

3.1 Wirksamer Wärmeschutz an Fensterscheiben

Durch einen Quadratmeter Fensterfläche kann bis zu fünfmal mehr Wärme verloren gehen als durch die gleiche Wandfläche.

Schon ein zugezogener Vorhang vor dem Fenster kann eine Dämmwirkung erzielen und somit Heizwärme sparen. So reduziert ein schwerer Vorhang die nächtlichen Wärmeverluste bei normalem Isolierglas bereits um 5 Prozent.

Aber auch das Fensterglas selbst bietet Möglichkeiten, Wärmeverluste zu verringern.

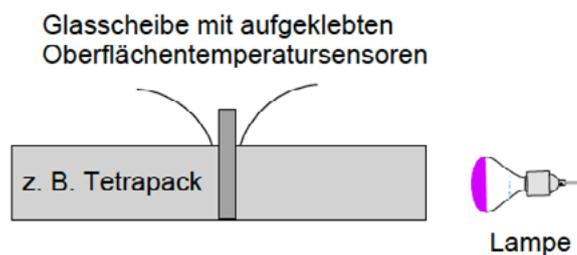
Aufgabenstellung

Untersuche den Wärmeschutz an unterschiedlichen Glasscheiben mit Hilfe des nachfolgend beschriebenen Experiments.

Experiment 1

Entferne von einem 1 Liter Tetrapack (Soft- oder Milchbehälter) jeweils den Boden und Deckel. Schneide in der Mitte des Tetrapacks einen „Schlitz“, in den später die vorbereitete Glasscheibe bündig hineinpasst.

Versuchsaufbau



Klebe mit durchsichtigem Klebeband auf die Vorder- und Rückseite der zu untersuchenden Glasscheibe die Oberflächentempersensoren.

Stecke die präparierte Scheibe in den Schlitz des vorbereiteten Tetrapacks. Positioniere eine Lampe so, dass das Licht direkt auf die Scheibe trifft.

Bereite eine Datenaufnahme so vor, dass über einen Zeitraum von 300 Sekunden alle 5 Sekunden ein Messwert aufgenommen wird.

Schalte die Lampe ein und starte die Messung.

Experiment 2

Wiederhole Experiment 1 mit anderen Glasscheiben (z.B. getönten, verspiegelten Scheiben,) oder tausche aufgenommene Daten mit anderen Arbeitsgruppen aus.

Auswertung

Fertige ein Protokoll unter Einbeziehung nachfolgender Aufgaben an.

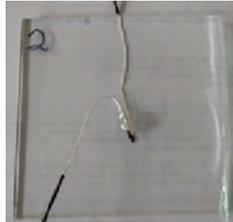
- 1 Skizziere die aufgenommenen oder ausgetauschten Messreihen (Temperatur auf der Glasvorder- und -rückseite) für jeweils ein Glas in ein Koordinatensystem oder drucke die Graphen aus. Beschreibe den Verlauf der jeweils zusammengehörenden Kurven. Gib die jeweils maximale Temperaturdifferenz bei den verschiedenen Gläsern an.
- 2 Beurteile die Wirkung des Wärmeschutzes der untersuchten Glasscheiben.
- 3 Gib Beispiele für unterschiedliche Wärmeschutzmaßnahmen an.
- 4 Entwickle eine weitere Idee zum wirksamen Wärmeschutz an Fensterscheiben. Nutze dazu die bereitgestellten Materialien und überprüfe deine Idee experimentell.
- 5* Erkläre, warum sich Heizungen in der Regel unter dem Fenster befinden.

3.1 Wirksamer Wärmeschutz an Fensterscheiben

Lehrermaterial

Materialien/Chemikalien

- 2 Stück TI-Nspire™ Handheld oder Software
- transparente Glasscheibe(n)
- getönte Glasscheibe(n)
- verspiegelte Glasscheibe
- verschiedene Materialien: Rettungsdecke, Farbe, Thermo-Cover-Folie, Sichtschutz für Autoscheiben, ...
- Tetrapack (1 Liter Saft- oder Milchverpackung) mit 2 seitlichen Öffnungen und Schlitz zur Einführung der Glasscheibe



Sensoren

- 2 Oberflächentempersensoren

Hinweise zur Durchführung

Die Lichtquelle sollte erst angeschaltet werden, wenn der erste Messwert aufgenommen wurde.

Auswertung

- 1 Nachfolgend werden für drei mögliche Glasscheiben Musterlösungen angegeben.

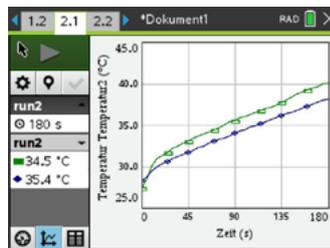
Experimente 1

normale Glasscheibe,
maximale Temperaturdifferenz: 5 K



Experimente 2

getönte Glasscheibe,
maximale Temperaturdifferenz: 5 K



Experiment 3

verspiegelte Glasscheibe
(mit Spiegelseite zur Lichtquelle), maximale Temperaturdifferenz: 11,3 K



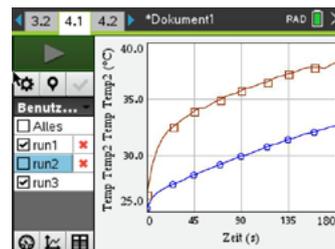
- 2 Der Wärmeschutz ist anhand der maximalen Temperaturdifferenz zwischen den beiden Oberflächentempersensoren pro Versuchsdurchführung zu beurteilen.

- 3 Mögliche Anwendungen für Wärmeschutzmaßnahmen:

- Wärmeschutz der Räume einer Wohnung
- Austausch von Fenstern in alten Häusern

- 4 Präparation einer Glasscheibe mit Thermo-Cover-Folie,

maximale Temperaturdifferenz: 5,5 K



- 5 Der warme Luftstrom baute eine Barriere zwischen Fenster und Raum auf und wärmte die am Fenster herunterkühlende Luft so schnell wie möglich auf.

3.2 Der Maximum-Power-Point (MPP) einer Solarzelle

Zwei wichtige Kenngrößen einer Solarzelle sind die Leerlaufspannung U_0 und der Kurzschlussstrom I_0 . Die Leerlaufspannung wird ohne Lastwiderstand gemessen (im Idealfall bei $I_0 = 0$ A) und beträgt etwa 0,5 V. Sie ist unabhängig von der Lichtstärke der Lichtquelle und von der Größe der Solarzelle. Der Kurzschlussstrom wird gemessen, indem man die Solarzelle kurzschließt (im Idealfall bei $U_0 = 0$ V). Er ist im Gegensatz zur Leerlaufspannung abhängig von der Bestrahlungsstärke, der Solarzellengröße und der Ladungsträgerausbeute des verwendeten Materials.

Betrieibt man eine Solarzelle mit ihrer Leerlaufspannung bzw. ihrem Kurzschlussstrom, so ist die Leistung $P = U \cdot I$ in beiden Fällen $P = 0$ W. Dazwischen hat die Leistung ein Maximum, den Maximum-Power-Point (MPP). Im praktischen Betrieb wird man die Solarzelle möglichst dicht oder sogar genau auf diesem MPP betreiben, da sie dort den größten Wirkungsgrad hat. Dazu muss man den Lastwiderstand genau einstellen.

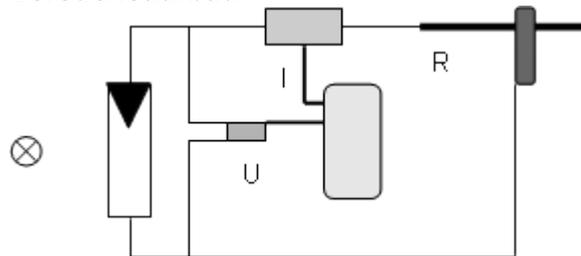
Aufgabenstellung

Bestimme den Maximum-Power-Point der bereitgestellten Solarzelle.

Experiment

Baue entsprechend der nebenstehenden Skizze die Versuchsanordnung auf. Achte darauf, dass der Widerstand straff gespannt ist. An der linken Seite wird eine Krokodilklemme fest angeklemt. Die zweite schleift von links nach rechts auf dem Draht.

Versuchsaufbau



Schließe die Sensoren an jeweils einen Taschenrechner an und bereite eine Messwertfassung so vor, dass über einen Zeitraum von 20 Sekunden alle 0,5 Sekunden ein Messwert aufgenommen wird.

Starte die Messung und ziehe die zweite Krokodilklemme innerhalb von 20 Sekunden von der Kurzschlussstelle (links) aus dem Draht.

Auswertung

Fertige ein Protokoll unter Einbeziehung nachfolgender Aufgaben an.

- 1 Führe das Experiment durch. Stelle die aufgenommenen Messwerte graphisch dar.
- 2 Füge die aufgenommenen Messwerte zur weiteren Auswertung in die Applikation „List&Spreadsheet“ ein.
Berechne zu jedem Messwertepaar die Leistung P .
Dokumentieren deinen Lösungsweg auf dem Taschenrechner.
- 3 Stelle Sie in einem Diagramm die Leistung in Abhängigkeit von der Spannung graphisch dar ($P = f(U)$). Ermittle den Maximum-Power-Point .

3.2 Der Maximum-Power-Point (MPP) einer Solarzelle

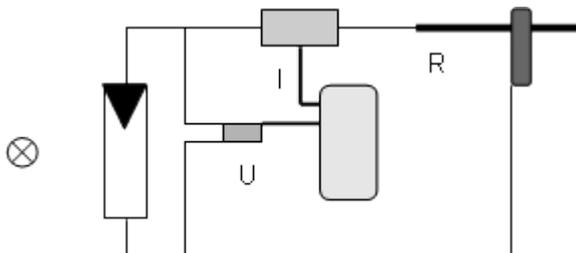
Lehrermaterial

Materialien

- TI-Nspire™ Handheld oder Software
- beliebige Solarzelle
- Widerstandsdraht für ca. 20 Ω
- 2 Krokodilklemmen aus Metall
- Stativmaterial
- Lichtquelle (OHP, Halogen, Sonne)

Sensoren

- Spannungssensor
- Stromsensor



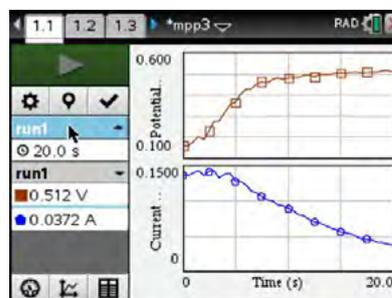
Hinweise zur Durchführung

Es eignet sich jede Solarzelle und jede Beleuchtung, sofern ein Kurzschlussstrom von etwa 150 mA erzeugt werden kann (dieser Wert hat sich als günstig herausgestellt). Der Widerstandsdraht und auch die Krokodilklemmen sollten frei von Rost sein, um einen guten elektrischen Kontakt zu erhalten.

Im Versuch wird die bewegliche Krokodilklemme von der Kurzschlussposition weg dicht am Widerstandsdraht entlang gezogen.

Lösungen

- 1 Durchführung und graphische Darstellung der Messwerte.



- 2 Nach dem Einfügen der Messwerte in die Applikation „List&Spreadsheet“ und der Benennung der Spalten mit z. B. „i“, „u“ und „p“ wird die Leistung aus den Werten der Spalten „i“ und „u“ berechnet.

	A i	B u	C p	D
=	=run1.curre	=run1.poter	=i*u	
10	0.138232	0.360242	0.049797	
11	0.128059	0.365854	0.046851	
12	0.128738	0.405138	0.052156	
13	0.123312	0.427585	0.052726	
14	0.114835	0.427585	0.049102	
13				

- 3 Die graphische Bestimmung des MPP kann in einem Diagramm erfolgen, in dem die Stromstärke in Abhängigkeit der Spannung dargestellt wird (Abbildung 1). Man sieht im U-I-Diagramm, dass die Stromstärke bis zu etwa $U = 0,35 \text{ V}$ nahezu konstant bleibt, ab $U = 0,45 \text{ V}$ jedoch rapide und fast linear abfällt. Nach dem Einfügen von Ausgleichsgeraden wird deren Schnittpunkt bestimmt.

Im U-P-Diagramm (Abbildung 2) ist der nahezu lineare Anstieg der Leistung bei kleinen Spannungswerten gut zu sehen, verdeutlicht durch die eingefügten Geraden. Der MPP ist bei ca. $0,41 \text{ V}$ und $0,053 \text{ W}$ erreicht.

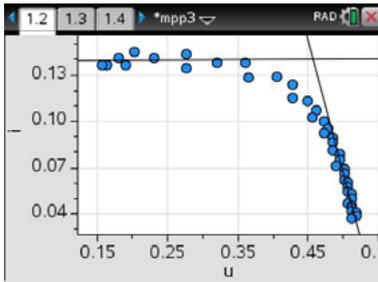


Abbildung 1
Darstellung Stromstärke in Abhängigkeit von der Spannung

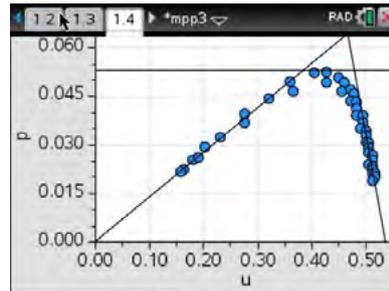


Abbildung
Darstellung der Leistung in Abhängigkeit von der Spannung

3.3 Wasserstoff – der Stoff der Zukunft Herstellung, Speicherung, Verwendung

In Hamburg fahren wasserstoffbetriebene Linienbusse, die Automobilindustrie erforscht taugliche Systeme für Wasserstoffeinsatz in PKW. Sogar ein Wasserstoffbike wurde entwickelt.

Eine Möglichkeit, den Brennstoff Wasserstoff zu gewinnen, ist die Elektrolyse von Wasser ($2 \text{H}_2\text{O(l)} \longrightarrow \text{O}_2\text{(g)} + 2 \text{H}_2\text{(g)}$).

Die dafür notwendige Energie kann unter anderem durch Photovoltaik-Zellen geliefert werden. Die Speicherung des hergestellten Wasserstoffs stellt gegenwärtig das größte Problem dar.

Aufgabenstellung

Stelle Wasserstoff durch Elektrolyse von Wasser und Nutzung einer Photovoltaikzelle her. Speichere den Wasserstoff in einem drucksicheren Gefäß.

Leite anschließend den hergestellten Wasserstoff in eine Wasserstoff-Brennstoffzelle, an die ein Verbraucher angeschlossen ist.

Experiment

Bereite einen durchbohrten Stopfen, der auf das zu nutzende Auffanggefäß passt, so vor, dass der Stopfen des Gasdrucksensors in diesem fest fixiert werden kann.

Schließe den Dreiwegehahn an den Gasdrucksensor und den Ableitungsschlauch des Wasserstoffs von der Elektrolysezelle an.

Bereite die Elektrolysezelle für die Wasserzersetzung vor, indem die Photovoltaik-Zellen angeschlossen werden. Sorge für eine geeignete Lichtquelle. Beginne mit der Wasserzersetzung und starte eine Messung, bei der alle 10 Sekunden über einen Zeitraum von 900 Sekunden der Druck im Auffanggefäß gemessen wird.

Schließe am Ende der Messung den Dreiwegehahn so, dass der Wasserstoff im Auffanggefäß bleibt.

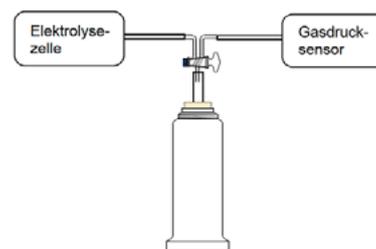
Betriebe mit dem hergestellten Wasserstoff eine Brennstoffzelle.

Auswertung

Fertige ein Protokoll unter Einbeziehung nachfolgender Aufgaben an.

- 1 Führe die Experimente durch. Stelle die aufgenommenen Messwerte graphisch dar.
- 2 Interpretiere die aufgenommenen Messwerte.
- 3 Entwickle die Reaktionsgleichungen für die bei der Elektrolyse von Wasser ablaufenden Reaktionen an der Anode und Kathode.
- 4 Erkläre unter Nutzung von Reaktionsgleichungen die Funktionsweise einer Wasserstoff-Brennstoffzelle.
- 5 Informiere Dich über großtechnische Speichermöglichkeiten von Wasserstoff. Stelle Vor- und Nachteile gegenüber.

Versuchsaufbau



3.3 Wasserstoff – der Stoff der Zukunft Herstellung, Speicherung, Verwendung

Lehrermaterial

Materialien

- TI Nspire™
- 2 Photovoltaikzellen mit Anschlussset
- Lichtquelle
- Thermosflasche (Stahlwand) V= 500 mL mit passendem Stopfen und Bohrung (14-15 mm)
- Stativ mit Klemme (zum Anpressen des Stopfens)
- Luer-Lock-Dreiwegehahn
- Brennstoffzelle mit Verbraucher

Sensoren

- Spannungssensor
- Stromsensor



Hinweise zur Durchführung

Vor dem Beginn der Messwerterfassung sollte die Elektrolysezelle kontinuierlich Wasserstoff liefern.

Lösungen

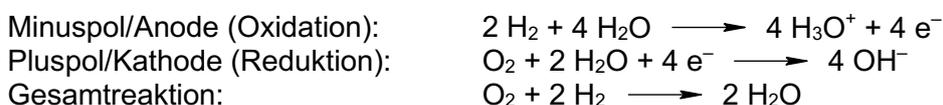
- 1 Durchführung und graphische Darstellung der Messwerte.
- 2 Der Druck im Gefäß steigt in Abhängigkeit von der gemessenen Zeit linear an.

In dem durchgeführten Experiment wurde ein Druckanstieg von $\Delta p = 2,32 \text{ kPa}$ gemessen.



- 3 Pluspol/Anode (Oxidation): $6 \text{ H}_2\text{O} \longrightarrow \text{O}_2 + 4 \text{ H}_3\text{O}^+ + 4 \text{ e}^-$
 Minuspol/Kathode (Reduktion): $4 \text{ H}_2\text{O} + 4 \text{ e}^- \longrightarrow 2 \text{ H}_2 + 4 \text{ OH}^-$
 Gesamtreaktion: $2 \text{ H}_2\text{O} \longrightarrow \text{O}_2 + 2 \text{ H}_2$

- 4 Die Wasserstoff-Brennstoffzelle ist eine galvanische Zelle, in der die Reaktion zwischen Wasserstoff und Sauerstoff in zwei Halbzellen zwischen platin- oder palladiumbeschichteten Elektroden abläuft. Die Halbzellen sind durch eine Membran getrennt, die nur für H_3O^+ -Ionen durchlässig ist. Die Edukte müssen kontinuierlich von außen zugeführt werden. Die chemische Energie wird direkt in elektrische Energie umgewandelt.



- 5 Individuelle Lösung

3.4 Wege aus der Krise: Wärmedämmung

Wer kennt das nicht: Dachgeschosswohnungen heizen sich im Sommer auf, im Winter passiert das Gegenteil. Mühsam aufgeheizte Räume kühlen schnell aus und eure Eltern ärgern sich über hohe Heizkosten.

Die meisten Heizungen laufen über die Verbrennung von Öl, Gas oder Holz. Dies verbraucht Rohstoffe und verstärkt die Abgabe von Kohlenstoffdioxid in die Atmosphäre.

Deshalb gewinnt die Wahl gut dämmender Materialien immer mehr an Bedeutung.

Aufgabenstellung

Untersuche die Wirksamkeit unterschiedlicher Dämmmaterialien und Lehm.

Entwickle anschließend die bestmögliche Kombination aus zwei der untersuchten Dämmstoffe (2) - (8) zur Isolierung eines Modellhauses.

Experiment 1

Bereite ein Wasserbad so vor, dass verschiedene Reagenzgläser in diesem erwärmt werden können.

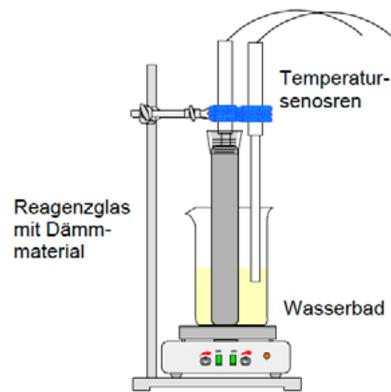
Befülle jeweils gleichgroße Reagenzgläser mit den bereitgestellten Dämmmaterialien, ohne diese stark zu verpressen.

Verschließe die Reagenzgläser mit einem durchbohrten Stopfen. Nutze die Durchbohrung so, dass ein Temperatursensor möglichst in der Mitte des befüllten Reagenzglases fixiert werden kann. Stelle einen zweiten Temperatursensor in das Wasserbad. Bereite eine Datenaufnahme über einen Zeitraum von 300 Sekunden, bei der alle 5 Sekunden ein Messwert aufgenommen wird, vor.

Stelle das Reagenzglas in das vorgewärmte Wasserbad.

Beginne mit der Messung, wenn die Wassertemperatur 24°C erreicht hat.

Versuchsaufbau



Experiment 2

Nachdem die Ergebnisse aus Experiment 1 in die Tabelle eingetragen wurden, wiederhole Experiment 1 mit jeweils einer Mischung aus zwei unterschiedlichen Materialien. Sprich Dich bezüglich der Mischungen mit anderen Arbeitsgruppen ab, so dass möglichst viele Kombinationen untersucht werden.

Auswertung

Fertige ein Protokoll unter Einbeziehung nachfolgender Aufgaben an.

- Ergänze die nachfolgende Tabelle. Tausche gegebenenfalls Werte mit anderen Arbeitsgruppen aus.

Experiment 1: Vorversuch		Experiment 2: Egg-Race	
Dämmmaterial	Temperaturanstieg im Reagenzglasinneren nach 5 Minuten	Kombination (Angabe mit Ziffern)	Temperaturanstieg im Reagenzglasinneren nach 5 Minuten
(1) Steinwolle			
(2) Stroh			
(3) Isofloc			
(4) Lehm			

(5) Schafwolle			
(6) Holzspäne			
(7) Hanf			
(8) Kork			
Unsere beste Kombination:			

- 2 Erkläre, was unter der Wärmeleitfähigkeit λ , dem U-Wert und der spezifische Wärmekapazität c zu verstehen ist. Führe gegebenenfalls eine Recherche durch.
- 3 Vergleiche die Wärmeleitfähigkeit, den U-Wert und die spezifische Wärmekapazität der organischen Dämmmaterialien ((2) – (8)) aus nachwachsenden Rohstoffen mit denen der konventionellen Steinwolle (1).
- 4 Stelle einen Zusammenhang zwischen U-Wert und den aufgenommenen Messwerten der verschiedenen Dämmstoffe her.
- 5 Beurteile den Einsatz ökologischer Dämmstoffe im Gegensatz zu herkömmlichen.

Material 1:

<p>Von Natur aus gut gedämmt Geht nicht, gibt's nicht. Wenn Hausherrn ihr Eigenheim „grün“ dämmen wollen, bieten sich ihnen unterschiedliche Materialien in Hülle und Fülle. [...] Für alle Einsatzorte, für jeden Winkel im Haus, der warm eingepackt werden soll, gebe es eine Lösung aus nachwachsenden Rohstoffen.</p>	<p>Dafür wirken die geschätzten 9% Marktanteil in Deutschland sehr bescheiden. [...] Stattdessen türmen sich vor den Baustellen die angelieferten Pakete mit konventionellem Styropor oder Steinwolle, die schlichtweg günstig sind. Günstige U- und Lambda-Werte erzielen auch [die natürlichen Dämmstoffe] und halten gut mit der</p>	<p>etablierten Konkurrenz mit. Außerdem bieten die Ökodämmmer einen Vorteil, der Styropor und Stein Wolle, wenn sie einmal verbaut sind, fehlt: Sie sind meist rückbaufähig, lassen sich sortenrein und sauber trennen und so gut wiederverwenden. (Quelle: FAS, 12.12.2021, (49), S. 55)</p>
--	---	---

Material 2:

Dämmmaterial	Wärmeleitfähigkeit Lambda λ (W/m ² *K)	U-Wert bei 10 cm (W/m ² *K)	Spezifische Wärmekapazität c (J/kg*K)
Steinwolle	0,032-0,040	0,32-0,40	840-1000
Stroh	0,052-0,080	0,50-0,80	2000
Isofloc	0,040-0,045	0,40-0,45	2100
Lehm	0,47-0,93	0,53	1000
Schafwolle	0,033-0,040	0,33-0,40	1720
Holzspäne	0,045	0,45	2100
Hanf	0,040-0,060	0,4-0,60	1600-2200
Kork	0,050	0,50	1800

Quellen: https://www.schweizer-fn.de/stoff/wkapazitaet/wkapazitaet_baustoff_erde.php, <https://de.wikipedia.org/wiki/W%C3%A4rmeleitf%C3%A4higkeit>, <https://www.naturbauhof.de/daemmen-mit-lehm>

3.4 Wege aus der Krise: Wärmedämmung

Lehrermaterial

Materialien

- 2 Stück TI-Nspire™ Handheld oder Software
 - Materialien, deren Wärmedämmung untersucht werden soll:
- Steinwolle (1) (mit Handschuhen arbeiten), Stroh (2), Isofloc (3), Lehm (4), Wolle (5), Holzspäne (6), Hanf (7), Kork (8)
- 8 große Reagenzgläser
 - durchbohrter Stopfen
 - Stativmaterial
 - Heizplatte oder Gasbrenner mit Dreifuß
 - Spatel, Pinzette
 - Becherglas (V = 250 mL) mit Wasser



Sensoren

2 Stück Temperatursensor

Hinweise zur Durchführung

Um die Genauigkeit der Messwerte zu erhöhen, kann das Isoliermaterial zwischen zwei ineinandergesteckte Reagenzgläser gebracht werden. Die Messung erfolgt dann im Inneren des kleineren Reagenzglases.

Die Arbeit verschiedener Schülergruppen, die jeweils unterschiedliche Materialien untersuchen und Ergebnisse untereinander austauschen, verkürzt die Dauer des Experimentes. Die Wärmedämmung durch das Reagenzglas kann vernachlässigt werden, da diese Fehlerquelle bei allen Versuchsdurchführungen auftritt.

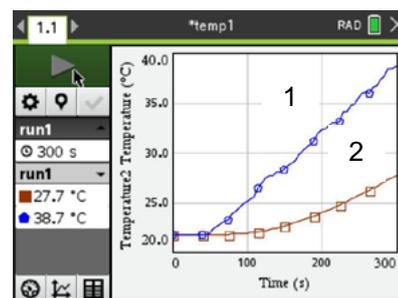
Lösungen

1 Mögliche Versuchsergebnisse

Die aufgenommenen Graphen zeigen die Temperaturänderungen bei der Untersuchung von Kork als Dämmmaterial.

Kurve 1: Temperatur des Wasserbades

Kurve 2: Temperatur innerhalb des mit Kork gefüllten Reagenzglases



Experiment 1: Vorversuch		Experiment 2: Egg-Race	
Dämmmaterial	Temperaturanstieg im Reagenzglasinneren nach 5 Minuten ΔT in K	Kombination (Angabe mit Ziffern)	Temperaturanstieg im Reagenzglasinneren nach 5 Minuten ΔT in K
(1) Steinwolle	7,9		
(2) Stroh	15,9		
(3) Isofloc	12,2		
(4) Lehm	6,8		
(5) Schafwolle	7,8		
(6) Holzspäne	9,3		
(7) Hanf	8,7		
(8) Kork	10,5		
Unsere beste Kombination:			

2 Spezifische Wärmekapazität c

Die spezifische Wärmekapazität ist das Maß der Energiemenge, die benötigt wird, um ein Kilogramm eines Stoffes um ein Kelvin zu erwärmen.

Wärmeleitfähigkeit λ

Die Wärmeleitfähigkeit bezeichnet die Größe des Wärmestroms, der pro Sekunde durch einen Quadratmeter eines ein Meter dicken Baustoffes bei einer Temperaturdifferenz von einem Kelvin übertragen wird.

U-Wert

Der U-Wert berechnet sich aus dem Quotienten der Wärmeleitfähigkeit λ und der Schichtdicke.

3 Nachwachsende Rohstoffe können die synthetisch hergestellte Steinwolle gut ersetzen. Schafwolle hat beispielsweise eine ähnliche Wärmeleitfähigkeit. Insgesamt überzeugen die natürlichen Dämmmaterialien vor allem in ihren spezifischen Wärmekapazitäten gegenüber der Steinwolle.

4 Individuelle Lösung

5 Individuelle Lösung

3.5 Energieeffizienz von Lichtquellen

In den meisten Haushalten sind Glühlampen inzwischen eher selten geworden, viele Lichtquellen wurden durch Energiesparlampen oder sogar LEDs ersetzt. Aber was bringt das genau? Glühlampen erzeugen das Licht bekanntlich durch das Erhitzen eines Drahtes. Eine Schutzatmosphäre im Glaskolben sorgt dafür, dass der Draht nicht verbrennt und durchglüht. Dabei entsteht neben dem Licht viel Wärme. LEDs dagegen nutzen einen energetischen Übergang in einem Halbleiter, um damit direkt Licht zu erzeugen.

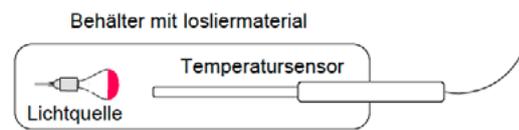
Aufgabenstellung

Miss den zeitlichen Temperaturverlauf beim Betrieb verschiedener, wärmeisolierter Lichtquellen.

Experiment

Bereite einen Behälter (z.B. kleine Schachtel, Tasse) und geeignetes Isoliermaterial (z.B. Papiertücher, Luftpolsterfolie,...) so vor, dass die gewählte Lichtquelle und die Spitze des Temperatursensors vollständig hineinpassen und wärmeisoliert betrieben werden können (s. Bild). Schließe die gewählte Lichtquelle an eine Stromquelle an, ohne diese sofort einzuschalten. Bereite eine Datenaufnahme über einen Zeitraum von 600 Sekunden, bei der alle Sekunde ein Messwert aufgenommen wird, vor.

Versuchsaufbau



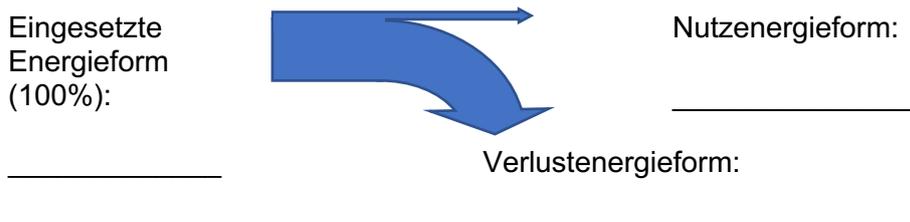
Starte die Messung. Schalte danach die Lichtquelle ein.

Wiederhole die Messung mit anderen Lichtquellen. Achte dabei auf ausreichende zeitliche Abstände bzw. gute Belüftung der Wärmeisolation, um nicht Wärme vom vorhergehenden Versuch zu erfassen.

Auswertung

Fertige ein Protokoll unter Einbeziehung nachfolgender Aufgaben an.

- 1 Führe die Experimente durch. Stelle die aufgenommenen Messwerte graphisch dar.
- 2 Interpretiere die aufgenommenen Messwerte.
- 3 Berechne das Verhältnis der letzten Temperaturwerte abzüglich der Startwerte. Berechne den Faktor, um den die Glühlampe mehr „Wärme“ als z. B. eine LED produziert hat: $(T_{G,Ende} - T_{G,Start}) : (T_{Led,Ende} - T_{Led,Start})$
- 4 Vervollständige die Beschriftung an dem folgenden Energieflussdiagramm für eine Glühlampe:



Zeichne ein analoges Diagramm für die Leuchtdiode.

- 5 Informiere dich über den Wirkungsgrad von Geräten sowie die Lichtausbeute für Lichtquellen.

3.5 Energieeffizienz von Lichtquellen

Lehrermaterial

Materialien

- TI-Nspire™
- Schachtel (oder ähnliches)
- Wärmedämmung (z.B. Papiertuch, Luftpolsterfolie)
- Glühlampe (z. B. Anzeigelampe) zwischen 0,5 W und 3 W
- LED mit extern angebrachtem Vorwiderstand (dieser sollte nicht mit in die Wärmeisolation). Die elektrische Leistung der LED sollte ca. 0,1-fache der Glühlampenleistung betragen (etwa gleiche Helligkeit), ca. 3 W.



Sensoren

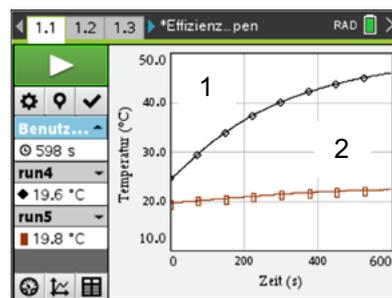
- Temperatur-Sensor
- ggf. Lichtsensor zum Vergleich der Lichtquellen

Hinweise zur Durchführung

Die Wärmedämmung muss nicht perfekt sein. Sie sollte verhindern, dass zu viel Wärme durch Luftzug oder Wärmeleitung von der Lichtquelle abfließt. Alu-Folie ist schlechter geeignet (Wärmeleitung, Kurzschlüsse). Bei sehr leistungsstarken Glühlampen sollte auf schwere Entflammbarkeit geachtet werden (Temperaturen über 60 °C sind in wenigen Minuten zu erreichen.). Sollte sich keine geeignete LED finden lassen, so kann über die Spannung die Leistung angepasst werden, so dass beide Lichtquellen vergleichbar hell sind. Dies lässt sich einfach mit einem Lichtsensor überprüfen. Für Lichtquellen wird i. d. R. kein Wirkungsgrad berechnet, sondern die „Lichtausbeute“ in Lumen/Watt verglichen.

Lösungen

- 1 Durchführung und graphische Darstellung der Messwerte.
- 2 Die Temperatur bei der Glühlampe (Kurve 1) steigt sehr schnell stark an und nähert sich später einem konstanten Wert (Gleichgewicht von zugeführter und abfließender Wärmemenge).

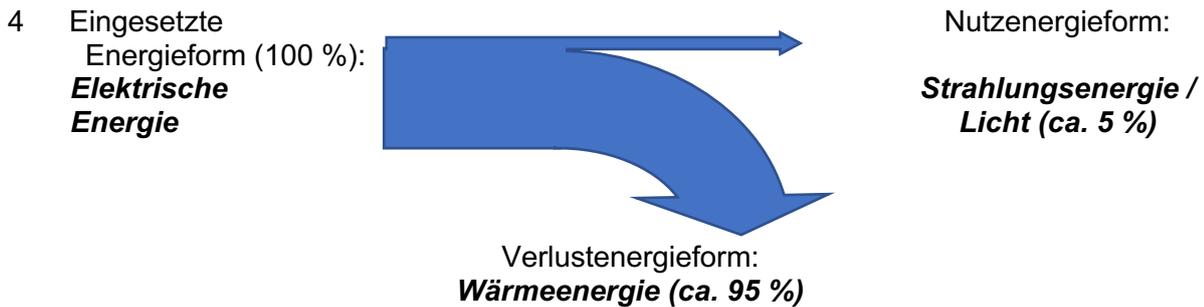


Bei der LED (Kurve 2) ist kaum ein Anstieg feststellbar.

- 3 Beispielmessung (s. Bild): Glühlampe Start: 24,7 °C, nach 600 s: 46,0 °C
LED Start: 19,5 °C, nach 600 s: 22,4 °C

$$\frac{46,0 \text{ °C} - 24,7 \text{ °C}}{22,4 \text{ °C} - 19,5 \text{ °C}} \approx 7,3$$

Die Glühlampe hat also in 600 s einen 7-fachen Temperaturanstieg verursacht.



Das Energieflussdiagramm der LED sollte ungefähr umgekehrte Verhältnisse darstellen (Wärmeverluste in der Regel unter 60 %, je nach Leistungsklasse). Dabei ist wichtig, dass man die Gesamtleistung im Blick behält.

Wenn eine Glühlampe etwa 5 % ihrer Leistung in Licht umwandelt, dann sind das bei 60 W (ehemalige „Standard-Lampe“ für Wohnungsbeleuchtungen) 3 W für Licht und 57 W, die in Wärme umgewandelt werden.

Bei LEDs reicht mit einer 30 %igen Lichtabgabe eine elektrische Leistung von 6 W aus. Folglich sind 70 % Wärmeabgabe bei 6 W erheblich weniger als die Wärmeabgabe der Glühlampe.

Bei dieser Aufgabe lassen sich gut Diskussionen anschließen, die auch die Herstellungsenergie, den Kohlenstoffdioxidabdruck, Entsorgungsüberlegungen und die Lebensdauer mit aufgreifen. Auch der Vergleich von Farbtreue, Lichtspektren, psychologische Wirkung von Lichtfarben lohnt eine Diskussion.

5 *Wichtige Aspekte der Recherche wären:*

Wirkungsgrad gibt das Verhältnis zwischen eingesetzter und Nutzenergie an, Formelsymbol η , maximal 1 bzw. 100 % möglich, je größer η ist, desto effizienter funktioniert das Gerät/die Energieumwandlung.

Einige Beispiele: Großkraftwerke 25 % - 50 %, Solarzellen 5 % - 27 %, Elektromotor 94 % - 99 %.

Bei Lichtquellen ist die Nutzenergie (Licht) von sehr vielen Parametern abhängig und nur schwer zu vergleichen. Daher wird zwischen Lichtquellen kein Wirkungsgrad zur Beschreibung der Effizienz genutzt, sondern die sogenannte Lichtausbeute, die in Lumen pro Watt ($\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$) angegeben wird. Glühlampen erreichen $10 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$ bis $20 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$, während LEDs im Bereich von $80 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$ und $250 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$ liegen. Diese Größen machen recht anschaulich klar, dass LEDs deutlich mehr Licht aus einem Watt elektrischer Leistung holen können als Glühlampen.

Bei Bedarf sollten auch die verwendeten physikalischen Größen recherchiert und thematisiert werden, so dass Schüler*innen eine Anschauung davon bekommen können.



T³ Teachers Teaching with Technology



Netzwerk

Das T³ Lehrerfortbildungnetzwerk richtet sich an Sie, an Lehrerinnen und Lehrer, die sich zum sinnvollen Einsatz digitaler Werkzeuge im MINT-Unterricht austauschen und weiterentwickeln wollen. T³ Deutschland ist Teil des internationalen T³ Netzwerks.

Fortbildungen

T³ Deutschland bietet Ihnen pädagogisch-didaktische Unterstützung in Form von schulinternen Fortbildungen, Online-Seminaren und Tagungen an.

Materialien

Aufgabenbeispiele, Tutorials, Videos und mehr nützliche Materialien für Ihren MINT-Unterricht stellen wir auf der Materialdatenbank kostenlos zur Verfügung.

→ Der **T³ EduBlog** bietet exklusive Interviews, inspirierende Erfahrungsberichte und mehr

Informieren Sie sich. Machen Sie mit!

Nehmen Sie Kontakt zu uns auf unter:

www.t3deutschland.de | info@t3deutschland.de

Abonnieren
Sie unseren
Newsletter!



T3 Europe

TI-Nspire™ CX CAS Technologie

Ob Handheld, Software (Win/Mac) oder Tablet (Win/iPad) - alle Produkte sind einzeln oder als integrierte Lösung einsetzbar. Passendes Zubehör unterstützt den fächerübergreifenden Einsatz in Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft und Technik (MINT).

www.tinspirecas.de



Praxisorientierte Unterrichtsmaterialien

Nützliche Aufgabenbeispiele für Ihren Unterricht, kostenlose Downloads und Hinweise auf Verlagspublikationen finden Sie auf der TI Materialdatenbank, auch ganz speziell zur TI-Nspire™ CX Technologie.

Schauen Sie mal rein:

TI Materialdatenbank: www.ti-unterrichtsmaterialien.net

- » Nutzen Sie beispielsweise unser kostenloses Ausleihprogramm!
- » Ausführliche Produkt- und Serviceinformationen sowie Bezugsquellen finden Sie auf unseren TI Webseiten education.ti.com/de
- » Die TI Schulberater unterstützen Sie gerne bei allen Fragen rund um den Einsatz von TI Rechnern im Unterricht: schulberater-team@ti.com

Abonnieren
Sie unseren
Newsletter!



www.youtube.com/TIedtechDE



[education.ti.deutschland](https://www.facebook.com/education.ti.deutschland)



[@TIEducationDE](https://twitter.com/TIEducationDE)



www.t3deutschland.de

education.ti.com



Teachers Teaching with Technology™

