

# Experimento | 10+

Experimentieranleitungen

[siemens-stiftung.org/Experimento](https://www.siemens-stiftung.org/Experimento)

Experimente geeignet für Schüler zwischen 10 und 18 Jahren. Nur unter Aufsicht verwenden.



---

## Vorwort

Sie haben den Handbuchordner für Experimento | 10+ vor sich, dem Modul des internationalen Bildungsprogramms der Siemens Stiftung für die Altersstufen 10 bis 18 Jahre. Sie interessieren sich also dafür, naturwissenschaftliche und technische Phänomene erlebbar zu machen – für ein lebendiges Lernen mit Jugendlichen.

Eine gute Entscheidung! Wer sich früh mit Naturphänomenen beschäftigt, lernt naturwissenschaftlich-technische Zusammenhänge zu verstehen und diese im Alltag wahrzunehmen.

Als Anregung und Anleitung finden Sie insgesamt 54 Experimente in diesem Handbuchordner. Sie geben Ideen und Hilfestellung, Jugendliche auf Forschungs- und Entdeckungsreisen zu begleiten. Wie gewinnen wir Energie? Wie beeinflusst jeder einzelne Mensch, wie viel Strom verbraucht wird? Wie funktioniert Recycling? Was passiert beim Händewaschen? Experimento möchte das Interesse junger Menschen für Phänomene aus Natur und Technik wecken und sie befähigen, sich in Zukunft verantwortungsvoll und konstruktiv mit den globalen Herausforderungen unserer Gesellschaft zu befassen.

Naturwissenschaftliches Wissen ist die Grundlage für die Entwicklung von Lösungskompetenz und Resilienz: Mit Verständnis und Kenntnis der Themen Energie, Umwelt und Gesundheit können jetzige und zukünftige Generationen Problemen mit innovativen Lösungen begegnen – von den Folgen einer Pandemie bis zu den Konsequenzen des Klimawandels. Gleichzeitig bereiten früh erworbene naturwissenschaftlich-technische Erkenntnisse darauf vor, sich in einer zunehmend digitalisierten und technisierten Welt zurechtzufinden.

Die naturwissenschaftliche Bildung ist ein besonderes Anliegen der Siemens Stiftung. Seit ihrer Gründung im Jahr 2008 unterstützt sie Lehrkräfte bei der Vermittlung von MINT-Wissen. Auch digital: frei zugängliches Unterrichtsmaterial finden Sie auf dem Medienportal der Siemens Stiftung auf Deutsch, Englisch und Spanisch.

Übrigens: Lehrkräfte müssen bei der Durchführung von Experimenten im naturwissenschaftlichen Unterricht eine Gefährdungsbeurteilung vorlegen. Damit Sie als Lehrkraft sicher und unbeschwert experimentieren können, haben wir diese schon für Sie erledigt. Sie ist unkompliziert über ein Online-Portal abrufbar. Mehr dazu lesen Sie auf den folgenden Seiten.

Wir wünschen Ihnen spannendes, abwechslungsreiches und inspirierendes Entdecken und Forschen mit Experimento!

Dr. Barbara Filtzinger  
Leitung Arbeitsgebiet Bildung, Siemens Stiftung



## **Herausgeberin**

Siemens Stiftung  
Kaiserstrasse 16  
80801 München  
Tel.: +49 (0) 89 54 04 87-0  
Fax: +49 (0) 89 54 04 87-440  
info@siemens-stiftung.org  
www.siemens-stiftung.org

## **Autoren**

Burkhard Apell, Dieter Arnold, Georg Frie, Dr. Lutz Stäudel, Ulrich Mauch,  
Prof. Dr. Claudia Nerdel, Andreas Rathgeber, Prof. Dr. Rita Wodzinski

## **Unter Mitwirkung von**

Lisa Knie, Prof. Dr. Stefan Schwarzer

## **Fachkoordination**

Dr. Michael Huber

## **Pädagogische Beratung**

LOKANDO AG

4., aktualisierte Auflage 2023



Die Inhalte dieses Handbuchordners stehen unter einer Creative Commons Namensnennung – Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 international Lizenz. Die Lizenzbedingungen finden Sie unter <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>.

Als gemeinnützige Siemens Stiftung engagieren wir uns für nachhaltige gesellschaftliche Entwicklung. Den Schwerpunkt legen wir dabei auf drei Themenfelder: Gesicherte Grundversorgung, Vernetzte Gesellschaften und Klima & Nachhaltigkeit. Die notwendigen Transformationen, die diese Herausforderungen verlangen, gestalten wir aktiv mit. Mit Partner\*innen aus den Bereichen Bildung, Sozialunternehmertum und Kunst & Kultur stärken wir das gemeinsame Lernen sowie lokal verankerte und nachhaltige Strukturen. Unsere Projekte und Netzwerke konzentrieren sich dabei auf Afrika, Europa und Lateinamerika.



## Autorinnen und Autoren

Ohne die tatkräftige Mitarbeit engagierter Pädagoginnen und Pädagogen sowie Didaktikerinnen und Didaktiker wäre die Konzeption und Realisierung von Experimento | 10+ nicht denkbar gewesen. Wir danken allen Autorinnen und Autoren, die mit ihrem Fachwissen zum Gelingen des Projektes beigetragen haben.

### **Dr. Michael Huber**, Fachkoordination, Konzeption und Autor

Dozent, Autor und Technical Consultant, Fürstfeldbruck

Dr. Michael Huber blickt auf über 40 Jahre Erfahrung im Bereich Bildung und Naturwissenschaften zurück. Zu seiner Vita gehören Stationen als Buchautor bzw. Fachjournalist und Entwickler von Lernprogrammen für die Aus- und Weiterbildung. Als Trainer führte er im Rahmen bundesweiter Förderprogramme und im Auftrag von Kultusministerien Schulungen für Multiplikatoren durch. Seit 2000 ist er als Mitbegründer der LOKANDO AG für die Bereiche Konzeption und Chefredaktion verantwortlich. Dort hatte er z. B. die Projektleitung für die Entwicklung der Interaktiven Schulmedienbank für das Kultusministerium Baden-Württemberg inne. In Lehraufträgen an Fach- und Hochschulen gibt er sein Wissen im Bereich Chemie, Naturwissenschaften, Werkstoffkunde, Technologie neuer Werkstoffe und Regenerative Energien weiter.

### **Dieter Arnold**, Konzeption und Autor

Fachberater beim Staatlichen Schulamt, Kassel

Dieter Arnold studierte die Fächer Chemie und Sport in Göttingen und startete seine Lehrtätigkeit am Wilhelmsgymnasium in Kassel. Von 1991 bis 1999 unterrichtete er an der Deutschen Internationalen Schule Kapstadt in Südafrika. Seit 2001 ist er Fachberater beim Staatlichen Schulamt Kassel und regelmäßig als Referent bei naturwissenschaftlichen Lehrerfortbildungen in Hessen und an deutschen Schulen im Ausland tätig. Darüber hinaus entwickelt Dieter Arnold Experimentiersets und Themenkästen für den naturwissenschaftlichen Unterricht und betreibt eine Internetseite für Lehrkräfte und Schüler im Bereich Chemie.

### **Burkhard Apell**, Autor

Jacob-Grimm-Schule und Studienseminar, Kassel

Burkhard Apell ist seit über 30 Jahren als Lehrer der Physik an Gymnasien tätig. Nach seinem Studium der Physik und Mathematik in Göttingen absolvierte er sein Referendariat am Gustav-Stresemann-Gymnasium in Bad Wildungen. Seine erste Station als Lehrer war die Privatschule Christophorusschule Oberurff im CJD (Gymnasium und Realschule). Der Oberstudienrat ist heute Physiklehrer an der Jacob-Grimm-Schule in Kassel. Seit 2001 ist er zusätzlich Ausbildungsbeauftragter für das Lehramt an Gymnasien im Fach Physik am Studienseminar in Kassel.

### **Georg Frie**, Autor

Berufsbildende Schule, Bad Neuenahr-Ahrweiler

Georg Frie studierte in Hamburg das Lehramt für die Fächer Deutsch und Gesundheit an berufsbildenden Schulen. Seit 1998 ist der Oberstudienrat an der Berufsbildenden Schule in Bad Neuenahr-Ahrweiler tätig. Hier unterrichtet er in den Ausbildungsgängen für Medizinische Fachangestellte, Altenpflege und Altenpflegehilfe. Außerdem erteilt er den berufsbezogenen Unterricht in der Berufsfachschule sowie der Fachoberschule für Gesundheit und Pflege. Die Mitarbeit als Co-Referent bei der Agentur für Qualitätssicherung an Schulen (AQS) in Rheinland-Pfalz gehörte von 2007 bis 2010 zu seinen Aufgaben. Außerdem ist Georg Frie Schulbuchautor für die Verlage

Handwerk & Technik (Hamburg) sowie Holland & Josenhans (Stuttgart). Er veröffentlicht regelmäßig Fachbücher, Arbeitshefte, CDs und Lehrerbegleitmaterialien.

**Ulrich Mauch, Autor**

Carl-von-Linde-Realschule, München

Ulrich Mauch ist Realschullehrer für die Fächer Physik und Chemie. Nach einer Lehrtätigkeit an der Mädchenrealschule St. Ursula in Donauwörth unterrichtet er seit 2001 an der städtischen Carl-von-Linde-Realschule in München. Dort ist er Fachbetreuer im Bereich Chemie und verantwortlich für den Kontakt zum Deutschen Museum. Als Umweltbeauftragter der Schule führt er Projekttag und Schulwettbewerbe mit dem Schwerpunkt Umwelt- und Klimaschutz durch. Seit 2006 ist er an der Ausarbeitung von Unterrichtsmaterialien und dem Aufbau modular gestalteter Schülerübungen z. B. nach Prof. Obendrauf beteiligt. Auch die Erarbeitung von schülerzentriert orientierten Experimentiereinheiten sowie eines Experimentierkoffers gehört zu seinen Erfahrungen.

**Prof. Dr. Claudia Nerdel, Autorin**

School of Education, Technische Universität München (TUM), München

Prof. Dr. Claudia Nerdel ist seit 2009 Professorin für Didaktik der Biologie und Chemie sowie Studiendekanin für das Lehramt an Gymnasien an der School of Education der TU München. Nach ihrem Studium der Biologie, Chemie und Mathematik an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel war sie von 2000 bis 2004 wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Biologiedidaktik am Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik (IPN) in Kiel. Ihre Dissertation verfasste sie über „Die Wirkung von Animation und Simulation auf das Verständnis von stoffwechselphysiologischen Prozessen“. Von 2004 bis 2007 war sie Juniorprofessorin für Chemiedidaktik ebenfalls am IPN in Kiel. Von 2008 bis zum Ruf an die TU München übernahm sie eine Vertretungsprofessur für Biologiedidaktik an der Universität Leipzig.

**Andreas Rathgeber, Autor**

Elly-Heuss-Realschule, München

Andreas Rathgeber ist Realschullehrer in den Fächern Mathematik, Physik und Kajak sowie Fachschaftsleiter Physik an der Elly-Heuss-Realschule in München. Nach seinem Studium der Diplomphysik mit Nebenfach Chemie, das Andreas Rathgeber mit Summa Cum Laude abgeschlossen hat, war er einige Jahre als wissenschaftlicher Mitarbeiter und in der Forschung tätig. 2003 startete er dann in den Lehrberuf und ist seitdem Mitarbeiter im Arbeitskreis der Physik der Münchner Realschulen. In den letzten Jahren war er unter anderem an der redaktionellen Überarbeitung von digitalen Bildungsmedien und Experimentieranleitungen beteiligt.

**Dr. Lutz Stäudel, Autor**

Leipzig

Dr. Lutz Stäudel war von 1976 bis 2011 an der Universität Kassel in der fachdidaktischen Ausbildung von Chemielehrerinnen und -lehrern tätig. Nach seinem Studium der Chemie, Psychologie und Erziehungswissenschaften in Gießen und Kassel sammelte er Erfahrungen im Modellversuch Umwelterziehung in Baunatal und im Chemieunterricht der Mittel- und Oberstufe. In den vergangenen Jahren war er in zahlreichen wissenschaftlichen Projekten tätig, ebenso im Bereich der Unterrichts- und Schulentwicklung (SINUS). Seine aktuellen Arbeitsschwerpunkte sind die „Entwicklung von Lern-Aufgaben für den naturwissenschaftlichen Unterricht“, der „Lernbereich Naturwissenschaften“ und methodenorientierte schulbezogene Fortbildungen. Er ist Mitherausgeber der Zeitschrift „Unterricht Chemie“ und des Friedrich Jahresheftes.

**Prof. Dr. Rita Wodzinski, Autorin**

Universität Kassel, Kassel

Prof. Dr. Rita Wodzinski studierte in Osnabrück Lehramt an Gymnasien, bevor sie ihre Promotion am Fachbereich Erziehungswissenschaften in Frankfurt ablegte. Seit 2000 ist sie Professorin für Didaktik der Physik an der Universität Kassel. Einer ihrer Forschungsschwerpunkte ist das Experimentieren im Sach- und Physikunterricht. Ihre weiteren beruflichen Stationen waren: Mitarbeiterin in der Arbeitsgruppe „Schulbuchforschung“ in der Physikdidaktik in Göttingen, wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Didaktik der Physik in Frankfurt sowie Hochschulassistentin am Lehrstuhl für Didaktik an der LMU München. Von 2004 bis 2009 leitete sie den Fachverband Didaktik der Physik in der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG). Seit 2009 ist sie als Mitglied im Vorstand der Deutschen Physikalischen Gesellschaft für den Bereich Schule zuständig. Sie ist Mitherausgeberin der Zeitschrift „Unterricht Physik“.

**Autoren der Module für den sprachsensiblen Fachunterricht (SFU)**

**Michael Maiworm**

Hugo-Schultz-Schule, Bochum

Michael Maiworm ist Lehrer für die Fächer Chemie und Physik und Fachschaftsleiter für die Naturwissenschaften an seiner Schule. Er unterrichtete von 2005 bis 2009 an der Deutschen Schule in Mexiko-Stadt. Seit seiner Rückkehr nach Deutschland ist er als Referent bei Lehrerfortbildungen an Auslandsschulen tätig, ebenso wie im Rahmen von Vorbereitungslehrgängen der Zentralstelle für Auslandsschulwesen (ZfA) in Köln. Zusätzlich betreibt er eine Internetseite mit Unterrichtsmaterialien für den deutschsprachigen Fachunterricht (DFU). Neben seinem Lehrberuf ist er als Autor beim Ernst Klett Verlag tätig und dort mit der Entwicklung der Lehrwerke der PRISMA-Reihe beschäftigt.

**Dr. Wolfgang Ose**

Gymnasium Dingolfing, Dingolfing

Dr. Wolfgang Ose ist Lehrer für Mathematik, Physik und Informatik. Nach Studium und Promotion im Fach Physik an der Universität Regensburg begann er 1993 seine Lehrtätigkeit am Gymnasium in Dingolfing. Von 2001 bis 2008 war er an der Deutschen Schule in Santiago de Chile als Auslandsdienstlehrkraft tätig. Hier zeichnete er unter anderem für die Koordination des deutschsprachigen Fachunterrichts (DFU) und als Fachleiter Physik verantwortlich. Seit seiner Rückkehr aus Chile im Jahr 2008 arbeitet er wieder als Mathematik-, Physik- und Informatiklehrer am Gymnasium Dingolfing. Zudem ist er Referent für den Bereich DFU an der Zentralstelle für Auslandsschulwesen in Köln.

**Hinweis:** Die Autorenprofile wurden zum Zeitpunkt der Entstehung von Experimento | 10+ erstellt.



## Inhaltsverzeichnis

### Allgemeine Hinweise

Hinweise für die Lehrkraft  
Gefährdungsbeurteilungen mit DEGINTU  
Pädagogisch-didaktische Einführung  
Experimento | 10+ und der Forschungskreis  
Experimento | 10+ Digital  
Wie arbeite ich mit dem Medienportal der Siemens Stiftung?  
Bestellbare Materialien, alphabetisch sortiert  
Kleiner Grundkurs: Elektrische Messungen und Schaltungen  
Für den werteorientierten Unterricht: Ergänzende Materialien zu Experimento | 10+  
Für den inklusiven Unterricht: Ergänzende Materialien zu Experimento | 10+  
Computational Thinking in Experimento | 10+

### A Energie

- A1 Elektrischer Strom aus Solarzellen – Wir bauen eine Farbstoffzelle
- 1 Bau einer Farbstoffsolarzelle
  - 2 Leistung der Grätzelzelle bei verschiedenen Beleuchtungsstärken
  - 3 Größere Spannungen durch mehrere Grätzelzellen
- A2 Wir speichern Wärme – Vom Wasserspeicher zur Salzsammelzelle
- 1 Wasser als Wärmespeicher – Nicht nur der Tee wird kalt
  - 2 Wasser als effektiver Wärmespeicher – Wasser kann länger warm bleiben, wenn ...
  - 3 Wärme für kalte Finger – Ist das Wärmekissen ein Wärmespeicher?
  - 4 Wie das Wärmekissen Wärme speichert – Ein Salz, mal fest, mal flüssig
- A3 Zitronen- und andere Batterien – Strom aus chemischer Energie
- 1 Wie gut funktioniert die „Obst- und Gemüsebatterie“?
  - 2 Die „Zitronen-Batterie“: Was erfüllt welchen Zweck?
  - 3 Die „Zitronen-Batterie“ ohne Zitrone
  - 4 Eine Batterie, die belastbar ist
  - 5 Ein Kupferüberzug ganz von selbst?
  - 6 Eine professionelle Zink-Kupfer-Batterie
- A4 Verdampfungswärme – So kühlt man mit Wärme
- 1 Warum friert man in nasser Kleidung?
  - 2 Wie kühlt ein nasses Wattepad?
- A5 Eigenschaften von Solarzellen – Spannung, Strom und Leistung
- 1 Erste Erkundungen mit der Solarzelle
  - 2 Kurzschlussstromstärke und Leerlaufspannung bei unterschiedlichem Abstand zur Lampe
  - 3 Was passiert, wenn man Solarzellen in Reihe oder parallel schaltet?
  - 4 Stromstärke und Spannung bei der Reihen- und Parallelschaltung von Solarzellen
  - 5 Wie verhalten sich Solarzellen in Reihen- oder Parallelschaltung bei Abschattung?
  - 6 Optimierung der Leistung von Solarzellen

## **B Umwelt**

- B1 Wasserkreislauf – Verdunstung an Pflanzenblättern
- B2 Treibhauseffekt im Trinkbecher – Ein Modell zur Klimaänderung
  - 1 Welchen Einfluss hat die Abgeschlossenheit des Gefäßes auf die Temperatur? – Messungen im offenen Becher
  - 2 Welchen Einfluss hat die Abgeschlossenheit des Gefäßes auf die Temperatur? – Messungen im geschlossenen Becher
  - 3 Welchen Einfluss hat die Farbe des Absorbers? – Messungen im geschlossenen Becher mit schwarzem Absorber
  - 4 Welchen Einfluss hat die Farbe des Absorbers? – Messungen im geschlossenen Becher mit Alu-Absorber
- B3 Wie funktioniert die Mülltrennung? – Stofftrennung nach Dichte und Magnetismus
  - 1 Trennung eines Feststoffgemenges aus Sand und Eisen
  - 2 Können wir eine Sand-Kunststoff-Wasser-Salz-Mischung trennen?
  - 3 Prinzip der Trennung von Aluminium von anderen Nicht-Eisen-Metallen
- B4 Wir gewinnen Trinkwasser – Methoden der Wasserreinigung
  - 1 Grobe Reinigung des verschmutzten Wassers mit Quarzsand, Aktivkohle und Filterpapier
  - 2 Feinreinigung von Wasser mit Membranfilter
  - 3 Feinreinigung von Wasser mit Hohlfasermembranfilter
- B5 Wir bauen ein thermisches Sonnenkraftwerk – Mit Brennglas und Spiegel
  - 1 Entzünden eines Papierstreifens mit der Lupe als Brennglas
  - 2 Wir erwärmen Wasser mit der Sonne
- B6 Erneuerbare Energien – Sonne, Wasser, Wind, Wasserstoff und Brennstoffzelle
  - 1 Elektrische Energie aus der Strahlungsenergie des Lichts
  - 2 Elektrische Energie aus Wasserkraft
  - 3 Elektrische Energie aus Windenergie
  - 4 Umwandlung von elektrischer Energie in chemische Energie und umgekehrt
- B7 Kondensator, Wasserstoff, Redox-Flow – Wir speichern regenerative Energie
  - 1 Speicherung von elektrischer Energie in chemische Energie (Wasserstoff)
  - 2 Direkte Speicherung von elektrischer Energie in Kondensatoren
  - 3 Speicherung von elektrischer Energie in der Zinkiodid-Zelle (Redox-Flow)

## **C Gesundheit**

- C1 Wir verbrennen Zucker – Zellatmung und Atmungskette
  - 1 Zucker lässt sich verbrennen
  - 2 Nachweis der Reaktionsprodukte in der Atemluft: Stoff A (Wasser)
  - 3 Nachweis der Reaktionsprodukte in der Atemluft: Stoff B (Kohlenstoffdioxid)
  
- C2 Kohlenhydrate als Energielieferanten des Stoffwechsels – Stärke und Zucker
  - 1 Kartoffeln enthalten Stärke
  - 2 Hydrolyse von Stärke
  
- C3 Wie zerlegt die menschliche Verdauung Fette? – Verseifung von Speiseöl
  - 1 Wir emulgieren Öl
  - 2 Verseifung von Speiseöl
  
- C4 pH-Wert von Getränken – Wie sauer ist es im Magen?
  - 1 Ermittlung des pH-Wertes mit pH-Messstäbchen
  - 2 Exkurs: Digitale Ermittlung des pH-Wertes mit einem Arduino
  
- C5 Welche Aufgaben hat die Haut? – Die Haut als Sinnesorgan
  - 1 Wie reagiert die Haut auf Berührung?
  - 2 Wie nimmt die Haut Kälte und Wärme wahr?
  - 3 Wie unterscheidet die Haut Temperatur?
  
- C6 Haut und Hygiene – Warum waschen wir uns die Hände?
  - 1 Was passiert beim Händewaschen?
  - 2 Der pH-Wert der Haut



# Allgemeine Hinweise



## Hinweise für die Lehrkraft

### 1 Auf bundesländerspezifische Sicherheitsvorschriften achten!

Bei allen Experimenten wurden die in Deutschland gültigen Sicherheitsvorschriften berücksichtigt. Deshalb kann es je nach deutschem Bundesland bzw. im Ausland zu Unterschieden kommen, die Sie natürlich beachten müssen. So ist in Deutschland z. B. die Verbrennung von Zucker im Bundesland Nordrhein-Westfalen nur in geschlossenen Systemen oder im Abzug erlaubt. Nähere Informationen zu Sicherheitsvorschriften finden Sie im Kapitel „Gefährdungsbeurteilungen mit DEGINTU“.

### 2 Editierbare Anleitungen sind auf dem Medienportal verfügbar

Die Experimentieranleitungen liegen auf dem Medienportal der Siemens Stiftung als editierbare Word-Dateien zum Download vor. Das gibt Ihnen als Lehrkraft die Möglichkeit, die Anleitungen zu verändern und sie je nach Klassenstufe, Schulform oder Leistungsfähigkeit der Schülerinnen und Schüler anzupassen.

### 3 Weitere Materialien auf dem Medienportal der Siemens Stiftung

Auf dem Medienportal der Siemens Stiftung <https://medienportal.siemens-stiftung.org> finden Sie zu fast jedem Experiment zusätzliches Material wie Grafiken, Fotos, Animationen und Texte.

Diese sind auf der Experimento-Matrix aufgeführt:

[https://medienportal.siemens-stiftung.org/experimento\\_matrix](https://medienportal.siemens-stiftung.org/experimento_matrix).

### 4 Hinweise zu Mengenangaben

Die genaue Angabe von Mengen ist schwierig, wenn man in unseren Experimenten ohne Waage oder Messzylinder auskommen muss. Die Angabe von **Flüssigkeitsmengen** ist jedoch problemlos, da Sie über 100 ml- und 500 ml-Becher bzw. die Füllhöhe der Reagenzgläser eindeutige Angaben machen können. Die Dosierung geringer Mengen von **Feststoffpulvern** wie z. B. Zitronensäure ist schwieriger. Mithilfe eines Kaffeelöffelstiels bzw. eines Spatels können kleine Mengen jedoch sehr einfach dosiert werden. Zur Orientierung, welche Menge mit einer „Kaffeelöffelstielspitze“ gemeint ist, dient nebenstehendes Foto.



Abb. 1: Eine „Kaffeelöffelstielspitze“ voll Zitronensäure.

### 5 Hinweis zu Mess- und Verbindungskabeln

Bei den einfachen Mess- und Verbindungskabeln kann es zu Wackelkontakten oder Kabelbruch kommen. Im Zweifelsfall können Sie oder Ihre Schülerinnen und Schüler mithilfe des Digitalmultimeters in Betriebsart „Widerstandsmessung“ die Kabel auf Durchgang prüfen. Falls die Schülerinnen und Schüler Probleme mit den Plastikkappen der Krokodilklemmen haben, können diese auch zurückgestreift werden.

### 6 Elektrische Belastbarkeit der LEDs, Motoren und des Potentiometers

Die in den Experimenten verwendeten LEDs und Motoren sowie das Potentiometer können durch zu hohe Spannungen bzw. Ströme zerstört werden (z. B. beim direkten Anschluss an den 9-Volt-Akku). Bitte beachten Sie die entsprechenden Kennwerte und machen Sie ggf. Ihre Schülerinnen und Schüler auf die Gefahr des „Durchbrennens“ aufmerksam.



## Gefährdungsbeurteilungen mit DEGINTU

Gemäß der Richtlinie der Kultusministerkonferenz zur Sicherheit im Unterricht ist die Anfertigung einer Gefährdungsbeurteilung bei der Durchführung von Experimenten im naturwissenschaftlichen Unterricht rechtlich vorgeschrieben. Das Online-Portal Gefahrstoffinformationssystem für den naturwissenschaftlich-technischen Unterricht der Gesetzlichen Unfallversicherung (DEGINTU) wird zunehmend von Schulen genutzt, da es Gefährdungsbeurteilungen für sehr viele Schulversuche zur Verfügung stellt und auch bundesländerspezifische Sicherheitsvorschriften berücksichtigt.

Die 54 Teilversuche aus Experimento | 10+ lassen sich in 18 übergeordnete Experimente zusammenfassen. Zu jedem dieser 18 Versuche sind bereits Gefährdungsbeurteilungen in DEGINTU verfügbar. Ändert sich beispielsweise die Einschätzung hinsichtlich der Gefährlichkeit einer Chemikalie, wird die entsprechende Gefährdungsbeurteilung in DEGINTU automatisch aktualisiert. Um die Aktualität der Gefährdungsbeurteilungen zu garantieren, werden diese daher nicht auf dem Medienportal der Siemens Stiftung, sondern über DEGINTU (<https://degintu.dguv.de/>) angeboten.

## Gefährdungsbeurteilungen für Experimento | 10+

Das Online-Portal DEGINTU ist für alle Schulen kostenlos zugänglich, erfordert aber eine Registrierung.

The screenshot shows the DEGINTU website interface. At the top left is the DGUV logo (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung). The main header contains the text 'DEGINTU - Gefahrstoffinformationssystem für den naturwissenschaftlich-technischen Unterricht der Gesetzlichen Unfallversicherung'. Below this, there is a login section with fields for 'E-Mail Adresse' and 'Passwort', and an 'Anmelden' button. To the right of the login section is a 'DEGINTU Downloads' section featuring a document titled 'DGUV Information 213-098 - Stoffliste zur DGUV Regel 113-018 „Unterricht in Schulen mit gefährlichen Stoffen“'. Below the document title are buttons for 'Vorwort/Legende' and 'Stoffliste'. Further down, there are buttons for 'Kurzanleitung herunterladen' and 'Flyer herunterladen'. At the bottom of the page, there is a registration prompt: 'Registrieren Sie Ihre Schule hier, um DEGINTU zu nutzen:' with a 'Registrieren' button. Below that is a yellow box asking 'Sie möchten DEGINTU unverbindlich testen oder für Schulungszwecke nutzen?' with a 'Test- oder Schulungszwecke' button. On the left side, there is a sidebar with three modules: 'Gefahrstoffdatenbank', 'Chemikalienverwaltung', and 'Versuchsdatenbank mit interaktiver Gefährdungsbeurteilung'. In the center of the page, there is a graphic with four icons: a laptop, a folder, a flask, and a 'RISU konform' badge.

Sobald Ihre Einrichtung, unter der Sie sich registriert haben, freigeschaltet ist, können Sie sich mit Ihrer E-Mail-Adresse und Ihrem Passwort anmelden. DEGINTU besteht aus mehreren Modulen: Versuchsdatenbank mit interaktiver Gefährdungsbeurteilung, Bestandsverwaltung, Gefahrstoffdatenbank und Etikettendruck.

**Versuchsdatenbank mit interaktiver GBU**

DEGINTU Versuche: **644**  
Eigene Versuche: **31**

**Bestandsverwaltung**

Fachbereiche: **0** Räume: **0**  
Schränke: **0** Gebinde: **0**

**Gefahrstoffdatenbank**

DEGINTU Gefahrstoffe: **1723**  
Eigene Gefahrstoffe: **3**

**Etikettendruck 0**

Die Gefährdungsbeurteilungen zu den Experimenten aus Experimento | 10+ finden Sie, indem Sie auf die „Versuchsdatenbank“ klicken und dann in das Freitextfeld der Suchmaske den Begriff „Experimento“ eintragen:

Es werden Ihnen alle bestehenden Gefährdungsbeurteilungen zu Experimento angezeigt:

2780	Treibhauseffekt im Trinkbecher – Ein Modell zur Klimaänderung	Schauversuche	Schülerversuch für alle Jahrgangsstufen	
2781	Wasserkreislauf – Verdunstung an Pflanzenblättern	Modelle und Simulationen	Schülerversuch für alle Jahrgangsstufen	

Bei Klick auf das blaue Symbol öffnet sich eine kurze Versuchsbeschreibung inklusive einer dazugehörigen Gefährdungsbeurteilung. Bevor Sie die Gefährdungsbeurteilung erstellen, sollten Sie alle Gefährdungen nochmals kritisch prüfen.

Hinweis: Wenn Sie DEGINTU zum ersten Mal nutzen, müssen Sie zuerst in der „Raumverwaltung“ den entsprechenden Raum, in dem das Experiment durchgeführt werden soll, anlegen. Erst dann kann das Programm entscheiden, ob die Durchführung des Experiments unter den gegebenen Umständen sicher möglich ist.

## Anhang: Gefahrstoffkennzeichnung

Für die Experimente in Experimento | 10+ werden nur wenige Gefahrstoffe verwendet. Wir haben hier für Sie eine Liste mit allen verwendeten Gefahrstoffen und den entsprechenden Kennzeichnungen nach GHS zusammengestellt. Bitte überprüfen Sie die Angaben, zum Beispiel auf DEGINTU, vor dem Experimentieren auf ihre Aktualität.

<p>Iod/Kaliumiodid-Lösung</p>	<p>Nach internationaler Gefahrstoffkennzeichnung GHS: „Achtung“</p>  <p>H-Sätze: H373 P-Sätze: P260, P314</p>
<p>Kupfer(II)-sulfat-Pentahydrat</p>	<p>Nach internationaler Gefahrstoffkennzeichnung GHS: „Gefahr“</p>  <p>H-Sätze: H302, H318, H410 P-Sätze: P273, P280, P313, P305+P351+P338</p>
<p>Natriumcarbonat (Soda)</p>	<p>Nach internationaler Gefahrstoffkennzeichnung GHS: „Achtung“</p>  <p>H-Sätze: H319 P-Sätze: P260, P305+P351+P338</p>
<p>Zitronensäure</p>	<p>Nach internationaler Gefahrstoffkennzeichnung GHS: „Achtung“.</p>  <p>H-Sätze: H319 P-Sätze: P280, P305+P351+P338, P337+P313</p>

## Legende der verwendeten H- und P-Sätze

- H302 = Gesundheitsschädlich bei Verschlucken.  
H318 = Verursacht schwere Augenschäden.  
H319 = Verursacht schwere Augenreizung.
- H373 = Kann die Organe schädigen (Schilddrüse) bei längerer oder wiederholter Exposition (Verschlucken)  
H410 = Sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung.
- P260 = Staub/Rauch/Gas/Nebel/Dampf/Aerosol nicht einatmen.  
P273 = Freisetzung in die Umwelt vermeiden.  
P280 = Augenschutz tragen.
- P305 = Bei Kontakt mit den Augen:  
P313 = Ärztlichen Rat einholen/ärztliche Hilfe hinzuziehen.  
P314 = Bei Unwohlsein ärztlichen Rat einholen/ärztliche Hilfe hinzuziehen.  
P373 = Bei anhaltender Augenreizung:  
P338 = Eventuell vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen.  
P351 = Einige Minuten lang behutsam mit Wasser ausspülen.

Allgemeiner Sicherheitshinweis: Die Experimente dürfen nur bei Anwesenheit und unter Aufsicht der Lehrkraft durchgeführt werden. Die Schülerinnen und Schüler sind darauf hinzuweisen, dass die verwendeten Materialien nur entsprechend den jeweiligen Anweisungen eingesetzt werden dürfen.

Bitte beachten Sie die jedem Thema vorstehenden Sicherheitshinweise sowie die für Ihre Schule geltenden Sicherheitsrichtlinien und besprechen Sie diese mit den Schülerinnen und Schülern.

Sicherheitsrelevante Materialien und Geräte sind vor Aushändigung an die Schülerinnen und Schüler auf ihre ordnungsgemäße Funktion zu testen.

## **Pädagogisch-didaktische Einführung**

Es ist allgemein bekannt, wie wichtig das Experiment im naturwissenschaftlich-technischen Schulunterricht ist. Wenn in der Regel trotzdem zu wenig experimentiert wird, dann hat dies gute Gründe.

### **Mehr Experimente durch Absenken der Hemmschwelle**

Mal fehlen die Fachräume, mal fehlt es an der Ausstattung und fast immer fehlt es an der Zeit. Der Aufwand für Auf- und Abbauen aufwändiger Versuche ist meist viel zu hoch. In unserer leistungsorientierten Schulwelt verwendet man diese Zeit lieber zum Üben für die nächste Prüfung oder den nächsten PISA-Test. Experimento | 10+ orientiert sich deshalb weitgehend am Konzept unaufwändiger Freihandversuche. Das Experiment ist nicht mehr ein nettes, aber zeitfressendes „Event“, sondern wird integrierter Bestandteil der Lernzeit.

### **Wecken des Interesses durch aktuelle, lebensnahe Themen**

Experimento | 10+ achtet darauf, über die Experimente auch immer die Verbindung zur Anwendung in Industrie und Wirtschaft und soweit möglich auch zum Alltag der Schülerinnen und Schüler herzustellen. So werden aktuelle Menschheitsprobleme, wie z. B. Trinkwasserknappheit oder der Übergang auf Regenerative Energien, experimentell thematisiert. Sie als Lehrerin oder Lehrer finden dazu in den Experimentieranleitungen auch immer Hinweise und Anregungen im Teil für die Lehrkraft.

### **Ideal für fachübergreifende Projekte**

Die Behandlung vieler gesellschaftlich hochaktueller Themen, wie z. B. „Trinkwassermangel“, „Umstellung auf Regenerative Energien“ oder „Verknappung von Rohstoffen“ ist heute Auftrag in Lehr- und Bildungsplänen. Eine Zuordnung zu den herkömmlichen Fächern ist allerdings schwierig, da diese Themen oft Schnittmengen aus Physik, Chemie, Biologie und Geografie sind. Hier enthält Experimento | 10+ eine ganze Anzahl von Experimenten, die sehr gut im Rahmen fachübergreifender Projekte oder Projekttag eingesetzt werden können.

### **Ein didaktisch flexibles Konzept**

Soll die Schülerin oder der Schüler nun an dem Experiment selbst das Naturgesetz erarbeiten oder soll das Experiment das bereits bekannte Naturgesetz nur bestätigen? Induktive oder deduktive Methode – darum ging die Diskussion in der herkömmlichen Didaktik. Erforschendes, entdeckendes oder kompetenzorientiertes Lernen, so lauten die modernen Schlagworte. Angesichts der möglichen didaktischen Vielfalt lässt Experimento | 10+ der Lehrkraft bewusst freie Hand. Der Aufbau der Experimente und die dazugehörigen Anleitungen sind so gehalten, dass kein bestimmtes didaktisches Modell zwingend vorausgesetzt wird. Es ist jedoch möglich, den Forschungskreis der Siemens Stiftung auf jedes der Experimente ganz oder in Teilen anzuwenden. Nähere Informationen zum Forschungskreis finden Sie in dem Kapitel „Experimento | 10+ und der Forschungskreis“ in diesem Handbuchordner.

## **Experimente als Einstieg in ein Unterrichtsthema**

Die Experimente von Experimento | 10+ erheben nicht den Anspruch, ein komplettes Unterrichtsthema zu erarbeiten. Sie eignen sich vielmehr hervorragend dafür, bei Schülerinnen und Schülern den Spaß am Experimentieren zu fördern, mit einem Aha-Effekt deren Neugierde zu wecken und sie so für das aktuelle Unterrichtsthema zu motivieren. Die Experimente sind so angelegt, dass sie in der Regel besonders schnell und einfach durchzuführen sind.

## **Experimento | 10+ Digital: Online-Module zur Umsetzung von Experimento im Klassenzimmer**

In Ergänzung zu diesem Handbuchordner wurde eine Online-Anwendung für Lehrkräfte für Experimento | 10+ entwickelt. Diese ist über das Medienportal der Siemens Stiftung frei zugänglich und bietet die Möglichkeit pädagogisch-didaktisches Wissen aufzufrischen.

Die Online-Anwendung beinhaltet unter anderem drei Module zu den Themen Wertebildung, Inklusion und Sprachsensibler Fachunterricht sowie Computational Thinking. Alle drei Themen sind anhand von kurzen Texten, Bildern, interaktiven Anwendungen sowie beispielhaften Unterrichts- und Erklärvideos aufbereitet und können eigenaktiv bearbeitet werden.

Neben dem Einblick in unterschiedliche Szenen des Unterrichts, lernen Sie im Rahmen der Online-Anwendung auch passende Materialien aus Experimento | 10+ kennen. Mehr über die Online-Anwendung von Experimento | 10+ lesen Sie in diesem Handbuchordner auf den Seiten mit dem Titel „Experimento | 10+ Digital“.

## **Experimente zur Bestätigung des bereits Gelernten**

In den meisten Fällen werden Schülerinnen und Schüler kaum in der Lage sein, anhand eines Experiments in 20 Minuten selbstständig ein Naturgesetz abzuleiten, zu dessen Entdeckung Forschende Jahre oder Jahrzehnte brauchten. Doch es wird immer möglich sein, bereits Gelerntes im Experiment zu verifizieren. Wie Sie wissen, ist das erfolgreiche Anwenden von Wissen die beste intrinsische Motivation für Lernen überhaupt. Deshalb enthält Experimento | 10+ auch eine ganze Reihe von Experimenten, die einiges an Vorwissen voraussetzen.

## **Unterstützung von selbstständigem, kompetenzorientiertem Lernen**

Auch wenn Experimento | 10+ nicht ausschließlich ein bestimmtes didaktisches Konzept unterstützt, wurde bewusst auf die Kompatibilität zum aktuellen Konzept des kompetenzorientierten Unterrichts geachtet. Die Experimente erfüllen, richtig durchgeführt, fast von alleine die Lernziele Erkenntnisgewinn und Handlungskompetenz. Denn sie leiten die Schülerinnen und Schüler an, selbstständig Fragestellungen zu entwickeln, zu erkennen und zu beantworten. Ihre Handlungskompetenz wird gefördert, indem sie die Untersuchung eigenständig durchführen und protokollieren. Aber auch das Überprüfen von Vermutungen und Hypothesen kann durch das selbstständige Planen von Untersuchungen erlernt werden. Beim selbstständigen Auswerten der Messungen und Beobachtungen kann durch Recherchieren und Vergleichen relevanter Vergleichsdaten auch auf diesen Gebieten Kompetenz gewonnen werden.

## **Für verschiedene Altersstufen geeignet**

Bei der Konzeption von Experimento | 10+ wurde darauf geachtet, dass viele Experimente sowohl in den niederen als auch den höheren Altersstufen des Sekundarbereichs erfolgreich eingesetzt werden können. Bei den jüngeren Schülerinnen und Schülern kann man sich in vielen Fällen mit der phänomenologisch-qualitativen Auswertung der Experimente begnügen. Schließlich sind auch schon Erkenntnisse, dass die Kombination verschiedener Metalle mit Salzlösungen Strom liefert, dass eine Solarzelle Licht in Strom umwandelt oder dass die Säure im Magen für die Verdauung wichtig ist ein Gewinn an Wissen. Dieselben Themen können anhand derselben Experimente bei den älteren Lernenden dann physikalisch, elektrochemisch oder biochemisch erklärt und vertieft werden.

## **Die Anleitung hilft Ihnen bei Vorbereitung, Begleitung und Nachbereitung der Experimente**

Die Anleitungen sind bewusst getrennt in Lehrer- und Schülerteil. Der Teil für Schülerinnen und Schüler enthält im Wesentlichen die praktischen Handlungsanweisungen, Hinweise zu Beobachtung und Auswertung, sowie Fragen zur Überprüfung oder Vertiefung. Der Teil für die Lehrkraft enthält jeweils eine kurze Zusammenfassung, wie und wofür sich das Experiment am besten einsetzen lässt sowie Hinweise zur Lehrplanzuordnung. Bei der Vorbereitung des Experiments hilft eine Auflistung der für das Experiment benötigten Geräte und Materialien. Mit einer kurzen Darstellung der fachlichen Hintergründe ist auch an die inhaltliche Vorbereitung gedacht. Dies ist eine gute Erinnerung für die Lehrkraft, welches Vorwissen bei ihren Schülerinnen und Schülern vorhanden sein sollte.

Darüber hinaus gibt es eine kurze Darstellung, in welchem Erklärungszusammenhang das Experiment mit dem zu behandelnden Unterrichtsstoff steht. Ein Kapitel mit Verweis auf das Medienportal der Siemens Stiftung hilft der Lehrkraft beim Finden von weiteren Materialien zur Erklärung und Vertiefung des Stoffs.

## **Ohne Lehrkraft geht es nicht!**

Auch wenn sich die Rolle von Lehrkräften in den vergangenen Jahren stark geändert hat – weg vom lehrerzentrierten und hin zum schülerzentrierten Unterricht: Ohne Lehrkraft geht es nicht. Das Konzept von Experimento | 10+ hilft daher sowohl den selbstforschenden Schülerinnen und Schülern als auch der erklärenden Lehrkraft, die naturgesetzlichen Zusammenhänge besser zu verstehen bzw. besser verständlich zu machen. Die bei der Entwicklung von Experimento | 10+ mitwirkenden Schulpraktikerinnen und Schulpraktiker sowie Didaktikerinnen und Didaktiker sind sich sicher: Die engagierte Lehrkraft wird ohnehin, je nach Stoffplan und Zeitdruck, die der Situation entsprechend effektivste Unterrichtsmethode wählen und erfolgreich anwenden.



## Experimento | 10+ und der Forschungskreis

Experimento basiert auf dem Prinzip des Forschenden Lernens. Beim Forschenden Lernen erwerben die Lernenden Kenntnisse über die einzelnen Teilschritte eines Forschungsprozesses und setzen diese selbst um. Die Schülerinnen und Schüler entwickeln eigenständig Fragestellungen, stellen Hypothesen auf, führen selbstständig Experimente durch und dokumentieren und interpretieren die Ergebnisse. Diese Schritte des Forschenden Lernens können in Form eines Forschungskreises abgebildet werden. Auch in Experimento | 10+ spielt das Forschende Lernen eine wichtige Rolle. Die Versuchsanleitungen in Experimento | 10+ sind jedoch bewusst so gestaltet, dass sie keine bestimmte Methode voraussetzen. Es ist somit für jedes der Experimente möglich, den im Folgenden vorgestellten Forschungskreis anzuwenden; jedoch können auch andere Herangehensweisen gewählt werden.

Der Forschungskreis der Siemens Stiftung unterstützt die Schülerinnen und Schüler beim Experimentieren, da er in einzelnen Schritten die Abfolge eines naturwissenschaftlichen Versuchs darlegt. Er ist in neun Teilschritte gegliedert:



Anhand des Telexperiments „Zucker lässt sich verbrennen“ aus dem Experiment **C1 Wir verbrennen Zucker – Zellatmung und Atmungskette** aus dem vorliegenden Handbuchordner soll die Umsetzung des Forschungskreises veranschaulicht werden:

### 1. Problem oder Phänomen erkennen



Zellatmung, die im menschlichen Körper stattfindet, wird oft auch als „Zuckerverbrennung“ bezeichnet. Zündet man einen Zuckerwürfel allerdings an, brennt er nicht, sondern karamellisiert nur.

### 2. Forschungsfrage formulieren



Wie läuft die Verbrennung von Zucker im Körper ab?

### 3. Ideen und Vermutungen sammeln



Die Verbrennung von Zucker erfolgt unter Einsatz von Enzymen bzw. Katalysatoren.

### 4. Experimentieren



Als Modellexperiment für die Verbrennung von Zucker im Körper wird das Teil-experiment „Zucker lässt sich verbrennen“ aus Experimento | 10+ **C1 Wir verbrennen Zucker – Zellatmung und Atmungskette** durchgeführt.

### 5. Beobachten und Dokumentieren



Während des Experimentierens beobachten die Schülerinnen und Schüler genau und halten ihre Beobachtungen schriftlich fest.

### 6. Auswerten und Reflektieren



Die Verbrennungsreaktion des Zuckers kann durch die Katalysatorwirkung der Asche erklärt werden. Im Körper übernehmen unterschiedliche Enzyme die Rolle eines Katalysators.

### 7. Weiterforschen



Es können verschiedene Alkalioxide bzw. Alkalisalze als Katalysatoren getestet werden. In einem weiteren Forschungskreis könnte sich die Untersuchung von anderen Nährstoffen wie Fetten oder Proteinen anschließen.

### 8. Technikbezug herstellen



Möglichkeiten:

- Bedeutung von Zucker in verschiedenen industriellen Verfahren am Beispiel einer Bierbrauerei: Beim Maischen wird Stärke in Glucose umgewandelt.
- Allgemein Bedeutung von Enzymen als Biokatalysatoren.

### 9. Wertebezug herstellen



Verantwortungsübernahme:

z. B. verantwortungsvoll mit Rohstoffen umgehen, sich bewusst machen, dass es wichtig ist, mit dem eigenen Körper sorgsam umzugehen.

Gesundheitsbewusstsein:

Aneignung von Gesundheitswissen, wie beispielsweise die positiven und negativen Einflussfaktoren auf die eigene Gesundheit: Folgen von zu hohem Zuckerkonsum und Krankheiten wie Adipositas, Diabetes Typ II und Karies.

## Experimento | 10+ Digital



Sie möchten wissen, wie Experimento | 10+ konkret im Unterricht eingesetzt werden kann? Auf dem Medienportal der Siemens Stiftung steht eine Online-Anwendung für Lehrkräfte mit weiteren pädagogisch-didaktischen Hinweisen zum Einsatz von Experimento | 10+ bereit.

Anhand von videografierten Unterrichtsmitschnitten und Erklärvideos wird der Bezug von Experimento | 10+ zur Wertebildung, zum inklusiven und sprachsensiblen Fachunterricht sowie zu Computational Thinking hergestellt. Auch auf die Methode des Forschenden Lernens wird im Rahmen der Online-Anwendung näher eingegangen.

### Online-Anwendung

<p><b>Über die Fortbildung Experimento   10+</b></p> <p>Die Fortbildung besteht aus drei Modulen. Zu Zielsetzung, Aufbau und Teilnahmebedingung geht es hier.</p> <p><a href="#">» Weiter</a>      <a href="#">» Zur Modulübersicht</a></p>	<p><b>Zu den Lern-Modulen</b></p> <p>Hier gelangen Sie zum Aufbau und können gleich loslegen.</p> <p><a href="#">»»»</a></p>	<p><b>Experimento</b></p> <p>Experimento setzt das Prinzip des Forschenden Lernens durch das Experimentieren in Kleingruppen um. Zu Informationen über das Programm und dessen konzeptionellen Ansatz gelangen Sie hier.</p> <p><a href="#">» Weiter</a></p>
	<p><b>Hilfe und FAQ</b></p> <p>Antworten auf häufig gestellte Fragen und Hinweise zur Bedienung finden Sie hier.</p> <p><a href="#">» Weiter</a></p>	<p><b>Methoden und Materialien</b></p> <p>Hier finden Sie im Kurs verwendete Materialien sowie weiterführende Literaturhinweise.</p> <p><a href="#">» Weiter</a></p>

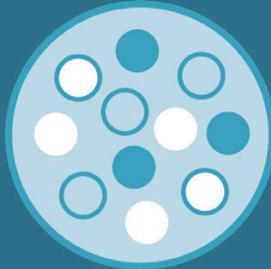
Die Online-Anwendung zu Experimento | 10+ ist nach einer Registrierung auf dem Medienportal der Siemens Stiftung unter dem Reiter „Fortbildungen“ zugänglich. Eine Schritt-für-Schritt-Anleitung für die Registrierung finden Sie unter dem Punkt „Wie arbeite ich mit dem Medienportal der Siemens Stiftung?“ in diesem Handbuchordner.

Die Online-Anwendung besteht aus drei Modulen: Wertebildung, Inklusion und sprachsensibler Fachunterricht sowie Computational Thinking. Alle drei Themen sind anhand von kurzen Texten,

Bildern, interaktiven Anwendungen, Quizfragen sowie beispielhaften Unterrichts- und Erklärvideos aufbereitet und können eigenaktiv bearbeitet werden.

Neben dem Einblick in unterschiedliche Szenen des Unterrichts lernen Sie im Rahmen der Online-Anwendung auch passende Materialien aus Experimento | 10+ kennen.

## Die Module

 <h3>Wertebildung</h3> <p>In diesem Modul wird die Bedeutung von Wertebildung beim Forschenden Lernen aufgezeigt. Anhand von Unterrichtsbeispielen werden Anregungen für die Einbindung von Wertebildung in den naturwissenschaftlich-technischen Unterricht gegeben.</p>	 <h3>Inklusion und sprachsensibler Fachunterricht</h3> <p>Dieses Modul zeigt eine Auswahl praxisnaher Methoden und Medien zur Differenzierung und Individualisierung in heterogenen Klassen auf und verdeutlicht diese anhand exemplarischer Unterrichtsvideos.</p>	 <h3>Computational Thinking</h3> <p>In diesem Modul wird der Begriff „Computational Thinking“ unter Verwendung von Erklärvideos erläutert. Anschließend werden Möglichkeiten zur Förderung wichtiger Kompetenzen im Zusammenhang mit Computational Thinking aufgezeigt.</p>
--	--	--

Die drei Module sind in der Online-Anwendung über die Kachel „Zu den Lern-Modulen“ zugänglich.

- In **Modul 1** wird die Bedeutung von Wertebildung beim Forschenden Lernen aufgezeigt. Anhand von videografierten Unterrichtsbeispielen werden Anregungen für die Einbindung von Wertebildung in den naturwissenschaftlich-technischen Unterricht gegeben.
- **Modul 2** zeigt eine Auswahl praxisnaher Methoden und Medien zur Differenzierung und Individualisierung in heterogenen Klassen auf und verdeutlicht diese anhand exemplarischer Unterrichtsvideos sowie eines Interviews mit zwei Lehrkräften.
- Im **Modul 3** zu Computational Thinking wird der Begriff zunächst unter Verwendung von Erklärvideos erläutert. Anschließend werden Möglichkeiten zur Förderung wichtiger Kompetenzen im Zusammenhang mit Computational Thinking für den naturwissenschaftlich-technischen Unterricht aufgezeigt.

Jedes dieser Module steht für sich. Sie können die Module daher beliebig je nach Interesse bearbeiten. Außerdem können Sie die Bearbeitung jederzeit unterbrechen und zu einem späteren Zeitpunkt fortsetzen.

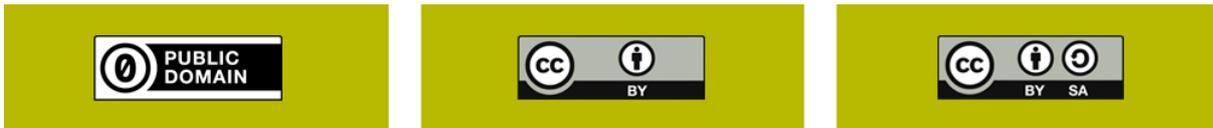
### Probieren Sie es doch einfach mal aus!

Über diesen Link gelangen Sie zur Online-Anwendung:  
<https://medienportal.siemens-stiftung.org/de/fortbildungen>.

## Wie arbeite ich mit dem Medienportal der Siemens Stiftung?

Das Medienportal enthält zahlreiche multimediale, qualitätsgeprüfte und lebensnahe Unterrichtsmaterialien zu naturwissenschaftlich-technischen Themen, mit Fokus auf Umwelt, Energie und Gesundheit. Darunter auch die Experimentieranleitungen von Experimento. Alle Materialien stehen den Nutzerinnen und Nutzern als Open Educational Resources (OER) unter offener CC-Lizenz zur Verfügung und können so ohne vorherige Registrierung heruntergeladen, verändert und anderen wieder zur Verfügung gestellt werden.

### Garantiert offen: Alle Medien sind OER



Die OER auf dem Medienportal stehen in der Regel unter der Creative Commons Lizenz „CC BY-SA 4.0 international“. CC steht für die gemeinnützige Organisation Creative Commons, die ein praxistaugliches Lizenzmodell für den Umgang mit offenen Medien entwickelt hat.

Medien mit dieser Lizenz dürfen Sie:

- verändern, z. B. Texte umschreiben oder neue Grafiken in ein Arbeitsblatt einfügen,
- neu zusammenstellen, z. B. zwei Grafiken vom Medienportal kombinieren, und
- weltweit verbreiten, z. B. online oder in Papierform (auch das veränderte Medium).

Voraussetzungen hierfür sind, dass Sie den Namen des Rechteinhabers angeben, eventuelle Veränderungen nennen sowie die Medien unter den gleichen Bedingungen weitergeben (erfahren Sie mehr unter: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.de>).

## 1 Der Medienbereich



Über den Suchschlitz auf der Startseite oder den Menüpunkt „Mediensuche“ in der Navigationsleiste gelangen Sie zum Medienbereich. Hier können Sie einzelne Medien oder ganze Medienpakete nach bestimmten Kriterien wie Medientyp, Fach, Klassenstufe oder Sprache suchen – von Bildern, interaktiven Grafiken und Videos über Arbeitsblätter und Experimentieranleitungen bis hin zu Linklisten und Ton-Dateien. Intelligente Suchfunktionen helfen dabei, relevante Inhalte schnell zu finden. Während Sie unter „Einzelmedien“ eine Auflistung einzelner Medien erhalten, liefert die Ansicht „Medienpakete“ gebündelte Unterrichtsmaterialien zu einem übergeordneten Thema.

In der Regel enthalten Medienpakete auch Handreichungen für den Einsatz im Unterricht. Einzelmedien und Medienpakete können Sie entweder herunterladen oder zunächst in der Detailansicht begutachten. Die Detailansicht bietet nähere Informationen zu Inhalt, Einsatzmöglichkeit, Lernobjekttyp, zum Urheber und zur Lizenz.

### **Merklisten: Unterrichtsmaterial speichern, bearbeiten, teilen**



Die Medien des Portals können Sie in persönlichen Merklisten verwalten. Diese Funktion ermöglicht Ihnen, Unterrichtsmaterialien später gesammelt zu sichten, herunterzuladen oder komfortabel mit Kolleginnen und Kollegen oder Schülerinnen und Schülern zu teilen. Name, Titel, zusätzliche Hinweise an die Nutzenden und den Freigabezeitraum der Merkliste können Sie dabei selbst bestimmen. Sie können beliebig viele Merklisten anlegen, einzelne Medien ergänzen und wieder entfernen, eine gesamte Liste leeren oder auch löschen. Damit Sie jederzeit wieder auf Ihre Merklisten zugreifen können, müssen Sie vorab registriert sein.

### **Teilen: Information und Kollaboration einfach gemacht**



Medien, Medienpakete und Merklisten können Sie mit anderen Lehrkräften oder mit Ihren Schülerinnen und Schülern teilen. Die Weitergabe erfolgt je nach Wunsch über einen Link oder als QR-Code. Beides können Sie direkt im Unterricht abrufen oder in Texte, Präsentationen, Handouts etc. einbinden.

### **Medien für Schülerinnen und Schüler**



In einem eigenen Bereich für Schülerinnen und Schüler gibt es eine Auswahl an Medien zu den Themen Energie, Umwelt und Gesundheit – zum Stöbern, Ausprobieren oder Experimentieren. Diese Materialien können Schülerinnen und Schülern auch eigenständig verwenden. In der Mediensuche sind diese Medien mit einem orangefarbenen Klecks-Symbol gekennzeichnet und zeigen so auf einen Blick, dass sie als Selbstlerninheit geeignet sind.

## 2 Unterrichtsmethoden in Theorie und Praxis

Unter „Methoden“ in der Navigationsleiste finden Sie unsere Methodenseiten. Hier erfahren Sie mehr über spannende Unterrichtsmethoden und Lehrformen für den naturwissenschaftlich-technischen Unterricht.

The screenshot shows the top navigation bar of the 'Medienportal für den MINT-Unterricht'. On the left, there is a home icon, 'Über das Portal', 'Mediensuche', 'Methoden' (highlighted with a green arrow), and 'Fortbildungen'. On the right, there are icons for 'Merklisten', 'Anmelden', and 'Sprache'. The Siemens Stiftung logo is in the top right corner.

Fachdidaktikerinnen und Fachdidaktiker sowie Medienpädagoginnen und Medienpädagogen stellen Methoden wie Service-Learning, Forschendes Lernen und Design Thinking kompakt und verständlich vor. Dazu erläutern sie den lerntheoretischen Hintergrund und verweisen auf Studien zur Lernwirksamkeit sowie auf weitere vertiefende Literatur. Zur Umsetzung der Methoden dienen anwendungsbezogene Unterrichtsbeispiele als Anregung. Für einzelne Methoden finden Sie hier auch Zugang zu weiterführenden Fortbildungsangeboten wie Online-Trainings. Um erweiterte Funktionen dieser Angebote, wie z. B. die Bearbeitungsstand-Speicherung und die Beteiligung am Forum, nutzen zu können, empfehlen wir eine Registrierung auf dem Medienportal.

## 3 Fortbildungsangebot der Siemens Stiftung

The screenshot shows the top navigation bar of the 'Medienportal für den MINT-Unterricht'. On the left, there is a home icon, 'Über das Portal', 'Mediensuche', 'Methoden', and 'Fortbildungen' (highlighted with a green arrow). On the right, there are icons for 'Merklisten', 'Mein Portal', and 'Sprache'. The Siemens Stiftung logo is in the top right corner.

Unter „Fortbildungen“ in der Navigationsleiste gelangen Sie zu weiterführenden Fortbildungsangeboten wie dem Web Based Training zur Methode Service-Learning oder den Fortbildungen im Blended-Learning-Format mit digitalen Phasen und Präsenzveranstaltungen zu Experimento. Je nach Fortbildung können Sie entweder direkt starten oder sich für eine Veranstaltung in Ihrer Region anmelden. Für die Anmeldung zur Fortbildung Experimento | 10+ klicken Sie auf „Zur Fortbildung“ und anschließend auf „Zur Anmeldung“.

The screenshot shows a section titled 'Experimento' with an upward-pointing arrow. Below the title is a photo of two women sitting at a table. To the right of the photo, there is text describing the program: 'Experimento ist unser Fortbildungsprogramm zum Forschenden Lernen in den MINT-Fächern. Experimento | 8+ richtet sich an MINT-Lehrkräfte in der Grundschule, Experimento | 10+ wurde für die weiterführenden Schulen entwickelt.' Below this, there are two links: 'Die Fortbildungen' followed by 'Experimento | 8+ (für Lehrkräfte an Grundschulen)' and '» Zur Fortbildung', and 'Experimento | 10+ (für Lehrkräfte an weiterführenden Schulen)' and '» Zur Fortbildung'. The second '» Zur Fortbildung' link is circled in blue.

## Anmeldung zur Fortbildung Experimento | 10+

Auf den folgenden Seiten sehen Sie, wo die nächsten Fortbildungen stattfinden. Dort können Sie sich auch direkt anmelden.

[Zur Anmeldung](#)

Je nach Wunsch, können Sie auch nur die digitale Phase der Fortbildung absolvieren. Dazu gehen Sie ebenfalls auf „Zur Fortbildung“ und klicken dann jedoch auf „Zur Online-Anwendung“.

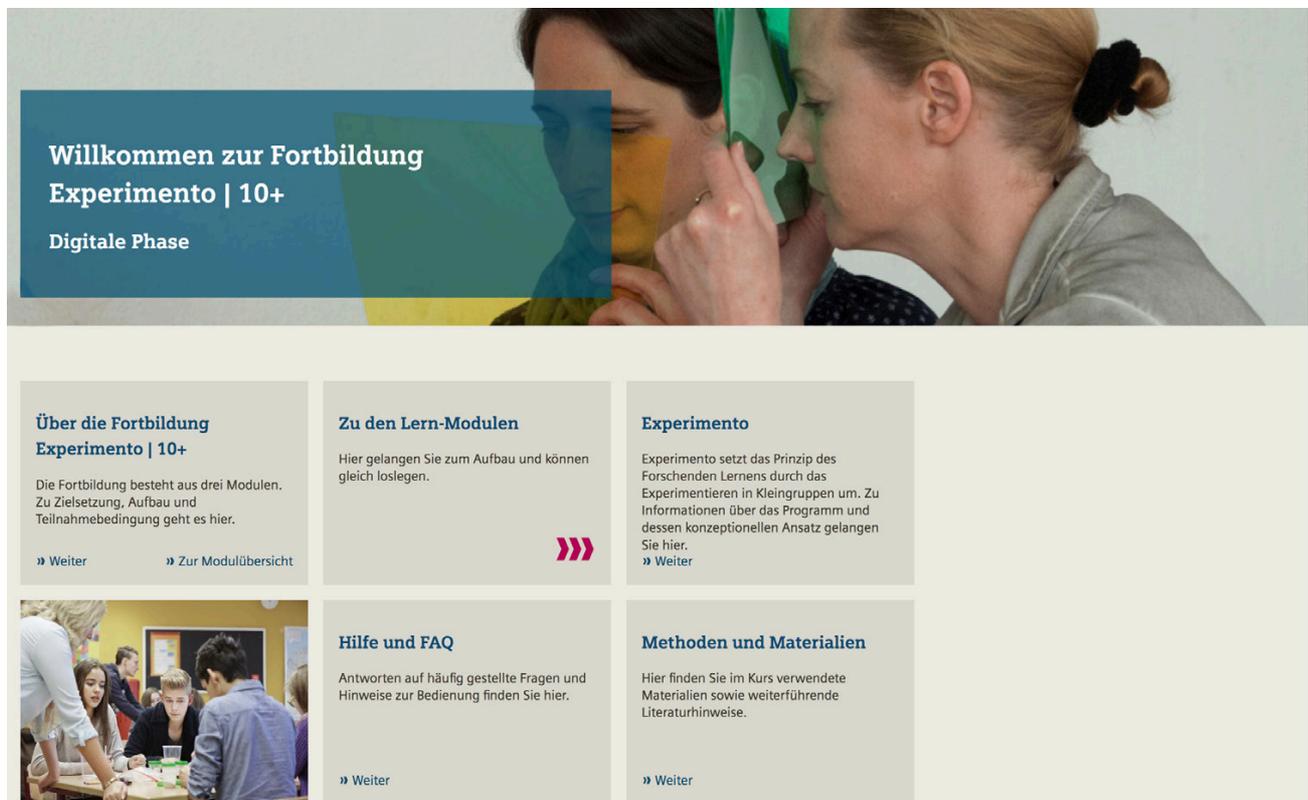
## Anmeldung zur Online-Anwendung

Die Online-Anwendung können Sie unabhängig von der Teilnahme an der Fortbildung ansehen und bearbeiten. Aus datenschutzrechtlichen Gründen müssen Sie sich dafür auf dem Medienportal registrieren.

[» Zur Online-Anwendung](#)

Bitte beachten Sie: Das Zertifikat wird nur ausgestellt, wenn Sie alle vier Phasen der Fortbildung erfolgreich absolvieren.

Die Online-Anwendung ist aus datenschutzrechtlichen Gründen nur nach einer Registrierung auf dem Medienportal zugänglich.



**Willkommen zur Fortbildung  
Experimento | 10+  
Digitale Phase**

**Über die Fortbildung  
Experimento | 10+**  
Die Fortbildung besteht aus drei Modulen. Zu Zielsetzung, Aufbau und Teilnahmebedingung geht es hier.  
[» Weiter](#) [» Zur Modulübersicht](#)

**Zu den Lern-Modulen**  
Hier gelangen Sie zum Aufbau und können gleich loslegen.  
[» Weiter](#)

**Experimento**  
Experimento setzt das Prinzip des Forschenden Lernens durch das Experimentieren in Kleingruppen um. Zu Informationen über das Programm und dessen konzeptionellen Ansatz gelangen Sie hier.  
[» Weiter](#)

**Hilfe und FAQ**  
Antworten auf häufig gestellte Fragen und Hinweise zur Bedienung finden Sie hier.  
[» Weiter](#)

**Methoden und Materialien**  
Hier finden Sie im Kurs verwendete Materialien sowie weiterführende Literaturhinweise.  
[» Weiter](#)

Weitere Informationen über die Inhalte der Online-Anwendung zu Experimento | 10+ finden Sie im Kapitel „Experimento | 10+ Digital“.

## 4 Veranstaltungen, neue Medien, Newsletter

Auf der Startseite informieren wir Sie regelmäßig über neue Medien sowie über aktuelle Studien, Veranstaltungen und Plattformen aus den Bereichen OER, Schule und MINT. Wenn Sie keine News verpassen wollen, melden Sie sich einfach und kostenlos für den Newsletter an, der drei Mal im Jahr erscheint.

## 5 Experimento auf einen Blick

Im Experimento-Bereich auf der Startseite erreichen Sie über den Link „**Alle Medien zu Experimento finden Sie hier**“ die Experimento-Matrix. Diese zeigt Ihnen auf einen Blick und sortiert nach den Altersgruppen 4 – 7, 8 – 12 und 10 – 18 alle verfügbaren Experimente zu den Themen Energie, Umwelt und Gesundheit.

Mit einem Klick auf das jeweilige Experiment klappt sich die Beschreibung des Medienpakets zum Experiment sowie eine Übersicht über die verfügbaren Anleitungen und Zusatzmedien, z. B. Arbeitsblätter, Animationen und Bilder auf.

**Direktlink zur Experimento-Matrix:** [https://medienportal.siemens-stiftung.org/experimento\\_matrix](https://medienportal.siemens-stiftung.org/experimento_matrix)

	Experimento   4+ Alter 4 – 7	Experimento   8+ Alter 8 – 12	Experimento   10+ Alter 10 – 18
	Handbuchordner 4+ Gesamt	Handbuchordner 8+ Gesamt Werte-Leitfaden Wertebildung im MINT-Unterricht	Handbuchordner 10+ Gesamt Werte-Leitfaden
           <b>A Energie</b>	1 Einfacher Stromkreis	1 Einfacher Stromkreis	1 Elektrischer Strom aus Solarzellen
	2 Elektronenfluss (Rollenspiel)	2 Leiter und Isolatoren	2 Wir speichern Wärme
	3 Leiter und Nichtleiter	3 Komplexe Stromkreise	3 Zitronen- und andere Batterien
	4 Schalter	4 Batterien kombinieren	4 Verdampfungswärme
	5 Batterien und ihre Nutzung	5 Energie „gewinnen“	5 Eigenschaften von Solarzellen
	6 Batterien und ihre Entsorgung		^ Beschreibung  Das Medienpaket „A5 Eigenschaften von Solarzellen – Spannung, Strom und Leistung“ enthält die Anleitungen zum Experiment für die Lehrkraft und die Schülerinnen und Schüler. Alle Fragen zum Experiment werden in einem separaten Lösungsblatt beantwortet.
	7 Verbraucher in einem Stromkreis		v Anleitungen  v Arbeitsblätter 
	8 Reihenschaltung		v Zusatzmedien
	9 Parallelschaltung		
	10 Stromverbrauch (Spiel)		
	11 Elektrische Geräte (Verwendung)		
			 <b>Zum Medienpaket</b>

## 6 Registrierung Schritt für Schritt

Alle Medien des Portals sind auch ohne Registrierung zugänglich. Dennoch lohnt sich eine Registrierung auf dem Medienportal, um erweiterte Funktionen nutzen zu können. Diese umfassen z. B. das Anlegen, Teilen und Freigeben von Merklisten, die Speicherung Ihres Bearbeitungsstands in Web Based Trainings sowie weitere nützliche Zusatzfunktionen des digitalen Fortbildungsangebots.

### 6.1 Schritt 1

Unter „ Anmelden“ in der Navigationsleiste öffnet sich nach einem Klick auf „Zur Registrierung“ eine Eingabemaske.



### 6.2 Schritt 2

Füllen Sie die Registrierungsmaske aus. Die mit \* gekennzeichneten Felder sind Pflichtfelder. Hier vergeben Sie auch Ihr persönliches Zugangspasswort. Bitte notieren Sie sich dieses und verwahren Sie es sicher auf. Lesen Sie bitte anschließend die Nutzungsbedingungen sowie die Datenschutzhinweise aufmerksam durch. Durch Klick auf die Checkbox stimmen Sie diesen zu. Abschließend klicken Sie auf „Absenden“.

### Registrierung

Bitte füllen Sie zur Registrierung die nachfolgenden Felder aus. Die mit \* gekennzeichneten Felder sind Pflichtfelder.

**Ihre persönlichen Daten**

**Anrede**

Herr  Frau

**Vorname \*** **Nachname \***

**E-Mail \***

Diese Adresse benutzen Sie als Anmeldenamen. Sie erhalten eine Bestätigungs-E-Mail an diese Adresse.

**Passwort \***

Bitte wählen Sie ein Passwort mit mindestens 8 Zeichen, davon mindestens einen Groß-, einen Kleinbuchstaben und ein Sonderzeichen.

**Land \***



**Bundesland**



**Ich bin \***

- als Lehrkraft tätig oder derzeit in der Lehramtsausbildung (Studium oder Referendariat).
- anderweitig im Bildungsbereich tätig (z. B. als Erzieher/in, Dozent/in, betriebliche/r Ausbilder/in, ehrenamtlich Tätige/r, Sprachförderkraft).
- nicht im Bildungsbereich tätig.

**Art der Bildungseinrichtung**

Bitte wählen ▼

---

**Wie sind Sie auf das Medienportal aufmerksam geworden?**

- Medien (Fachzeitschrift, Social Media, Presse)
- Kollegen und Netzwerk
- Veranstaltungen
- Internet (Suchmaschinen, Empfehlungen anderer Websites)

---

**Newsletter**

Ich möchte per E-Mail über Neuigkeiten rund um das Medienangebot der Siemens Stiftung informiert werden.

Hinweis: Die Einwilligung kann jederzeit im persönlichen Bereich des Medienportals oder Anklicken des entsprechenden Links im Newsletter widerrufen werden.

**Bevorzugte Sprache**

Deutsch ▼

---

**Einwilligungserklärung \***

Ich habe die Nutzungsbedingungen des Medienportals der Siemens Stiftung gelesen und bin damit einverstanden. Die Datenschutzhinweise habe ich zur Kenntnis genommen.

**Absenden** **Abbrechen**

### 6.3 Schritt 3

Im Folgenden wird Ihnen ein Bestätigungsbildschirm angezeigt. Der nächste Schritt ist die endgültige Aktivierung Ihres neuen Accounts. Dafür wird an die von Ihnen im Registrierungsprozess angegebene E-Mail-Adresse eine **Bestätigungsmail mit einem Aktivierungslink** versandt. Um die Registrierung erfolgreich abzuschließen, müssen Sie durch Anklicken des Links Ihre Anmeldung bestätigen. Der Aktivierungslink ist zwei Wochen gültig.

**Vielen Dank für Ihre Registrierung.**

**Bitte beachten Sie:**

Ihr Account ist erst nutzbar, wenn Sie den Bestätigungs-Link in der E-Mail aufgerufen haben, die Sie in Kürze erhalten.

Bitte nutzen Sie für die Anmeldung Ihre E-Mail-Adresse und das Passwort, das Sie soeben festgelegt haben.

Guten Tag,

Sie haben sich auf dem Medienportal der Siemens Stiftung registriert.

Um Ihren Account zu aktivieren, klicken Sie bitte auf folgenden Link:

<https://medienportal.siemens-stiftung.org/user/activateaccount.php?token=c98a6ee3c92368defd3c9b43b3941190>

Hinweis: Dieser Link ist bis 05.04.2022 12:55:18 gültig.

Mit freundlichen Grüßen

Ihr Medienportal-Team

## 6.4 Schritt 4

Sobald Sie den Aktivierungslink geöffnet haben, wird Ihnen die erfolgreiche Aktivierung Ihres neuen Accounts bestätigt. Nun können Sie sich direkt über den Button „Anmelden“ unter der Bestätigung oder über die „Anmelden“-Fläche in der Navigationsleiste in Ihren Account einloggen und haben Zugriff auf die erweiterten Funktionen des Medienportals.



The screenshot shows the top navigation bar of the Medienportal website. On the left, it says "Medienportal für den MINT-Unterricht" with a logo. On the right, it says "SIEMENS | Stiftung". Below the navigation bar, there is a message: "Ihr Account wurde erfolgreich aktiviert." Below this message, the "Anmelden" button is highlighted with a blue circle.

## 6.5 Schritt 5

Nach der Anmeldung auf dem Medienportal können Sie über den Hauptmenüpunkt „Mein Portal“ in Ihrem „Persönlichen Bereich“ Ihren Account verwalten. Unter „Anmeldedaten ändern“ können Sie Ihren Benutzernamen und Ihr Zugangspasswort beliebig ändern. Außerdem haben Sie unter „Persönliche Daten“ die Möglichkeit, die von Ihnen gemachten Angaben zu Ihrer Person zu ändern und sich für unseren Newsletter an- oder abzumelden.



The screenshot shows the top navigation bar of the Medienportal website. On the left, it says "Medienportal für den MINT-Unterricht" with a logo. On the right, it says "SIEMENS | Stiftung". Below the navigation bar, there is a message: "Ihr Account wurde erfolgreich aktiviert." Below this message, the "Anmelden" button is highlighted with a blue circle.

**Wir wünschen Ihnen viel Spaß mit dem Medienportal der Siemens Stiftung!**

Wir freuen uns auf Ihre Anregungen und Fragen an: [medienportal@siemens-stiftung.org](mailto:medienportal@siemens-stiftung.org)

## Bestellbare Materialien, alphabetisch sortiert

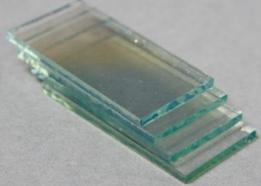
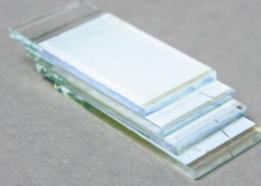
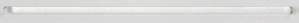
**Hinweis:** Diese Liste zeigt nur einen Teil der im Handbuchordner in den Anleitungen aufgeführten Materialien. Die Experimentiermaterialien, die bezogen werden, können von den hier abgebildeten abweichen.

Einzelne Experimentiermaterialien zu Experimento können im Online-Shop des Lehrmittelherstellers Arnulf Betzold GmbH unter [betzold.de/experimento](http://betzold.de/experimento) kostenpflichtig bezogen werden.

Eine Übersicht, welche Chemikalien, Geräte und sonstige Materialien Sie für die einzelnen Teilerperimente pro Schülergruppe benötigen, finden Sie in den jeweiligen Experimentieranleitungen für Lehrkräfte.

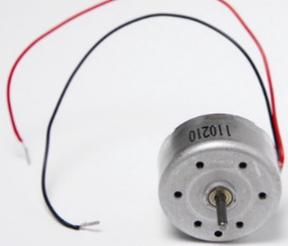
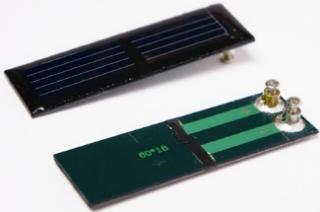
Material	
Akku, 9 V, NiMH, 200 mAh	
Akkuladegerät, 2 x 9 V	
Aktivkohle, Dose	
Batterie für Digitalmultimeter, 9 V	
Batterie für Digitalthermometer, Knopfzelle 1,5 V, Typ LR44, L1154, AG13, V13GA	
Digitalmultimeter	

Material	
Digitalthermometer	
Doppel-Propeller (für Solarmotor klein)	
Einweghahn (passend zu Schlauch 7/4 mm und Luer Lock)	
Eisenpulver, Dose	
Elektrolysezelle	
Filterpapier (Rundfilter), 12,5 cm Porengröße größer ca. 10 µm	
Filterpatrone (Membranfilter) mit Luer Lock Porengröße 2 µm	

Material	
Glaselektrode für Farbstoffzelle (SnO, klar)	
Glaselektrode für Farbstoffzelle (TiO <sub>2</sub> , weiß)	
Glasstab	
Hohlfasermembran mit Luer Lock Porengröße 0,02 µm	
Iod/Kaliumiodid-Lösung, Tropffläschchen Auch wenn das Fläschchen mit „Jodtinktur“ etikettiert ist, so ist die darin enthaltene Lösung nicht mit der medizinischen Iodtinktur identisch, sondern es handelt sich um eine alkoholfreie, rein wässrige Lösung. → siehe hierzu Anhang „Gefahrstoffkennzeichnung“	
Kondensator Gold Cap, 0,22 F	
Kupfernagel (als Elektrode)	
LED rot (klares Gehäuse) Sie leuchtet ab ca. 1,7 V und ca. 1 – 2 mA (sog. Low Current LED). <b>Achtung:</b> Die LED verträgt kurzzeitig maximal 2,5 V. Sie darf nicht direkt, also ohne Vorwiderstand, an den 9-Volt-Akku angeschlossen werden!	
LED rot (rotes Gehäuse), 5 V Sie leuchtet ab ca. 1,9 V und ca. 2 mA. <b>Achtung:</b> Die LED verträgt kurzzeitig maximal 6 V. Sie darf nicht direkt, also ohne Vorwiderstand, an den 9-Volt-Akku angeschlossen werden!	

Material	
Lupe als Brennglas	
Magnet (permanent), Quader	
Messkabel-Set Banane/Kroko, je rot und schwarz	
Nagel (Stahl, „Eisen“)	
Pflanzenclip (als Reagenzglasständer)	
pH-Meßstäbchen, Packung	
Potentiometer, 470 Ohm Max. Leistung ca. 0,24 W <b>Achtung:</b> Darf nicht direkt, also ohne Vorwiderstand, an den 9-Volt-Akku angeschlossen werden!	
Propeller (für Solarmotor groß)	
Quarzsand („Filtersand“) Reiner Quarzsand mit Korngröße 0,8 – 1,2 mm. Wird für Sandfilteranlagen in Swimmingpools und Aquarien angeboten.	

Material	
Quetschclip (Beutelverschluss)	
Reagenzglas aus Glas Länge 13 cm, Ø 14 mm	
Reagenzglas aus Kunststoff (PP), mini Länge 75 mm, Ø 12 mm	
Reagenzglasklammer aus Holz	
Reagenzglasstopfen, Ø 14 mm	
Schleifpapier Körnung 60, 1 Bogen Schleifpapier Körnung 80, 1 Bogen Schleifpapier Körnung 100, 1 Bogen Schleifpapier Körnung 120, 1 Bogen (in der Abbildung von links nach rechts)	
Schraubdeckel (für Becher 100 ml)	
Schutzbrille	
Siedesteinchen, Fläschchen	

Material	
Silikonschlauch 7/4 mm, 3,5 m (passend zu Luer Lock)	
Solarmotor klein, Glockenanker Geeignet zum Nachweis von Stromquellen minimaler Leistung. Anlaufspannung 0,1 V, Leerlaufstrom 2 mA, max. Stromstärke 190 mA, max. Betriebsspannung 18 V, Drehzahlen: bei 0,5 V 270 U/min, bei 1,5 V 980 U/min.	
Solarmotor groß, Eisenanker, min. Betriebsspannung 0,25 – 0,4 V, min. Betriebsstrom 15 – 25 mA, <b>Achtung:</b> max. Betriebsspannung 6 V, darf nicht direkt, also ohne Vorwiderstand, an den 9-Volt-Akku angeschlossen werden!	
Solarzelle Nennspannung ca. 0,5 V bzw. Nennstrom ca. 150 mA bei optimaler Beleuchtung.	
Spiegel, konkav (als Brennspiegel)	
Spritze Luer Lock, 10 ml	
Spritze (konische Spitze), 100 ml	
Spritze Luer Lock, 50 ml	
Spritze (konische Spitze), 5 ml (oder Pipette)	

Material	
Tonerde („Bentonit“)	
Trichter Länge 14 cm, Innendurchmesser 7,5 cm	
Verbindungskabel Kroko/Kroko	
Wärmekissen (mit regenerierbarer Salzschmelze)	
Zinkiodid-Zelle  <b>Sicherheitshinweis:</b> Die Zelle darf nicht geöffnet werden.	
Zinknagel (als Elektrode)	
Zitronensäure, Dose  → siehe hierzu Anhang „Gefahrstoffkennzeichnung“	



# Kleiner Grundkurs: Elektrische Messungen und Schaltungen

Folgend werden die hier aufgegriffenen Themen in dem Umfang und in der Tiefe dargestellt, wie es für das Arbeiten mit dem Multimeter im Rahmen von Experimento nötig ist.

## 1 Messen mit dem Digitalmultimeter

Dieses Kapitel gibt Hinweise und Tipps zum Umgang mit dem Digitalmultimeter. Es ist keine offizielle Bedienungsanleitung, diese ist im Zweifelsfall zu berücksichtigen.

### 1.1 Sicherheitshinweise

Das Digitalmultimeter darf nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht. Das Nichtbeachten der Anweisungen kann zu Schäden am Gerät oder zu gesundheitlichen Schäden führen. Im Einzelnen sind folgende Sicherheitshinweise zu beachten:

- Schütze das Gerät vor Feuchtigkeit, Spritzwasser und Hitzeeinwirkung und benutze es nur in sauberen und trockenen Räumen.
- Lasse das Digitalmultimeter nicht fallen und setze es keinem starken mechanischen Druck aus.
- Öffne das Digitalmultimeter niemals eigenmächtig, ohne Anweisung durch die Lehrkraft.
- Spannungsmessung: Mit dem Digitalmultimeter und Messkabelset, dürfen **nur Kleinspannungen bis 25 Volt** gemessen werden.
- Strommessung: Im 200-mA- und im 10-A-Bereich dürfen jeweils keine höheren Ströme gemessen werden.

### 1.2 Was ist was beim Digitalmultimeter?

- 1 Display LCD zur Anzeige der Messwerte.
- 2 Drehschalter: Ein/Aus und Wahl der Messart und des Messbereichs.
- 3 Eingangsbuchse für Stromstärke 10 A (größer 200 mA).
- 4 Anschlussbuchse für V (Spannung),  $\Omega$  (Widerstand), A (Stromstärke bis 200 mA) entspricht **Pluspol** (Anschluss **rotes** Messkabel).
- 5 COM („Common“): Allgemeine Anschlussbuchse entspricht **Minuspole** (Anschluss **schwarzes** Messkabel).

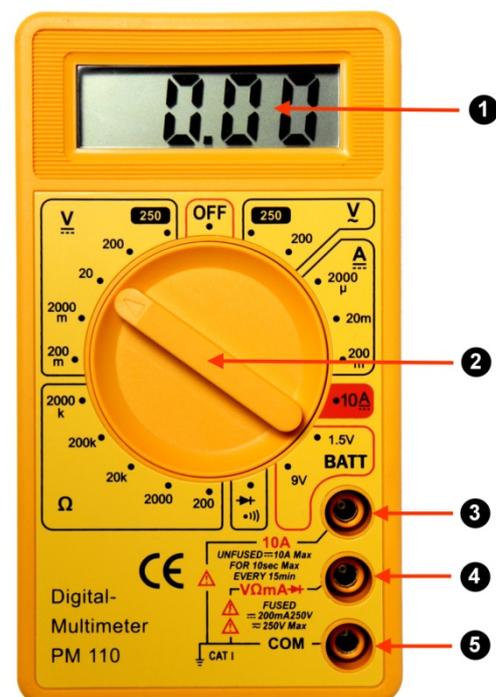


Abb. 1: Digitalmultimeter PM110.

### 1.3 Einlegen der Batterie

- Vor Erstinbetriebnahme muss die Batterie eingelegt werden.
- Bei Öffnen der Geräterückwand mit einem Kreuzschlitzschraubendreher darf nichts an das Gerät angeschlossen sein. Der Drehschalter sollte auf „OFF“ stehen.
- Beim Wiederverschließen der Rückwand ist darauf zu achten, dass sich das Batterieanschlusskabel nicht verklemmt. In diesem Fall nicht mit Gewalt verschrauben, sondern erst das Batterieanschlusskabel gut unter der Batterie verstauen (siehe Abb. 2, b).

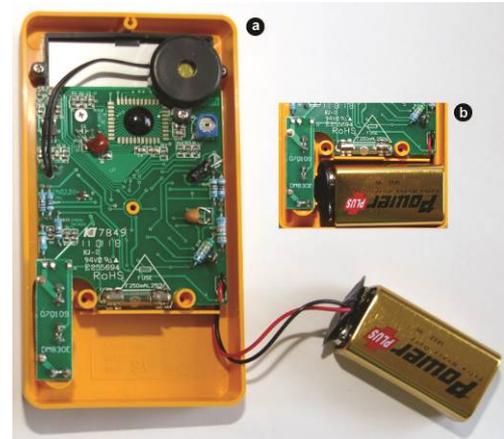


Abb. 2: Einlegen der Batterie.

### 1.4 Ein- und Ausschalten des Geräts

Zum Einschalten den Drehschalter aus der Position „OFF“ in die gewünschte Messfunktion drehen. Zum Ausschalten wieder auf „OFF“ drehen. **Schalte** das Gerät nach Gebrauch **immer sofort wieder aus**, sonst wird die Batterie des Digitalmultimeters unnötig verbraucht.

### 1.5 Auswahl der Messart bzw. Messfunktion

Folgende elektrischen Größen können gemessen werden (siehe Abb. 3):

- Gleichspannung, eingestellt auf Bereich 20 V
- Wechselspannung, eingestellt auf Bereich 200 V
- Gleichstrom (bis 200 mA), eingestellt auf Bereich 200 mA
- Gleichstrom (bis 10 A)
- Widerstand, eingestellt auf Bereich 2.000 Ohm. Das Display zeigt „1“ an, wenn der Widerstand größer ist als der eingestellte Messbereich.

Erläuterungen zu den Messfunktionen „Diodenprüfung/Durchgangsprüfung“ und „Batterietest“ findest du, falls nötig, in der originalen Geräteanleitung.

#### Achtung bei Umschalten der Messfunktion:

Wenn du von einer Funktion zur anderen umschaltest, z. B. von „Widerstandsmessung“ nach „Gleichspannungsmessung“, musst du **immer zuerst die Messkabel vom Messobjekt entfernen!** Das Gerät oder das Messobjekt könnte sonst Schaden nehmen. Nur wenn du z. B. direkt von „Gleichspannung“ über „OFF“ nach „Gleichstrom“ umschaltest kann nichts passieren.



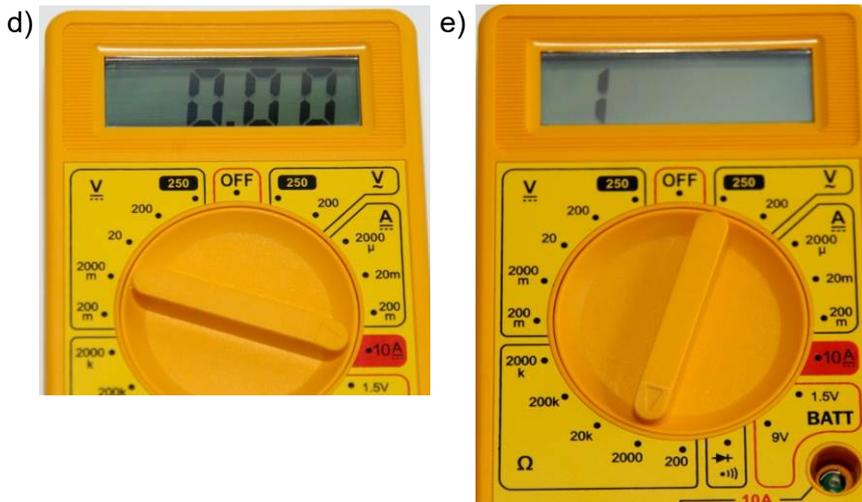


Abb. 3: Einstellen der Messfunktionen.

## 1.6 Korrekter Anschluss der Messkabel

### 1.6.1 Die Regel lautet: Schwarz immer an COM!

- Die **COM-Buchse** ist Anschluss-Buchse für das **schwarze** Testkabel. Verbinde es stets mit dem **Minuspol** des Messkreises!
- Die Buchse mit der Aufschrift „**V Ω mA**“ ist die Eingangs-Buchse für das **rote** Testkabel für alle Spannungs-, Widerstands- und Strommessungen (außer 10 A). Verbinde es stets mit dem **Pluspol** des Messkreises!
- Die Buchse mit der Aufschrift „**10A**“ ist die Eingangs-Buchse für das rote Testkabel für die Messung von hohen Strömen. Verbinde es stets mit dem **Pluspol** des Messkreises!



Abb. 4: Richtiger Anschluss der Messkabel an das Digitalmultimeter.

Hier noch einmal die Regeln im Überblick:

Buchse	Kabel	Polung
COM	Schwarz	Minus
V Ω mA	Rot	Plus
10A	Rot	Plus

### 1.6.2 Überprüfung auf richtigen Anschluss

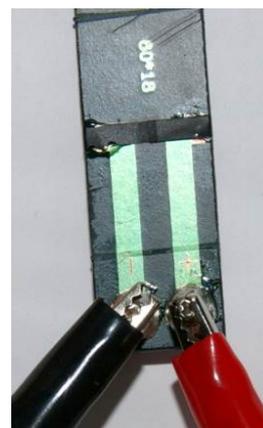
Teste selbst mit einer Batterie, einem Akku oder einer Solarzelle ob diese Regeln stimmen! Stelle die Messfunktion auf Gleichspannung und wähle den Bereich 20 Volt bei Verwendung eines 9-Volt-Akkus. Schließe die Messkabel am Digitalmultimeter korrekt an (Schwarz an „COM“, Rot an „V Ω mA“). Schließe nun das rote Messkabel an den Minuspol und das schwarze an den Pluspol des Akkus an. Es wird eine Negative Spannung angezeigt. Schließe nun das Schwarze Kabel an den Minuspol und das rote an den Pluspol des Akkus an. Jetzt wird eine positive Spannung angezeigt. Auch wenn man den positiven Pol einer Solarzelle an das rote Kabel und den negativen an das schwarze Kabel anschließt, wird eine positive Spannung angezeigt.



a) Der Anschluss der Messkabel am Digitalmultimeter ist inkorrekt. Es wird eine negative Spannung angezeigt.



b) Der Anschluss der Messkabel an Digitalmultimeter und Akku ist korrekt. Es wird eine positive Spannung angezeigt.



c) Der Anschluss an diese Solarzelle mit markiertem Plus- und Minuspol ist korrekt.

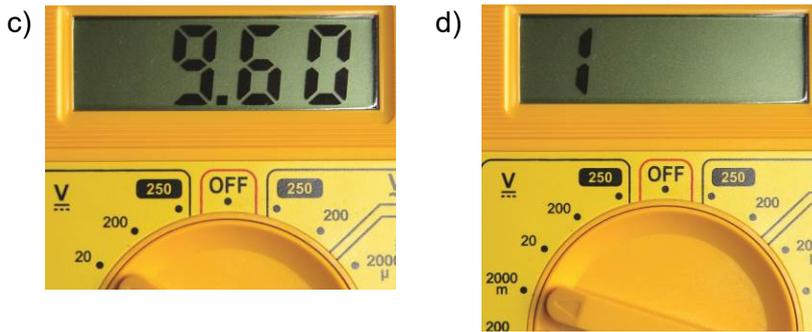
Abb. 5: Anschluss der Messkabel am Digitalmultimeter.

### 1.7 Welchen Messbereich soll man wählen?

Wenn die Höhe der zu messenden Größe unbekannt ist, wähle **zunächst immer den höchsten Messbereich**. Also bei Gleichspannung z. B. 250 Volt. Regle dann den Messbereich von oben nach unten und taste dich so an die Größe des Messwerts heran. Die optimale Einstellung erkennst du an der **höchsten Auflösung des Messwerts**. Sie ist bei einem 9-Volt-Akku bei Einstellung 250 Volt (Abb. 6, a) am schlechtesten, bei 200 Volt (Abb. 6, b) schon besser und bei 20 Volt (Abb. 6, c) am besten. Die Einstellung auf 2000 mV bzw. 2 Volt (Abb. 6, d) ist bei einem 9-Volt-Akku völlig ungeeignet. Die Anzeige „1“ signalisiert „Overflow“ („Überlauf“ bzw. Überlastung). Mit dieser Methode – Einstellung beginnend mit dem höchsten Wert – stellst du überdies sicher, dass die Sicherung des Geräts nicht durchbrennt.



Abb. 6: Optimale Wahl des Messbereichs am Beispiel eines 9-Volt-Akkus.



## 1.8 Bestimmung der unbekanntem Polung von Strom- bzw. Spannungsquellen

Die in Abschnitt 1.6 erläuterten Regeln für den korrekten Anschluss von Messkabeln an Digitalmultimeter und Messobjekt erscheinen willkürlich. Könnte man es nicht genauso gut anders herum definieren?

Nein, denn unter Einhaltung dieser Regeln können wir die Polung von Strom- und Spannungsquellen bestimmen, wenn diese noch unbekannt ist.

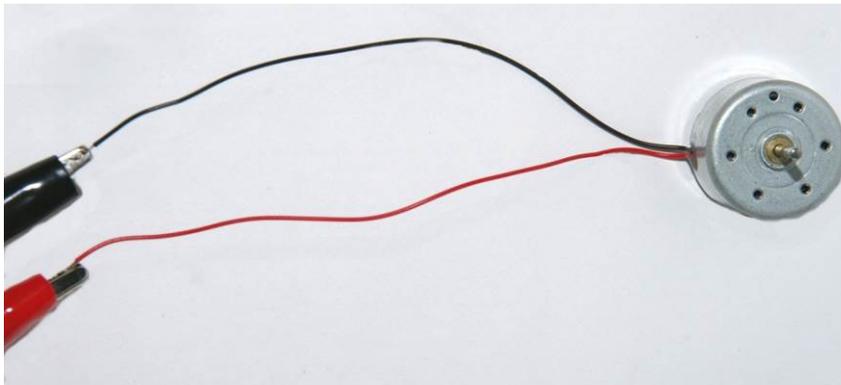


Abb. 7: Wir wollen den Elektromotor als Generator im Rechtslauf (im Uhrzeigersinn) verwenden. Wir überprüfen dazu, ob er im Rechtslauf bei diesem Anschluss positive Spannung liefert.

Die Kenntnis der Polung von Strom- und Spannungsquellen ist sehr wichtig, denn viele elektrische Bauteile funktionieren nicht, wenn sie falsch gepolt angeschlossen werden. LEDs z. B. leuchten bei falscher Polung nicht, Akkus und Elektrolytkondensatoren werden bei falscher Polung nicht aufgeladen oder sogar zerstört.

Wollen wir zum Beispiel einen Elektromotor als Generator verwenden, um damit einen Elektrolytkondensator oder eine elektrochemische Zelle aufzuladen, müssen wir wissen, welcher Anschlussdraht der positive bzw. der negative Pol ist. Würde in unserem Beispiel (Abb. 7) bei Rechtslauf das Multimeter eine positive Spannung anzeigen, wüssten wir: Der rote Anschlussdraht des Motors ist bei dieser Laufrichtung der Pluspol.

## 2 Schaltkreise für einfache elektrische Messungen

Das Thema wird nur so weit und tief dargestellt, wie es für das Arbeiten mit dem Multimeter im Rahmen von Experimento nötig ist.

### 2.1 Messung der Spannung in einem Schaltkreis

Generell gilt: Das Messgerät wird immer **parallel zur Spannungsquelle** bzw. zum Messobjekt angeschlossen. Rotes Kabel an den Pluspol und schwarzes an den Minuspol des Messobjekts.

#### 2.1.1 Messung der Leerlaufspannung einer Stromquelle

Das Messgerät ist in diesem Fall der einzige Verbraucher. Der Innenwiderstand des Messgeräts, also der Lastwiderstand, ist bei der Spannungsmessung extrem hoch (bei Digitalmultimetern bis zu 20 MOhm).

Der Innenwiderstand der Spannungsquelle (in unserem Beispiel Batterie oder Akku) ist also extrem klein im Verhältnis zum Lastwiderstand. Deshalb fließt im Stromkreis über das Digitalmultimeter praktisch kein Laststrom („Leerlauf“). An der unbelasteten Spannungsquelle misst man also die Leerlaufspannung.

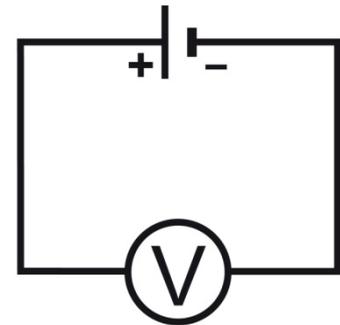


Abb. 8: Schaltplan für die Messung der Leerlaufspannung.

#### 2.1.2 Messung der Spannung unter Last

Hier fließt im Stromkreis über den Verbraucher (in unserem Beispiel Glühlampe) ein Laststrom. Die gemessene Spannung ist kleiner als die Leerlaufspannung. Je nachdem wie klein der Innenwiderstand der Spannungsquelle im Vergleich zum Lastwiderstand ist, wird der Spannungsabfall im Vergleich zur Leerlaufspannung kleiner oder größer sein.

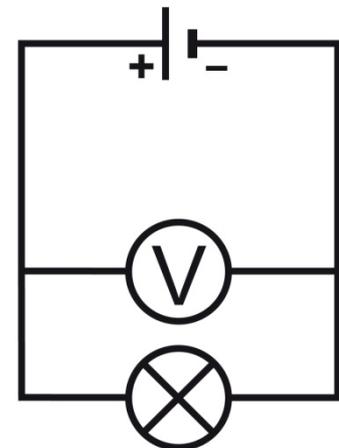


Abb. 9: Schaltplan für die Spannungsmessung in einem Stromkreis mit Verbraucher.

### 2.1.3 Messung der Spannung in verzweigten Netzwerken

Befinden sich in einem Stromkreis mehrere hintereinander geschaltete „Verbraucher“ (Reihen- bzw. Serienschaltung), teilt sich die Spannung auf. Die Spannung kann als Gesamtspannung (hier  $V_1$ ) parallel zur Spannungsquelle und als Teilspannung an jedem Lastwiderstand (hier  $V_2$ ,  $V_3$ ,  $V_4$ ) gemessen werden.

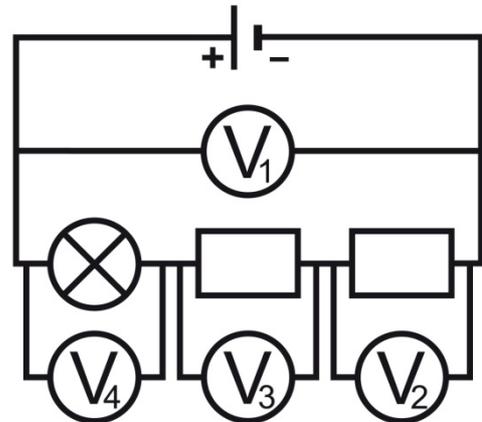


Abb. 10: Schaltplan für die Spannungsmessung in einem Stromkreis mit mehreren Verbrauchern.

## 2.2 Messung der Stromstärke in einem Schaltkreis

Generell gilt: Das Messgerät wird immer **seriell zum Verbraucher bzw. zum Messobjekt** angeschlossen. Rotes Kabel an den Pluspol und schwarzes an den Minuspol des Messobjekts.

### 2.2.1 Messung des Kurzschlussstroms einer Stromquelle

Das Digitalmultimeter hat bei der Strommessung nur einen extrem geringen Widerstand, der Lastwiderstand ist also extrem klein. Das Messgerät ist in diesem Fall der einzige Verbraucher. Der Innenwiderstand der Stromquelle (in unserem Beispiel Batterie oder Akku) ist also relativ groß im Verhältnis zum Lastwiderstand. Deshalb wirkt der Anschluss des Digitalmultimeters praktisch wie ein Kurzschluss. Die Stromstärke ist meist größer als beim Stromfluss durch einen normalen Verbraucher.

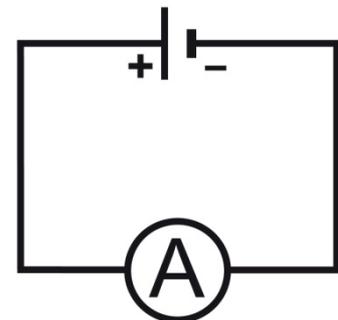


Abb. 11: Schaltplan für die Messung des Kurzschlussstroms.

**Warnung:** Der Kurzschlussstrom darf nie bei Akkus und Batterien gemessen werden, da dies zur Zerstörung der Akkus und Batterien und des Messgeräts führen kann. Deshalb darf der Ladungszustand eines Akkus oder einer Batterie nur über eine Spannungsmessung und nicht über eine Strommessung bestimmt werden.

## 2.2.2 Messung des Stromflusses durch einen „Verbraucher“

Will man den Stromfluss durch einen Verbraucher messen, ist das Messgerät in Serie mit dem Messobjekt zu schalten.

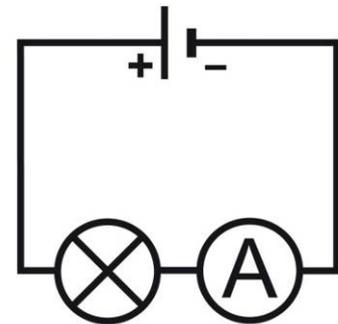


Abb. 12: Schaltplan für die Strommessung in einem Stromkreis mit Verbraucher.

## 2.2.3 Messung des Stromflusses in verzweigten Schaltungen

Will man den Stromfluss durch mehrere Verbraucher messen, ist das Messgerät in Serie mit jedem parallel zur Stromquelle geschalteten Messobjekt zu schalten. Denn durch die fließt unterschiedlicher Strom (in unserem Beispiel  $I_1$ ,  $I_2$  und  $I_3$ ). Durch seriell geschaltete Messobjekte (in unserem Beispiel die beiden Glühlampen) fließt derselbe Strom (bei uns  $I_3$ ), es reicht also ein gemeinsames Messgerät. Der Gesamtstrom ergibt sich übrigens aus der Summe über  $I_1$ ,  $I_2$  und  $I_3$ .

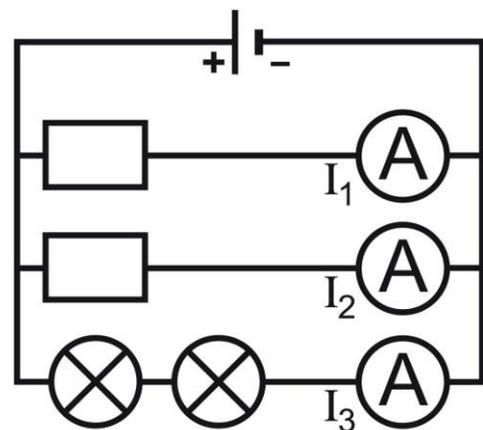


Abb. 13: Schaltplan für die Strommessung in einem Stromkreis mit mehreren Verbrauchern.

## 2.3 Messung von Widerständen

### 2.3.1 Direkte Messung des Widerstands

Generell gilt: Das Messgerät wird parallel zum Widerstand angeschlossen.

Zur Ermittlung des Widerstands legt das Digitalmultimeter eine Spannung an den Widerstand an und misst den durchfließenden Strom. Aus  $U/I$  errechnet das Messgerät dann automatisch den Widerstand und zeigt ihn an.

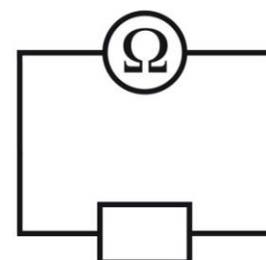


Abb. 14: Schaltplan für die Messung eines einzelnen Widerstands.

**Achtung:** Einzelne Widerstände sollte man nie in bereits fertig aufgebauten komplexen Schaltungen messen. Liegen in dieser komplexen Schaltung nämlich noch irgendwo Spannungen an (z. B. durch noch nicht entladene Kondensatoren), kann es zu Fehlmessungen oder gar Schäden am Messgerät kommen. Aber auch aus einem anderen Grund empfiehlt sich die Widerstandsmessung in komplexen Schaltungen nicht. Sind nämlich andere Widerstände zum zu vermessenden Widerstand parallel geschaltet, misst man nicht mehr den einzelnen Widerstand, sondern den Widerstandswert der Kombination mehrerer Widerstände.

### 2.3.2 Indirekte Bestimmung des Widerstands aus Spannung und Strom

Zur Ermittlung des Widerstands schließt man den Widerstand an eine Spannungsquelle (hier Akku oder Batterie) an und misst die angelegte Spannung und den durch den Widerstand fließenden Strom. Aus  $U/I$  errechnet man dann den Widerstand.

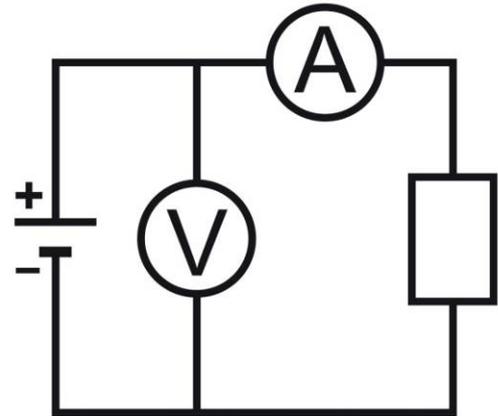


Abb. 15: Schaltplan für die indirekte Widerstandsmessung über Strom- und Spannungsmessung.

### 3 Vermeidung von Kurzschlüssen beim Aufbau von Schaltungen

Die Verkabelung mit Krokodilklemmen geht zwar besonders schnell, ist aber störanfällig. Es muss also unbedingt äußerst sorgfältig gearbeitet werden.

**Achtung Kurzschlussgefahr:** Liegen die Anschlusspunkte nah beieinander wie z. B. bei der Solarzelle, muss darauf geachtet werden, dass sich die Krokodilklemmen der beiden Anschlusskabel nicht berühren.

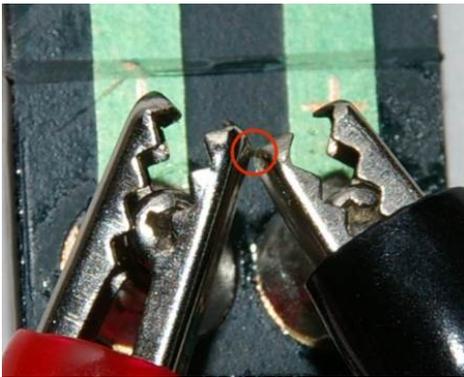


Abb. 16: Falsch: Die Krokodilklemmen berühren sich, es kommt zum Kurzschluss.

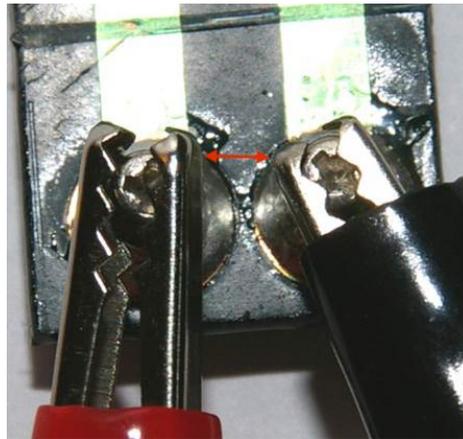


Abb. 17: Richtig, sicherer Abstand: Die Krokodilklemmen können sich auch bei Bewegung der Kabel nicht berühren.

**Saubere Verkabelung an Parallelschaltung:** Werden zu viele Krokodilklemmen auf einen Anschlusspunkt gesetzt (z. B. an Solarzellen), kommt es fast sicher zu Kurzschluss oder Wackelkontakt. Hier empfiehlt es sich, jede Solarzelle separat an ein Kabelpaar anzuschließen und die Parallelschaltung über Kreuzungspunkte der anderen Kabelenden vorzunehmen.

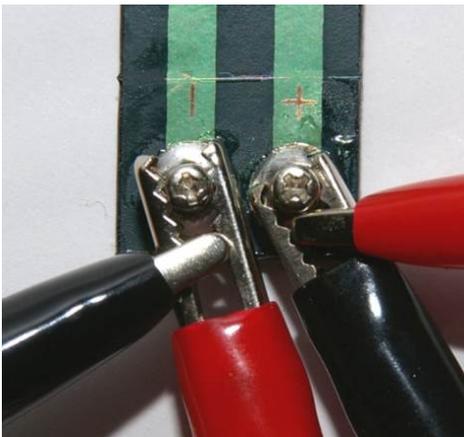


Abb. 18: Falsch: Zu viele Klemmen an einem Geräteanschlusspunkt.

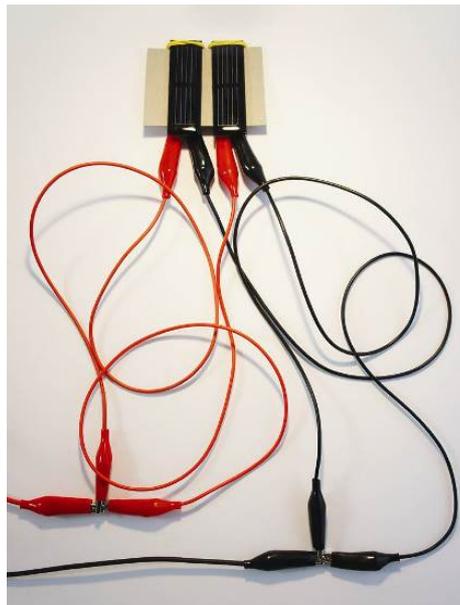


Abb. 19: Richtig: Sichere Verkabelung bei paralleler Schaltung. Die zwei Solarzellen werden über Kreuzungspunkt der Kabel parallel angeschlossen.

## 4 Umgang mit Batterien und Akkus

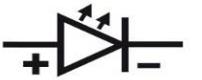
Akkus sollten sofort nach Gebrauch wieder aufgeladen werden. Das empfiehlt sich auch nach längerem Nichtgebrauch.

Batterien und Akkus dürfen niemals kurzgeschlossen werden. Bei Kurzschluss fließt kurzzeitig ein Strom von mehreren Ampere (bei Alkalimangan Mignonbatterien z. B. bis zu 80 A). Bestenfalls kommt es dadurch zu Tiefentladung und Zerstörung der Batterie bzw. des Akkus. Schlimmstenfalls kommt es zu Explosion und Brand. Auch ein Erhitzen des Akkus kann zur Explosion führen.

Batterien und Akkus dürfen nicht in den normalen Hausmüll entsorgt werden, sondern müssen dem Recycling zugeführt werden.

## 5 Anhang: Schaltsymbole

Um Schaltungen „lesen“ zu können, musst du die wichtigsten Schaltsymbole kennen.

Gerät	Schaltsymbol	Besondere Hinweise
Voltmeter, Spannungsmessung		Das Digitalmultimeter wird zum Voltmeter durch Einschalten der Messfunktionen Gleich- oder Wechselspannung.
Amperemeter, Messung der Stromstärke		Das Digitalmultimeter wird zum Amperemeter durch Einschalten der Messfunktionen Gleich-/Wechselstrom Milliampere bzw. Ampere.
Leuchtdiode		Kurzes Beinchen = Minuspol Langes Beinchen = Pluspol
Motor		Beim Motor wird der Pluspol meist so definiert, dass beim Anlegen von Gleichspannung der Motor im Uhrzeigersinn läuft.
Solarzelle		Die Solarzelle hat als flächiges Bauelement ein eigenes Schaltzeichen, das anders ist als das der Photodiode. Nicht verwechseln!
Akku, Batterie		Keine
Widerstand		Keine
Potentiometer		Variabler Widerstand, durch einen verschiebbaren Schleifkontakt kann der Widerstand eingestellt werden.
Kondensator		Kondensator kleiner Kapazität, hier spielt die Polung keine Rolle.
Elektrolytkondensator		Bei Kondensatoren großer Kapazität werden Elektrolyte eingesetzt. Deshalb spielt die Polung eine Rolle. Sie können durch falsche Polung zerstört werden.
Glühlampe		Keine

## Für den werteorientierten Unterricht: Ergänzende Materialien zu Experimento | 10+

Neben der Vermittlung von naturwissenschaftlich-technischem Wissen ist es ein zentrales Anliegen von Experimento, eine werteorientierte Bildung mitzugestalten. Durch die Verknüpfung der naturwissenschaftlichen Inhalte mit werteleitenden Fragestellungen sollen bei den Schülerinnen und Schülern sozialorientierte und verantwortungsbewusste Haltungen und Einstellungen gebildet werden.

### Leitfaden Naturwissenschaften, Technik und Werte

In diesem Leitfaden, welcher dem Handbuchordner beiliegt, finden Sie zahlreiche Hintergrundinformationen zu Methoden zur Implementierung des Werteaspekts in den naturwissenschaftlich-technischen Unterricht. Alle Experimente aus Experimento | 10+ können mit der Bildung konkreter Werte verknüpft werden. Das gilt sowohl für sogenannte **lernprozessbezogene** als auch **gegenstandsbezogene** Werte.

Lernprozessbezogene Werte wie *Offenheit, Eigenaktivität, Verantwortungsübernahme, Teamorientierung, Toleranz* und *Zuverlässigkeit* sind für die Schülerinnen und Schüler vor allem beim kooperativen Experimentieren in Gruppen erfahrbar.

Die gegenstandsbezogenen Werte sind eng mit der inhaltlichen Dimension der in Experimento | 10+ behandelten Themenbereiche Energie, Umwelt und Gesundheit verknüpft. Zu ihnen zählen *Offenheit, Eigenaktivität, Verantwortungsübernahme, Solidarität, Umweltbewusstsein, Gesundheitsbewusstsein* und *Nachhaltigkeit*.

Die Auseinandersetzung mit Werten im naturwissenschaftlich-technischen Unterricht fördert unter anderem die Fähigkeit der Schülerinnen und Schüler, Sachverhalte kritisch zu beurteilen, verschiedene Perspektiven einzunehmen und naturwissenschaftlich-technische Fragestellungen zu bewerten.

Übrigens: Um Ihnen die Einbindung von werteleitenden Fragen in den Unterricht zu erleichtern, haben wir bei einigen Experimentieranleitungen eine Impulsfrage zur Wertebildung ergänzt.

**Ablauf der Stunde**

Nachdem während des Experimentierens vor allem lernprozessbezogene Werte zum Tragen gekommen sind, wird in der Folgestunde nun ein besonderer Fokus auf die **gegenstandsbezogenen** Werte beim Themengebiet „Gesundheit“ gelegt.

Ablauf:

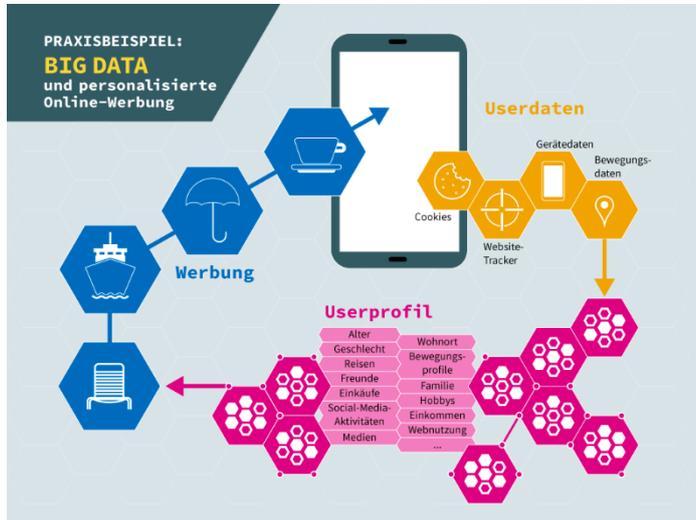
- Die Schülerinnen und Schüler schätzen ein, wie häufig bestimmte Lebensmittel verzehrt werden sollten und ordnen die entsprechenden Symbole in eine Tabelle ein.
- Auf dieser Grundlage wird besprochen, wie eine **gesunde und ausgewogene** Ernährung sichergestellt werden kann.
- Dabei greift die Lehrkraft auch auf das **Vorwissen** aus dem Experiment zurück.
- Zusätzlich wird herausgearbeitet, wie die Ernährung nicht nur gesund, sondern **auch umweltbewusst und nachhaltig** gestaltet werden kann.

Listepunkte zurücksetzen



## Online-Modul zum Thema Wertebildung im naturwissenschaftlichen Unterricht

Basierend auf dem Leitfaden ist im Rahmen der Online-Anwendung von Experimento | 10+ auch ein interaktives Online-Selbstlern-Modul für Lehrkräfte zum Thema Wertebildung im naturwissenschaftlichen Unterricht entstanden.



Dort werden theoretische Hintergründe anschaulich zusammengefasst und durch videografierte Mitschnitte praxisorientierter Unterrichtsstunden ergänzt.

Somit erhalten Sie direkt Ideen für eine konkrete Umsetzung von Wertebildung im Klassenzimmer. Dabei wird auch auf neue Wertefragen im Zusammenhang mit der Digitalisierung eingegangen, wie zum Beispiel personalisierte Online-Werbung.

Zugang zum Online-Modul erhalten Sie nach einer kurzen Registrierung. Eine Schritt-für-Schritt-Anleitung für die Registrierung finden Sie unter dem Punkt „Wie arbeite ich mit dem Medienportal der Siemens Stiftung“ in diesem Handbuchordner.

### Probieren Sie es doch einfach mal aus!

Über diesen Link gelangen Sie zu den Online-Modulen:

<https://medienportal.siemens-stiftung.org/de/fortbildungen/kurse/experimento-10plus/1-uebersicht>

## Für den inklusiven Unterricht: Ergänzende Materialien zu Experimento | 10+

Um ein differenziertes und dennoch gemeinsames Erarbeiten naturwissenschaftlich-technischer Fragestellungen in heterogenen Gruppen zu unterstützen, hat die Siemens Stiftung gemeinsam mit Kooperationspartnerinnen und Kooperationspartnern verschiedene Angebote entwickelt.

### Inklusive Experimentiereinheiten

In Zusammenarbeit mit dem Landesinstitut für Schulqualität und Lehrerbildung Sachsen-Anhalt (LISA) wurden bereits vorhandene Medien aus dem Bildungsprogramm Experimento für einen inklusionsorientierten Unterricht erweitert. Die Materialien eignen sich für die Jahrgangsstufen 7 bis 10. Derzeit gibt es drei Medienpakete zu den Themen Energie, Umwelt und Gesundheit: Sie beziehen sich auf die Experimente von Experimento | 10+ und wurden auf die Potenziale und Bedürfnisse von Schülerinnen und Schülern mit verschiedenen Lernausgangslagen abgestimmt: Alle bearbeiten denselben Themenbereich, während ein niederschwelliger Einstieg, gestufte Hilfen sowie vertiefende Teilaufgaben auf unterschiedlichem Niveau das individuelle Arbeits- und Lerntempo berücksichtigen. Weitgehend werden die gleichen Experimentiermaterialien wie bei den Original-Experimenten verwendet.

Die kostenlosen Medienpakete werden ausschließlich online angeboten. Sie stehen auf dem Medienportal als Open Educational Resources (OER) und somit unter offener CC-Lizenz allen Nutzerinnen und Nutzern zur Verfügung. Sie dürfen ohne vorherige Registrierung heruntergeladen, nach den jeweiligen Bedarf verändert und wieder zur Verfügung gestellt werden.

Mit diesem Link gelangen Sie direkt zu den Materialien für den inklusionsorientierten Unterricht: <https://medienportal.siemens-stiftung.org/inklusion>.

The screenshot displays three media packages on a green-themed interface. Each package includes a title, a small image, and a detailed description of the experiments and their educational goals. The packages are:

- Inklusive Materialien zu Energie Experimento | 10+**: Focuses on heat storage experiments. Description: "Das Medienpaket beinhaltet vier ergänzende Experimente zum Thema A2 „Wir speichern Wärme - Vom Wärmespeicher zur Salzschmelze“ von Experimento | 10+. Untersucht wird dazu ein handelsübliches Wärmekissen, das mit einem Natriumsalz der Essigsäure gefüllt ist. Das Thema kann in den Klassenstufen 6 bis 8 der weiterführenden Schulen in den Fächern Physik und Chemie..."
- Inklusive Materialien zu Umwelt Experimento | 10+**: Focuses on the greenhouse effect and waste sorting. Description: "Das Medienpaket beinhaltet fünf ergänzende Experimente zum Thema B2 „Treibhauseffekt im Trinkbecher“ von Experimento | 10+. Untersucht wird, wie der Erwärmungseffekt im Trinkbecher (Treibhaus) entsteht und inwieweit dieser auf die Erdatmosphäre übertragen werden kann. Das Thema kann in der weiterführenden Schule in den Klassenstufen 5 und 6 in Biologie, 7 und 8 in Physik und 9 und 10 in Chemie eingesetzt werden. Die zwei ergänzenden Experimente zum Thema B3 „Wie funktioniert Mülltrennung“ thematisieren grundlegende Methoden der Mülltrennung auf Basis derer sich auch komplizierte Verfahren..."
- Inklusive Materialien zu Gesundheit Experimento | 10+**: Focuses on energy metabolism. Description: "Das Medienpaket beinhaltet ergänzende Experimente zum Thema C1 und C2 „Wir verbrennen Zucker und Kohlenhydrate als Energielieferant des Stoffwechsels - Stärke und Zucker“ von Experimento | 10+. Untersucht wird dazu gekautes und angekauftes Brot sowie Zucker mit Hilfe eines Katalysators verbrannt. Das Thema kann in der weiterführenden Schule in den Klassenstufen 7 und 8 in Biologie, 9 und 10 in Chemie und 5 bis 10 in Hauswirtschaft eingesetzt werden. Die Materialien orientieren sich am Rahmenlehrplan Sachsen-Anhalts und unterstützen den inklusiven Unterricht. Durch den Einsatz von Lernhilfen können die Schülerinnen und Schüler naturwissenschaftlich-technische Sachverhalte selbstständig erforschen, reflektieren und verstehen sowie ihr Wissen zur eigenen gesunden Lebensweise weiterentwickeln. Vom Landesinstitut für Schulqualität und Lehrerbildung Sachsen-Anhalt (LISA) in Zusammenarbeit mit der Siemens Stiftung erstelltes Material für den inklusiven Unterricht zum Thema Gesundheit. In Ergänzung zu den einzeln verfügbaren Dateien dieses Medienpakets sind alle diese Medien zusammengefasst in der PDF-Datei „Inklusive Materialien zu Gesundheit Experimento | 10+“. Diese kann ebenfalls heruntergeladen werden."

At the bottom of the interface, there is a summary box showing "11 Medien im Medienpaket" and a "Texte" icon.



Lösungsblatt

**A2 Inklusion: Wir speichern Wärme (gestufte Hilfen)**

Text | Gestufte Hilfen:  
für Teilaufgabe d) der Experimentieranleitung „A2 Inklusion: Wir speichern Wärme (Schüleranleitung erhöhtes Niveau)“







**Verfügbar in:** Deutsch

**Medienpaket:** » Experimento | 10+: A2 Wir speichern Wärme  
» **Inklusive Materialien zu Energie Experimento | 10+**

**Medientyp:** Text

**Verfügbar als:** PDF (68,8 kByte), DOC (87,0 kByte)

**Letzte Aktualisierung:** 23.01.2018

**Lizenz:**  Dieses Medium steht unter einer » CC BY-SA 4.0 international Lizenz.  
» Was bedeutet das?  
» So verweisen Sie auf das Medium

**Medienpaket:** » Experimento | 10+: A2 Wir speichern Wärme  
» **Inklusive Materialien zu Energie Experimento | 10+**

**Beschreibung:** Gestufte Lernhilfen: unterstützen die Differenzierung beim Experimentieren und schrittweise den Prozess der Erkenntnisgewinnung.

**Lernobjekttyp:** Lösungsblatt

**Fächer:** Chemie; Physik; Technik

**Klassenstufen:** Klasse 5 bis 6; Klasse 7 bis 9; Klasse 10 bis 13

**Schultypen:** Weiterführende Schulen

**Stichworte:** Aggregatzustand; Energie; Wärme

**Bibliographie:** Medienportal der Siemens Stiftung

**Urheber:** Anke Ganzer, Karsten Krüger und Volker Torgau erstellt für das Landesinstitut für Schulqualität und Lehrerbildung Sachsen-Anhalt

**Rechteinhaber:** © Landesinstitut für Schulqualität und Lehrerbildung Sachsen-Anhalt/Siemens Stiftung 2016

Experimentieranleitung

**A2 Inklusion: Wir speichern Wärme – Vom Wärmespeicher zur Salzschmelze**

Schau dir das folgende Video an (YouTube) Sendung mit der Maus  
<https://www.youtube.com/watch?v=ZG1fAhefQvY>

Am Nikolausmorgen finden Hannah und Lukas in ihrem blitzblank geputzten Schuhen zwei Wärmekissen. Neugierig probieren sie diese gleich aus und staunen, wie heiß sie werden. Lukas ruft sogar „Ich kann es nicht mehr in den Händen halten. Meins ist zu warm und viel heißer als dein Wärmekissen!“ Hannah stellt nach einer halben Stunde fest, dass ihr Kissen in der Tasche immer noch warm ist. Beide beschließen, die Wärmekissen genauer zu untersuchen.

**Erarbeitung einer Frage**

- Untersuche die Änderung der Temperatur eines Wärmekissens.
- Steigere die Effektivität des Wärmekissens: Das Kissen bleibt länger warm, wenn ...
- Ermittle, wie viel Wärme ein Wärmekissen abgibt.
- Ein Salz, mal fest, mal flüssig – Wie funktioniert ein Wärmekissen im Detail?

**Planen des Experimentes**

**Geräte und Materialien**

- Digitalthermometer
- Wärmekissen
- Teelicht
- Uhr
- Glasstab
- Waage
- Wolltuch
- Teelicht und Streichhölzer
- Isolierende Unterlage
- Reagenzglas und Reagenzglaslampe aus Holz
- Salz aus dem Inneren des erstarrten Wärmekissens

Achtung: Nach Beendigung des Experimentes sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

**Sicherheitshinweise**

Die Materialien dürfen nur darauf eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht.

© Landesinstitut für Schulqualität und Lehrerbildung Sachsen-Anhalt/Siemens Stiftung 2016  
Inhalt lizenziert unter CC BY-SA 4.0 international Seite 1 von 4

## Materialien für den sprachsensiblen Fachunterricht

Für alle Experimente von Experimento | 10+ existieren auf dem Medienportal zudem passende Versuchsanleitungen und Arbeitsblätter für den sprachsensiblen Fachunterricht (SFU). Sprachliche Unterstützung sollte auch Teil eines jeden inklusiven Unterrichts sein. Die im Unterricht verwendete Fachsprache muss ähnlich wie eine Fremdsprache erst erlernt werden. Fachsprache zeichnet sich nicht nur durch fachspezifische Ausdrücke und Wendungen aus, sondern beispielsweise auch durch Nominalisierungen und Passivkonstruktionen, was Schwierigkeiten für viele Schülerinnen und Schüler birgt. Auf den SFU-Arbeitsblättern in Experimento | 10+ werden verschiedene Methodenwerkzeuge eingesetzt. Alle SFU-Materialien stehen als editierbare Medien zur Verfügung, um eine eigene Gestaltung und Anpassung auf den individuellen Bedarf zu ermöglichen.

## Online-Modul zum Thema Inklusion und SFU

Die beschriebenen Materialien sowie weitere Unterlagen für den inklusiven naturwissenschaftlich-technischen Unterricht werden gebündelt in einem Online-Modul für Lehrkräfte der Online-Anwendung von Experimento | 10+ vorgestellt. Dort finden Sie auch zusätzliche Hintergrundinformationen, zum Beispiel zum Einsatz von gestuften Hilfen oder differenziertem Arbeitsmaterial, welches unterschiedliche Niveaustufen und Lern tempi berücksichtigt. Einige der vorgestellten Aspekte werden durch Mitschnitte authentischer Unterrichtsstunden veranschaulicht. Diese dienen gleichzeitig als Inspirationsquelle für die Umsetzung im eigenen Unterricht.

Zugang zum Online-Modul erhalten Sie nach einer kurzen Registrierung. Eine Schritt-für-Schritt-Anleitung für die Registrierung finden Sie unter dem Punkt „Wie arbeite ich mit dem Medienportal der Siemens Stiftung“ in diesem Handbuchordner.

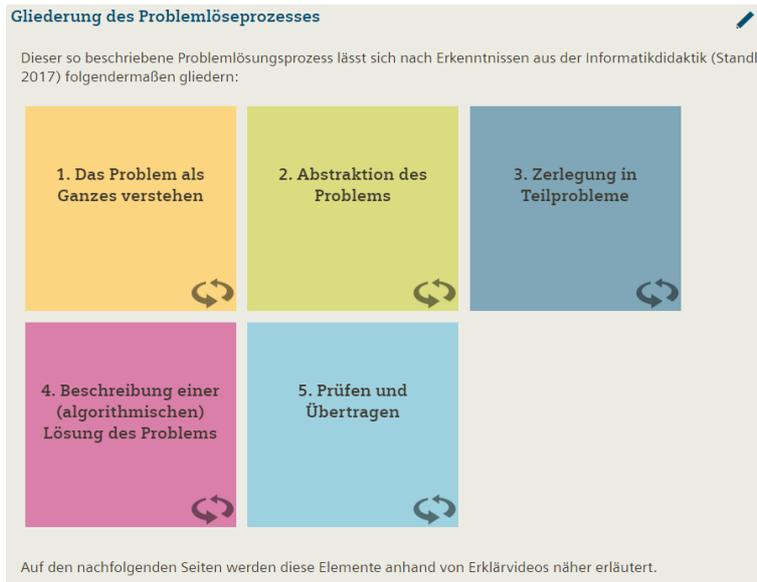
### Probieren Sie es doch einfach mal aus!

Über diesen Link gelangen Sie zu den Online-Modulen:

<https://medienportal.siemens-stiftung.org/de/fortbildungen/kurse/experimento-10plus/1-uebersicht>

# Computational Thinking in Experimento | 10+

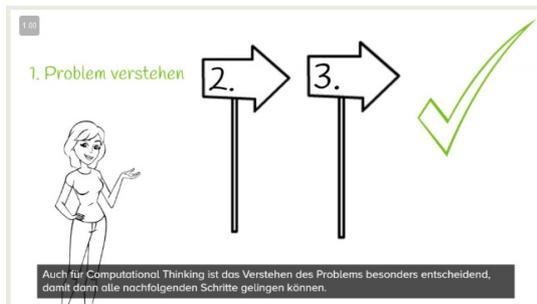
Im Diskurs darüber, welche Fähigkeiten Schülerinnen und Schüler benötigen, um gut auf das Leben in der digitalen Welt vorbereitet zu sein, haben Kompetenzen aus dem Bereich Computational Thinking an Bedeutung gewonnen. Daher wird Computational Thinking in der Online-Anwendung zu Experimento | 10+ als neue Methode zur Förderung analytischer Problemlösekompetenzen vorgestellt.



Bei Computational Thinking geht es darum, ein komplexes Problem zu verstehen, das Problem auf die wesentlichen Teile zu abstrahieren und in kleinere Teilprobleme zu zerlegen. Auch die Beschreibung einer algorithmischen Lösung des Problems sowie die Prüfung und Übertragung der Lösung auf andere Kontexte ist Teil von Computational Thinking.

Computational Thinking bedeutet dabei keineswegs, so zu denken wie ein Computer, sondern bezeichnet vielmehr Problemlösefähigkeiten, die sich auf viele verschiedene Fragestellungen anwenden lassen. Es handelt sich um ein fächerübergreifendes Konzept. Programmierfähigkeiten können eine Rolle spielen, müssen es aber nicht.

Anschauliche Erklärvideos erläutern die theoretischen Hintergründe und verdeutlichen, dass Computational Thinking in vielen Bereichen des naturwissenschaftlich-technischen Unterrichts gefördert werden kann. So können die Schülerinnen und Schüler beispielsweise die algorithmischen (Schritt-für-Schritt) Elemente bei der Durchführung eines Experiments nach Versuchsanleitung erkennen, indem sie die einzelnen Schritte in ein Flussdiagramm übertragen.



Zugang zum Online-Modul erhalten Sie nach einer kurzen Registrierung. Eine Anleitung für die Registrierung finden Sie unter dem Punkt „Wie arbeite ich mit dem Medienportal der Siemens Stiftung“ in diesem Handbuchordner.

Viele Lehrkräfte fördern bereits Teil-Aspekte von Computational Thinking, ohne sich dessen bewusst zu sein. In dem Online-Modul zu Computational Thinking werden die Problemlösevorgänge erklärt und neue Ideen für ihre Integrierung in den MINT-Unterricht gegeben.

**Probieren Sie es doch einfach mal aus!**

Über diesen Link gelangen Sie zu den Online-Modulen:

<https://medienportal.siemens-stiftung.org/de/fortbildungen/kurse/experimento-10plus/1-uebersicht>

# **Anleitungen Energie**



## Inhaltsverzeichnis

### A Energie

- A1 Elektrischer Strom aus Solarzellen – Wir bauen eine Farbstoffzelle
  - 1 Bau einer Farbstoffsolarzelle
  - 2 Leistung der Grätzelzelle bei verschiedenen Beleuchtungsstärken
  - 3 Größere Spannungen durch mehrere Grätzelzellen
  
- A2 Wir speichern Wärme – Vom Wasserspeicher zur Salzsammelzelle
  - 1 Wasser als Wärmespeicher – Nicht nur der Tee wird kalt
  - 2 Wasser als effektiver Wärmespeicher – Wasser kann länger warm bleiben, wenn ...
  - 3 Wärme für kalte Finger – Ist das Wärmekissen ein Wärmespeicher?
  - 4 Wie das Wärmekissen Wärme speichert – Ein Salz, mal fest, mal flüssig
  
- A3 Zitronen- und andere Batterien – Strom aus chemischer Energie
  - 1 Wie gut funktioniert die „Obst- und Gemüsebatterie“?
  - 2 Die „Zitronen-Batterie“: Was erfüllt welchen Zweck?
  - 3 Die „Zitronen-Batterie“ ohne Zitrone
  - 4 Eine Batterie, die belastbar ist
  - 5 Ein Kupferüberzug ganz von selbst?
  - 6 Eine professionelle Zink-Kupfer-Batterie
  
- A4 Verdampfungswärme – So kühlt man mit Wärme
  - 1 Warum friert man in nasser Kleidung?
  - 2 Wie kühlt ein nasses Wattepad?
  
- A5 Eigenschaften von Solarzellen – Spannung, Strom und Leistung
  - 1 Erste Erkundungen mit der Solarzelle
  - 2 Kurzschlussstromstärke und Leerlaufspannung bei unterschiedlichem Abstand zur Lampe
  - 3 Was passiert, wenn man Solarzellen in Reihe oder parallel schaltet?
  - 4 Stromstärke und Spannung bei der Reihen- und Parallelschaltung von Solarzellen
  - 5 Wie verhalten sich Solarzellen in Reihen- oder Parallelschaltung bei Abschattung?
  - 6 Optimierung der Leistung von Solarzellen



# A1 Elektrischer Strom aus Solarzellen – Wir bauen eine Farbstoffzelle

Das Experiment eignet sich besonders gut für den Einstieg in das Thema Solarzellen, da im Unterschied zu Experimenten mit fertigen Siliziumzellen die prinzipielle Wirkungsweise von Solarzellen für die Schülerinnen und Schüler praktisch erfahrbar wird. Im Chemieunterricht lassen sich anhand der Experimente die Kenntnisse aus dem Bohr'schen Atommodell (Energienstufen bzw. Anregungen von Elektronen) verifizieren und auch die Kenntnisse aus dem Gebiet Redoxchemie anwenden. Im Biologieunterricht können die Experimente mit der Farbstoffzelle bestens zur Einführung oder zur Illustration des Themas Photosynthese eingesetzt werden. Die Experimente sind nicht wirklich schwierig, setzen aber sorgfältiges Arbeiten voraus. Mit geübten Schülerinnen und Schülern sind alle drei Teilversuche leicht in der vorgesehenen Zeit von ca. 45 min durchzuführen. Bei ungeübteren Schülerinnen und Schülern sollte man mehr Zeit einplanen, bzw. man könnte ggf. auch die Teilversuche 2 und 3 weglassen. Sehr gut eignet sich das Experiment auch zum Einsatz während eines Projekttags zum Thema Regenerative Energien.

## 1 Zentrale Fragestellung

Die Umwandlung der Sonnenenergie in chemische Energie nach dem Prinzip der Photosynthese wird seit Jahrzehnten von Naturwissenschaftlern erforscht. Nach der bereits seit 1958 eingesetzten Siliziumsolarzelle ist es nun mit der Grätzelzelle, die von ihrem Entwickler Michael Grätzel 1992 zum Patent angemeldet wurde, gelungen, die Energie des Sonnenlichts mithilfe von Farbstoffen in elektrische Energie umzuwandeln. Wenn dies großtechnisch gelingt, wäre das die günstigste Methode, Strom aus Sonnenlicht zu gewinnen.

Die hier vorgeschlagenen Experimente beschäftigen sich mit folgenden Fragen:

- Wie ist eine Grätzelzelle aufgebaut und wie funktioniert sie?
- Wie kann man die Leistung einer Grätzelzelle bestimmen und ihre Leistung verbessern?
- Welche Vorgänge sind bei Grätzelzelle und Photosynthese vergleichbar?

## 2 Einordnung des Experiments in den Unterrichtszusammenhang

### 2.1 Fachliche Grundlagen

Die Grätzelzelle ermöglicht die Umwandlung von Strahlungsenergie des Lichts in elektrische Energie. Die dabei ablaufenden Prozesse der Energieumwandlung und des Elektronentransfers sind Teil der Basiskonzepte des naturwissenschaftlichen Unterrichts.

Die Schülerinnen und Schüler können die Energieumwandlung und den Elektronentransfer experimentell nachvollziehen und den Einfluss verschiedener Materialien und Bedingungen auf die Leistung der Zelle überprüfen.

Die Grätzelzelle kann als Funktionsmodell für die Photosynthese genutzt werden.

### 2.2 Lehrplanrelevanz

Für die Altersstufe bis 14 Jahre sollte die Funktionsweise einer Grätzelzelle nur qualitativ oder halbquantitativ behandelt werden. Als qualitatives Zwei-Elektrodenmodell eignet sich die Grätzelzelle gut zur Erklärung aller Solarzellenprozesse. Darüber hinaus kann man sie bereits für die Altersstufe 13 bis 16 Jahre als Funktionsmodell zum besseren Verständnis der Photosynthese einsetzen (Energieumwandlung von Lichtenergie in elektrische bzw. chemische Energie).

Wenn das Energienstufenmodell, das Elektronen-Donator-Akzeptor-Prinzip und die Basisbegriffe der Elektrizitätslehre (Spannung, Stromstärke und Leistung) bekannt sind, können die einzelnen

Reaktionsschritte in der Grätzelzelle detaillierter besprochen und der Einfluss der verschiedenen Materialien und Bedingungen auf die Leistung der Zelle quantitativ bestimmt werden.

Die Grätzelzelle bietet sich in den folgenden Themenbereichen hervorragend für einen fächerübergreifenden Unterricht in Biologie, Chemie und Physik an:

- Erneuerbare Energien und Energieumwandlung (Sonnenenergie in elektrische Energie)
- Energiestufenmodell (Photonen befördern Elektronen auf höhere Energieniveaus)
- Licht- und Absorptionsspektren (Wellenlänge und Energie des eingestrahlt und absorbierten Lichts)
- Elektrizitätslehre (Halbleiter, Spannung, Stromstärke, Parallel- und Serienschaltung, Leistung in Abhängigkeit von eingesetzten Materialien und Schaltungen)
- Redox-Reaktionen (Elektronentransfer)
- Photosynthese (Umwandlung von Solarenergie in chemische Energie)

Damit einhergehend lassen sich auch zahlreiche Bezüge zu ausgewählten Werten wie *Nachhaltigkeit*, *Umweltbewusstsein*, *Eigenaktivität* und die *Offenheit* gegenüber Phänomenen aus dem Energiebereich herstellen.

**Themen und Begriffe:** Absorptionsspektren, Elektronenabgabe, Elektronenaufnahme, Elektrolyte, Elektronentransfer, Energiestufenmodell, Elektronen-Donator-Akzeptor-Prinzip, Farbstoff, Farbstoffzelle, Halbleiter, Licht, Lichtenergie, Lichtspektrum, Reduktion von Iod zu Iodid, Strahlungsenergie, UV-Strahlung, Wellenlänge

## 2.3 Kompetenzen

Die Schülerinnen und Schüler ...

- beschreibenden Aufbau und die Funktionsweise einer Grätzelzelle.
- bauen selbst eine Grätzelzelle.
- ermitteln den Einfluss von verschiedenen Materialien und Bedingungen auf die Leistung der Grätzelzelle experimentell.
- beschreiben vergleichbare Reaktionsschritte in der Grätzelzelle und bei der Photosynthese.

## 2.4 Das Experiment im Erklärungszusammenhang

Die Teilerperimente können entsprechend den Vorkenntnissen der Schülerinnen und Schüler in verschiedenen Anspruchsniveaus durchgeführt werden:

- Aufbau einer Grätzelzelle und experimenteller Nachweis der Umwandlung von Lichtenergie in elektrische Energie. Die Schülerinnen und Schüler erkennen: Es braucht zwei Elektrodenmaterialien mit den Eigenschaften „Elektronenabgabe unter Lichteinfluss“ und „Elektronenaufnahme“, damit der Umwandlungsprozess zustande kommen kann.
- Forschendes Experimentieren, um den Einfluss verschiedener Materialien und Bedingungen auf die Leistung der Zelle zu testen und die einzelnen Teilreaktionen in der Zelle zu verstehen.
- Fächerübergreifender Ansatz unter Einbeziehung eines Vergleichs zwischen der Funktionsweise der Grätzelzelle, der Photosynthese und der Solarzelle

### 2.4.1 Bau einer Farbstoffsolarzelle

Die Grätzelzelle ermöglicht die Umwandlung von Sonnenenergie in elektrische Energie und nutzt dabei nach dem Prinzip der Photosynthese pflanzliche Farbstoffe zur Lichtabsorption.

Die Trägerschicht der Zelle besteht aus zwei beschichteten Glasplatten (Anode und Kathode), die jeweils auf einer Seite eine leitfähige TCO-Schicht (Transparent Conducting Oxide) besitzen.

Am Minuspol (Anode) ist die TCO-Schicht noch zusätzlich mit Titandioxid beschichtet und mit einem Anthocyan-Farbstoff getränkt.

Am Pluspol (Kathode) wird die Leitfähigkeit der TCO-Schicht durch Auftragen einer dünnen Graphit-Schicht verbessert.

Bevor die beiden leitfähigen Seiten von Anode und Kathode aufeinander gelegt werden, gibt man noch zwei Tropfen Iodtinktur (Iod/Kaliumiodid-Lösung) auf die Anodenseite.



Abb. 1: Schematischer Aufbau der Grätzelzelle.

### 2.4.2 Leistung der Grätzelzelle bei verschiedenen Beleuchtungsstärken

Die Farbstoffzelle nach Grätzel besteht, wie jede Solarzelle, aus zwei Elektroden, die durch eine Grenzschicht voneinander getrennt sind. Die erste Elektrode kann bei Lichteinstrahlung Elektronen freisetzen, die zweite Elektrode kann Elektronen aufnehmen. Dieses Prinzip hat die Farbstoffzelle gemeinsam mit allen anderen Solarzellen, wie z. B. den Siliziumzellen. Im Fall der Grätzelzelle fließen bei Lichteinfall die Elektronen jedoch direkt über den äußeren Stromkreis zur zweiten Elektrode. Dort treffen sie in der Grenzschicht zwischen den beiden Elektroden wieder auf positive Ladungsträger. So schließt sich über den inneren Stromkreis der Farbstoffzelle der Gesamtstromkreis.

### 2.4.3 Größere Spannungen durch mehrere Grätzelzellen

Die Funktionsweise lässt sich in folgenden miteinander verknüpften Teilschritten erklären:

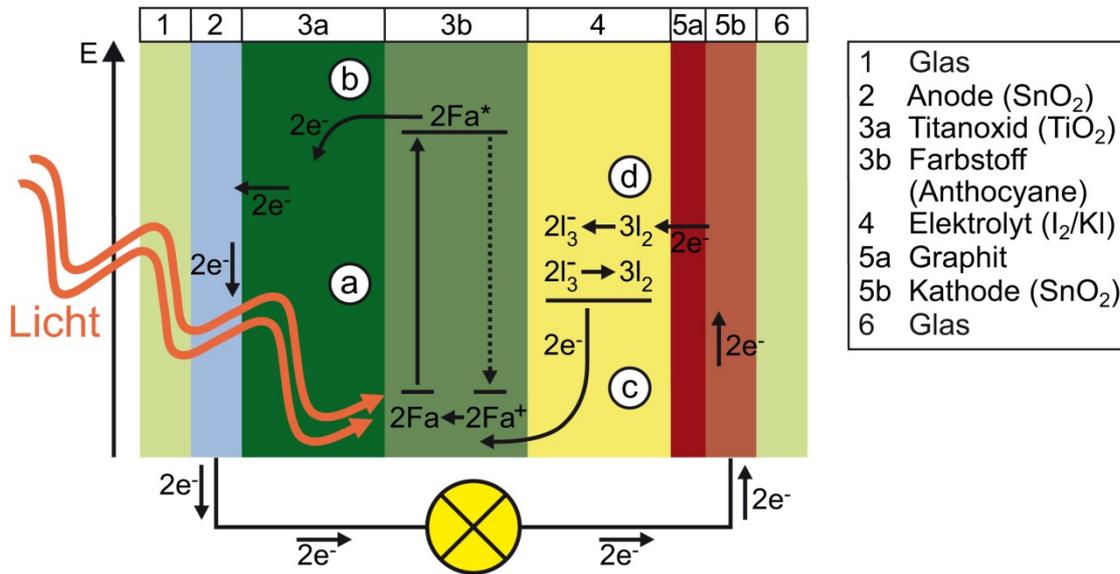


Abb. 2: Funktionsweise einer Grätzelzelle.

- Die Farbstoffmoleküle (Fa) absorbieren Licht einer bestimmten Wellenlänge. Die dabei aufgenommene Energie dient zur Anhebung von Elektronen auf ein höheres Energieniveau (Fa\*).  
 $2 Fa + \text{Lichtenergie} \rightarrow 2 Fa^*$
- Aus diesem höheren Energieniveau können die energiereichen Elektronen des Farbstoffs in das Leitungsband des Titandioxids übertragen werden. Die Farbstoffmoleküle sind jetzt einfach positiv und das Titandioxid einfach negativ geladen.  
 $2 Fa^* \rightarrow 2 Fa^+ + 2e^- \rightarrow 2 TiO_2 + 2e^- \rightarrow 2 TiO_2^-$
- Der Elektronenfluss ist nur möglich, weil der Elektronenverlust der Farbstoff-Moleküle durch Iodid-Moleküle ausgeglichen wird.  
 $2 I_3^- \rightarrow 3 I_2 + 2e^- \rightarrow 2 Fa^+ + 2e^- \rightarrow 2 Fa$
- Die energiereichen Elektronen fließen in einem äußeren Stromkreis von der Anode zur Kathode und können dabei an einen eventuellen Verbraucher Energie abgeben. Die an der Kathode (TCO- und Graphit-Schicht) ankommenden Elektronen reduzieren Iod-Moleküle wieder zu Iodid-Ionen, womit der Stromkreis geschlossen wird.  
 $3 I_2 + 2e^- \rightarrow 2 I_3^-$

Durch die Anordnung der einzelnen Elektronentransfer-Systeme können die Elektronen nur in einer Richtung fließen. Beispiel für Versuchsergebnisse:

Lichtquelle	Spannung in mV	Stromstärke in mA	Leistung in mW
Direktes Sonnenlicht	400	0,6	0,24
Overhead-Projektor	350	0,4	0,14

## 2.5 Durchführungsvarianten

Die Schülerinnen und Schüler können in Gruppen arbeiten und sich zunächst mit dem Aufbau und dem Funktionsprinzip einer Grätzelzelle vertraut machen. In einem zweiten Schritt kann zum Weiterforschen der Einfluss verschiedener Farbstoffe auf die Leistung einer Zelle untersucht werden. Das Ziel könnte der Betrieb eines leistungsschwachen Gerätes (Taschenrechner oder Solarmotor) mit einer entsprechenden Anzahl und Anordnung von Grätzelzellen sein. Im Projektunterricht oder beim Lernen an Stationen kann der Aufbau und das Funktionsprinzip der Grätzelzelle in einer Gruppe erarbeitet und anschließend in der Klasse vorgestellt werden. Die einzelnen Teilreaktionen in der Zelle können auch in Expertengruppen erarbeitet und anschließend in der Lerngruppe zu einer Gesamtdarstellung zusammengefügt werden. Interessant wird die fächerübergreifende Behandlung der Grätzelzelle für die Altersstufe ab 16 Jahre. In Expertengruppen könnten jeweils die Funktionsweise der Photosynthese (Biologie), der Grätzelzelle (Chemie) und der Solarzelle (Physik) erarbeitet und dann in der gesamten Lerngruppe vorgestellt und verglichen werden.

## 3 Ergänzende Informationen zum Experiment

Zur Vorbereitung bzw. zur Vertiefung dieses Experiments finden Sie ergänzende Medien auf dem Medienportal der Siemens Stiftung: <https://medienportal.siemens-stiftung.org>

## 4 Hinweise zur Durchführung der Telexperimente

### 4.1 Räumlichkeiten

Es sind keine besonderen Räumlichkeiten notwendig.  
Direktes Sonnenlicht oder eine starke künstliche Lichtquelle muss zur Verfügung stehen.

### 4.2 Zeitbedarf

- ca. 45 min für Aufbau und Funktionstest der Zelle (Telexperimente 1, 2 und 3).
- ca. 90 min für das forschende Experimentieren mit verschiedenen Materialien (Varianten).
- ca. 15 min bis 45 min für die Besprechung der Ergebnisse. Weitere ca. 120 min für eine fächerübergreifende Behandlung inklusive Photosynthese.

### 4.3 Sicherheitsaspekte

Die Versuche dürfen nur bei Anwesenheit und unter Aufsicht der Lehrkraft durchgeführt werden. Die Schülerinnen und Schüler sind darauf hinzuweisen, dass die bereitgestellten Materialien nur entsprechend den jeweiligen Anweisungen eingesetzt werden dürfen.

Bei diesen Experimenten achten Sie bitte auf folgende mögliche Gefahren und machen Sie auch Ihre Schülerinnen und Schüler darauf aufmerksam:

- Heißes Wasser zur Bereitung des Tees sollte im Normalfall immer von der Lehrkraft bereitgestellt werden.
- Iod ist nur bei Aufnahme großer Mengen in den Körper gesundheitsschädlich (Einnehmen, Einatmen, Hautkontakt). In kleinen Mengen wird es nach wie vor in der Medizin zur Desinfektion verwendet.  
Allergiker sollten auf jeden Fall den Hautkontakt vermeiden!  
Die Iodtinktur sollte von der Lehrkraft auf die vorbereitete Glasplatte getropft werden.

Nach internationaler Gefahrstoffkennzeichnung GHS:  
„Achtung“

H-Sätze: H373  
P-Sätze: P260, P314



#### 4.4 Benötigte Materialien

Die richtige Verkabelung und die richtige Benutzung von Multimeter, LEDs und Motor sollten je nach Kenntnissstand der Schülerinnen und Schüler von der Lehrkraft vorab erklärt, ggf. demonstriert werden.

Für **eine** Schülergruppe werden folgende Materialien benötigt:

Material	Anzahl
Becherglas oder Tasse	1
Bleistift, weich (6B)	1
Digitalmultimeter	1
Glaselektrode für Farbstoffzelle (SnO, klar)	1
Glaselektrode für Farbstoffzelle (TiO <sub>2</sub> , weiß)	1
Helle Schreibtischlampen	nach Bedarf
Hibiskusteebeutel (als Farbstoff für Solarzelle)	1 für die ganze Klasse
Hibiskus-Tee bereiten: Eine halbe Tasse konzentrierter(!) Hibiskus-Tee wird am besten von der Lehrkraft vorab bereitet und kann dann bereits abgekühlt ins Klassenzimmer mitgebracht werden. Aufbewahren des Tees über Tage oder Wochen ist nicht möglich, da dann der Farbstoff seine Wirkung verliert. Zur Herstellung des konzentrierten Tees müssen 2 Beutel mit 100 ml kochendem Wasser übergossen werden. Beim Herausnehmen der Beutel diese gut ausdrücken.	ca. 10 ml
Iod/Kaliumiodid-Lösung („Iodtinktur“), Tropffläschchen	1
Klammer (Aktenklammer)	2
Messkabel-Set Banane/Kroko, je rot und schwarz	1
Evtl. je nach Versuchsvarianten: Obst oder Obstsäfte (z. B. Brombeere, Himbeere, Kirsche, schwarze Johannisbeere). Die Säfte von Brombeeren, Holunder, schwarzer Johannisbeere und anderen Anthocyane-haltigen Stoffen können auch portionsweise eingefroren aufbewahrt werden.	nach Bedarf
Overheadfolienschreiber, Filzstift, Faserschreiber o. Ä.	1
Papiertücher	nach Bedarf
Schraubdeckel (für Becher 100 ml) oder Petrischale	1
Spritze (konische Spitze), 5 ml (als Pipette)	1
Verbindungskabel Kroko/Kroko	4
Wasserkocher	1



Abb. 3: Materialien für eine Schülergruppe, beispielhafte Abbildung.

#### 4.5 Aufräumen, Entsorgen, Recyceln

Fast alle verwendeten Geräte und Materialien sind wiederverwendbar. Daher sollten sie nach Beendigung des jeweiligen Experiments wieder ordentlich aufgeräumt werden. So wird sichergestellt, dass Sie bzw. Ihre Kolleginnen und Kollegen beim nächsten Einsatz alles schnell wiederfinden.

Geräte, die beim Experimentieren verschmutzt wurden, wie z. B. Becher, Schalen, Löffel, Reagenzgläser, sollten vor dem Zurücklegen erst gereinigt werden. Sinnvollerweise lässt man dies die Schülerinnen und Schüler gleich nach Beendigung des Experiments erledigen.

Stellen Sie zudem sicher, dass die Geräte wieder für den nächsten Einsatz betriebsbereit sind.

Beispielsweise sind benutzte Akkus gleich aufzuladen (Auch bei längerer Nichtbenutzung ist das Aufladen der Akkus sinnvoll.).

Materialien, die nicht wiederverwendbar sind, wie z. B. gebrauchte pH-Messstäbchen oder Filterpapier, sollten fachgerecht entsorgt werden. Die Entsorgung der in diesem Experiment anfallenden Abfälle kann über den normalen Hausmüll bzw. den Ausguss erfolgen.

#### Haltbarkeit und Regeneration der angefertigten Grätzelzellen

In der Anleitung wird davon ausgegangen, dass bereits angesetzte Iod/Kaliumiodid-Lösung verwendet wird. Stattdessen kann auch selbst eine Lösung angesetzt werden: Iod/Lithiumiodidlösung (Zusammensetzung: Lithiumiodid (LiI) 0,5 mol/l und Iod ( $I_2$ ) 0,05 mol/l).

Werden die angefertigten Solarzellen kühl und dunkel gelagert, können sie mindestens eine Woche funktionsfähig bleiben. Starke Lichtquellen, z. B. Overheadprojektoren, führen schneller zum Austrocknen der Zellen. Diese können mit einem Tropfen Elektrolytlösung wieder aktiviert werden. Zum vollständigen Regenerieren wird folgendermaßen vorgegangen:

Zunächst wird die negative Elektrode (die mit der eingefärbten Titanoxidschicht) mit destilliertem Wasser abgespült. Dann wird sie zum Entfärben in eine Schale mit destilliertem Wasser eingelegt und in die Sonne gestellt (z. B. auf eine Fensterbank). Die Ultraviolettstrahlung im Tageslicht sorgt für die Entfärbung, da die organischen Bestandteile des Farbstoffs zerstört werden.

Wenn die Titandioxidschicht weiß ist, kann die Elektrode aus dem Wasser genommen, mit einem Föhn getrocknet und anschließend wiederverwendet werden.

Bei der Reinigung der positiven Elektrode muss nur der Elektrolyt, nicht aber das Graphit abgewaschen werden. Das Graphit altert nicht und bleibt voll funktionsfähig. Wird das Experiment wiederholt, sollte man trotzdem sicherheitshalber auf der vorhandenen Graphitschicht eine neue Schicht Graphit auftragen.

**Achtung:** Beim Regenerieren beider Elektroden dürfen diese niemals mit einem Tuch oder gar einer Bürste abgerieben werden. Die empfindlichen Beschichtungen würden zerstört. Um die Trocknung zu beschleunigen, darf man die nassen Elektroden höchstens mit einem weichen Papiertuch oder Watte abtupfen.

Die negativen und die positiven Elektroden sollten getrennt voneinander aufbewahrt werden.

# A1 Elektrischer Strom aus Solarzellen – Wir bauen eine Farbstoffzelle

## 1 Bau einer Farbstoffsolarzelle

Der Bau der Farbstoffzelle ist nicht wirklich schwierig, erfordert aber große Sorgfalt.

### 1.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Bleistift, weich (6B)	1
Digitalmultimeter	1
Glaselektrode für Farbstoffzelle (SnO, klar)	1
Glaselektrode für Farbstoffzelle (TiO <sub>2</sub> , weiß)	1
Hibiskus-Tee (von der Lehrkraft)	ca. 10 ml
Tropffläschchen mit Iodtinktur (Iod/Kaliumiodid-Lösung)	1
Klammer (Aktenklammer)	2
Messkabel-Set Banane/Kroko, je rot und schwarz	1
evtl. Obstsaften (bevorzugt dunkelrot wie z. B. Brombeere, Himbeere, Kirsche, Johannisbeere, Holunder)	nach Bedarf
Overheadfolienschreiber, Filzstift, Faserschreiber o. Ä.	1
Schraubdeckel (für Becher 100 ml) oder Petrischale	1
evtl. helle Schreibtischlampe	1
Spritze (konische Spitze), 5 ml (als Pipette)	1

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

### 1.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht. Der Tee ist nicht zum Verzehr geeignet. Der Hautkontakt mit der Iodtinktur muss vermieden werden (Iod ist nicht besonders gefährlich, es gibt aber Menschen, die dagegen allergisch sind).

### 1.3 Versuchsdurchführung

Das Experiment wird normalerweise erst einmal wie nachfolgend beschrieben mit Hibiskus-Tee durchgeführt. Kläre mit der Lehrkraft, ob dies für alle Gruppen gilt oder ob sofort auch verschiedene andere Farbstoffe in Form von Obstsaften ausprobiert werden sollen.

#### 1.3.1 Färben der negativen Elektrode mit natürlichem Farbstoff

- Ordne die Materialien auf deinem Arbeitsplatz.
- Beginne den Versuch mit der konzentrierten Hibiskusfarbstoff-Lösung aus Hibiskus-Tee. Diese wird von der Lehrkraft bereitgestellt.

- Verwende als negative Elektrode („Photoelektrode“) die Glasplatte, die bereits mit einer Titanoxidschicht (weiß) beschichtet ist.
- Fülle mit der Spritze ca. 6 ml Tee in den Schraubdeckel ein.
- Lege diese Glasplatte in den mit wenig Tee gefüllten Schraubdeckel, sodass die ganze Fläche bedeckt ist. Warte ca. fünf Minuten. Während der Wartezeit kannst du schon mit Schritt 1.3.2 beginnen.
- Nimm die Glasplatte heraus und tupfe die Oberfläche mit einem Papiertuch trocken. Das ehemals weiße Titanoxid sollte nun purpurrot bis blauviolett gefärbt sein.

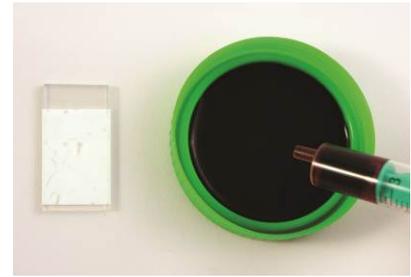


Abb. 1: Die mit weißem Titanoxid beschichtete Platte wird in Hibiskus-Tee eingelegt.

### 1.3.2 Beschichten der positiven Elektrode

- Als positive Elektrode wird die farblose Glasplatte mit elektrisch leitender, aber transparenter Zinnoxidschicht benutzt.
- Ermittle zunächst mit dem Multimeter die leitfähige Zinnoxidschicht auf der positiven Elektrode („Gegenelektrode“).
- Stelle dazu den Drehschalter des Multimeters auf Widerstandsmessung ( $\Omega$ ) im 200-Ohm-Bereich und halte die beiden Prüfspitzen ca. 1 cm voneinander entfernt vorsichtig auf die Glasscheibe. Zeigt das Messgerät einen sehr kleinen Widerstand (ca. 30 Ohm) an, hast du die leitfähige Seite ermittelt.
- Schraffiere nun die leitfähige Seite gleichmäßig mit einem weichen Bleistift, bis eine durchgängig graue Färbung der Glasplatte erreicht ist.
- Markiere mit einem Faserschreiber die graphitierte Seite mit „+“.

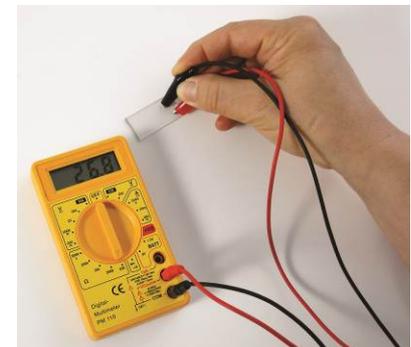


Abb. 2: An der klaren, transparenten Glasplatte wird die leitfähige Seite durch Widerstandsmessung ermittelt.



Abb. 3: Die leitfähige Seite wird mit weichem Bleistift graphitiert.

### 1.3.3 Zusammenbau der Zelle

- Lege die Glaselektrode mit der weißen Titanoxidschicht auf ein Papiertuch.
- Lass dir von der Lehrkraft einen Tropfen der Iodtinktur (Iod-/Kaliumiodid-Lösung) als Elektrolyten auf die Titanoxid-/Farbstoffschicht auftragen. (Ggf. seitlich ablaufende Iodtinktur mit Papiertuch wegtupfen.)
- Lege nun die positive Elektrode mit der Graphitschicht („+“) nach oben auf den Tisch.
- Lege danach die negative Elektrode mit der Titanoxid-/Farbstoffschicht nach unten darauf.
- Beachte dabei, dass links und rechts in Längsrichtung ein Stück Glasplatte zum Abgreifen des Stroms übersteht.
- Fixiere die beiden Glasplatten mit zwei Klammern.

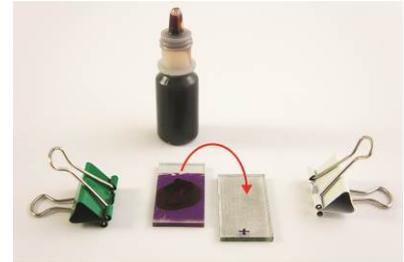


Abb. 4: Nach Aufbringen des Elektrolyt-Tropfens auf die gefärbte Schicht werden beide Glaselektroden Schicht auf Schicht leicht versetzt übereinander gelegt.

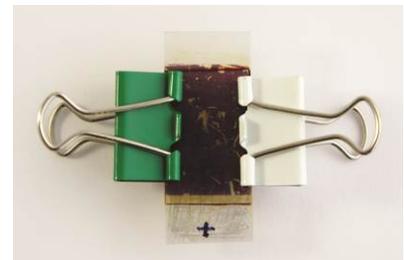


Abb. 5: Die Solarzelle nach Montage mit den Klammern.

### 1.3.4 Ermittlung der elektrischen Leistung

- Lege die Grätzelzelle mit der Farbstoffseite (Photoelektrode) nach oben auf deinen Arbeitsplatz und verbinde das Multimeter durch Krokodilklemmen mit dem Pluspol und dem Minuspol der Zelle.
- Achte darauf, dass sie von der Sonne oder mit einer hellen künstlichen Lichtquelle direkt beschienen wird.
- Stelle das Messgerät auf die Bereiche 2.000 mV bzw. 2.000  $\mu$ A ein.

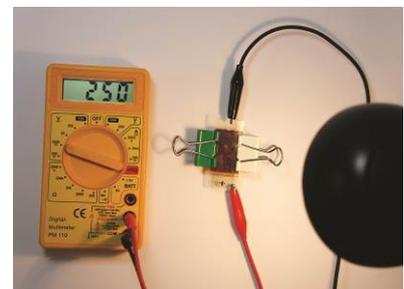


Abb. 6: Ermittlung der Leerlaufspannung unter einer hellen Schreibtischlampe.

## 1.4 Beobachtung

- Ermittle die maximalen Werte für Leerlaufspannung (in V) und Kurzschlussstromstärke (in mA).
- Vergleiche deine Werte mit denen, die deine Nachbargruppen ermittelt haben.

## 1.5 Auswertung

Die Leistung  $P$  berechnet man aus der gemessenen Spannung  $U$  und der Stromstärke  $I$ :

Leistung  $P = \text{Spannung } U \cdot \text{Stromstärke } I$

Beispiel für 0,3 V und 0,2 mA  $\Rightarrow P = 0,3 \text{ V} \cdot 0,2 \text{ mA} = 0,06 \text{ mW}$

Beachte, dass die aus Leerlaufspannung (ohne Verbraucher bzw. Nutzlast) und Kurzschlussstrom bestimmte Leistung nicht der tatsächlichen maximalen Leistung unter Belastung durch einen Verbraucher entspricht!

Erstelle eine Tabelle nach folgendem Muster und trage die gemessene Spannung und Stromstärke deiner Zelle und die der Nachbargruppen in die Tabelle ein. Berechne dann die Leistung:

Zelle Nr.	Spannung in V	Stromstärke in mA	Leistung in mW

## 1.6 Fragen

- Nenne Gründe für die unterschiedliche Leistung der einzelnen Zellen.
- Eine kleine Wiederholung aus den Grundlagen der Elektrik: Erkläre, warum die aus Leerlaufspannung und Kurzschlussstrom ermittelte Leistung nicht der wirklichen Leistung unter Belastung durch einen Verbraucher entspricht.
- Falls ihr das Thema Photosynthese im Unterricht schon angesprochen habt: Vergleiche die Vorgänge bei der Grätzelzelle mit denen bei der Photosynthese in den Pflanzen.

## 2 Leistung der Grätzelzelle bei verschiedenen Beleuchtungsstärken

### 2.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Digitalmultimeter	1
fertige Grätzelzelle	1
Lineal	1
Messkabel-Set Banane/Kroko je rot und schwarz	1
verschiedene Lichtquellen	nach Belieben

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

### 2.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht.

### 2.3 Versuchsdurchführung

- Halte deine Zelle im gleichen Abstand in das Licht verschiedener Lichtquellen (Tageslicht, Lichtstrahler, direktes Sonnenlicht).
- Ermittle die maximale Spannung und Stromstärke und berechne die Leistung der Zelle.

### 2.4 Beobachtung

Ermittle die maximalen Werte für Spannung (in V) und Stromstärke (in mA) der Zelle bei den verschiedenen Lichtquellen.

### 2.5 Auswertung

Trage die gemessene Spannung und Stromstärke deiner Zelle mit Angabe der Lichtquelle in eine Tabelle nach folgendem Muster ein und berechne die Leistung:

Lichtquelle	Spannung in V	Stromstärke in mA	Leistung in mW

### 2.6 Fragen

- a) Wähle die beste Lichtquelle für die Stromerzeugung mit einer Grätzelzelle aus und begründe deine Ansicht.
- b) Erläutere, welchen Einfluss die Helligkeit des Sonnenlichts auf das Pflanzenwachstum hat. Beachte dabei die wechselnde Beleuchtungsstärke durch das Sonnenlicht im Tages- und Jahresrhythmus.

### 3 Größere Spannungen durch mehrere Grätzelzellen

#### 3.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Digitalmultimeter	1
Fertige Grätzelzellen	6
Messkabel-Set Banane/Kroko je rot und schwarz	1
Verbindungskabel Kroko/Kroko	4
Helle Schreibtischlampe	1

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

#### 3.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht.

#### 3.3 Versuchsdurchführung

Ein elektrisches Gerät mit einem Spannungsbedarf von 0,6 Volt und einem Strombedarf von 0,1 mA soll mit Grätzelzellen betrieben werden.

- Wie viele einzelne Zellen werden dazu benötigt?
- Welche Lichtquelle soll verwendet werden?

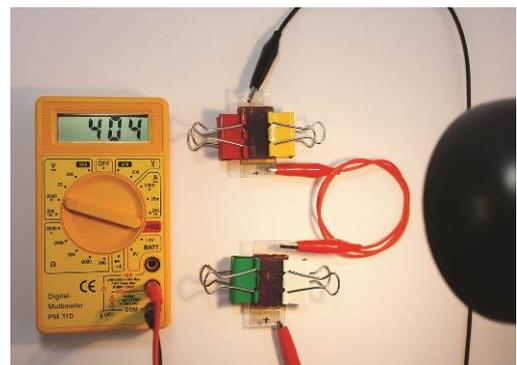


Abb. 7: Verkabelung bei serieller Schaltung zweier Zellen.

Zur Durchführung dieses Versuchs kannst du mit den anderen Gruppen zusammenarbeiten, um alle vorhandenen Zellen zu nutzen.

Findet heraus, wie die einzelnen Zellen miteinander verbunden sein müssen (Serienschaltung oder Parallelschaltung), um eine Spannung von mindestens 1,2 Volt zu erhalten.

#### 3.4 Beobachtung

Ermittelt, bei welcher Schaltung und mit wie vielen Zellen die Mindestspannung von 1,2 Volt erreicht wird.

Tragt die gemessenen Spannungen und Stromstärken in eine Tabelle nach folgendem Muster ein:

Lichtquelle	Anzahl der Zellen	Schaltung	Spannung in V	Stromstärke in mA
		Serienschaltung		
		Parallelschaltung		

### 3.5 Auswertung

- a) Beschreibe, wie sich Spannung und Strom bei der Parallel- und Serienschaltung der Zellen verhalten.
- b) Stelle eine Analogie zu dem im Physikunterricht gelernten Verhalten der Parallel- und Serienschaltung von Widerständen her.

### 3.6 Fragen

- a) Erläutere, für welche Anwendungen im täglichen Leben du dir den Einsatz der Grätzelzelle vorstellen kannst.
- b) Beschreibe, was du an der Grätzelzelle verändern würdest, um die Nutzungsdauer und die Leistung der Zelle zu verbessern.



## A2 Wir speichern Wärme – Vom Wasserspeicher zur Salzschnelze

Werden alle Teilerperimente in der vorgeschlagenen Abfolge durchgeführt, bilden sie eine Grundlage für eine Lerneinheit zum Thema Wärme, Wärmespeicherung, Temperatur, Phasenumwandlung (Aggregatzustände), Schmelzwärme und Latentwärme. Hinweise und Anregungen zur Erklärung und Vertiefung finden Sie in der vorliegenden Anleitung.

### 1 Zentrale Fragestellung

Bei vielen technischen Prozessen und insbesondere im Zusammenhang mit regenerativen Energiequellen fällt Wärme an, die oft ungenutzt an die Umwelt abgegeben wird. Eine wichtige Zukunftsfrage ist daher, wie diese Wärme gespeichert und genutzt werden kann. Diese Zukunftsfrage bietet bei dem Experiment einen möglichen Ausgangspunkt für einen Wertebezug. Eine entsprechende Impulsfrage ist in der Anleitung für Schülerinnen und Schüler bei Teilerperiment 1 zu finden.

Mit den vorgeschlagenen Experimenten wird gezeigt, dass und wie Wärme auch über längere Zeiträume gespeichert werden kann, im einfachsten Fall mittels Wasser, effektiver dann mit Salzschnelzen, die beim Erstarren (Kristallisieren) große Mengen Wärme abgeben können. Untersucht wird dazu ein handelsübliches Wärmekissen, das mit einem Natriumsalz der Essigsäure gefüllt ist.

Die Schülerinnen und Schüler erfahren bei der Auseinandersetzung mit diesen Versuchen, dass Wärme, die im Moment der Entstehung nicht genutzt werden kann, nicht unbedingt durch Temperaturengleich mit der Umgebung verloren gehen muss, sondern auch noch später genutzt werden kann. Sie lernen zu verstehen, nach welchen Prinzipien Temperatur-Wärmespeicher (z. B. Wasserboiler, saisonaler Wärmespeicher) oder (chemische) Latentwärmespeicher, die mit geschmolzenen Salzen arbeiten, funktionieren. Methodisch lernen sie, systematisch Einzel- und vergleichende Messungen auszuführen und zu interpretieren.

### 2 Einordnung des Experiments in den Unterrichtszusammenhang

#### 2.1 Fachliche Grundlagen

Während die Übergänge zwischen den Zustandsformen fest – flüssig – gasförmig den Schülerinnen und Schülern schon früh aus dem Alltag bekannt sind, besonders am Beispiel des Wassers, ist ihnen die Tatsache, dass jeder Übergang mit Energieumsätzen verbunden ist, nicht immer bewusst. Die Experimente eignen sich, auf diesem alltäglichen Vorwissen aufzubauen und ein tieferes Verständnis dafür zu entwickeln, dass Schmelz- (und Verdampfungs-)Wärme auch zur Speicherung von Energie genutzt werden kann.

Eine Vertiefung stellt die Betrachtung auf der Teilchenebene dar, auf der Wärme als Bewegung interpretiert wird bzw. der Ordnungsgrad eine Rolle spielt für den Energiegehalt eines Stoffes.

#### 2.2 Lehrplanrelevanz

Aggregatzustände und die Übergänge sind Gegenstand des Unterrichts in der Altersstufe ab 13 Jahre. Eine differenzierte Betrachtung der Energieumsätze dabei beginnt bereits früh, wird aber erst später fachlich vertieft.

Auch wenn die Thematik sowohl im Physik- wie im Chemieunterricht präsent ist, stellt sie einen grundsätzlich über die Fächergrenzen hinausreichenden Inhalt dar. Konkret können die Experimente in beiden Fächern eingesetzt werden, ebenso aber in Unterrichtsprojekten, die sich übergreifend mit der technischen Seite der Wärmespeicherung beschäftigen.

Im Kern geht es um die mögliche Nutzung von Wärme durch Speicherung mittels geeigneter Stoffe. In fachlicher Hinsicht steht das Konzept der Aggregatzustände mit ihren Übergängen und den damit verknüpften Energieumsätzen im Zentrum der Betrachtung.

**Themen und Begriffe:** Aggregatzustandsformen (fest, flüssig, gasförmig), Energieumsatz, Entropieeffekt, Gitterenergie, Isolation bzw. Isolierung, Kristallisation, Kristallisationswärme, Kristallisieren, Latentwärmespeicher, Natriumacetat, Ordnungsgrad, Phasenumwandlungen, Salzsichelze, Schmelzwärme, Teilchenmodell der Wärme, Temperatur, Temperaturverlauf, Unterkühlung, Verdampfungswärme, Wärme, Wärmedämmung, Wärmekapazität, Wärmespeicher

## 2.3 Kompetenzen

Die Schülerinnen und Schüler ...

- beschreiben den Übergang zwischen dem flüssigen und festen Aggregatzustand als Ursache für Wärmefreisetzung.
- nennen eine Möglichkeit, anfallende Wärme zu speichern und später nutzen zu können.
- erläutern, dass alle Übergänge zwischen Aggregatzuständen mit Energieumsätzen verbunden sind.

## 2.4 Das Experiment im Erklärungszusammenhang

Vorgeschlagen werden hier zwei mal zwei Experimente:

- Die beiden ersten thematisieren die Möglichkeit, mittels Wasser Wärme zu speichern.
- Die beiden folgenden benutzen ein handelsübliches Wärmekissen bzw. dessen Inhalt (ein Natriumsalz der Essigsäure), um den Energieumsatz bei der Aggregatzustandsänderung (hier Kristallisieren) vorzuführen.

### 2.4.1 Telexperiment 1: Wasser als Wärmespeicher – Nicht nur der Tee wird kalt

Aufgrund seiner hohen Wärmekapazität kann Wasser Wärme gut speichern. Allerdings gibt Wasser ohne Isolation diese Wärme so lange kontinuierlich an die Umgebung ab, bis ein Temperaturausgleich stattgefunden hat. Die Schülerinnen und Schüler sollen den Temperaturverlauf ausgehend von Wasser von ca. 60 °C messend verfolgen, die gemessenen Werte in eine Tabelle eintragen und daraus einen Graphen (Temperatur über Zeit) anfertigen. Anhand des angefertigten Graphen sehen sie gut, wie die Temperatur des Wassers sinkt.

### 2.4.2 Telexperiment 2: Wasser als effektiver Wärmespeicher – Wasser kann länger warm bleiben, wenn ...

Um mittels Wasser gespeicherte Wärme auch nach längerer Zeit noch nutzen zu können, muss das betreffende Gefäß möglichst gut wärmeisoliert werden. Die Schülerinnen und Schüler sollen dazu das Telexperiment 1 wiederholen und dabei verschiedene alltäglich verfügbare Materialien einsetzen. Der Temperaturverlauf gibt dann Auskunft über die Güte der Wärmedämmung und die praktischen Speichermöglichkeiten. Wenn das ausgewählte Material gut isoliert, wird die Temperatur langsamer abfallen als ohne Isolierung.

### 2.4.3 Telexperiment 3: Wärme für kalte Finger – Ist das Wärmekissen ein Wärmespeicher?

Der erste Versuch zur Schmelz- bzw. Kristallisationswärme nutzt das Phänomen, dass ein Wärmekissen mit flüssigem Inhalt beim Kristallisieren heiß wird und über einen längeren Zeitraum Wärme bei konstanter Temperatur abgibt. Die Tatsache, dass zum Schmelzen eines Feststoffes Energie (in Form von Wärme) zugeführt werden muss, ist den Schülerinnen und Schülern aus dem Alltag bekannt (Kerzenwachs). Die Umkehrung, nämlich dass beim Erstarren (auch Festwerden oder Kristallisieren) Wärme frei wird, ist dennoch verblüffend. Beim Wärmekissen ist dieser Effekt besonders deutlich, da es sich bei der Flüssigkeit um eine unterkühlte Schmelze handelt, die erst durch Knicken eines Metallplättchens zum Kristallisieren angeregt wird. (Das Knicken bewirkt die Bildung von Kristallisationskeimen, ähnlich wie das Reiben mit einem Glasstab, siehe Telexperiment 4).

Der Versuch kann beliebig oft wiederholt werden, indem das Wärmekissen für ca. 10 Minuten bzw. bis zur völligen Schmelze der Kristalle in sehr heißes Wasser (ca. 90 °C) eingelegt wird. (Es empfiehlt sich, dass dies die Lehrkraft mit einem Wasserkocher in der Vor- oder Nachbereitung des Versuchs selbst macht.)

### 2.4.4 Telexperiment 4: Wie das Wärmekissen Wärme speichert – Ein Salz, mal fest, mal flüssig

Zur genaueren Untersuchung der Vorgänge kann ein Wärmekissen geöffnet werden. Der Inhalt wird dann teilweise in ein Reagenzglas gegeben, zum Schmelzen gebracht und nach dem Abkühlen durch Reiben mit einem Glasstab zum Kristallisieren gebracht. Dabei wird die Temperatur messend verfolgt.

Es zeigt sich, dass beim Festwerden immer die gleiche Temperatur erreicht wird (je nach Typ des Wärmekissens ca. 50 °C bis 58 °C), was dem Schmelzpunkt des Feststoffes entspricht. (Tatsächlich sind die gemessenen Werte beim Schülerexperiment wegen Wärmeverlusten oft niedriger.) Dieses Experiment kann nur bedingt wiederholt werden, da beim Erhitzen immer etwas Wasser entweicht. Dadurch verändert sich die Zusammensetzung von Schmelze und Feststoff und schließlich bildet sich keine klare Flüssigkeit mehr.

**Hinweis:** Das Auftrennen eines erstarrten Wärmekissens und das Verteilen des Salzes an die Schülerinnen und Schüler erfolgt am besten durch die Lehrkraft selbst. Der Rest des Salzes kann in einem dicht verschlossenen Gefäß aufgehoben und für Experimente mit weiteren Klassen verwendet werden. (Evtl. ab und zu ein paar Tropfen Wasser hinzufügen, um Verdampfungsverluste zu kompensieren).

### 2.4.5 Hintergrundinformationen zum Wärmekissen

Bei dem Feststoff handelt es sich i. d. R. um Natriumacetat-Trihydrat mit einem Schmelzpunkt von 58 °C. (In den derzeit im Handel befindlichen Wärmekissen wurde anscheinend wegen Verbrennungsgefahr der Wassergehalt geändert, sodass der Schmelzpunkt oft nur bei ca. 50 °C liegt.) Während die meisten anderen Salze zu spontaner Keimbildung und Kristallisation neigen (und sich daher in Schmelze nicht gut unterkühlen lassen), bleibt dieses Salz auch bei niedrigeren Temperaturen sehr lange Zeit flüssig. Falls wir bei unserem Experiment nicht exakt 58 °C messen, liegt es an den Messbedingungen bzw. der Zusammensetzung des Wärmekissens.

Eine typische Messkurve mit dem Wärmekissen sieht zum Beispiel so aus:

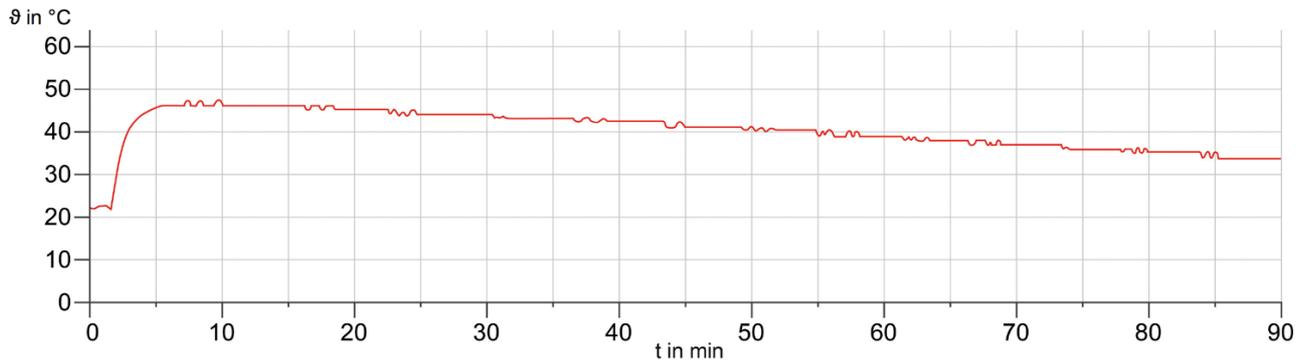


Abb. 1: Temperaturkurve eines Wärmekissens.

Aus physikalisch-chemischer Sicht ist die Erklärung des Energieumsatzes bzw. der Wärmefreisetzung noch etwas komplizierter: Man spricht von einem Entropieeffekt, da die Ordnung der Teilchen im Feststoff erheblich größer ist als im geschmolzenen Zustand. Diese Betrachtungsweise ist aber für den Unterricht in der Altersstufe 13 – 16 Jahre nur bedingt von Bedeutung.

Interessant ist auch die Klärung der Frage, warum die Kristallisation nach Knicken eines Metallplättchens oder Kratzen mit dem Glasstab ausgelöst wird. Gut verständlich ist die Kristallisation an winzigen Fremdkörpern als Kristallisationskeimen, auf denen die ersten Atome der erstarrenden Substanz aufwachsen. (Dieser Effekt wird oft beim Gießen von Metallen verwendet). Es geht aber auch ohne Fremdkörper. Was passiert also beim Knicken des Metallplättchens? Eine weit verbreitete „Erklärung“ besagt, es seien am Metall angelagerte Nanokristalle des Salzes, an denen beim Knicken die Kristallisation startet. Dem widerspricht, dass auch Reiben mit einem bisher unbenutzten, nanokristallfreien Glasstab (siehe Telexperiment 4) eine Kristallisation auslöst. Überträgt man die in der Werkstoffkunde beim Erstarren von Metallen gewonnenen Erkenntnisse auf die Auslösung der Kristallisation von Salzschnmelzen, kommt man zu einer anderen Erklärung: Die durch das Knicken bzw. Reiben erzeugten Schockwellen (Stoßwellen) sorgen dafür, dass einige Ionen sich so nahe kommen, dass sie Konglomerate (sog. „Energiezentren“) bilden, die dann als Kristallisationskeime wirken.

### Wichtige Hinweise:

Starten der Kristallisation:

Beim Telexperiment 3 (Wärmekissen) ist darauf zu achten, dass das Metallplättchen nicht so stark geknickt wird, dass es bricht! Ein vorsichtiges Knicken, gerade so stark, dass man ein Knacken hören oder fühlen kann, reicht bei einem intakten Wärmekissen, um die Kristallisation auszulösen.

Wärmekissen liegt bereits erstarrt vor:

Durch Druck, Stöße oder Erschütterungen beim Transport liegt der Inhalt der Wärmekissen evtl. bereits vor Erstbenutzung nicht mehr im flüssigen Zustand vor. Dann sollte die Lehrkraft die Wärmekissen am besten in einem Wasserkocher regenerieren, wie unter Punkt 4.5 beschrieben. Danach sollten sie wieder einwandfrei funktionieren.

## 2.5 Durchführungsvarianten

- Alle Experimente können sowohl einzeln als auch in kleinen Gruppen durchgeführt werden. Die Messung des Temperaturverlaufs sollte in Arbeitsgruppen von mindestens zwei Schülerinnen oder Schülern durchgeführt werden, damit das Ablesen und das Notieren der Messwerte getrennt erfolgen kann.
- Um beim Telexperiment 3 eine gut reproduzierbare Messung zu erhalten, empfiehlt es sich, auf einer isolierenden Unterlage (z. B. Wellpappe) zu arbeiten, das Wärmekissen um den Fühler des Messgerätes herum zu legen und ggf. das Ganze mit einem Gummiring (oder Bindfaden) zu sichern.
- Falls aus dem Fundus Ihrer Schule genug Reagenzgläser und Stopfen zur Verfügung stehen, könnte nach Abschluss des Telexperiments 4 das Reagenzglas mit dem erstarrten Na-Acetat mit einem Stopfen verschlossen werden. So aufbewahrt, kann das Natriumacetat immer wieder verwendet werden.
- Die Telexperimente 1 und 3 sollten nach Anleitung durchgeführt werden. Telexperiment 2 könnte auch von den Schülerinnen und Schülern selbst entwickelt und dann durchgeführt werden. Diese Vorgehensweise stellt eine gute Möglichkeit dar, naturwissenschaftliche Arbeitsweisen aus dem Forschungskreis planvoll einzusetzen und anzuwenden.

Um bei Telexperiment 2 eine gute Isolation des Reagenzglases mit dem warmen Wasser zu erhalten, muss man mehrere Dämmstoffe ausprobieren (Möglichkeit zum Weiterforschen). Ein Wolltuch um das Reagenzglas gelegt bewirkt nur, dass die Temperatur im Lauf von 20 Minuten um 3 Grad weniger absinkt als ohne Isolierung (siehe Tabelle).

	Start- temperatur	Nach 3 min	Nach 6 min	Nach 9 min	Nach 12 min	Nach 15 min	Nach 18 min
Wasser im Reagenzglas	46,5 °C	41,4 °C	37,6 °C	35,1 °C	32,5 °C	30,3 °C	28,5 °C
Mit Wolltuch	47,4 °C	43,5 °C	40,5 °C	37,9 °C	35,5 °C	33,5 °C	31,6 °C

- Um das Verständnis für die Wärmeaufnahme beim Schmelzen zu vertiefen, kann man den Temperaturverlauf beim Erwärmen einer Eis-Wasser-Mischung aufnehmen lassen: Solange noch ein Rest Eis vorhanden ist, bleibt die Temperatur der Mischung bei 0 °C. Als Demonstrationsexperiment geeignet ist in gleicher Weise das Sieden und Verdampfen von Wasser: Hier bleibt die Temperatur der Flüssigkeit bis zum Schluss bei 100 °C (oder je nach Höhe und Luftdruck darunter).
- Bei älteren Schülerinnen und Schülern bzw. in höheren Klassen kann zur Erklärung der Wärme auch die Teilchenebene betrachtet werden.

**Technikbezug:** Thematisiert werden können die technisch-praktischen Anwendungen der Langzeitwärmespeicherung. So werden beispielsweise schon heute moderne Bürogebäude mittels saisonalen Wärmespeichers beheizt: Im Sommer heizt die Sonne Wasser auf, das in einem unterirdischen Kiesbecken gut gedämmt gespeichert wird. Im Winter gibt dieses Wasser dann wieder Wärme an die Heizungssysteme ab. Mit anderen Salzen als Natriumacetat kann Wärme auch in anderen Temperaturbereichen gespeichert werden. Zurzeit werden hochschmelzende Salz-mischungen bis ca. 800 °C genutzt. Die Energie wird dann häufig wieder in einen technischen Prozess eingespeist, z. B. zum Vorwärmen eines Stoffes vor einer chemischen Reaktion. Auch in Solarthermiekraftwerken wie Andasol in Südspanien werden Salzsammelzellspeicher eingesetzt. Mit einer bei ca. 400 °C schmelzenden Kalium-Natriumnitratmischung läuft das Kraftwerk auch ohne Sonne nachts noch 7 Stunden mit Volllast weiter.

### 3 Ergänzende Informationen zum Experiment

Zur Vorbereitung bzw. zur Vertiefung dieses Experiments finden Sie ergänzende Medien auf dem Medienportal der Siemens Stiftung: <https://medienportal.siemens-stiftung.org>

### 4 Hinweise zur Durchführung der Telexperimente

#### 4.1 Räumlichkeiten

Es sind keine besonderen Räumlichkeiten notwendig.

#### 4.2 Zeitbedarf

	Vorbereitung und Durchführung
Telexperiment 1	20 – 30 min, Vorbereitung 5 min
Telexperiment 2	je nach Lerngruppe und Variation 20 min bis zu einer Unterrichtsstunde
Telexperiment 3	10 min inkl. Vorbereitung
Telexperiment 4	15 min inkl. Vorbereitung

#### 4.3 Sicherheitsaspekte

Die Versuche dürfen nur bei Anwesenheit und unter Aufsicht der Lehrkraft durchgeführt werden. Die Schülerinnen und Schüler sind darauf hinzuweisen, dass die bereitgestellten Materialien nur entsprechend den jeweiligen Anweisungen eingesetzt werden dürfen.

Bei diesen Experimenten achten Sie bitte auf folgende mögliche Gefahren und machen Sie auch Ihre Schülerinnen und Schüler darauf aufmerksam:

- Stellen Sie sicher, dass keine Schäden an wasserempfindlichen Materialien und Geräten entstehen können.
- Es besteht Verbrennungsgefahr und Brandgefahr beim Arbeiten mit Feuer. Vor der ersten Benutzung der Feuerzeuge sind diese von der Lehrkraft auf ordnungsgemäße Funktion zu überprüfen, insbesondere die Regulierung der Flammengröße.
- Bei der Verwendung von heißem Wasser (Telexperiment 1 und 2) besteht Verbrennungsgefahr.
- Kochendes Wasser zur Regeneration des Wärmekissens (Telexperiment 3) ist im normalen Klassenzimmer am Schülerarbeitsplatz zu gefährlich. Die Regeneration des Wärmekissens sollte daher von der Lehrkraft selbst im Vor- oder Nachlauf des Telexperiments 3 durchgeführt werden (alle Wärmekissen auf einmal regenerieren).
- Auch das Aufschneiden der Wärmekissen sollte nur unter Aufsicht der Lehrkraft bzw. am besten durch sie selbst vorgenommen werden. Natriumacetat-Trihydrat ist allerdings ebenso wie das wasserfreie Natriumacetat als nicht gefährlich eingestuft.
- Beim Umgang mit dem geschmolzenen Salz müssen die Schülerinnen und Schüler Schutzbrillen tragen!

#### 4.4 Benötigte Materialien

Falls die Lehrkraft die Regeneration der Wärmekissen im Unterricht vorführen will, wird kochendes Wasser benötigt. Dafür ist ein großer elektrischer Wasserkocher mit abgedecktem Heizelement bestens geeignet. In diesen werden die Wärmekissen eingelegt, aufgekocht und ca. 10 min im heißen Wasser liegengelassen.

Ferner wird jeweils pro Gruppe eine Armbanduhr mit Sekundenanzeige oder eine Stoppuhr benötigt und ein Feuerzeug (wenn möglich ein Stabfeuerzeug) bzw. Streichhölzer.

Für die Teilerperimente 2 und 3 sollten isolierende Materialien bereitliegen, z. B. Wollhandschuh, Schal, Wellpappe, Styropor o. Ä.

Wurde das Experiment bereits einmal durchgeführt, sollte das Salz aus dem aufgeschnittenen Wärmekissen verwendet werden.

Sicherheitsrelevante Materialien und Geräte sind vor Aushändigung an die Schülerinnen und Schüler auf ihre ordnungsgemäße Funktion zu testen.

Für **eine** Schülergruppe werden folgende Materialien benötigt:

Material	Anzahl
Digitalthermometer	1
Feuerzeug bzw. Streichhölzer	1
Glasstab	1
Gummiband	2
Isolierende Unterlage, z. B. Wellpappe, Styropor	1
Kaffeelöffel oder Spatel	1
Pflanzenclip (als Reagenzglasständer)	1
Reagenzglas aus Glas	2
Reagenzglasklammer aus Holz	1
Schutzbrille	1
Spritze (konische Spitze), 5 ml (oder Pipette)	1
Teelicht	1
Uhr	1
Verschiedene Materialien zur Isolation des Reagenzglases	1
Wärmekissen (mit Salzschnmelze)	1

**Hinweis:** Wird das Teilerperiment 4 zum ersten Mal durchgeführt, so muss dabei ein Wärmekissen aufgeschnitten werden. Es wird also ein Wärmekissen „verbraucht“. Der Inhalt des aufgeschnittenen Wärmekissens muss aufbewahrt werden (siehe Abschnitt 2.4.4), sodass beim Durchführen des Experiments mit anderen Schülergruppen kein weiteres Wärmekissen mehr „verbraucht“ werden muss.



Abb. 2: Materialien für eine Schülergruppe, beispielhafte Abbildung.

#### 4.5 Aufräumen, Entsorgen, Recyceln

Fast alle verwendeten Geräte und Materialien sind wiederverwendbar. Daher sollten sie nach Beendigung des jeweiligen Experiments ordentlich aufgeräumt werden. So stellen Sie sicher, dass Sie bzw. Ihre Kolleginnen und Kollegen beim nächsten Einsatz alles schnell wiederfinden.

Geräte, die beim Experimentieren verschmutzt wurden, wie z. B. Becher, Schalen, Löffel, Reagenzgläser, sollten vor dem Zurücklegen erst gereinigt werden. Sinnvollerweise lässt man dies die Schülerinnen und Schüler gleich nach Beendigung des Experiments erledigen.

Stellen Sie zudem sicher, dass die Geräte wieder für den nächsten Einsatz betriebsbereit sind.

Beispielsweise sind benutzte Akkus gleich aufzuladen (Auch bei längerer Nichtbenutzung ist das Aufladen der Akkus sinnvoll.).

Materialien, die nicht wiederverwendbar sind, wie z. B. gebrauchte pH-Messstäbchen oder Filterpapier, sollten fachgerecht entsorgt werden.

Die Entsorgung der in diesem Experiment anfallenden Abfälle kann über den normalen Hausmüll bzw. den Ausguss erfolgen.

**Hinweis zur Regeneration des Wärmekissens:** Sie bedarf einiger Zeit. Nach dem Einlegen in kochendes Wasser dauert es 10 – 15 Minuten, bis das gesamte Salz geschmolzen ist. Danach muss man das Kissen wieder auf Raumtemperatur abkühlen lassen, was je nach Umgebungstemperatur 30 Minuten und länger dauern kann. Keinesfalls darf das Abkühlen mit kaltem Wasser beschleunigt werden, da es dann oft zu keiner Unterkühlung kommt und das Kissen sofort wieder erstarrt!

## A2 Wir speichern Wärme – Vom Wasserspeicher zur Salzsammelzelle

### 1 Wasser als Wärmespeicher – Nicht nur der Tee wird kalt

Wärme entsteht oft dann, wenn sie nicht gebraucht wird. Wenn man sie aber speichern würde ...

#### 1.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Digitalthermometer	1
Feuerzeug bzw. Streichhölzer	1
Pflanzenclip (als Reagenzglasständer)	1
Reagenzglas aus Glas	1
Reagenzglasklammer aus Holz	1
Spritze (konische Spitze), 5 ml (oder Pipette)	1
Teelicht	1
Uhr	1
Wasser	nach Bedarf

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

#### 1.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht.

Bei diesem Experiment achte bitte auf folgende mögliche Gefahren:

- Sei vorsichtig beim Arbeiten mit Feuer, es besteht Verbrennungsgefahr und Brandgefahr!
- Verbrühe dich nicht beim Umgang mit heißem Wasser!

#### 1.3 Versuchsdurchführung

- Fülle das Reagenzglas mit 3 ml Wasser.
- Stelle den Messfühler des Thermometers vorsichtig ins Reagenzglas, sodass der Fühler ins Wasser taucht.
- Spanne das Reagenzglas in die Reagenzglasklammer aus Holz, zünde das Teelicht an und erhitze das Wasser bis auf etwa 45 °C!
- Stelle das Reagenzglas mithilfe des Pflanzenclip ab.
- Lies die Anzeige ab und notiere den Wert in einer Wertetabelle nach folgendem Muster (die zweite Zeile wird für das darauffolgende Experiment benötigt):



Abb. 1: Erwärmen des Wassers.



Abb. 2: Messung der Abkühlung beim unisolierten Reagenzglas.

	<b>Start- temperatur</b>	<b>Nach 3 min</b>	<b>Nach 6 min</b>	<b>Nach 9 min</b>	<b>Nach 12 min</b>
Wasser im Reagenzglas					
Wasser im isolierten Reagenzglas					

- Wiederhole die Messung alle 3 Minuten, insgesamt 4-mal.
- Übertrage die Messwerte in einen Graphen (x-Achse: Zeit, y-Achse: Temperatur), dann siehst du, wie die Temperatur abfällt.

#### 1.4 Beobachtung

Fasse deine Beobachtungen in ein oder zwei Sätzen zusammen!

#### 1.5 Auswertung

- a) Beschreibe den Verlauf des von dir angefertigten Graphen.
- b) Überlege, was die Ursache für den Abfall der Temperatur ist.

#### 1.6 Fragen

- a) Was ändert sich, wenn du den Versuch im Freien durchführen würdest, im Sommer, im Winter?
- b) Was kann man tun, um Wasser länger warm zu halten? Welche Möglichkeiten und Geräte kennst du dazu?
- c) Wo wird das Prinzip der Speicherung der Sonnenwärme im Sommer bereits im großen Maßstab zum Heizen im Winter eingesetzt?
- d) Wertebezug: Warum ist es für die Zukunft wichtig, Wärme speichern zu können?

## 2 Wasser als effektiver Wärmespeicher – Wasser kann länger warm bleiben, wenn ...

Wärme entsteht oft dann, wenn sie nicht gebraucht wird. Wenn man sie aber besonders lange speichern könnte, z. B. die Hitze des Sommers für den Winter ....

### 2.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Digitalthermometer	1
Feuerzeug bzw. Streichhölzer	1
Pflanzenclip (als Reagenzglasständer)	1
Reagenzglas aus Glas	1
Reagenzglasklammer aus Holz	1
Spritze (konische Spitze), 5 ml (oder Pipette)	1
Teelicht	1
Uhr	1
verschiedene Materialien zur Isolation des Reagenzglases	nach Belieben
Wasser	nach Bedarf

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

### 2.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht.

Bei diesem Experiment achte bitte auf folgende mögliche Gefahren:

- Sei vorsichtig beim Arbeiten mit Feuer, es besteht Verbrennungsgefahr und Brandgefahr!
- Verbrühe dich nicht beim Umgang mit heißem Wasser!

### 2.3 Versuchsdurchführung

- Fülle das Reagenzglas mit 3 ml Wasser.
- Fasse das Reagenzglas mit der Klammer, zünde das Teelicht an und erhitze das Wasser.
- Achte darauf, dass die Temperatur ungefähr so hoch ist wie beim ersten Versuch.
- Wickle das gewählte Isolationsmaterial um das Reagenzglas und stelle es mithilfe des Pflanzenclips ab.
- Stimmt euch mit den anderen Gruppen ab, wer mit welchem Material isoliert.
- Stelle das Temperaturmessgerät ins Reagenzglas, sodass der Fühler ins Wasser taucht.
- Lies die Anzeige ab und notiere den Wert in die Wertetabelle aus der ersten Messung.
- Wiederhole die Messung alle 3 Minuten, insgesamt 4-mal.
- Übertrage die Messwerte in den gleichen Graphen, in den du die erste Messung eingetragen hast.



Abb. 3: Messung der Abkühlung beim durch Umwickeln mit Papier-tuch isolierten Reagenzglas.

## 2.4 Beobachtung

Fasse deine Beobachtungen sowohl in ein oder zwei Sätzen als auch in einer Tabelle (nach folgendem Muster) zusammen.

Isolation	Temperaturabfall nach 12 min
ohne	°C
Material 1 (z. B. Wolltuch)	°C
Material 2 (z. B. Alufolie)	°C

## 2.5 Auswertung

- Wie verhält sich der Temperaturabfall im Vergleich zur Messung im nicht isolierten Reagenzglas?
- Vergleiche die Kurven in deinem Graphen. Stimmt die Annahme, dass sich das Wasser nun langsamer abgekühlt hat?
- Welches Material isoliert am besten? Vergleiche mit den anderen Gruppen!
- Erstellt eine gemeinsame Tabelle bzw. Graphen, in die ihr die Ergebnisse für die verwendeten Materialien aller Gruppen eintragt!

## 2.6 Fragen

- Kannst du dir vorstellen, wie die Isolierung wirkt? Überlege dir eine Erklärung und tausche dich mit deinem Partner darüber aus.
- Hast du eine Vermutung, warum manche Materialien besser isolieren als andere?

### 3 Wärme für kalte Finger – Ist das Wärmekissen ein Wärmespeicher?

Wärme entsteht oft dann, wenn sie nicht gebraucht wird und in großen Mengen. Man müsste sehr viel Wärme in einem sehr kleinen Speicher über sehr lange Zeit speichern können.

#### 3.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Digitalthermometer	1
Gummibänder	2
Isolierende Unterlage, z. B. Wellpappe, Styropor	1
Wärmekissen (mit Salzsammelze)	1

#### 3.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht.

#### 3.3 Versuchsdurchführung

- Schau dir das Wärmekissen genau an. Beschreibe insbesondere seinen Inhalt.
- Falte das Wärmekissen und halte das Ganze mit den Gummibändern zusammen.
- Stecke nun den Temperaturfühler des Thermometers so dazwischen, dass er insbesondere an der Spitze festen Kontakt zum Wärmekissen hat.
- Knicke das Metallplättchen, das sich im Innern des Beutels befindet, vorsichtig entgegen seiner Wölbung, gerade so stark, dass du ein Knacken hören oder fühlen kannst. Beobachte die sofortige Veränderung!
- Lege das Kissen mit dem Thermometer auf eine isolierende Unterlage.
- Lies die Temperatur ab und wiederhole dies nach ein paar Minuten.

Man kann den Versuch wiederholen, allerdings muss das Wärmekissen dazu regeneriert werden. Dazu legt es die Lehrkraft in kochendes Wasser und belässt es so lange darin, bis der Inhalt wieder flüssig geworden ist. Nach dem Abkühlen auf Zimmertemperatur kann das Kissen wieder eingesetzt werden.



Abb. 4: Das in das gefaltete Wärmekissen eingesteckte Thermometer.



Abb. 5: Messen der Abkühlung des aktivierten Wärmepacks auf isolierender Unterlage (hier Wellpappe).

#### 3.4 Beobachtung

Fasse deine Beobachtung schriftlich zusammen. Bleibt die Temperatur längere Zeit nahezu konstant oder fällt sie kontinuierlich ab?

### 3.5 Auswertung

- a) Beschreibe die wichtigsten Veränderungen im Wärmekissen, nachdem du das Metallplättchen geknickt hast.  
Formuliere in einem Satz, z. B. „Es war zu sehen, dass ... und zu fühlen, dass ...“
- b) Versuche, einen Zusammenhang herzustellen: „Vermutlich ist ... Ursache für ...“
- c) Vergleiche deine Vermutungen mit denen deiner Mitschülerinnen und Mitschüler in der Klasse. Einigt euch auf eine gemeinsame Aussage.
- d) Vergleiche die in den einzelnen Gruppen gemessene höchste Temperatur am Wärmekissen.
- e) Könnt ihr das Ergebnis erklären? Stellt eine Vermutung dazu an.

### 3.6 Fragen

- a) Beim Vergleichen eurer Messwerte habt ihr sicher festgestellt, dass eure Werte meist niedriger waren als 58 °C. Könnt ihr euch erklären, warum es keine Abweichungen nach oben gegeben hat? Ist das überhaupt möglich?
- b) Weiterforschen: Wenn deine Lehrkraft eine Wärmebildkamera besitzt, kannst du auch damit den Temperaturverlauf nach dem Knicken des Plättchens gut nachverfolgen. Was fällt dir auf?

## 4 Wie das Wärmekissen Wärme speichert – Ein Salz, mal fest, mal flüssig

Mit bestimmten Salzen kann man offenbar besonders viel Wärme speichern, doch wie funktioniert das im Detail?

### 4.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Digitalthermometer	1
Feuerzeug bzw. Streichhölzer	1
Glasstab	1
Kaffeelöffel oder Spatel	1
Pflanzenclip (Reagenzglasständer)	1
Reagenzglas aus Glas	1
Reagenzglasklammer aus Holz	1
Schutzbrille pro Schülerin/Schüler	1
Teelicht	1
Salz aus dem Innern des erstarrten Wärmekissens	nach Bedarf

### 4.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht.

Bei diesem Experiment achte bitte auf folgende mögliche Gefahren:

- Sei vorsichtig beim Arbeiten mit Feuer, es besteht Verbrennungsgefahr und Brandgefahr!
- Das Salz ist zwar harmlos, darf aber im heißen Zustand nicht ins Auge spritzen (Schutzbrille tragen)!

### 4.3 Versuchsdurchführung

- Setze die Schutzbrille auf!
- Für dieses Experiment brauchst du etwas Salz aus dem Inneren des Wärmekissens. Deine Lehrkraft wird das Salz verteilen.
- Fülle ein Reagenzglas ca. 1 cm hoch mit dem Salz. Mit dem Stiel eines Kaffeelöffels geht das sehr exakt und sauber.
- Entzünde das Teelicht, fasse das Reagenzglas mit der Klammer und halte das Reagenzglas über die Flamme.
- Beobachte! Sobald du eine Veränderung siehst, schiebe den Temperaturfühler ins Reagenzglas, sodass er die Masse berührt.
- Notiere die gemessene Temperatur.
- Erhitze weiter, bis das Salz vollständig flüssig geworden ist.
- Nimm das Thermometer wieder heraus.
- Stelle das Reagenzglas mithilfe des Pflanzenclips vorsichtig zur Seite und lasse es abkühlen.
- Wenn sich das Reagenzglas nicht mehr warm anfühlt: Führe den Glasstab ein und kratze damit leicht an der Wand. Beobachte!

- Nimm den Glasstab heraus und führe das Temperaturmessgerät ein! Notiere das Messergebnis!
- Du kannst das Experiment noch einmal wiederholen. Es kann aber sein, dass nicht wieder alles schmilzt. In diesem Fall kannst du einen Tropfen Wasser hinzufügen.
- Entsorgung und Aufräumen:  
Das Salz kann mit Wasser aufgelöst und weggeschüttet werden. Die Lehrkraft wird euch sagen wohin. Die Reagenzgläser und der Glasstab sollen anschließend mit Wasser ausgespült bzw. abgespült werden.



Abb. 6: Messen der Temperatur beim Erstarren des Salzes.

#### 4.4 Beobachtung

Fasse deine Beobachtungen schriftlich zusammen. Beschreibe dabei die Veränderungen im Reagenzglas beim Erwärmen.

#### 4.5 Auswertung

- a) Bei welcher Temperatur hat das Schmelzen begonnen?
- b) Welche Temperatur hat sich eingestellt, nachdem du im abgekühlten Glas an der Wand gekratzt hast? Vergleiche mit dem vorhergehenden Experiment.
- c) Vergleiche die von dir aufgestellten Vermutungen aus dem vorigen Experiment mit dem Verlauf dieses Experiments. Passen sie hier?

#### 4.6 Fragen

- a) Wenn das Wärmekissen ins kochende Wasser gelegt wird, spricht man davon, dass es so regeneriert oder wieder „aufgeladen“ wird; was kann damit gemeint sein?
- b) Kannst du dir vorstellen, auf welche Weise dieses „Aufladen“ in Anlagen passiert, die große Wärmemengen speichern?

## A3 Zitronen- und andere Batterien – Strom aus chemischer Energie

Von der ersten qualitativen Erkundung des Phänomens „Elektrochemische Zelle“ anhand einfacher Obst- oder Gemüsebatterien über die Erklärung anhand der Spannungsreihe der Metalle bis hin zum Aufbau leistungsfähiger Akkus und Batterien bildet die Abfolge der Teilerperimente eine in sich aufbauende Lerneinheit. Damit lässt sich sowohl das Thema Elektrochemie erschließen als auch das bereits in der Redoxchemie erlernte Wissen praktisch anwenden. Natürlich lassen sich die Teilerperimente auch einzeln durchführen. Die Lehrkraft kann den Grad der Vertiefung des Themas jeweils frei wählen.

### 1 Zentrale Fragestellung

Batterien spielen im technisierten Alltag von Jugendlichen wie Erwachsenen eine große Rolle. Ohne sie „geht“ kein Handy, keine Smartwatch, keine Taschenlampe. Auch viele Zukunftsfragen beschäftigen sich mit Batterien bzw. Akkumulatoren. Für die Elektromobilität sind diese beispielsweise unerlässlich. Ebenso kommt in der Diskussion um die Speicherung von regenerativen Energien Batterien eine wichtige Rolle zu. Woher die chemisch erzeugte elektrische Energie in Batterien kommt, soll für den einfachsten Fall der Kombination von zwei Metallen bzw. deren Halbzellen erarbeitet werden.

Ausgangspunkt ist das populäre, aber oft irreführende Experiment mit der Zitronen-Batterie; diese wird hier systematisch „entzaubert“, sodass die Schülerinnen und Schüler nach Durchführung aller Versuche ein grundlegendes Verständnis für chemische Batterien aufgebaut haben. Sie lernen edle und unedle Metalle unterscheiden, die Bedeutung von Elektrolyten kennen und wie der Stromkreis bei kombinierten Halbzellen aussieht.

Im Sinne von naturwissenschaftlichem Arbeiten haben sie dabei Gelegenheit, durch systematisches Variieren eines Experiments den zu Grunde liegenden Prinzipien näher zu kommen und zu verstehen, woher chemisch erzeugte elektrische Energie kommt.

### 2 Einordnung des Experiments in den Unterrichtszusammenhang

#### 2.1 Fachliche Grundlagen

Die Elektrochemische Spannungsreihe der Metalle ist ein wesentliches Element naturwissenschaftlichen Verständnisses von alltagsbedeutsamen Phänomenen. Die Nutzung der elektrochemischen Unterschiede zwischen Metallen in Batterien ist zugleich deren wichtigste technische Anwendung. Die Vertiefung des Verständnisses im Sinne von Redox-Prozessen, bei denen Elektronen abgegeben und aufgenommen werden und bei denen, wenn sie freiwillig verlaufen, Energie frei wird und somit genutzt werden kann, wird mit diesen Experimenten auf der Ebene der Phänomene vorbereitet.

Die Schülerinnen und Schüler sollten Vorkenntnisse aus der Elektrizitätslehre haben. Insbesondere sollten die Gesetzmäßigkeiten der Reihenschaltung und Parallelschaltung bekannt sein.

#### 2.2 Lehrplanrelevanz

Redox-Vorgänge wie bei Batterien gehören grundlegend zu den Inhalten eines auf naturwissenschaftliche Grundbildung orientierten Unterrichts. Sie finden sich je nach Land in den Lehrplänen für die 13- bis 16-jährigen Schülerinnen und Schüler, vertiefend dann noch einmal für die Altersstufe 16+. Da bereits 10- bis 12-jährige Neugier entwickeln, wie und womit ihre elektrischen Geräte funktionieren, sind die Versuchsvorschläge so konzipiert, dass sie bereits bei Jüngeren eingesetzt werden können. Umgekehrt kann eine Erweiterung und Vertiefung in Richtung der Teilchenebene und der Elektronenübergänge an jeder Stelle leicht angeschlossen werden.

Zwar gelten Batterien traditionell als Gegenstand der Chemie, moderne Akkus sind aber mindestens in gleichem Maß physikalische Gegenstände. Die Thematik hat daher das Potenzial, auch fächerübergreifend eingesetzt werden zu können.

**Themen und Begriffe:** Akku, Batterie, Elektrochemische Spannungsreihe der Metalle, Elektrolyt, Energieumsatz bei chemischen Reaktionen, Galvanische Abscheidung von Metallen, Halbzelle in der Elektrochemie, Redox-Reaktionen, Salzlösungen, Separator, Serienschaltung, Spannung, Stromstärke, Triebkraft chemischer Reaktionen, Wasserstoff

## 2.3 Kompetenzen

Die Schülerinnen und Schüler ...

- beschreiben das Elektrische Potenzial bzw. die Elektromotorische Kraft EMK als eine wichtige Triebkraft chemischer Reaktionen.
- benennen den Grad des edlen bzw. unedlen Charakters von Metallen als Maß für deren Reaktivität und deren Potenzial, als Energielieferanten zu dienen.
- lernen zwei der vier Basiskonzepte der Chemie kennen, die „Chemische Reaktion“ und den „Energieumsatz bei chemischen Reaktionen“.
- gehen einem Phänomen mithilfe naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen auf den Grund, hier insbesondere durch systematische Variation einzelner Faktoren. Im Sinne der Bildungsstandards wird so ein wichtiger Beitrag geleistet zur Entwicklung und Festigung des Kompetenzbereichs „Erkenntnisgewinnung“.

## 2.4 Das Experiment im Erklärungszusammenhang

Vorgeschlagen werden hier insgesamt 6 Teilexperimente, die allerdings auch teilweise zusammengefasst werden können. Gemeinsam betrachtet sollen sie vom Staunen über ein Phänomen zum Verständnis auf einer ersten Ebene des Schlussfolgerns und der kausalen Verknüpfung führen.

### 2.4.1 Teilexperiment 1: Wie gut funktioniert die „Obst- und Gemüsebatterie“?

Die „Zitronen-Batterie“ wird mit Kupfer (Cu) und Zink (Zn) im Original nachgebaut und hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit getestet. Dabei werden die immer wieder verwendeten Begriffe und Schaltungen eingeführt.

**Hinweis:** Wenn die LED mit der angeschlossenen Obst-/Gemüse-Batterie nicht aufleuchtet, ist das kein Fehler. Unsere Batterie liefert nämlich im Idealfall nicht mehr als 1,1 Volt. Die zum Nachweis verwendete LED leuchtet aber erst ab einer Mindestspannung von ca. 1,7 Volt auf. Die Schülerinnen und Schüler werden herausfinden, dass die LED aufleuchtet, wenn sie die seriell geschalteten Obst-/Gemüse-Batterien verwenden.

Je nach verwendetem Obst/Gemüse und dem Oxidationszustand der Elektroden ist die Leistung unserer Obst-/Gemüsebatterie zu klein, um einen Elektromotor zu betreiben. Wenn überhaupt, gelingt dies nur mit dem kleinen Solarmotor mit Glockenanker. (Übrigens, dies ist für die Lehrkraft eine gute Gelegenheit, mit den Schülerinnen und Schülern das Problem der ausreichenden Leistung von Stromquellen zu diskutieren). Die zu niedrige Leistung der Obst-/Gemüsebatterie liegt vor allem daran, dass die Fläche unserer Nagelelektroden zu klein ist und damit der Innenwiderstand zu groß bzw. die Stromstärke zu klein sind. Beim Anschließen des Solarmotors bricht die Spannung unserer Batterie zusammen. Doch die niedrige Leistung liegt nicht nur an der kleinen Elektrodenfläche, sondern vor allem an den fehlenden Kupferionen an der Cu-Elektrode (siehe Teilexperimente 2.4.4 und 2.4.6!).

### 2.4.2 Telexperiment 2: Die „Zitronen-Batterie“: Was erfüllt welchen Zweck?

In einem ersten Schritt der Variation der Versuchsbedingungen werden die Metalle und das leitende Medium Obst bzw. Gemüse systematisch ausgetauscht. Als erste Schlussfolgerung soll den Schülerinnen und Schülern deutlich werden, dass es immer verschiedene Metalle sein müssen, die man miteinander kombiniert, dass also der Strom keineswegs „aus der Zitrone“ kommt, und dass das leitende Medium austauschbar ist.

Nur wenn zwei verschiedene Metalle eingesetzt werden, entsteht eine Spannung. Die Salzlösung (Ionenlösung) im Obst oder im Gemüse stellt als Elektrolyt die notwendige Verbindung zwischen den Metallnägeln (Elektroden) her: So wird der Stromkreis geschlossen.

### 2.4.3 Telexperiment 3: Die „Zitronen-Batterie“ ohne Zitrone

Die „Zitronen-Batterie“ ohne Zitrone variiert den Elektrolyten. Der Versuch mit der Zitronensäure suggeriert noch, es käme auf die bestimmte Frucht oder gar auf die Säure an. Mit dem erfolgreichen Einsatz von Kochsalz wird klar, dass es sich um ein wässriges Medium handeln muss, in dem Ionen gelöst sein müssen. Damit wird die unverzichtbare Funktion des Elektrolyten deutlich, nämlich durch (Ionen-)Leitung den Stromkreis zu schließen.

### 2.4.4 Telexperiment 4: Eine Batterie, die belastbar ist

Ein wichtiger Hinweis vorab: Falls Sie an Ihrer Schule kein Kupfersulfat zur Verfügung haben, muss dieses Telexperiment leider entfallen. Die Aussage dieses Telexperiments, dass die Konzentration an gelösten  $\text{Cu}^{2+}$ -Ionen entscheidend ist für die Leistung des Cu/Zn-Elements, können Sie allerdings fachlich und didaktisch anhand der Besprechung des Telexperiments 6 nachholen. Die Kupfer-/Zink-Batterie mit Obst oder Gemüse, aber auch mit Säure oder Salzwasser ist in Wirklichkeit eine Wasserstoff/Zink-Zelle. Denn in der Kupfer-Halbzelle müsste die Kupferelektrode in eine  $\text{Cu}^{2+}$ -Lösung tauchen. In Wirklichkeit sind auf der Kupferseite aber nur Spuren von Cu gelöst, sodass nach kurzer Belastung an der Kupferelektrode nicht mehr Kupfer abgeschieden wird, sondern Wasserstoff (aus  $\text{H}^+$  im Elektrolyten). Dies kann den Schülerinnen und Schülern anhand einer „belastbaren Batterie“ erklärt werden. In unserem Versuch verwandelt der Ersatz des Kochsalzes durch Kupfersulfat die Kupferelektrode von einer Wasserstoffelektrode in eine echte Kupfer-Halbzelle um.

Telexperiment 4 kann auch genutzt werden, um die ersten Eckpunkte der Spannungsreihe der Metalle auf Basis der experimentellen Messwerte zu definieren. Allerdings darf man sich keine allzu gute Übereinstimmung mit wissenschaftlichen Tabellenwerten erwarten. Auch die Normierung auf die Standardwasserstoffelektrode muss an anderer Stelle erfolgen. Werden die Schülerinnen und Schüler darauf hingewiesen, dass die Werte in der Spannungsreihe der Metalle auf Normalkonzentrationen normiert sind, die Spannung also konzentrationsabhängig ist, gibt es keinen Widerspruch zu den von ihnen ermittelten Messwerten mehr. Übrigens kennt das jeder: Je mehr eine handelsübliche Batterie verbraucht ist, umso kleiner ist die Spannung.

### 2.4.5 Telexperiment 5: Ein Kupferüberzug ganz von selbst?

Ein wichtiger Hinweis vorab: Falls Sie an Ihrer Schule kein Kupfersulfat zur Verfügung haben, muss dieses Telexperiment leider entfallen. Dieses Telexperiment klärt, warum Batterien und Akkus stets Separatoren brauchen. Ohne Separator kommt es zu einem internen Kurzschluss und in unserem Fall zur Kupferabscheidung an der Zinkelektrode. Dies müssten Sie den Schülerinnen und Schülern also ohne Experiment erläutern. Der zweite Aspekt dieses Telexperiments, das Prinzip des Galvanisierens, ist für das Verständnis der Elektrochemischen Elemente dagegen verzichtbar, kann aber dazu dienen, einen Technikbezug herzustellen.

Alle Metalle, die man in die Salzlösung eines edleren Metalls eintaucht, überziehen sich an der Oberfläche mit aus der Lösung abgeschiedenem Edelmetall. Weil in den durchgeführten Versuchen das abgeschiedene Kupfer ganz fein verteilt ist, ist die Abscheidung nur anfänglich rötlich und wird dann unter Einfluss des Luftsauerstoffs zu dunklen Kupferoxiden oxidiert. Bei Raumtemperatur von ca. 21 °C beginnt die sichtbare Abscheidung von Cu auf der Münze, nach ca. 20 bis 30 Minuten, spätestens über Nacht, ist die Münze komplett überzogen. Bei Erwärmung geht es wesentlich schneller. Die Alufolie ist sichtbar angegriffen.

Mit diesem Experiment wird noch einmal gesondert der Effekt gezeigt, dass sich das Salz eines edleren Metalls spontan am unedleren niederschlägt. Ähnlich wie das stromlose Verkupfern funktioniert auch der Rostschutz bei verzinktem Eisen, was hier aber nicht ausgeführt werden soll. Auch die Reinigung von angelaufenem Silber mittels Alufolie in Kochsalzlösung beruht auf dem Phänomen eines Lokalelements. Die Zitronensäure trägt bei diesem Experiment übrigens dazu bei, dass die Kupferabscheidung gleichmäßig wird; Zitronensäure bildet mit Kupferionen in wässriger Lösung einen Komplex. Bezüglich Triebkraft und Energieumsatz zeigt das Experiment: Beim Verkupfern erfolgt der Elektronentransfer direkt zwischen den Metallatomen bzw. Metallionen, sozusagen als interner elektrischer Kurzschluss, die Energie wird als Wärme frei. In der elektrochemischen Zelle erfolgt der Elektronentransfer über einen äußeren Nutzstromkreis, elektrische Energie wird freigesetzt.

Welche Rolle spielt das Material der verwendeten Münzen? Das Material der Münzen, wie Nickel und Messing, spielt in unserem Experiment elektrochemisch keine Rolle. Die chemische Reaktion findet ausschließlich zwischen dem unedlen Aluminium (-1,66 V) und dem edlen Kupfer (+0,35 V) statt. Das unedle Aluminium geht in Lösung, die edlen Kupferionen scheiden sich an der Münze ab. Die Münze spielt also in unserem Experiment die Rolle einer inerten Elektrode. Würde man statt einer Münze z. B. einen Graphitstab verwenden, würde dieser sich ebenfalls mit Kupfer überziehen.

#### **2.4.6 Telexperiment 6: Eine professionelle Zink-Kupfer-Batterie**

Ein wichtiger Hinweis vorab: Falls Ihre Schülerinnen und Schüler das Telexperiment 4 nicht durchführen konnten, sollten sie das Telexperiment 6 zur Klärung der in Telexperiment 4 behandelten Aspekte nutzen.

Telexperiment 5 hat gezeigt: Kupferelektrode und Zinkelektrode dürfen eigentlich nicht wie bei Telexperiment 4 gemeinsam in Kupfersulfatlösung eintauchen. Denn als Konkurrenz zur Kupferabscheidung an der Kupferelektrode kommt es als interner Kurzschluss auch zur Abscheidung von Cu an der Zinkelektrode. Spannung und Strom sinken bei Belastung schnell ab. Um dies zu verhindern, muss man, wie in allen handelsüblichen Batterien und Akkus, die Elektrolyträume der beiden Elektroden durch einen Separator (teildurchlässige Membran) trennen. So wird eine Durchmischung und damit ein interner Kurzschluss verhindert. Hierzu können die Schülerinnen und Schüler zum Abschluss eine Art Daniell-Element selbst bauen. Auch wenn wir als Separator nur ein Papiertuch verwenden, wird das Prinzip deutlich. (In der Technik wird dazu heute meist eine Kunststofffolie mit definierter Porengröße verwendet, sodass die für den internen Stromkreis erwünschten Ionen (z. B. Chlorid oder Sulfat) durchpassen und die Metallionen nicht.) Schließlich soll das Erarbeitete auf die Zitronen-Batterie vom Telexperiment 2 übertragen werden. Man kann erkennen, dass dort die Zellmembranen der Pflanzenzellen die Rolle des Separators übernehmen. Je nach Vorwissen der Schülerinnen und Schüler bzw. der Altersstufe sollten sie abschließend auch die Wort- und/oder Formelgleichung für die in den elektrochemischen Zellen ablaufenden Reaktionen aufstellen.

## 2.5 Durchführungsvarianten

- Alle Experimente können sowohl einzeln als auch in kleinen Gruppen durchgeführt werden. Bei der Variation der Metalle sowie bei den Langzeitexperimenten ist Gruppenarbeit sogar von Vorteil.
- Dies gilt auch immer dann, wenn aus Befunden Schlussfolgerungen gezogen werden sollen. In diesen Situationen hat sich die 1-2-4-Methode bewährt, bei der zunächst jede Schülerin bzw. jeder Schüler für sich klärt, welche Schlussfolgerungen sie bzw. er zieht, diese diskutiert sie bzw. er dann mit der Nachbarin oder dem Nachbarn, dann muss sich eine Vierergruppe auf eine Erklärung einigen und diese entweder zu Papier bringen oder mündlich ins Plenum (1-2-4-alle) einbringen.
- Bei allen Experimenten sind stark schwankende Messwerte zu beobachten. Dies liegt in den zahlreichen möglichen Störungen begründet, wie unterschiedlicher Wasser- oder Säuregehalt der Früchte, Beschaffenheit der Metalloberflächen, Kontakte zwischen Metall und Klemme usw. Abhilfe kann teilweise geschaffen werden, wenn die Metalloberflächen geschmirgelt und so angeraut werden. Experimente mit metallischem Aluminium sind stets problembehaftet: Oft wird Aluminium eloxiert, dann sind die Oberflächen fast chemisch inert. Aber auch unbehandeltes Aluminium ist von einer Oxidschicht überzogen, die elektrochemische Prozesse stark behindert. Bedarfsweise muss hier sehr kräftig aufgeraut werden. Wenn man beim Telexperiment 5 zur Verkupferung, wie vorgeschlagen, etwas Zitronensäure beigibt, wird die unsichtbar dünne Oxidschicht der Alufolie aufgelöst und das Aluminium aktiv; es kann also elektrochemisch reagieren.
- Die Vertiefung in Richtung der Vorgänge auf Teilchenebene sollte davon abhängig gemacht werden, mit welcher Lerngruppe man es zu tun hat. Grundlage für die vertiefte Betrachtung ist der Ionenbegriff einschließlich des Wissens, dass sich Ionen in allen ihren Eigenschaften von den entsprechenden Atomen unterscheiden und dass sie Ladungsträger sind.

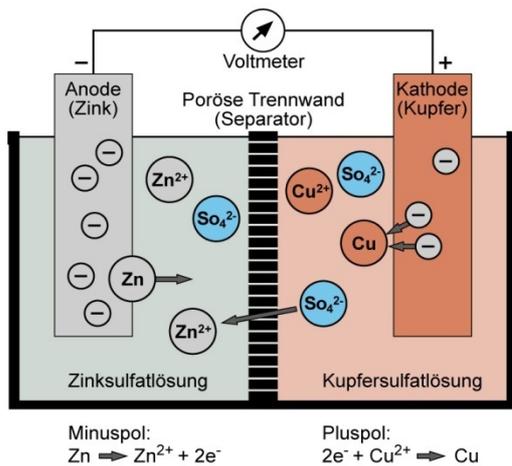


Abb. 1: Elektrochemische Zelle am Beispiel Zink-Kupfer (Daniell-Element).

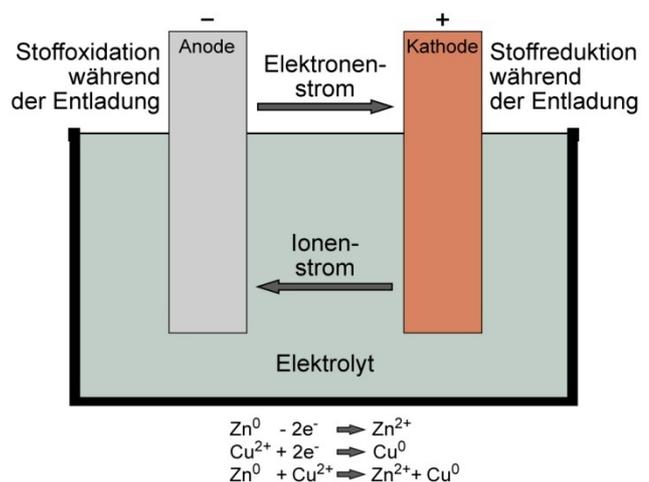


Abb. 2: Allgemeines Schema der Elektrochemischen Zelle als Redoxsystem.

**Weiterforschen:** Um die Bedeutung einfacher Batterien herauszustellen, können auch andere Verbraucher angeschlossen werden (z. B. Uhr). Benötigt man höhere Spannung, dann können mehrere Daniell-Elemente kombiniert werden. Man erreicht durch Reihenschaltung so jeweils ca. + 1 Volt. (Achtung, nicht über 10 Volt hinausgehen!)

Eine interessante Variante stellt auch die sog. Volta'sche Säule dar, bei der mehrere Metallplatten vertikal kombiniert wurden.

### 3 Ergänzende Informationen zum Experiment

Zur Vorbereitung bzw. zur Vertiefung dieses Experiments finden Sie ergänzende Medien auf dem Medienportal der Siemens Stiftung: <https://medienportal.siemens-stiftung.org>

## 4 Hinweise zur Durchführung der Telexperimente

### 4.1 Räumlichkeiten

Es sind keine besonderen Räumlichkeiten notwendig.

### 4.2 Zeitbedarf

	Vorbereitung und Durchführung	Auswertung
Telexperiment 1	10 – 15 min	15 min
Telexperiment 2	15 – 20 min	20 min
Telexperiment 3	15 – 20 min	10 min
Telexperiment 4	bis zu 1 h (je nach Ausführlichkeit der Untersuchungen)	20 min
Telexperiment 5	5 – 10 min	15 min Auswertung evtl. am folgenden Tag ca. 10 min
Telexperiment 6	20 min (mit Formelaufstellung 30 – 40 min)	15 min

### 4.3 Sicherheitsaspekte

Die Versuche dürfen nur bei Anwesenheit und unter Aufsicht der Lehrkraft durchgeführt werden. Die Schülerinnen und Schüler sind darauf hinzuweisen, dass die bereitgestellten Materialien nur entsprechend den jeweiligen Anweisungen eingesetzt werden dürfen.

Bei diesen Experimenten achten Sie bitte auf folgende mögliche Gefahren und machen Sie auch Ihre Schülerinnen und Schüler darauf aufmerksam:

- Stellen Sie sicher, dass keine Schäden an wasserempfindlichen Materialien und Geräten entstehen können.
- Es muss darauf geachtet werden, dass der Akku nicht kurzgeschlossen wird. Es besteht Explosions- und Brandgefahr!
- Zitronensäure (Teilexperiment 5) ist reizend, in geringen Mengen allerdings harmlos (Bestandteil vieler Lebensmittel, Zitronensäurezyklus im menschlichen Körper). Es reizt die Augen, daher sollten bei Berührung die Augen gründlich mit Wasser abgespült und ggf. ein Arzt konsultiert werden. Bei den Experimenten mit Zitronensäure muss daher eine Schutzbrille getragen werden.
- Beim Umgang mit Kupfersulfat (Teilexperiment 4) ist darauf zu achten, dass kein Kontakt mit der Haut hergestellt wird, dass nichts davon verschluckt wird und dass nach Ende der Experimente alle Kupfersalz-haltigen Lösungen gesammelt und entsorgt werden. Kupfersulfat ist als gesundheitsgefährlich und umweltschädlich eingestuft. Gesundheitsgefährlich ist es allerdings nur beim Verschlucken größerer Mengen oder bei Langzeithautkontakt.

Kupfersulfat: Nach internationaler Gefahrstoffkennzeichnung GHS: „Gefahr“



H-Sätze: H302, H318, H410  
P-Sätze: P273, P280, P313, P305+P351+P338

Zitronensäure: Nach internationaler Gefahrstoffkennzeichnung GHS: „Achtung“



H-Sätze: H319  
P-Sätze: P280, P305+P351+P338, P337+P313

#### 4.4 Benötigte Materialien

Die richtige Verkabelung und die richtige Benutzung von Multimeter, LEDs und Motor sollten je nach Kenntnissstand der Schülerinnen und Schüler von der Lehrkraft vorab erklärt, ggf. demonstriert werden.

Für **eine** Schülergruppe werden folgende Materialien benötigt:

Material	Anzahl
Abfallgefäß für Kupfersulfatlösung	1 für die ganze Klasse
Akku, 9 V	1
Alufolie, Rolle	1
Becher, 100 ml	3
Becher, 500 ml	3
Digitalmultimeter	1
Doppel-Propeller für Solarmotor klein	1
Gemüse (Gurke, Kartoffel, Zucchini); möglichst saftig; besonders gut eignen sich Essiggurken	nach Bedarf
Gummiband	2
Kaffeelöffel oder Spatel	1
Kochsalz, Karton	1
Kupfernagel (als Elektrode)	2
Kupfersulfat	1 für die ganze Klasse
LED rot (klares Gehäuse), 1,7 V	1
Messingmünze oder Nickelmünze	1
Messkabel-Set Banane/Kroko, je rot und schwarz	1
Nagel (Stahl, „Eisen“)	1
Obst (Zitrone, Orange, Kiwi, Apfel)	nach Bedarf
Obst oder Gemüse	1 – 2
Papiertaschentücher, -küchentücher oder Toilettenpapier	1
Pflanzenclip (als Motorständer)	1
Schale aus Kunststoff	1
Schutzbrille pro Schülerin/Schüler	1
Solarmotor klein, Glockenanker, 0,1 V/2 mA	1
Verbindungskabel Kroko/Kroko	6
Zinknagel (als Elektrode)	2
Zitronensäure, Dose	1 für die ganze Klasse



Abb. 3: Geräte bzw. Materialien für eine Schülergruppe, beispielhafte Abbildung.

#### 4.5 Aufräumen, Entsorgen, Recyceln

Fast alle verwendeten Geräte und Materialien sind wiederverwendbar. Daher sollten sie nach Beendigung des jeweiligen Experiments ordentlich aufgeräumt werden. So stellen Sie sicher, dass Sie bzw. Ihre Kolleginnen und Kollegen beim nächsten Einsatz alles schnell wiederfinden.

Geräte, die beim Experimentieren verschmutzt wurden, wie z. B. Becher, Schalen, Löffel, Reagenzgläser, sollten vor dem Zurücklegen erst gereinigt werden. Sinnvollerweise lässt man dies die Schülerinnen und Schüler gleich nach Beendigung des Experiments erledigen.

Stellen Sie zudem sicher, dass die Geräte wieder für den nächsten Einsatz betriebsbereit sind.

Beispielsweise sind benutzte Akkus gleich aufzuladen (Auch bei längerer Nichtbenutzung ist das Aufladen der Akkus sinnvoll.).

Materialien, die nicht wiederverwendbar sind, wie z. B. gebrauchte pH-Messstäbchen oder Filterpapier, sollten fachgerecht entsorgt werden.

Die Entsorgung der in diesem Experiment anfallenden Abfälle kann über den normalen Hausmüll bzw. den Ausguss erfolgen.

**Ausnahme:** Die Kupfersulfatlösung muss als anorganischer Chemieabfall entsorgt werden.



## A3 Zitronen- und andere Batterien – Strom aus chemischer Energie

### 1 Wie gut funktioniert die „Obst- und Gemüsebatterie“?

Du hast bestimmt schon gesehen, dass jemand zwei Metallelektroden in eine Zitrone gesteckt hat und damit ein Lämpchen zum Leuchten gebracht hat. Probiere selbst aus, wie so eine Obst- oder Gemüsebatterie funktioniert und was dazu nötig ist.

#### 1.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Digitalmultimeter	1
Doppel-Propeller für Solarmotor klein	1
Gurke oder anderes Gemüse	1
LED rot (klares Gehäuse), 1,7 V	1
Kupfernägel (als Elektrode)	2
Messkabel-Set Banane/Kroko, je rot und schwarz	1
Solarmotor klein, Glockenanker, 0,1 V/2 mA	1
Verbindungskabel Kroko/Kroko	6
Zitrone oder anderes Obst	1
Zinknägel (als Elektrode)	2

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

#### 1.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht.

#### 1.3 Versuchsdurchführung

- Stecke je einen Kupfer- und einen Zinknagel in die Frucht oder das Gemüse, z. B. in die Gurke.
- Stecke den Propeller auf den Motor und schließe den Motor an. Läuft er?
- Teste entsprechend mit der LED (Versuche beide Polungen!)

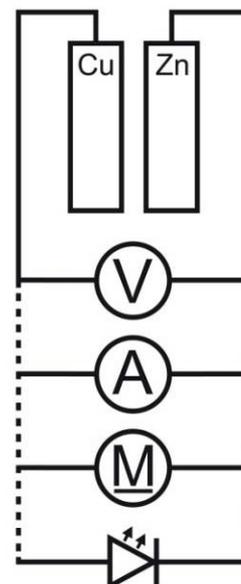


Abb. 1: Schaltplan für Messungen an einer elektrochemischen Zelle („Batterie“).

- Messe die elektrische Spannung zwischen den beiden Metallnägeln mit dem Messgerät. Wähle dabei einen sinnvollen Messbereich. (Wo ist die Auflösung besser, bei 2.000 mV oder 20 V?)
- Messe die Stromstärke zwischen den beiden Metallnägeln mit dem Messgerät. Wähle dabei einen sinnvollen Messbereich. (Wo ist die Auflösung besser, bei 2.000  $\mu$ A oder 20 mA?)
- Bestimme, welche Elektrode (Zink oder Kupfer) der Plus- bzw. der Minuspol der Obstbatterie ist!

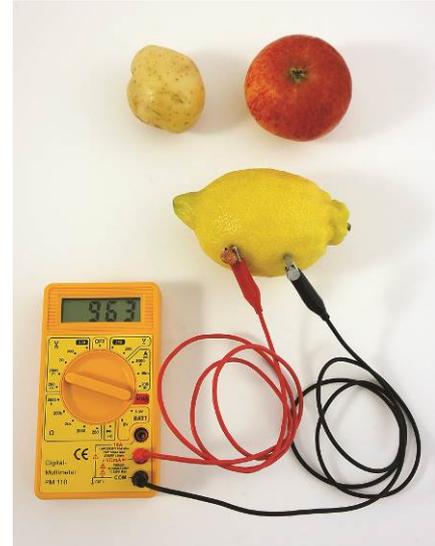


Abb. 2: Spannungsmessung an einer Obstbatterie.

- Nimm nun zwei Frucht- oder Gemüsestücke, stecke jeweils einen Kupfer- und Zinknagel hinein und verbinde die beiden „Batterien“ in Serienschaltung (Verbindungskabel vom Kupfer zum Zink).

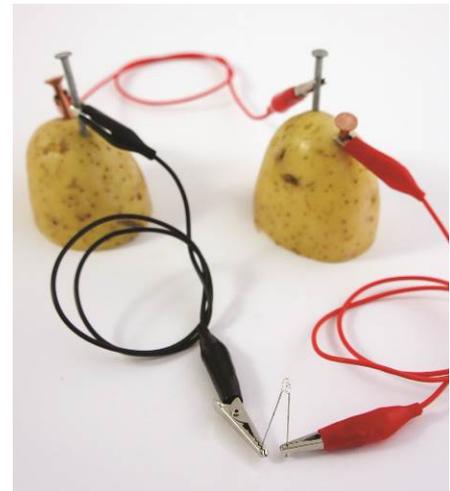


Abb. 3: LED an zwei Gemüsebatterien in Serienschaltung.

- Teste nun Motor und LED und messe die Spannung.

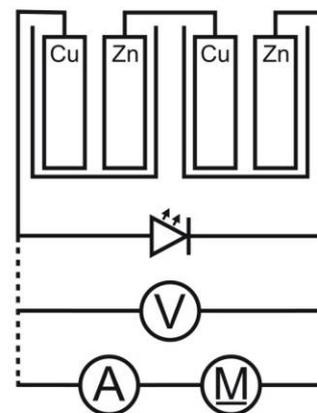


Abb. 4: Schaltplan für die Messungen an der Serienschaltung mit 2 elektrochemischen Zellen.

## 1.4 Beobachtung

Notiere deine Beobachtungen zu den einzelnen Untersuchungsphasen!

## 1.5 Auswertung

Fasse deine Ergebnisse in folgender Form zusammen:

- a) Der Motor mit Propeller läuft, wenn ...
- b) Die LED leuchtet, wenn ...
- c) Das Messgerät zeigt ...

## 1.6 Fragen

Was meinst du: Kommt der Strom wirklich aus der Zitrone oder was ist die tatsächliche Ursache?

## 2 Die „Zitronen-Batterie“: Was erfüllt welchen Zweck?

Mit diesen Untersuchungen kannst du herausfinden, welche Bestandteile der „Zitronen-Batterie“ unbedingt notwendig sind und welchen Zweck sie erfüllen.

### 2.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Digitalmultimeter	1
Gurke, Kartoffel oder anderes Gemüse	1
Kupfernägel (als Elektrode)	2
Messkabel-Set Banane/Kroko, je rot und schwarz	1
Nagel (Stahl, „Eisen“)	1
Zinknägel (als Elektrode)	2
Zitrone oder anderes Obst	1

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

### 2.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht

### 2.3 Versuchsdurchführung

- Verändere die „Obst- oder Gemüse-Batterie“ systematisch, indem du Nägel aus verschiedenen Metallen kombinierst (Cu mit Cu, Zn und Eisen; Zn mit Zn).
- Befestige je eine Messleitung mit der Krokodilklemme an je einem Nagel und das andere Ende der Leitung am Multimeter. Beobachte und notiere die angezeigten Spannungswerte.
- Was passiert, wenn du einen Nagel aus der Frucht oder dem Gemüse herausziehst?
- Was passiert, wenn du dieselben Metalle miteinander kombinierst?
- Überlege: Wodurch könntest du dein zuerst verwendetes Obst oder Gemüse noch ersetzen? Probiere aus!



Abb. 5: Vermessung verschiedener Metallkombinationen.

### 2.4 Beobachtung

Fasse deine Beobachtungen schriftlich zusammen. Ändert sich die Spannung, je nachdem in welche Frucht oder in welches Gemüse du die Nägel steckst?

## 2.5 Auswertung

Überprüfe deine Ergebnisse!

Bringe die im Versuch verwendeten drei Metalle entsprechend den gemessenen Spannungen in eine sinnvolle Reihe. Fange dazu mit dem Kupfer an.

Wovon hängt offensichtlich die Größe der Spannung einer Batterie grundsätzlich ab?

## 2.6 Fragen

- a) Erkläre, was das Experiment mit der Spannungsreihe der Metalle zu tun hat.
- b) Überlege dir, was an Stelle von Obst oder Gemüse den Stromkreis schließen könnte.
- c) Benenne, was jedem Obst oder Gemüse gemeinsam ist. Wie könntest du dieses „Gemeinsame“ ersetzen?

### 3 Die „Zitronen-Batterie“ ohne Zitrone

Wie du inzwischen weißt, schließen Zitrone, Gurke, Kartoffel, Orange usw. den Stromkreis zwischen den unterschiedlichen Metallnägeln. Du sollst jetzt untersuchen, was an Stelle von Obst oder Gemüse die Verbindung herstellen kann. Du hast sicher vermutet, dass Wasser dabei eine wichtige Rolle spielt, denn je saftiger ein Obst oder Gemüse ist, desto besser hat deine „Batterie“ funktioniert.

#### 3.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Becher, 100 ml	2
Digitalmultimeter	1
Doppel-Propeller für Solarmotor klein	1
Kochsalz	1 kleiner Löffel
Kupfernagel (als Elektrode)	1
Messkabel-Set Banane/Kroko, je rot und schwarz	1
Pflanzclip (als Ständer für den Motor)	1
Schutzbrille pro Schülerin/Schüler	1
Solarmotor klein, Glockenanker, 0,1 V/2 mA (durch die Gruppen tauschen!)	1
Verbindungskabel Kroko/Kroko	6
Wasser	nach Bedarf
Zinknagel (als Elektrode)	1
Zitronensäure	1 kleiner Löffel

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

#### 3.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht.

- Am Arbeitsplatz dürfen keine wasserempfindlichen Materialien vorhanden sein.
- Trage während des ganzen Versuchs eine Schutzbrille! Gelangen dennoch Spritzer von der Zitronensäure ins Auge oder auf die Haut, wasche sie sofort mit viel klarem Wasser ab!

#### 3.3 Versuchsdurchführung

- Setze die Schutzbrille auf!
- Verändere die „Zitronen-Batterie“ systematisch, indem du das Obst oder Gemüse durch einen Becher ersetzt, in dem sich eine der folgenden Flüssigkeiten befindet:
  - Nur Leitungswasser (Becher vorher spülen)
  - Leitungswasser, in dem du etwas Zitronensäure aufgelöst hast.
  - Leitungswasser, in dem du einen kleinen Löffel Kochsalz aufgelöst hast.
- Fülle den Becher zu dreiviertel mit einer dieser Flüssigkeiten.

- Stelle den Kupfer- und den Zinknagel hinein (ohne dass sie sich berühren!).
- Halte die Stromstärke für die verschiedenen Elektrolyte (reines Wasser, Säure, Salzwasser) in einer kleinen Tabelle fest.

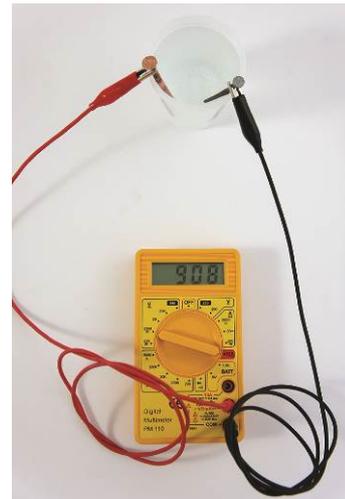


Abb. 6: Messanordnung.

- Untersuche, was passiert, wenn du den Motor parallel zum Voltmeter in den Stromkreis schaltest.  
**Hinweis:** Wenn du alleine arbeitest, kannst du den Pflanzclip zur Halterung des Motors einsetzen (siehe Foto).

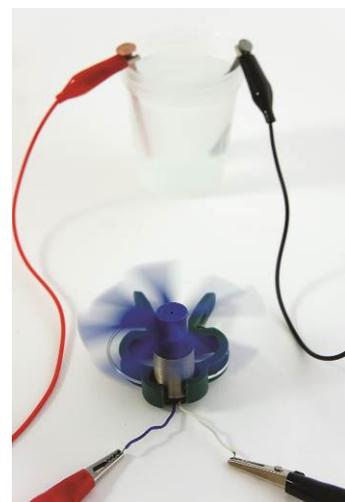


Abb. 7: Experiment mit Motor.

### 3.4 Beobachtungen

Fasse deine Beobachtungen schriftlich zusammen.

### 3.5 Auswertung

- Kannst du mit Leitungswasser eine Spannung zwischen den Metallnägeln messen?
- Beschreibe, was passiert ist, wenn man das Wasser durch Kochsalz- oder Zitronensäurelösung ersetzt. Welche Spannungen konntest du ablesen?
- Erkläre, wie sich ein Verbraucher im Stromkreis auf die Spannung auswirkt.

### 3.6 Fragen

- Viele meinen, man brauche Säure, um mit einer elektrochemischen Zelle Strom zu erzeugen. Erkläre, warum es auch mit einem Salz wie Kochsalz funktioniert.
- Die meist wässrige Lösung im Inneren jeder Batterie bzw. jedes Akkus nennt man Elektrolyt. Erkläre, was in jedem Elektrolyt vorhanden sein muss, damit er funktioniert.

## 4 Eine Batterie, die belastbar ist

Bei einer Batterie, die aus zwei Metallen aufgebaut ist, löst sich das unedlere Metall allmählich auf, indem es ein Salz bildet. Gleichzeitig muss sich aber das edlere Metall aus der Lösung seines Salzes abscheiden können. Dass du in diesem Fall auch mehr „Leistung“ entnehmen kannst, zeigen dir die folgenden Experimente:

### 4.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Becher, 100 ml	1
Digitalmultimeter	1
Doppel-Propeller für Solarmotor klein	1
Kaffeelöffel oder Spatel	1
Kupfernagel (als Elektrode)	1
Kupfersulfat	1 Kaffeelöffelstielspitze
Messkabel-Set Banane/Kroko, je rot und schwarz	1
Nagel (Stahl, „Eisen“)	1
Pflanzenclip (als Ständer für den Motor)	1
Schutzbrille pro Schülerin/Schüler	1
Solarmotor klein, Glockenanker, 0,1V/2mA (durch die Gruppen tauschen!)	1
Verbindungskabel Kroko/Kroko	6
Wasser	nach Bedarf
Zinknagel (als Elektrode)	1

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

### 4.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht.

- Am Arbeitsplatz dürfen keine wasserempfindlichen Materialien vorhanden sein.
- Trage während des ganzen Versuchs eine Schutzbrille! Vermeide Hautkontakt mit dem Kupfersulfat. Gelangen dennoch Spritzer von Kupfersulfat ins Auge oder auf die Haut, wasche sie sofort mit viel klarem Wasser ab!

### 4.3 Versuchsdurchführung

- Setze die Schutzbrille auf!
- Fülle einen Becher halb voll mit Wasser und löse darin eine „Kaffeelöffelstielspitze“ Kupfersulfat durch leichtes Schwenken auf.
- Stelle einen Nagel aus Kupfer und einen aus einem anderen Metall in die Lösung und ermittle mit dem Messgerät die Spannung.
- Schließe den Motor an. Evtl. musst du die Nägel etwas bewegen, damit der Motor anläuft.
- Schließe das Messgerät und den Motor in Reihenschaltung an die beiden Nägel an und messe die Stromstärke.

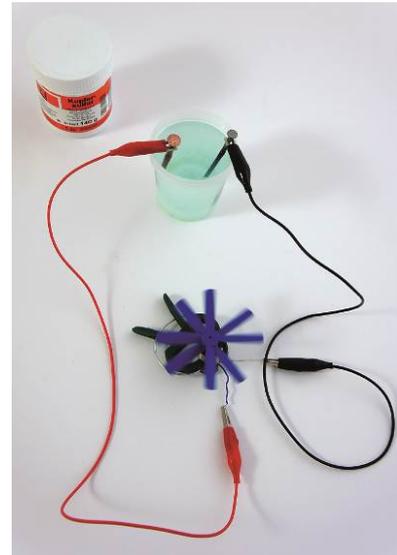


Abb. 8: Versuchsanordnung mit Motor.

### 4.4 Beobachtungen

Fasse deine Beobachtungen schriftlich zusammen.

### 4.5 Auswertung

- a) Welche Spannungen und welchen Strom kannst du messen?
- b) Wie groß ist die Leistung der Batterie, die du aus der gemessenen Spannung und Stromstärke ermittelt hast?
- c) Ist die Leistung jetzt größer als bei den Telexperimenten 1 und 3?
- d) Welche Veränderungen kannst du am Nagel des unedleren Metalls erkennen? Offensichtlich scheidet sich etwas ab. Erläutere, aus was die Abscheidung bestehen könnte!
- e) Überlege, ob diese Abscheidung gut oder schlecht für die Leistung der Batterie ist, und halte deine Einschätzung schriftlich fest!

### 4.6 Fragen

- a) Hast du eine Idee, wie du diese Abscheidung am unedleren Metall verhindern könntest?
- b) Eigentlich sollte in einer Batterie das unedlere Metall in Lösung gehen, an der unedleren Elektrode also keine Abscheidung stattfinden. Kannst du dir vorstellen, wie die Abscheidung am unedleren Metall auch praktisch genutzt werden kann?

## 5 Ein Kupferüberzug ganz von selbst?

Edle Metalle werden aus ihren Salzlösungen abgeschieden, wenn unedlere in die Lösung eingetaucht werden. Wie das aussieht, zeigt dir dieses Experiment. Das edlere Metall ist bei den folgenden Experimenten immer Kupfer (bzw. Kupfersulfat als Salz des Kupfers).

### 5.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Alufolie	nach Bedarf
Becher, 100 ml	1
Kaffeelöffel oder Spatel	1
Kupfersulfat	1 Kaffeelöffelstielspitze
Messing- oder Nickelmünze	1
Schutzbrille pro Schülerin/Schüler	1
Wasser	nach Bedarf
Zitronensäure	nach Bedarf

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

### 5.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht.

- Am Arbeitsplatz dürfen keine wasserempfindlichen Materialien vorhanden sein.
- Trage während des ganzen Versuchs eine Schutzbrille! Vermeide Hautkontakt mit dem Kupfersulfat. Gelangen dennoch Spritzer von Kupfersulfat oder Zitronensäure ins Auge oder auf die Haut, wasche sie sofort mit viel klarem Wasser ab!

### 5.3 Versuchsdurchführung

- Setze die Schutzbrille auf!
- Fülle einen Becher halb voll mit Wasser und löse darin eine „Kaffeelöffelstielspitze“ Kupfersulfat und gib so viel Zitronensäure dazu, dass die Lösung nur noch wenig getrübt ist.
- Lege ein Stückchen Alufolie auf den Boden des Bechers und lege eine Messing- oder Nickelmünze auf die Alufolie. Achtung: Die Münze muss die Folie gut berühren!
- Falls du die nächsten 10 bis 45 Minuten noch nichts beobachten kannst, lässt du das Experiment über Nacht stehen und wertest erst dann aus.
- Nach Beendigung dieses Experiments, ggf. erst Tage später, müssen die Anweisungen der Lehrkraft zur Entsorgung der Kupfersulfatlösung befolgt werden!

## 5.4 Beobachtung

Fasse deine Beobachtungen schriftlich zusammen.

## 5.5 Auswertung

- a) Erkläre, warum sich offensichtlich an der Münze Kupfer abgeschieden hat!
- b) Erkläre, welche Rolle das Aluminium dabei spielt!

## 5.6 Fragen

- a) Erkläre, welche Bedeutung die Zitronensäure bei diesem Experiment hat.  
(Tipp: Warum wird die Kupfersulfatlösung erst nach Zugabe der Zitronensäure klar?)
- b) Recherchiere, wo das Überziehen mit Metallen eine Rolle in der Technik spielt.

## 6 Eine professionelle Zink-Kupfer-Batterie

Um zu verhindern, dass sich ein Teil des Kupfersalzes im Kurzschluss am unedleren Metall abscheidet, muss man die beiden Metalle und die umgebenden Lösungen trennen. Trotzdem müssen beide Flüssigkeiten den Strom leiten und sie müssen miteinander auch leitend verbunden sein. Dazu wollen wir einen Versuch nachbauen, den Herr Daniell vor über 150 Jahren so ähnlich entwickelt hat. Daher heißt eine Batterie bzw. ein Akku, die/der aus Kupfer und Zink aufgebaut ist, auch „Daniell-Element“.

### 6.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Akku, 9 V	1
Becher, 100 ml	1
Digitalmultimeter	1
Doppel-Propeller für Solarmotor klein	1
Gummibänder	2
Kochsalz	1
Kupfernagel (als Elektrode)	1
Messkabel-Set Banane/Kroko, je rot und schwarz	1
Papiertaschentuch, -küchentuch oder Toilettenpapier	1
Schale	1
Schutzbrille pro Schülerin/Schüler	1
Solarmotor klein, Glockenanker, 0,1 V/2 mA	1
Verbindungskabel Kroko/Kroko	2
Wasser	nach Bedarf
Zinknagel (als Elektrode)	1

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

### 6.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht.

- Am Arbeitsplatz dürfen keine wasserempfindlichen Materialien vorhanden sein.
- Schließe den Akku auf keinen Fall kurz! Es besteht Explosions- und Brandgefahr!

### 6.3 Versuchsdurchführung

- Lege die beiden Metallnägeln bereit und reiße ein Stück von dem Papiertuch ab, das so breit ist, wie die Nägel lang sind.

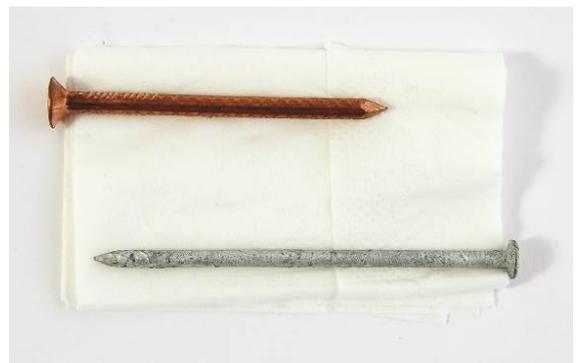


Abb. 9: Einpacken der Elektroden in ein Papiertuch.

- Umwickle einen der beiden Nägel mit dem Papier, lege den zweiten in umgekehrter Richtung dazu und umwickle beide gemeinsam mit dem restlichen Papierstreifen. Jetzt muss an jedem Ende ein Nagelkopf herauschauen. (Die Nägel dürfen sich keinesfalls berühren, sie müssen durch das Papier sicher getrennt sein!)
- Fixiere den „Elektroden-Pack“ mit 2 Gummibändern!
- Fülle nun einen Becher dreiviertel voll mit Wasser und löse darin eine Löffelspitze Kochsalz durch Umrühren auf.
- Lege den „Elektroden-Pack“ in die Schale und tränke ihn mit der Kochsalzlösung. Nimm den „Elektroden-Pack“ dann wieder aus der Schale heraus.
- Schließe nun das Messgerät an und messe die Spannung.
- Verbinde die beiden Nagelköpfe mit je einem Kroko/Kroko-Verbindungskabel und die anderen Enden der Kabel mit den Anschlüssen des Motors.
- Messe die Spannung nach dem Anschließen des Motors.
- Lade nun den „Elektrodenpack“ ca. 5 Minuten durch Anschließen des 9-Volt-Akkus (Plus an Kupfer, Minus an Zink).
- Siehst du eine Verfärbung um den Kupfernagel?
- Verbinde nach Abklemmen des 9-Volt-Akkus den aufgeladenen „Elektroden-Pack“ wieder mit dem Motor.
- Messe auch hier wieder die Spannung!



Abb. 1: Fertiger, mit Kochsalzlösung getränkter Elektrodenpack.

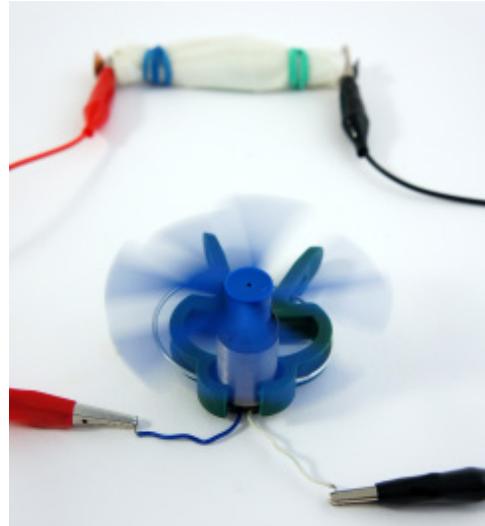


Abb. 2: Betrieb des Elektromotors mit unserem „Daniell-Element“.



Abb. 3: Aufladen des Elektrodenpacks.

## 6.4 Beobachtung

Fasse deine Beobachtungen schriftlich zusammen. Wie stark hat sich die Spannung beim Anschluss des Motors geändert?

## 6.5 Auswertung

- a) Erkläre, welche Funktion das Papiertuch in diesem Experiment übernimmt!
- b) Erkläre, warum deshalb die Leistung der Batterie meist größer ist als in den Telexperimenten 1, 3 und 4!

## 6.6 Fragen

- a) Recherchiere, woraus die Separatormembran in modernen Batterien und Akkus besteht! Übertrage deine Ergebnisse auf die Zitronen-Batterien in Telexperiment 1.
- b) Stelle die Reaktionsgleichungen für die beiden Elektroden und für den Gesamtprozess auf! Stelle zuerst eine Wortgleichung auf und versuche dann in einer Formelgleichung zu konkretisieren.

## A4 Verdampfungswärme – So kühlt man mit Wärme

Werden alle Telexperimente in der nachstehenden Reihenfolge durchgeführt, können sie zur experimentellen Ergänzung einer Lerneinheit zum Thema Verdampfungswärme bzw. Verdunstungskälte werden. Davon ausgehend ist dann eine Vertiefung in die allgemeine Wärmelehre bis hin zur Teilchenebene gut möglich.

### 1 Zentrale Fragestellung

Um seine Hände zu kühlen, kann man sie mit etwas Kaltem in Berührung bringen. Dann fließt Wärme von den Händen weg zu dem kalten Gegenstand hin. Es gibt aber auch noch andere Möglichkeiten, wie Wärme abgeführt werden kann. Dabei spielt die Verdunstung eine Rolle. Wir untersuchen das in zwei Telexperimenten:

- Warum friert man in nasser Kleidung?
- Wie kühlt ein nasses Wattepad?

### 2 Einordnung des Experiments in den Unterrichtszusammenhang

#### 2.1 Fachliche Grundlagen

Für eine theoretische Einordnung der Versuche in Energiebetrachtungen sind folgende Vorkenntnisse und Erfahrungen hilfreich:

- Kenntnis der Aggregatzustände und der Übergänge (fest, flüssig, gasförmig, schmelzen, verdampfen, kondensieren, erstarren)
- Wissen, dass für den Übergang der Aggregatzustände Energie benötigt wird.

Für eine Erklärung im Teilchenmodell sind folgende Vorkenntnisse nötig:

- Die Temperatur eines Stoffs ist ein Maß für die mittlere Geschwindigkeit der Teilchen.
- Die Geschwindigkeit der Teilchen in einem Stoff ist bei gegebener Temperatur statistisch verteilt.

#### 2.2 Lehrplanrelevanz

Versuche zur Verdampfungswärme bzw. zur „Verdunstungskälte“ sind so einfach, dass das Phänomen der Abkühlung durch Verdunstung bereits in der Grundschule gezeigt werden kann. Ausgehend vom Phänomen können Experimente gemeinsam entwickelt werden, um das Phänomen messbar zu machen und genauer zu untersuchen. Dabei können Schülerinnen und Schüler Aspekte naturwissenschaftlichen Arbeitens kennen lernen. Erklärungen des Phänomens auf einer theoretischen Ebene sind dazu zunächst nicht zwingend notwendig. Die Anleitung für die Schülerinnen und Schüler orientiert sich an diesem Niveau (Altersstufe bis 14 Jahre).

Für eine stärkere theoretische Durchdringung ab einer Altersstufe von etwa 14 Jahre sind Energiebetrachtungen beim Übergang der Aggregatzustände erforderlich. Eine Deutung des Phänomens auf der Ebene der Teilchenmodelle kann zusätzlich zum Verständnis beitragen.

**Themen und Begriffe:** Aggregatzustände (flüssig, gasförmig), Bindungskräfte, Kühlschrank, Teilchenmodell, Temperatur, Verdampfungswärme, Verdunstung/Kondensation, „Verdunstungskälte“, Wärmepumpe, Wärmeregulierung in der Natur

## 2.3 Kompetenzen

Die Schülerinnen und Schüler lernen vom Phänomen der „Verdunstungskälte“ ausgehend ein typisches naturwissenschaftliches Vorgehen kennen. Dieses Phänomen wird im Telexperiment 1 zunächst genauer erkundet. Einflussfaktoren werden herausgearbeitet. Im Telexperiment 2 werden die Beobachtungen durch gezielt präparierte quantitative Messungen präzisiert.

Schwerpunktmäßig anhand Telexperiment 1:

- Das Phänomen der „Verdunstungskälte“ beschreiben können.
- Den Einfluss der Luftzufuhr als Erhöhung der Verdunstungsrate interpretieren können.
- Unterschiedliche Flüssigkeiten in ihrer Verdunstungsneigung unterscheiden können.
- Ggf. den größeren Kühlungseffekt bei Alkohol auf eine stärkere Verdunstung zurückführen können.

Schwerpunktmäßig anhand Telexperiment 2:

Die im ersten Telexperiment qualitativ gefundenen Abhängigkeiten in einem Messexperiment quantitativ verifizieren können.

## 2.4 Das Experiment im Erklärungszusammenhang

Das Phänomen der „Verdunstungskälte“ ist eine Folge des Energiebedarfs beim Übergang eines Stoffes vom flüssigen in den gasförmigen Zustand. Auf der Teilchenebene lassen sich die verschiedenen Aggregatzustände so beschreiben, dass zwischen den Teilchen unterschiedliche Bindungskräfte wirksam sind. Um diese Bindungen zu lösen, ist Energie notwendig.

Im Alltagsverständnis ist der Übergang von einem in den anderen Aggregatzustand eine Begleiterscheinung der Temperaturerhöhung und nicht eine Folge von Energiezufuhr. Der Nachweis, dass beim Schmelzen von Eis auf einer Heizquelle die Temperatur eine Weile unverändert bleibt, kann diesen Aspekt deutlich machen. Es wird Energie (Schmelzwärme) zugeführt, die sich nicht in Temperaturerhöhung zeigt, sondern darin, dass festes Wasser („Eis“) von 0 °C in flüssiges Wasser von 0 °C verwandelt wird. Die notwendige Energie beim Übergang vom flüssigen in den gasförmigen Zustand (Verdampfungswärme) lässt sich im Vergleich dazu experimentell weniger leicht nachweisen. Siehe auch Schmelz- bzw. Kristallisationswärme in Experiment **A2 Wir speichern Wärme – Vom Wasserspeicher zur Salzschmelze**.

Wenn Flüssigkeit verdunstet, bedeutet dies, dass Flüssigkeit in den gasförmigen Zustand übergeht. Auch dafür ist Energie notwendig. Wird diese Energie nicht von außen zugeführt, wird sie der Umgebung entzogen, die sich dadurch abkühlt.

Kälte ist kein physikalischer Begriff. Deshalb ist der Begriff „Verdunstungskälte“ nicht ganz glücklich. Andererseits hat sich der Begriff „Verdunstungskälte“ im Alltagssprachgebrauch eingebürgert. Um die Unterscheidung von einem physikalischen Begriff abzugrenzen, werden in diesem Text Anführungszeichen verwendet. Der korrekte Fachbegriff für dieses Phänomen ist die Verdampfungswärme. Mit diesem Hinweis wird auch der paradox klingende Titel des Experiments „So kühlt man mit Wärme“ verständlich!

Die Absenkung der Temperatur bei Verdunstung lässt sich auch auf andere Weise deuten, nämlich als Absenkung der mittleren Geschwindigkeit der Teilchen. Die nachfolgende Tabelle stellt makroskopische Beobachtungen den Deutungen auf der Teilchenebene gegenüber.

makroskopisch	Im Teilchenmodell
In einer Flüssigkeit herrscht eine bestimmte Temperatur vor.	Die Temperatur ist ein Maß für die mittlere Geschwindigkeit der Teilchen. (Genauer: Die Temperatur ist proportional zum Mittelwert der Geschwindigkeitsquadrate.)
Ein Teil der Flüssigkeit verdunstet.	Einzelne Teilchen können deutlich höhere Geschwindigkeiten besitzen als andere. Die schnellsten Teilchen besitzen genügend Energie, um den Flüssigkeitsverband zu verlassen.
Die Flüssigkeit kühlt dabei ab.	Wenn die schnellsten Teilchen den Flüssigkeitsverband verlassen, bleiben die langsameren zurück und senken damit die mittlere Geschwindigkeit der Teilchen nach unten ab.

Die Verdunstung von Wasser hängt auch von der Luftfeuchtigkeit ab. Bei hoher Luftfeuchtigkeit ist die Verdunstung geringer. Die Verdunstung kann gesteigert werden, wenn die Wasseroberfläche angeblasen wird. Es wird dadurch die mit Wassermolekülen bereits angereicherte Luft durch trockenere Luft ausgetauscht, die entsprechend mehr Feuchtigkeit aufnehmen kann.

Wie viel Energie bei der Verdunstung benötigt wird, hängt zusätzlich von der Flüssigkeit ab. Alkohol verdunstet leichter als Wasser. Dadurch ist der Kühlungseffekt bei alkoholgetränkten Tüchern (z. B. „Erfrischungstücher“) noch größer als bei wassergetränkten Tüchern. Die stärkere Verdunstungsneigung von Alkohol hängt mit dem geringeren Siedepunkt von Alkohol zusammen. Dies ist auf der Teilchenebene gleichbedeutend mit geringeren Bindungskräften zwischen den Molekülen in der Flüssigkeit.

#### 2.4.1 Telexperiment 1: Warum friert man in nasser Kleidung?

Der Versuch knüpft an eine Alltagserfahrung an, dass man nämlich in nasser Kleidung (z. B. in einem nassen Badeanzug) deutlich stärker friert als in trockener. Dieses Phänomen wird dadurch bewusst erfahrbar gemacht, dass man die Hand mit Wasser anfeuchtet. Im nächsten Schritt wird zusätzlich mit einem Stück Pappe o. Ä. Luft über die nasse Haut gefächelt.

#### Transfer

Das Phänomen der „Verdunstungskälte“ ist in vielen Alltagsanwendungen wieder zu finden.

- Der menschliche Körper nutzt den Kühlungseffekt durch Verdunsten beim Schwitzen.
- Hunde verdunsten Wasser durch Hecheln.
- Kühlgefäße aus Ton arbeiten nach demselben Prinzip. Vor der Benutzung werden die Kühler mit Wasser angefeuchtet. In afrikanischen Ländern nutzt man wassergetränkte Tonkrüge, um darin Lebensmittel zu kühlen und länger lagern zu können.
- Feuchte Tücher, die im Raum aufgehängt werden, können im Hochsommer für Kühlung sorgen.
- Lehmhäuser in Wüstengebieten sind natürliche Klimaanlage ohne Bedarf an elektrischer Energie: Nachts kondensiert die Feuchtigkeit an den Wänden und gibt dabei Wärme an das Haus ab. Tagsüber verdunstet die Feuchtigkeit wieder und Wärme wird den Wänden entzogen.

Die Ausnutzung des Kühleffekts bei alkoholhaltigen Flüssigkeiten findet man z. B. bei Erfrischungstüchern, medizinischen Salben und Sprays oder Deodorant.

## 2.4.2 Telexperiment 2: Wie kühlt ein nasses Wattepad?

Dieser Versuch macht das Phänomen der „Verdunstungskälte“ objektivierbar und für Messungen zugänglich. Nun kann systematisch untersucht werden, wie groß der Abkühlungseffekt unter bestimmten Bedingungen ist. Der Einfluss der Luftzufuhr und der Flüssigkeit kann durch Messungen präzisiert werden. In der einfachsten Variante wird das Experiment nur mit Wasser durchgeführt. Als Ergänzung können auch alkoholhaltige Flüssigkeiten im Experiment untersucht werden. Die nachfolgenden Grafiken zeigen die Ergebnisse einer digitalen Messung für ein wassergetränktes und ein spiritusgetränktes Wattepad sowie für zwei wassergetränkte Wattepads, von denen eines mit einem Kaltluftföhn angeblasen wurde. Die Messungen wurden jeweils über einen Zeitraum von 10 Minuten durchgeführt.

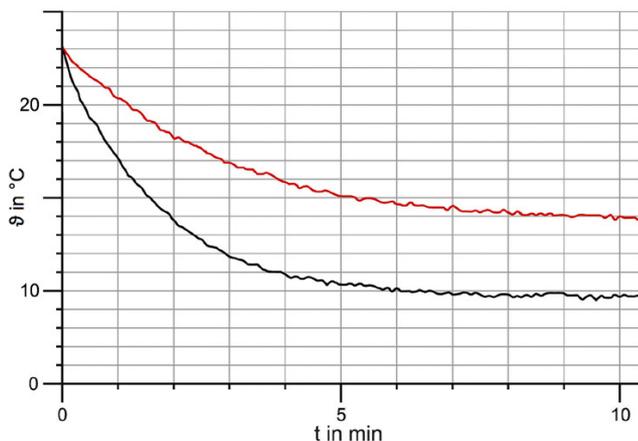


Abb. 1: Die Kurven zeigen die Abkühlung zweier Wattepads über einen Zeitraum von 10 Minuten; rot: wassergetränktes Pad, schwarz: spiritusgetränktes Pad.

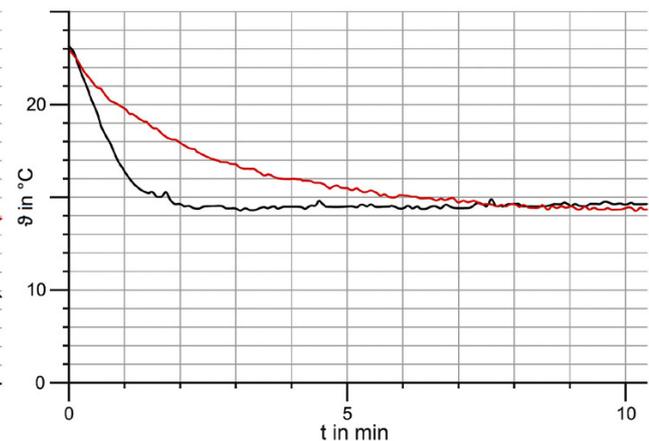


Abb. 2: Die Kurven zeigen die Abkühlung zweier wassergetränkter Wattepads über einen Zeitraum von 10 Minuten; rot: ungestört, schwarz: bei Anblasen mit einem Kaltluftföhn.

Die Messungen müssen nicht, wie hier abgebildet, digital durchgeführt werden, sondern können auch mit einer Armband- oder Stoppuhr von Hand gemacht werden. Die Diagramme dienen zur Abschätzung der Effekte.

- Die Temperatur sinkt etwa über einen Zeitraum von 10 Minuten. Nach 10 Minuten ist kaum noch eine Änderung zu beobachten.
- Der Temperaturunterschied beträgt in den Versuchen bei einem wassergetränktem Wattepad etwa 9 °C.
- Mit Spiritus ist der Temperaturunterschied mit etwa 14 °C deutlich größer. Er stellt sich bereits sehr früh ein.
- Durch Anblasen mit dem Föhn lässt sich die Temperatur nicht weiter nach unten drücken. Die tiefste Temperatur wird jedoch deutlich früher erreicht (hier bereits nach 2, statt nach 9 Minuten).
- Durch das Blasen wird auch der Temperatúrausgleich mit der Umgebung verstärkt. Deshalb wird nach 10 Minuten beim angeblasenen Wattepad eine höhere Temperatur gemessen als beim unbeeinflussten Wattepad.

## 2.4.3 Transfer

**Technikbezug:** Die Kühlung wird auch beim Kompressorkühlschrank letztlich durch das Verdampfen des Kühlmittels im Innenraum des Kühlgerätes hervorgerufen. Durch eine Pumpe wird dafür gesorgt, dass das Kühlmittel außerhalb des Kühlraums wieder verdichtet wird. Dabei wird die Energie, die beim Verdampfen dem Kühlraum entzogen wurde, beim Kondensieren wieder an die Umgebung abgegeben. Dasselbe Prinzip findet in umgekehrter Richtung bei der Wärmepumpe Anwendung.

## 2.5 Durchführungsvarianten

**Weiterforschen:** Die Abkühlung durch Luftbewegung kann auf verschiedene Weise realisiert werden (Anblasen mit dem Föhn, Verwendung eines Fächers, Anblasen mit dem Mund, Bewegen des Thermometers). Die Schülerinnen und Schüler können auch eigene Ideen zur Verstärkung des Abkühlungseffektes überlegen und entsprechend erproben.

## 3 Ergänzende Informationen zum Experiment

**Wertebezug:** Der nigerianische Lehrer Mohammed Bah Abba wurde für die Erfindung eines „Kühlschranks“ nach dem Prinzip der „Verdunstungskälte“ mit mehreren Preisen ausgezeichnet. Damit können tägliche Wege zu den Märkten reduziert werden. Hierzu kann sich beispielsweise in Telexperiment 2 eine Impulsfrage zur Wertebildung vor dem Hintergrund des „Energiesparens“ anschließen.

Zur Vorbereitung bzw. zur Vertiefung dieses Experiments finden Sie ergänzende Medien auf dem Medienportal der Siemens Stiftung: <https://medienportal.siemens-stiftung.org>

## 4 Hinweise zur Durchführung der Telexperimente

### 4.1 Räumlichkeiten

Das Experiment kann unter Anleitung und Beaufsichtigung der Lehrkraft von den Schülerinnen und Schülern in jedem Klassenraum durchgeführt werden.

### 4.2 Zeitbedarf

	Vorbereitung und Durchführung	Auswertung, Fragen
Telexperiment 1	10 bis 15 min	
Telexperiment 2	35 min*	15 min

\*Um den Zeitbedarf zu reduzieren, können die drei Versuchsvarianten auch arbeitsteilig durchgeführt werden.

### 4.3 Sicherheitsaspekte

Die Versuche dürfen nur bei Anwesenheit und unter Aufsicht der Lehrkraft durchgeführt werden. Die Schülerinnen und Schüler sind darauf hinzuweisen, dass die bereitgestellten Materialien nur entsprechend den jeweiligen Anweisungen eingesetzt werden dürfen.

Bei diesem Versuch bestehen keine besonderen Gefahren.

Bei Telexperiment 1 muss darauf geachtet werden, dass kein trinkbarer Alkohol verwendet wird und die Schülerinnen und Schüler auf die Ungenießbarkeit hingewiesen worden sind.

#### 4.4 Benötigte Materialien

Für **eine** Schülergruppe werden folgende Materialien benötigt:

Material	Anzahl
Digitalthermometer	1
eine kleine Flasche nicht trinkbarer Alkohol, z. B. Brennspiritus oder Propanol	1
ggf. Erfrischungstücher (statt Alkohol)	nach Bedarf
Pappe, Schulhefte oder ähnliches als Fächer	1
Stoppuhren oder Uhren mit Sekundenanzeige	1
Tücher	nach Bedarf
Wasser	nach Bedarf
Wattepad, Packung	1



Abb. 3: Materialien für eine Schülergruppe, beispielhafte Abbildung

#### 4.5 Aufräumen, Entsorgen, Recyceln

Fast alle verwendeten Geräte und Materialien sind wiederverwendbar. Daher sollten sie nach Beendigung des jeweiligen Experiments ordentlich aufgeräumt werden. So stellen Sie sicher, dass Sie bzw. Ihre Kolleginnen und Kollegen beim nächsten Einsatz alles schnell wiederfinden.

Geräte, die beim Experimentieren verschmutzt wurden, wie z. B. Becher, Schalen, Löffel, Reagenzgläser, sollten vor dem Zurücklegen erst gereinigt werden. Sinnvollerweise lässt man dies die Schülerinnen und Schüler gleich nach Beendigung des Experiments erledigen.

Stellen Sie zudem sicher, dass die Geräte wieder für den nächsten Einsatz betriebsbereit sind.

Beispielsweise sind benutzte Akkus gleich aufzuladen (Auch bei längerer Nichtbenutzung ist das Aufladen der Akkus sinnvoll.).

Materialien, die nicht wiederverwendbar sind, wie z. B. gebrauchte pH-Messstäbchen oder Filterpapier, sollten fachgerecht entsorgt werden.

Die Entsorgung der in diesem Experiment anfallenden Abfälle kann über den normalen Hausmüll bzw. den Ausguss erfolgen.

## A4 Verdampfungswärme – So kühlt man mit Wärme

### 1 Warum friert man in nasser Kleidung?

#### 1.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
etwas Alkohol (optional)	nach Bedarf
ein Stück Pappe, ein Schulheft oder ähnliches als Fächer	1
Tücher oder Papiertaschentücher	1 – 2
etwas Wasser	nach Bedarf

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

#### 1.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht.

Am Arbeitsplatz dürfen keine wasserempfindlichen Materialien vorhanden sein.

#### 1.3 Versuchsdurchführung

- Tauche ein Tuch in Wasser und befeuchte damit deinen Handrücken.
- Beobachte einige Zeit, wie es sich anfühlt.
- Wiederhole den Versuch mit der anderen Hand und fächele Luft über den feuchten Handrücken.
- Beschreibe, wie sich das Gefühl auf der nassen Haut verändert, wenn du darüber fächelst.
- Trockne beide Hände gründlich ab und fächele noch einmal Luft über die trockene Haut.
- Falls auch Alkohol zur Verfügung steht, tauche das zweite Tuch in Alkohol und befeuchte damit den Handrücken.
- Untersuche auch hier, was sich verändert, wenn du über die feuchte Hand fächelst.
- Beschreibe die Unterschiede in den Beobachtungen bei Wasser und Alkohol.

#### 1.4 Beobachtung

Tausche dich über deine Beobachtungen mit deinem Nachbarn aus.

#### 1.5 Auswertung

- a) Beschreibe, welche Wirkung das Fächeln auf die Feuchtigkeit der Haut hat.
- b) Stelle einen Zusammenhang her zwischen dem Kühleffekt und der Verdunstung. Bei welchem Verdunstungsmittel wurde die Haut am schnellsten trocken?
- c) Entwirf einen Versuch, mit dem du das, was du mit der Hand fühlst, sichtbar machen kannst.

#### 1.6 Fragen

- a) Warum hecheln Hunde, wenn es heiß ist?
- b) Sammle weitere Beispiele aus dem Alltag, bei denen ebenfalls Abkühlung durch Verdunstung eine Rolle spielt.

## 2 Wie kühlt ein nasses Wattepad?

### 2.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
etwas Alkohol (optional)	nach Bedarf
Becher	nach Bedarf
Digitalthermometer	1
Wattepads	2
etwas Wasser	nach Bedarf
Uhr	1

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

### 2.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht.

Der Alkohol ist nicht zum Verzehr geeignet!

### 2.3 Versuchsdurchführung

- Bereite eine Tabelle vor, in die du über einen Zeitraum von 10 Minuten alle 30 Sekunden die Temperatur eintragen kannst. Es sollen 3 Messreihen in die Tabelle eingetragen werden.
- Schalte das Thermometer ein. Warte, bis sich die Temperatur nicht mehr ändert, dann zeigt es die Umgebungstemperatur an.  
Falls die Thermometeranzeige erlischt (Batteriesparautomatik), dann drücke einfach wieder auf „on“.
- Achte darauf, dass du das Thermometer nur am schwarzen Gehäuse anfasst.
- Messung 1: Befeuchte ein Wattepad mit Wasser, drücke das überschüssige Wasser heraus und lege das Wattepad über das Thermometer (siehe Abb. 1).  
Halte das Thermometer waagrecht, damit das Wattepad nicht herunter fällt (Abb. 2).  
Trage alle 30 Sekunden den Wert für die Temperatur in die Tabelle ein. Miss über einen Zeitraum von 10 Minuten.
- Messung 2: Wenn Alkohol zur Verfügung steht: Wiederhole die Messung 1 für ein Wattepad, das in Alkohol getränkt wird.
- Messung 3: Wiederhole die Messung 1 für ein Wattepad, dem du mit einem Fächer Luft zufächelst. (Abb. 3).



Abb. 1: Es ist sinnvoll, das Thermometer während der Messung so abzulegen, dass der Wattepad frei in der Luft hängt, zum Beispiel auf einem Becher.

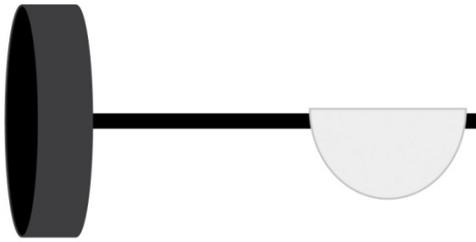


Abb. 2: Die Abbildung zeigt, wie das feuchte Wattepad über das Thermometer gelegt wird.

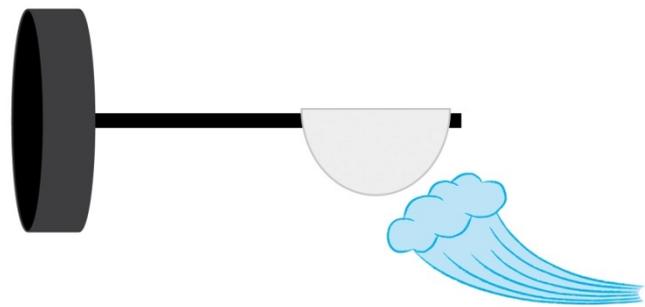


Abb. 3: Im letzten Versuchsdurchgang wird dem Wattepad mit einem Fächer Luft zugefächelt.

## 2.4 Beobachtung

Fasse deine Beobachtungen schriftlich zusammen.

## 2.5 Auswertung

- Trage die Messwerte (Temperatur über Zeit) für alle drei Messungen in ein gemeinsames Diagramm ein, am besten in verschiedenen Farben.
- Beschreibe die Unterschiede in den Abkühlungskurven.
- Erkläre die Unterschiede in den Abkühlungskurven.

## 2.6 Fragen

- Wo erwartest du in dem Experiment den größeren Kühleffekt: Bei einem tropfnassen Wattepad oder bei einem angefeuchteten Wattepad? Begründe.
- Stell dir vor, du bist in einem sehr warmen Raum, den du durch Verdunstung kühlen möchtest. Wie würdest du vorgehen?
- Erkläre die Kühleffekte bzw. die „Verdunstungskälte“ mit dem Teilchenmodell.
- Wertebezug: Beschreibe, wie dir das Phänomen der Verdampfungswärme im Alltag beim „Energiesparen“ helfen kann.



# A5 Eigenschaften von Solarzellen – Spannung, Strom und Leistung

Werden die Teilerperimente zur Erforschung der elektrischen Eigenschaften der Solarzellen in der vorgeschlagenen Reihenfolge gemacht, werden sie zu einer Lerneinheit, die sich in der Elektrizitätslehre sehr gut zur experimentellen Verifikation des zuvor gelernten Basiswissens einsetzen lässt. Das aktuelle Thema Solarstrom trägt dabei sicher zur Motivation der Schülerinnen und Schüler bei. Aber auch die Themen Erneuerbare Energien und Energiewende können mit diesen Experimenten hervorragend thematisiert werden. Hier muss aber auf entsprechende Vorkenntnisse der Schülerinnen und Schüler geachtet werden.

## 1 Zentrale Fragestellung

Solarzellen finden Anwendung in vielen kleineren elektronischen Geräten und Spielzeugen genauso wie auf Hausdächern und in großtechnischen Anlagen zur Stromerzeugung. Die Fragestellung, die die Experimente leitet, ist, was ist bei der Verschaltung von Solarzellen zu beachten? Wie verhalten sich Spannung, Stromstärke und Leistung bei verschiedenen Kombinationen und bei verschiedenen Beleuchtungsverhältnissen? Und nicht zuletzt, wie kann man das messen? Die Experimente vermitteln auf diese Weise Grundkenntnisse, die für das Basteln mit Solarzellen ebenso von Bedeutung sind wie für die großtechnische Nutzung.

## 2 Einordnung des Experiments in den Unterrichtszusammenhang

### 2.1 Fachliche Grundlagen

Für eine Bearbeitung der Experimente sind folgende Vorkenntnisse und Vorerfahrungen notwendig:

- Kenntnisse zur Reihen- und Parallelschaltung von Batterien und Widerständen
- Erfahrungen im Umgang mit einem Multimeter
- Kenntnisse zu den Grundbegriffen der Elektrizitätslehre (Stromstärke, Spannung, Widerstand, Leistung)
- Erfahrungen im Erstellen von Diagrammen
- Kenntnisse zum Begriff des Innenwiderstands

### 2.2 Lehrplanrelevanz

Experimente zur Solarzelle können der Elektrizitätslehre zugeordnet werden. Bedeutsam sind sie auch im Kontext der Energiethematik, die inzwischen in allen Altersstufen eine Rolle spielt. Für das Teilerperiment 1 sind nur sehr elementare Kenntnisse zu elektrischen Stromkreisen nötig. Die Teilerperimente 2 und 3 sind etwa ab der Altersstufe 12 Jahre geeignet. Die Teilerperimente 4 bis 6 erfordern im Vergleich dazu mehr abstraktes und theoretisches Denken und sind eher für die Altersstufe ab 14 Jahre zu empfehlen.

**Themen und Begriffe:** Abschattung, Akku, Batterie, Elektrizitätslehre, Energieversorgung, Gleichspannungsquelle, Innenwiderstand, Kurzschlussstrom, Lastwiderstand, Leerlaufspannung, Messkurve, Parallelschaltung, Potentiometer, Reihenschaltung, Schaltspannung (der Diode), Solarmotor, Solarzelle, Spannungsabfall, Stromkreis, U-I-Kennlinie, Umgang mit Messgeräten, Verschaltung von Solarmodulen, Widerstand

## 2.3 Kompetenzen

### 2.3.1 Fachspezifische Kompetenzen

Die Schülerinnen und Schüler ...

- beschreiben die Wirkungsweise einer Solarzelle.
- untersuchen die Einflussfaktoren auf die Wirkung einer Solarzelle nach Plan.
- bauen Experimente mit Solarzellen nach Plan auf und führen sie durch.
- erklären die Begriffe Kurzschlussstrom und Leerlaufspannung.
- beschreiben und vergleichen die Reihen- und Parallelschaltung von Solarzellen in ihrer Wirkung.
- bewerten die Reihen- und Parallelschaltung von Solarzellen hinsichtlich ihrer Bedeutung in der Praxis.
- beschreiben die Bedeutung des Innenwiderstands einer Solarzelle für praktische Anwendungen.

### 2.3.2 Schwerpunktmäßig anhand des Telexperiments 6

Schülerinnen und Schüler ...

- erläutern die Bedeutung des MPP (Maximum Power Point).
- stellen Messwerte grafisch dar und interpretieren diese.
- planen ein Experiment zur Untersuchung der Veränderung des Innenwiderstands in Abhängigkeit von der Beleuchtung einer Solarzelle.

## 2.4 Das Experiment im Erklärungszusammenhang

Solarzellen wandeln Strahlungsenergie der Sonne in elektrische Energie um. Dies drückt sich dadurch aus, dass an der Solarzelle eine Spannung aufgebaut wird, die bei den hier verwendeten Solarzellen einen Maximalwert von etwa 0,55 Volt (Leerlaufspannung) erreicht. Schließt man die Solarzelle kurz, fließt eine maximale Stromstärke von etwa 0,11 A (Kurzschlussstromstärke).

(Eine Alkalimangan-Mignon-Zelle hat dagegen einen Kurzschlussstrom von kurzzeitig bis zu 80 A!) Anders als Schülerinnen und Schüler es im Umgang mit standardmäßigen Alkalimangan-Mignon-Batterien gewohnt sind, sinkt die Spannung bei den Solarzellen deshalb deutlich ab, wenn man einen Verbraucher (z. B. ein Lämpchen oder einen Solarmotor) in den Stromkreis einbaut. Der Unterschied ist auf den Innenwiderstand der Solarzelle zurückzuführen, der im Vergleich zum Widerstand dieser Verbraucher relativ hoch ist. Fließt Strom, fällt deshalb ein beträchtlicher Teil der Spannung an der Solarzelle ab. Anders als bei geladenen Batterien ist der Innenwiderstand bei Solarzellen zudem nicht konstant, sondern hängt von der Beleuchtungsstärke ab.

Diese Tatsache führt dazu, dass die Verhältnisse bei der Verschaltung von Solarzellen einfach sind, solange man keinen Verbraucher in den Stromkreis einbaut. Die Zusammenhänge werden aber deutlich unübersichtlicher, wenn Verbraucher im Spiel und die Beleuchtungsverhältnisse nicht optimal sind. Um Einblicke in die konkrete Anwendung von Solarzellen in der Praxis zu erhalten, sind die komplexen Zusammenhänge zu berücksichtigen. Geht es vorrangig darum, Solarzellen als elektronische Bauteile zu analysieren und in den Kontext der traditionellen Elektrizitätslehre einzuordnen, sind die eher theoretisch relevanten Untersuchungen an unbelasteten Solarzellen von Bedeutung. Die Telexperimente tragen beiden Bedürfnissen gleichermaßen Rechnung und vermitteln zwischen den verschiedenen Perspektiven.

### 2.4.1 Telexperiment 1: Erste Erkundungen mit der Solarzelle

Das Experiment liefert eine erste Basis für die weiteren Experimente. Den Schülerinnen und Schülern soll dabei eine mögliche Scheu im Umgang mit den Experimentiermaterialien genommen werden. Aus diesem Grund wurde als spielerische und explorative Komponente die Erkundung der Wirkung von unterschiedlich transparenten Materialien zur Abdeckung der Solarzellen eingebaut. Auch andere Einflüsse können untersucht werden. Als Indikator dient hier der Solarmotor, der zwar keine hohe Genauigkeit der Ergebnisse zulässt, aber den spielerischen Charakter des Experiments unterstützt.

**Wichtiger Hinweis:** Bei Verwendung einer Lampe als Lichtquelle ist darauf zu achten, dass der Abstand dieser Lichtquelle zur Solarzelle mithilfe des Lineals konstant gehalten wird. Im ersten Teil geht es zusätzlich darum zu erkennen, dass eine Solarzelle, wie eine Batterie, eine Gleichspannungsquelle ist, deren Polung man leicht bestimmen kann.

**Zum Weiterforschen:** In Ergänzung zu Telexperiment 1 wäre die quantitative Messung von Stromstärke und Spannung bei unterschiedlichen Einfallswinkeln des Lichts interessant. Dies ist allerdings mit den vergleichsweise kleinen Solarzellen nur schwer zu realisieren. Hierzu empfiehlt es sich, Vorrichtungen zu bauen, die die Lagerung der Solarzelle in definierten Winkeln erleichtern.

**Technikbezug:** Für die Frage, ob die Installation von Solarzellen auf dem Hausdach zu empfehlen ist, spielt die Ausrichtung eines Hausdachs zur Sonne eine entscheidende Rolle. Ein Schmutzfilm auf Solarzellen beeinträchtigt ihre Wirkung. Solarzellen müssen deshalb gereinigt werden.

## 2.4.2 Telexperiment 2: Kurzschlussstromstärke und Leerlaufspannung bei unterschiedlichem Abstand zur Lampe

Kern dieses Telexperiments ist die Untersuchung, wie sich Stromstärke und Spannung mit dem Abstand zur Lampe verändern. Dieser Versuch führt damit in eine quantitative Beschreibung von Solarzellen und in die Begriffe Leerlaufspannung und Kurzschlussstromstärke ein. Das grundsätzliche Messprinzip wird im Telexperiment 4 wieder verwendet. Die Messkurven machen deutlich, dass die Stromstärke wesentlich sensibler von der Beleuchtung abhängt als die Spannung. Die Abbildungen 1 und 2 dienen zur Orientierung hinsichtlich der erwartbaren Messergebnisse und der Genauigkeit. Sie geben außerdem einen Einblick, in welchen Entfernungen zur Lampe sinnvolle Messungen durchführbar sind (siehe Abb. 1 und Abb. 2).

### Transfer

Der unterschiedliche Abstand zur Lampe ist gleichbedeutend mit unterschiedlich intensiver Bestrahlung. Das Ergebnis lässt sich auf den ersten Versuch übertragen. Bei Abschattung des Lichtes sinkt vor allem die Stromstärke drastisch ab. Die Lehrkraft sollte auf die Gesetzmäßigkeit „Abfall der Beleuchtungsstärke mit dem Quadrat der Entfernung“ hinweisen (siehe Abb. 1).

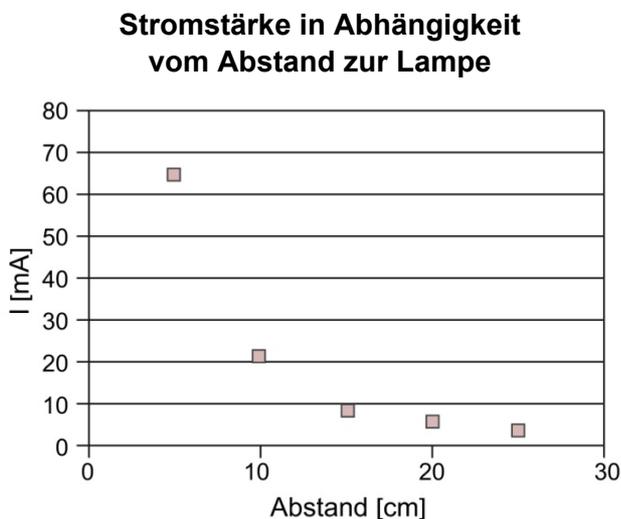


Abb. 1: Bereits in einem Abstand von 10 cm ist die Stromstärke drastisch abgefallen.

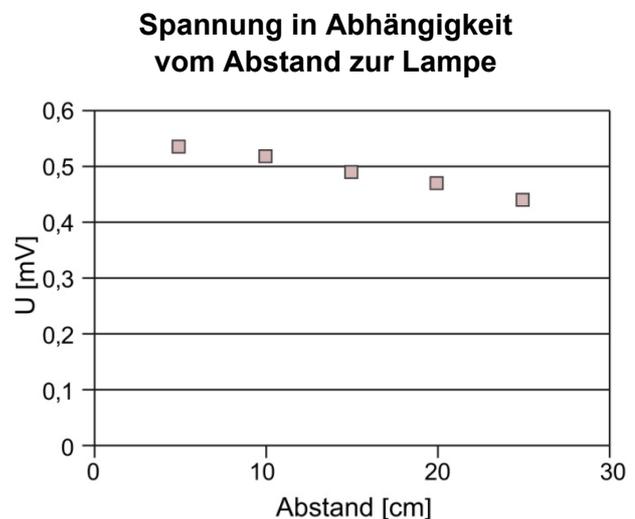


Abb. 2: Die Spannung klingt mit dem Abstand zur Lampe nur mäßig ab. Der Verlauf der Kurve ist näherungsweise linear.

## 2.4.3 Telexperiment 3: Was passiert, wenn man Solarzellen in Reihe oder parallel schaltet?

Dieses Experiment geht der Frage nach, wie Solarzellen zu verschalten sind, um die Leistung eines angeschlossenen Gerätes (hier am Beispiel des Solarmotors) zu verbessern. Das Ergebnis des Experiments ist entscheidend davon abhängig, in welcher Entfernung zur Lampe es durchgeführt wird. Während in relativer Nähe zur Lampe die Parallelschaltung die deutlich höhere Drehzahl des Motors liefert, ist in größerer Entfernung die Reihenschaltung günstiger. Bei der hier vorgeschlagenen Variante messen die Schülerinnen und Schüler in relativer Nähe zur Lampe. Die Solarzelle arbeitet dann nahe an ihrem optimalen Leistungsbereich. Dies entspricht etwa den Gegebenheiten unter Sonneneinstrahlung. Das Experiment zeigt, dass unter diesen Bedingungen und bei diesem Solarmotor als Verbraucher die Parallelschaltung wesentlich günstiger ist als die Reihenschaltung. Denn mit abnehmender Beleuchtungsstärke sinkt der Solarstrom und der Innenwiderstand der Solarzelle steigt an. (Beim Experiment mit einer hellen Schreibtischlampe sinkt die Beleuchtungsstärke mit dem Quadrat der Entfernung zur Lichtquelle).

Dies steht im Widerspruch zu typischen Erfahrungen mit der Verschaltung von Batterien. Erst wenn man die Solarzelle als Spannungsquelle mit einem Innenwiderstand modelliert, wird die Beobachtung verständlich: Bei einer Reihenschaltung verdoppelt sich der Innenwiderstand, während er sich bei einer Parallelschaltung halbiert. Der Innenwiderstand einer Solarzelle ist jedoch größer als  $20\ \Omega$  (siehe Telexperiment 6) und liegt damit in der Größenordnung des halben Motorwiderstands. Im Vergleich dazu haben z. B. Alkalimangan-Mignon-Batterien einen sehr geringen Innenwiderstand in der Größenordnung von  $0,1\ \Omega$ , der sich im Vergleich zum Lastwiderstand der üblichen Verbraucher wie z. B. Spielzeuge oder Musikgeräte kaum bemerkbar macht. Die Reihenschaltung von zwei (nicht überlasteten) Batterien hat deshalb doppelte Spannung und doppelte Leistung zur Folge.

**Technikbezug:** Die Parallelschaltung von Solarzellen sorgt für die Bereitstellung einer ausreichenden Stromstärke. Bei der technischen Verschaltung von Solarzellen wird diese Möglichkeit genutzt. Die Reihenschaltung bietet im Vergleich dazu die Möglichkeit, eine für bestimmte Zwecke nötige Mindestspannung bereitzustellen (z. B. das Laden einer Akkuzelle benötigt ca. 2 Volt). Die Parallelschaltung bietet darüber hinaus die Möglichkeit, die Abschattung von einzelnen Zellen innerhalb der Module zu kompensieren (siehe Telexperiment 5). Bei der technischen Verschaltung von Solarzellen zu Solarmodulen werden innerhalb der Module beide Schaltungsarten genutzt. Werden Solarspielzeuge mit mehreren Solarzellen versorgt, bietet sich je nach Motor die Parallelschaltung oder die Kombination von Parallel- und Reihenschaltung an.

#### 2.4.4 Telexperiment 4: Stromstärke und Spannung bei der Reihen- und Parallelschaltung von Solarzellen

Dieses Experiment untersucht die Reihen- und Parallelschaltung von Solarzellen unter den idealisierten Bedingungen eines fehlenden Verbrauchers. Unter diesen Bedingungen sind die Verhältnisse relativ einfach. Die Reihenschaltung liefert eine Verdopplung der Leerlaufspannung, während sich bei einer Parallelschaltung die Kurzschlussstromstärke verdoppelt. Es liegt nahe, das Produkt aus Kurzschlussstromstärke und Leerlaufspannung als Leistung zu interpretieren. Da es sich jedoch bei Kurzschluss und Leerlauf um Messungen unter grundsätzlich unterschiedlichen Bedingungen handelt, können die Werte nicht zu einer Leistung verrechnet werden. Zur Leistung der Solarzelle kann das Telexperiment 6 Aufschluss geben.

#### Transfer

Bei der Verschaltung von Solarzellen zu größeren Solarmodulen können durch unterschiedliche Kombination von Reihen- und Parallelschaltung verschiedene Stromstärken und Spannungen bereitgestellt werden. So bestünde z. B. ein Gesamtmodul mit 24 Volt und 100 Watt aus ca. 1008 elementaren  $0,5\ \text{V}/200\ \text{mA}$ -Zellen.

### 2.4.5 Telexperiment 5: Wie verhalten sich Solarzellen in Reihen- oder Parallelschaltung bei Abschattung?

Dieses Experiment geht der Frage nach, wie sich eine teilweise Abschattung der Solarzellen auf die Stromstärke und Spannung der verschiedenen Schaltungen von zwei Solarzellen auswirkt. Dabei wird die Abschattung realisiert, indem entweder beide Zellen zur Hälfte abgedeckt werden oder eine der beiden Zellen vollständig abgedeckt wird. Die Tabelle zeigt Beispielwerte:

	Parallelschaltung		Reihenschaltung	
	U [V]	I [mA]	U [V]	I [mA]
nicht abgedeckt	0,52	38	1,03	19
beide halb abgedeckt	0,49	23	0,97	12,5
eine vollständig abgedeckt	0,49	23	0,93	3,8

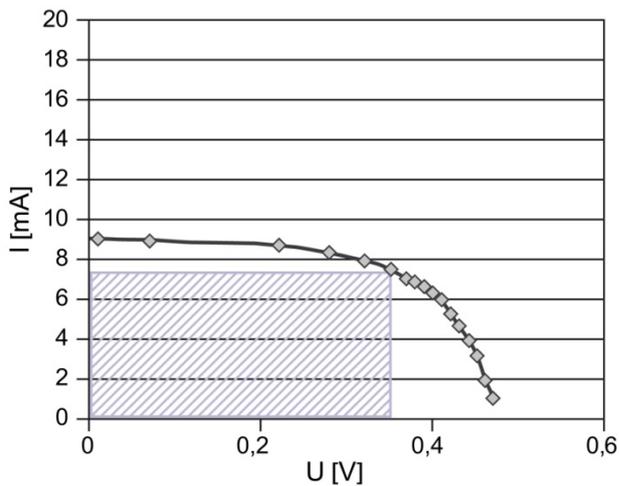
**Technikbezug:** Für den Aufbau von Solarmodulen werden Solarzellen in Reihe geschaltet und die Reihen wiederum parallel. Damit kann die unterschiedliche Abschattung und der Ausfall einzelner Zellen kompensiert werden.

Die Lehrkraft sollte allerdings darauf hinweisen, dass in großen Solarmodulen die Reihenschaltung bei Abschattung oder Ausfall von Zellen auch Gefahren birgt. Wird nämlich eine einzelne Zelle in einer größeren Reihe abgeschattet, produziert sie keinen Strom, sondern stellt einen Widerstand dar, an dem die gesamte Spannung der Reihe abfällt. Dies kann zum Durchschmoren der Zelle führen. Einzelne Zellen werden deshalb i. d. R. durch Bypassdioden überbrückt. Diese ganz normale Schaltodiode wird parallel zur Zelle verschaltet und zwar so, dass sie im Belichtungsfall (wegen Unterschreiten ihrer Schaltspannung) inaktiv ist. Im Abschattungsfall oder bei defekter Zelle schaltet sie durch und der von den anderen Zellen der Reihe gelieferte Strom kann dann über die Diode fließen.

### 2.4.6 Telexperiment 6: Optimierung der Leistung von Solarzellen

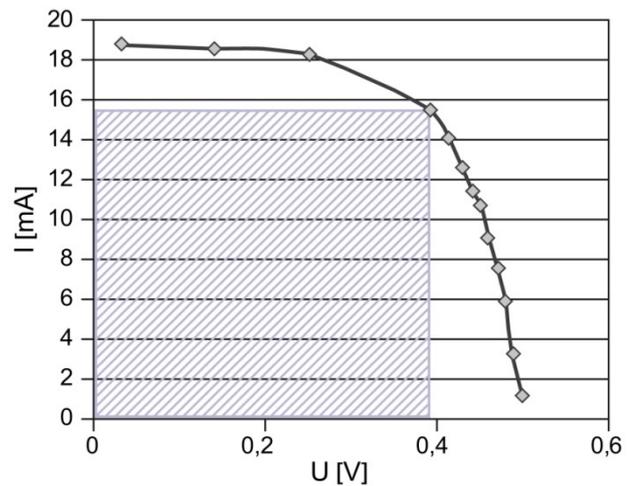
Mit diesem Telexperiment wird der Begriff des MPP (Maximum Power Point) eingeführt und illustriert. Damit ist der Punkt in der U-I-Kennlinie bezeichnet, bei dem die Leistung der Solarzelle maximal ist. Die U-I-Kennlinie und der MPP charakterisieren die Leistungsmerkmale einer Solarzelle (siehe Datenblatt einer typischen Solarzelle unter „Ergänzende Informationen zum Experiment“). Zur Aufnahme der U-I-Kennlinie werden im Experiment Stromstärke und Spannung an einem veränderbaren Widerstand gemessen. Das Maximum der Leistung wird zur Vereinfachung aus den Messwerten (und nicht aus der Messkurve) bestimmt.

Mit dem Modell einer Solarzelle als Spannungsquelle mit Innenwiderstand lässt sich zeigen, dass die Leistung am Verbraucher maximal wird, wenn der Widerstand des Verbrauchers dem Innenwiderstand der Solarzelle gleicht. (In leistungsstarken Lerngruppen lässt sich dies ggf. durch eine Simulationssoftware nachweisen.) Setzt man dies als gegeben an, kann über den MPP auch der Innenwiderstand der Solarzelle bestimmt werden. Abb. und Abb. geben einen Eindruck von den erwartbaren Messwerten.

**U-I-Kennlinie (15 cm Abstand)**

Maximale Leistung  $P = 2,6 \text{ mW}$   
 Innenwiderstand  $R = 47 \Omega$

Abb. 3: U-I-Kennlinie bei einer Messung im Abstand von 15 cm zur Lampe. Das schraffierte Quadrat symbolisiert die Leistung.

**U-I-Kennlinie (10 cm Abstand)**

Maximale Leistung  $P = 6,0 \text{ mW}$   
 Innenwiderstand  $R = 25 \Omega$

Abb. 4: U-I-Kennlinie bei einer Messung im Abstand von 10 cm zur Lampe. Der Unterschied im Kurvenverlauf ist deutlich sichtbar. Der Innenwiderstand ist im Vergleich zu Abb. 3 verringert.

Als Erweiterung zu Teilerperiment 6 kann der MPP zusätzlich für die Reihen- und Parallelschaltung bestimmt werden. Dabei lässt sich eine ungefähre Verdopplung der maximalen Leistung bei Verwendung von zwei Solarzellen feststellen, unabhängig von der Schaltung (für 15 cm Abstand zur Lampe von 2,6 mW auf 4,8 mW, für 10 cm Abstand zur Lampe von 6 mW auf 10,5 mW).

### Transfer

In großtechnischen Anlagen wird der Widerstand der Abnehmerseite elektronisch entsprechend den Beleuchtungsverhältnissen nachgeregelt, um die Leistung der Solarzellen zu optimieren.

## 2.5 Durchführungsvarianten

Alle Teilerperimente können bis auf Teilerperiment 2 auch im Sonnenlicht durchgeführt werden. Dabei müssen die Beleuchtungsverhältnisse allerdings konstant gut sein. Die dargestellten Teilerperimente bauen sachlogisch aufeinander auf. Es können aber problemlos auch Teilerperimente ausgelassen werden. Eine Vertauschung der Reihenfolge in der Durchführung von Teilerperiment 3 und 4 ist möglich.

Die Anzahl der Schülerinnen und Schüler pro Gruppe sollte nicht zu groß sein (maximal drei pro Gruppe), da sonst nicht alle Gruppenmitglieder aktiv experimentieren können.

## 3 Ergänzende Informationen zum Experiment

Zur Vorbereitung bzw. zur Vertiefung dieses Experiments finden Sie ergänzende Medien auf dem Medienportal der Siemens Stiftung: <https://medienportal.siemens-stiftung.org>

Zudem widmet sich das Medienpaket „Solarthermie und Photovoltaik – Energien mit Zukunft“ ausführlich den fachlichen Grundlagen und technischen Anwendungen des Experiments.

Im „Leitfaden Naturwissenschaften, Technik und Werte“ finden Sie zu diesem Experiment eine passende Impulsfrage und Dilemmageschichte zur Herstellung des Wertebezugs.

## 4 Hinweise zur Durchführung der Teilerperimente

### 4.1 Räumlichkeiten

Die Experimente können unter Verwendung mehrerer Schreibtischlampen in jedem Klassenraum von den Schülerinnen und Schülern durchgeführt werden. Einfallendes Sonnenlicht beeinflusst die Messungen ggf. wesentlich. Mit Ausnahme von Teilerperiment 2 sind die Messungen auch im Sonnenlicht durchführbar.

### 4.2 Zeitbedarf

Die folgenden Zeitangaben sind ungefähre Richtwerte. Die Zeit für die Auswertung und die Beantwortung der Fragen schließt auch eine kurze Besprechung mit der Lehrkraft ein.

	Vorbereitung und Durchführung	Auswertung, Fragen
Teilerperiment 1	15 min	15 min
Teilerperiment 2	20 min	20 min
Teilerperiment 3	15 min	20 min
Teilerperiment 4	20 min	20 min
Teilerperiment 5	20 min	30 min
Teilerperiment 6	30 min	20 min

### 4.3 Sicherheitsaspekte

Die Versuche dürfen nur bei Anwesenheit und unter Aufsicht der Lehrkraft durchgeführt werden. Die Schülerinnen und Schüler sind darauf hinzuweisen, dass die bereitgestellten Materialien nur entsprechend den jeweiligen Anweisungen eingesetzt werden dürfen.

### 4.4 Benötigte Materialien

Die richtige Verkabelung und die richtige Benutzung von Multimeter und Motor sollten je nach Kenntnisstand der Schülerinnen und Schüler von der Lehrkraft vorab erklärt, ggf. demonstriert werden. Für **eine** Schülergruppe werden folgende Materialien benötigt:

Material	Anzahl
Materialien unterschiedlicher Transparenz (z. B. Overheadfolie, Transparentpapier)	nach Belieben
Pappe zum Fixieren der Solarzellen	1
Digitalmultimeter	2
Gummiband (zum Fixieren der Solarzellen)	2
Lineal (30 cm)	1
Messkabel-Set Banane/Kroko, je rot und schwarz	2
Papier, schwarz, DIN A4	1
Potentiometer, 470 Ohm	1
Propeller (für Solarmotor groß)	1
Schere	1
Helle Schreibtischlampe	1
Solarmotor groß, Eisenanker, 0,4 V/25 mA	1
Solarzelle, 0,5 V/150 mA	2
Verbindungskabel Kroko/Kroko	6



Abb. 5: Materialien für eine Schülergruppe, beispielhafte Abbildung.

#### 4.5 Aufräumen, Entsorgen, Recyceln

Fast alle verwendeten Geräte und Materialien sind wiederverwendbar. Daher sollten sie nach Beendigung des jeweiligen Experiments ordentlich aufgeräumt werden. So stellen Sie sicher, dass Sie bzw. Ihre Kolleginnen und Kollegen beim nächsten Einsatz alles schnell wiederfinden.

Geräte, die beim Experimentieren verschmutzt wurden, wie z. B. Becher, Schalen, Löffel, Reagenzgläser, sollten vor dem Zurücklegen erst gereinigt werden. Sinnvollerweise lässt man dies die Schülerinnen und Schüler gleich nach Beendigung des Experiments erledigen.

Stellen Sie zudem sicher, dass die Geräte wieder für den nächsten Einsatz betriebsbereit sind.

Beispielsweise sind benutzte Akkus gleich aufzuladen (Auch bei längerer Nichtbenutzung ist das Aufladen der Akkus sinnvoll.).

Materialien, die nicht wiederverwendbar sind, wie z. B. gebrauchte pH-Messstäbchen oder Filterpapier, sollten fachgerecht entsorgt werden.

Die Entsorgung der in diesem Experiment anfallenden Abfälle kann über den normalen Hausmüll bzw. den Ausguss erfolgen.



# A5 Eigenschaften von Solarzellen – Spannung, Strom und Leistung

## 1 Erste Erkundungen mit der Solarzelle

### 1.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Lineal	1
Overheadfolie	1
Papier, schwarz, DIN A4	1
Propeller (für Solarmotor groß)	1
Schreibpapier	1
Helle Schreibtischlampe*	1
Solarmotor groß, Eisenanker, 0,4 V/25 mA	1
Solarzelle, 0,5 V/150 mA	1
Transparentpapier	1
Verbindungskabel Kroko/Kroko	4

\*Der Versuch kann auch in direktem Sonnenlicht durchgeführt werden!

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

### 1.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht. Lampen werden sehr heiß und dürfen deshalb nicht berührt werden.

### 1.3 Versuchsdurchführung

- Falls die Solarzelle noch nie verwendet wurde, bitte die Schutzfolie abziehen.
- Schließe die Verbindungskabel an die Solarzelle an. Achte darauf, dass sich die Klemmen nicht berühren, sonst gibt es einen Kurzschluss.

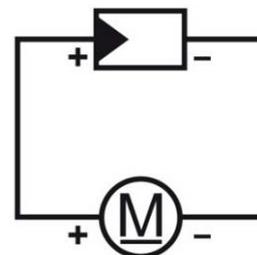


Abb. 1: Schaltplan.

- Schließe nun über die noch freien Krokodilklemmen den Motor mit aufgestecktem Propeller an die Solarzelle an.
  - Lege oder halte die Solarzelle so ins Licht, dass das Licht senkrecht auf sie auftrifft.
  - Bestimme mit dem Lineal den Abstand zur Lichtquelle (bei einer 20 Watt Lampe in der Regel ca. 15 cm), bei dem der Elektromotor „schön schnell“ läuft.
  - Behalte diesen Abstand bei den weiteren Experimenten exakt bei!
  - Überprüfe, wie die Verbindung sein muss, damit sich der Propeller im Uhrzeigersinn dreht.
- 
- Verändere die Beleuchtungsverhältnisse, indem du die Fläche der Solarzelle mit dem schwarzen Papier schrittweise abdeckst.
  - Untersuche die Abhängigkeit der Drehgeschwindigkeit des Motors vom Einstrahlwinkel, indem du die Solarzelle im Licht drehst (ohne Abdeckung mit schwarzem Papier).
  - Halte andere, durchsichtige oder durchscheinende Materialien vor die Solarzelle.
  - Überprüfe jeweils den Einfluss auf die Drehgeschwindigkeit des Motors.



Abb. 2: Der Versuchsaufbau.

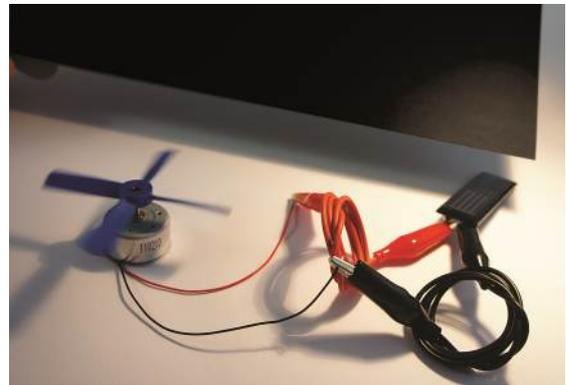


Abb. 3: Abschattung der Solarzelle mit schwarzem Papier.

## 1.4 Beobachtung

Tausche dich über deine Beobachtungen mit deinem Nachbarn aus und fasse sie schriftlich zusammen.

## 1.5 Auswertung

Zähle auf, welche Einflussfaktoren die Leistung einer Solarzelle bestimmen.

## 1.6 Fragen

Erläutere, wie Solarzellen an Häusern anzubringen sind, damit sie möglichst effektiv genutzt werden können.

## 2 Kurzschlussstromstärke und Leerlaufspannung bei unterschiedlichem Abstand zur Lampe

Dieser Versuch funktioniert nur mit einer Lampe und nicht mit Sonnenlicht.

### 2.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Digitalmultimeter	1
Lineal	1
Messkabel-Set Banane/Kroko, je rot und schwarz	1
Helle Schreibtischlampe	1
Solarzelle, 0,5 V/150 mA	1

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

### 2.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht. Lampen werden sehr heiß und dürfen deshalb nicht berührt werden.

### 2.3 Versuchsdurchführung

- Schließe das Multimeter an die Solarzelle an. Verwende für die Spannungsmessung den Bereich 2.000 mV und für die Strommessung den Bereich 200 mA. Messe mit einem Multimeter und schalte zwischen Spannung und Strom einfach am Messgerät um.
- Verändere mithilfe des Lineals den Abstand der Solarzelle zur Lampe in Schritten von 5 cm. Beginne mit Abstand 5 cm.
- Miss für jeden Abstand die Spannung (Leerlaufspannung) an der Solarzelle und die Stromstärke (Kurzschlussstromstärke). Notiere jeweils den Wert, der bei dem gegebenen Abstand zu erreichen ist.

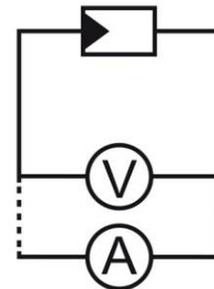


Abb. 4: Schaltplan. Messung mit einem Multimeter durch Umschalten des Messbereichs von Spannung (V) auf Stromstärke (A).



Abb. 5: Messung der Spannung bei unterschiedlichem Abstand.

## 2.4 Beobachtung

Trage die Messwerte jeweils in ein Diagramm ein (Abstand-Stromstärke bzw. Abstand-Spannung).

## 2.5 Auswertung

- a) Beschreibe, wie der Abstand und damit die Beleuchtungsstärke die gemessene Stromstärke und Spannung beeinflussen.
- b) Nenne, was sich bei veränderten Lichtverhältnissen stärker verändert: Die Stromstärke oder die Spannung.

## 2.6 Fragen

Man kann eine Solarzelle dazu benutzen, die Beleuchtungsverhältnisse an einem Ort zu messen. Welche Größe eignet sich dafür besser, die Stromstärke oder die Spannung? Begründe deine Antwort.

### 3 Was passiert, wenn man Solarzellen in Reihe oder parallel schaltet?

#### 3.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Gummibänder	2
Propeller (für Solarmotor groß)	1
Solarmotor groß, Eisenanker, 0,4 V/25 mA	1
Solarzellen, 0,5 V/150 mA	2
Pappe	1
Schere	1
Helle Schreibtischlampe*	1
Verbindungskabel Kroko/Kroko	6

\*Der Versuch kann auch in direktem Sonnenlicht durchgeführt werden!

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

#### 3.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht. Lampen werden sehr heiß und dürfen deshalb nicht berührt werden.

#### 3.3 Versuchsdurchführung

- Schneide einen Pappstreifen so, dass zwei Solarzellen nebeneinander auf ihm Platz finden. Die Solarzellen müssen unten und oben etwas überstehen, damit du sie mithilfe der Gummibänder montieren kannst (siehe Abb. 6). (Zweck: Gleicher Winkel und gleiche Helligkeit für beide Zellen während der Messung.)
- Verbinde eine der beiden Solarzellen mit dem Solarmotor (mit aufgestecktem Propeller). Stelle die Entfernung zur Lampe so ein, dass der Motor sich gerade dreht. Achte darauf, dass es während des Bewegens der Solarzellen zu keinem Kontakt der Krokoklemmen kommt, die an den Solarzellen angeschlossen sind, damit kein Kurzschluss entsteht (sonst sind Spannung und Strom Null!)
- Schalte nun die andere Solarzelle parallel (siehe Abb. 8). Vergleiche die Drehgeschwindigkeit.



Abb. 6: Montage der Solarzellen auf einen Pappstreifen.

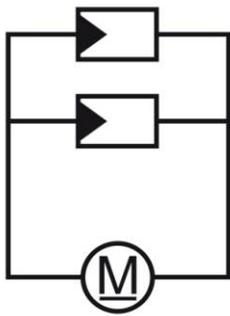


Abb. 7: Schaltplan für parallele Verkabelung.

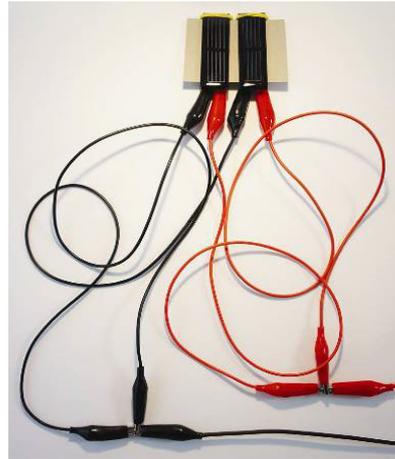


Abb. 8: Verkabelung bei paralleler Schaltung. Die zweite Solarzelle nicht direkt an der ersten anschließen (Gefahr von Wackelkontakt und Kurzschluss)! Stattdessen über Kreuzungspunkt der Kabel anschließen.

- Schalte nun die Solarzellen in Reihe („seriell“, siehe Abb. 11) und vergleiche nochmals die Drehgeschwindigkeit.

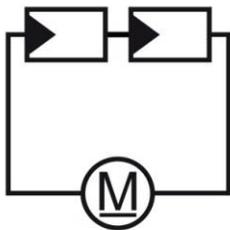


Abb. 9: Schaltplan für serielle Verkabelung.

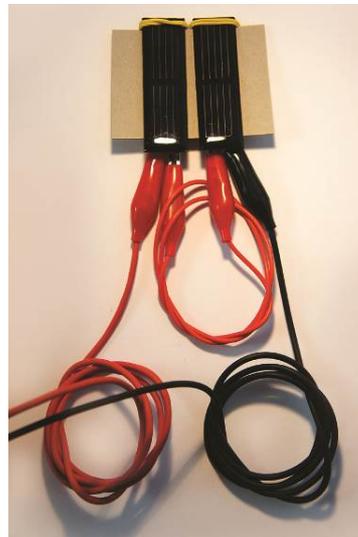


Abb. 10: Verkabelung bei serieller Schaltung.

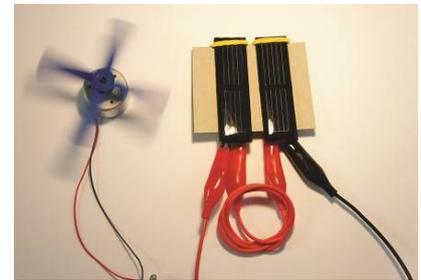


Abb. 11: Betrieb des Motors in serieller Schaltung.

### 3.4 Beobachtung

Fasse deine Beobachtungen schriftlich zusammen.

### 3.5 Auswertung

Wenn zwei Solarzellen verwendet werden, wird doppelt so viel elektrische Energie aus dem Licht erzeugt. Eigentlich würde man erwarten, dass der Solarmotor sich – unabhängig von der Verschaltung – mit zwei Solarzellen immer deutlich schneller dreht als mit einer. Erkläre, woran es liegen könnte, dass je nach Schaltung ein unterschiedlich großer Anteil der Energie bei dem Motor ankommt. (Tipp: Innenwiderstand der Solarzelle)

### 3.6 Fragen

- Erkläre, warum sich die Leistung der Solarzelle bei Parallel- und Reihenschaltung unterschiedlich verhält.
- Vergleiche dies mit dem Verhalten von zwei Mignonzellen, die man parallel oder in Reihe schaltet.

## 4 Stromstärke und Spannung bei der Reihen- und Parallelschaltung von Solarzellen

Das Experiment ist die Fortsetzung von Teilerperiment 3, jetzt aber mit Messung von Stromstärke und Spannung.

### 4.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Digitalmultimeter	1
Gummibänder	2
Messkabel-Set Banane/Kroko, je rot und schwarz	1
Pappe	1
Helle Schreibtischlampe*	1
Solarzellen, 0,5 V/150 mA	2
Verbindungskabel Kroko/Kroko	4

\*Der Versuch kann auch in direktem Sonnenlicht durchgeführt werden!

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

### 4.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht. Lampen werden sehr heiß und dürfen deshalb nicht berührt werden.

### 4.3 Versuchsdurchführung

- Bringe eine Solarzelle in eine Entfernung von 10 cm zur Lampe (oder zu hellem Sonnenlicht). Miss die Kurzschlussstromstärke und die Leerlaufspannung der einzelnen Solarzelle.
- Verbinde nun zwei Solarzellen parallel. Miss Kurzschlussstromstärke und Leerlaufspannung der Parallelschaltung.
- Wiederhole die Messung für eine Reihenschaltung aus zwei Solarzellen.

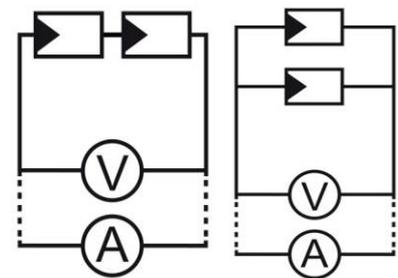


Abb. 12: Schaltpläne Reihenschaltung (links) und Parallelschaltung (rechts).

### 4.4 Beobachtung

- Erstelle eine Tabelle nach folgendem Muster und trage die Messwerte ein:

	Spannung [V]	Stromstärke [A]
Einzelne Zelle		
2 Zellen parallel		
2 Zellen in Reihe		

- Wie lässt sich das Verhalten von Stromstärke und Spannung bei Parallel- und Reihenschaltung im Vergleich zu einer einzelnen Solarzelle näherungsweise beschreiben?

## 4.5 Auswertung

Vergleiche das Ergebnis dieses Telexperiments mit dem von Telexperiment 3 (Was passiert, wenn man Solarzellen in Reihe oder parallel schaltet?) und erkläre die Unterschiede.

## 4.6 Fragen

Begründe, warum das Produkt aus Kurzschlussstromstärke und Leerlaufspannung nicht die wirkliche Leistung der Solarzelle ergibt.

## 5 Wie verhalten sich Solarzellen in Reihen- oder Parallelschaltung bei Abschattung?

Es werden wieder die auf Pappe montierten Solarzellen verwendet wie schon bei Telexperiment 3 und 4.

### 5.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Digitalmultimeter	1
Gummibänder	2
Messkabel-Set Banane/Kroko, je rot und schwarz	1
Papier, schwarz, DIN A4	1
Pappe	1
Helle Schreibtischlampe*	1
Solarzellen, 0,5 V/150 mA	2
Verbindungskabel Kroko/Kroko	4

\*Der Versuch kann auch in direktem Sonnenlicht durchgeführt werden!

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

### 5.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht. Lampen werden sehr heiß und dürfen deshalb nicht berührt werden.

### 5.3 Versuchsdurchführung

- Verbinde zwei Solarzellen parallel. Bringe sie in eine Entfernung von etwa 10 cm zur Lampe.
- Miss Kurzschlussstromstärke und Leerlaufspannung der Parallelschaltung.
- Decke die beiden Solarzellen mit dem schwarzen Papier nacheinander so ab, dass ihre Flächen zur Hälfte bedeckt sind (siehe Skizze Abb. 14)



Abb. 13: Teilweise Abschattung einer der beiden Solarzellen.

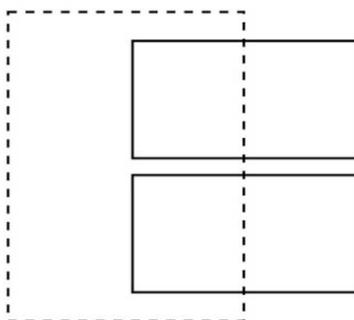


Abb. 14: Teilweise Abschattung beider Solarzellen.

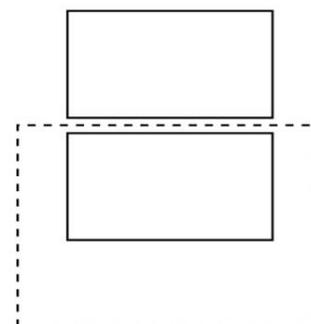


Abb. 15: Abschattung nur einer Solarzelle.

- Decke nun eine der beiden Solarzellen komplett ab (siehe Skizze Abb. 15).  
Vergleiche die Ergebnisse.
- Wiederhole die Messungen für eine Reihenschaltung aus zwei Solarzellen.

## 5.4 Beobachtung

Erstelle eine Tabelle nach folgendem Muster und trage die Messwerte ein:

	Parallelschaltung		Reihenschaltung	
	U [V]	I [mA]	U [V]	I [mA]
nicht abgedeckt				
beide halb abgedeckt				
eine vollständig abgedeckt				

## 5.5 Auswertung

Berechne jeweils das Produkt aus Kurzschlussstromstärke und Leerlaufspannung.

## 5.6 Fragen

- Begründe, warum für die Herstellung von Solarmodulen Solarzellen in Reihe geschaltet werden und diese Reihen wiederum parallel geschaltet werden.
- Auf einer Internetseite zur Solartechnik findet man den Satz: „Bei der Reihenschaltung bestimmt das schwächste Modul die Gesamtleistung.“ Erläutere, was damit gemeint ist. Formuliere einen entsprechenden Satz für die Parallelschaltung.
- Tina möchte am Solarwettbewerb teilnehmen. Dazu muss sie ein Boot bauen, das mit einem Ventilator angetrieben wird. Sie darf maximal 4 Solarzellen (0,5 Volt, 100 mA) verwenden. Der Motor hat eine Anlaufspannung von 0,6 Volt und einen Anlaufstrom von 25 mA. Zu welcher Schaltung würdest du ihr raten, damit das Boot höchste Schnelligkeit erreicht? Begründe deine Antwort.

## 6 Optimierung der Leistung von Solarzellen

### 6.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Digitalmultimeter	2
Messkabel-Sets Banane/Kroko, je rot und schwarz	2
Potentiometer, 470 Ohm	1
Helle Schreibtischlampe*	1
Solarzelle, 0,5 V/150 mA	1
Verbindungskabel Kroko/Kroko	6

\* Der Versuch kann auch in direktem Sonnenlicht durchgeführt werden!

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

### 6.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht. Lampen werden sehr heiß und dürfen deshalb nicht berührt werden.

### 6.3 Versuchsdurchführung

**Hinweis:** Das Potentiometer ist ein regelbarer Widerstand. Ein Schleifkontakt greift entlang einer Widerstandsstrecke den gewünschten Wert ab.

- Baue eine Schaltung gemäß dem Schaltplan in Abb.16 auf. Verwende dazu ein zweites Digitalmultimeter, so dass du gleichzeitig Stromstärke und Spannung messen kannst.

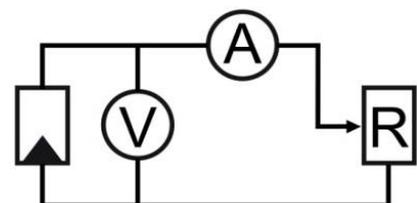


Abb. 16: Schaltplan für die Leistungsmessung der Solarzelle. Je kleiner der Widerstand, desto mehr Strom sollte bei konstanter Spannung fließen. Doch bleibt die Spannung konstant?

- Bringe die Solarzelle in ca. 5 cm Abstand zur Lampe.
- Verändere den Widerstand durch Drehen am Potentiometer so, dass die maximale Spannung angezeigt wird. (In der Regel mehr als 0,5 Volt.)
- Lies nun die zugehörige Stromstärke ab.
- Stelle dann eine ca. 0,1 Volt geringere Spannung durch Drehen am Potentiometer ein und miss wieder die zugehörige Stromstärke. Wiederhole das, bis die Spannung auf null geht.



Abb. 17: Anschluss am Potentiometer über einen seitlichen Kontakt und den mittleren Kontakt.

## 6.4 Beobachtung

Erstelle eine Tabelle nach folgendem Muster und trage die Messwerte ein:

Messung	Spannung [V]	Stromstärke [A]	Widerstand [ $\Omega$ ]	Leistung [W]
1				
2				
...				

## 6.5 Auswertung

- Zeichne das U-I-Diagramm.
- Für jeden einzelnen Messwert kann man den Widerstand des Potentiometers bestimmen sowie die elektrische Leistung, die die Solarzelle an den Widerstand abgegeben hat. Trage die Werte als zusätzliche Spalten in die Tabelle ein.
- Bestimme den Messpunkt, bei dem die maximale Leistung entnommen wurde. Diesen Punkt nennt man den Maximum Power Point (MPP).

## 6.6 Fragen

Die maximale Leistung wird entnommen, wenn der Widerstand eines Gerätes genau so groß ist wie der Innenwiderstand der Solarzelle. Der Innenwiderstand ist nicht konstant, sondern von der Beleuchtung abhängig. Um bei schlechteren Beleuchtungsverhältnissen eine maximale Leistung zu entnehmen, muss der Widerstand deshalb verändert werden. Entwirf ein Experiment, mit dem du prüfen kannst, ob der Widerstand des Gerätes vergrößert oder verringert werden muss, wenn sich die Beleuchtungsverhältnisse ändern.

# **Anleitungen Umwelt**



## Inhaltsverzeichnis

### B Umwelt

- B1 Wasserkreislauf – Verdunstung an Pflanzenblättern
- B2 Treibhauseffekt im Trinkbecher – Ein Modell zur Klimaänderung
  - 1 Welchen Einfluss hat die Abgeschlossenheit des Gefäßes auf die Temperatur? – Messungen im offenen Becher
  - 2 Welchen Einfluss hat die Abgeschlossenheit des Gefäßes auf die Temperatur? – Messungen im geschlossenen Becher
  - 3 Welchen Einfluss hat die Farbe des Absorbers? – Messungen im geschlossenen Becher mit schwarzem Absorber
  - 4 Welchen Einfluss hat die Farbe des Absorbers? – Messungen im geschlossenen Becher mit Alu-Absorber
- B3 Wie funktioniert die Mülltrennung? – Stofftrennung nach Dichte und Magnetismus
  - 1 Trennung eines Feststoffgemenges aus Sand und Eisen
  - 2 Können wir eine Sand-Kunststoff-Wasser-Salz-Mischung trennen?
  - 3 Prinzip der Trennung von Aluminium von anderen Nicht-Eisen-Metallen
- B4 Wir gewinnen Trinkwasser – Methoden der Wasserreinigung
  - 1 Grobe Reinigung des verschmutzten Wassers mit Quarzsand, Aktivkohle und Filterpapier
  - 2 Feinreinigung von Wasser mit Membranfilter
  - 3 Feinreinigung von Wasser mit Hohlfasermembranfilter
- B5 Wir bauen ein thermisches Sonnenkraftwerk – Mit Brennglas und Spiegel
  - 1 Entzünden eines Papierstreifens mit der Lupe als Brennglas
  - 2 Wir erwärmen Wasser mit der Sonne
- B6 Erneuerbare Energien – Sonne, Wasser, Wind, Wasserstoff und Brennstoffzelle
  - 1 Elektrische Energie aus der Strahlungsenergie des Lichts
  - 2 Elektrische Energie aus Wasserkraft
  - 3 Elektrische Energie aus Windenergie
  - 4 Umwandlung von elektrischer Energie in chemische Energie und umgekehrt
- B7 Kondensator, Wasserstoff, Redox-Flow – Wir speichern regenerative Energie
  - 1 Speicherung von elektrischer Energie in chemische Energie (Wasserstoff)
  - 2 Direkte Speicherung von elektrischer Energie in Kondensatoren
  - 3 Speicherung von elektrischer Energie in der Zinkiodid-Zelle (Redox-Flow)



# B1 Wasserkreislauf – Verdunstung an Pflanzenblättern

Dieses sehr einfache Experiment eignet sich hervorragend als Einstieg in die Themen des Geografieunterrichts Wasserkreislauf und Klima oder in die Themen des Biologieunterrichts Wasser als Lebensgrundlage und seine Bedeutung für den Stoffwechsel der Pflanzen. Aber auch in Physik und Chemie kann mit diesem Experiment das Thema Aggregatzustände mit einem lebensnahen Beispiel eröffnet werden.

## 1 Zentrale Fragestellung

Wie kommt der Wasserkreislauf zustande? Welche Rolle spielen dabei für das lokale Klima die Pflanzen? Welche Rolle spielt die Verdunstung im Stoffwechsel von Pflanzen? Im Experiment gehen wir der Frage nach, welchen Einfluss Temperatur und spezielle Blattausformungen darauf haben. Weiterführend sollen die Auswirkungen auf die menschlichen Lebensgrundlagen und das Klima durch die Umgestaltung der Agrikultur und die Besiedelung in den letzten 50 Jahren angesprochen werden.

## 2 Einordnung des Experiments in den Unterrichtszusammenhang

### 2.1 Fachliche Grundlagen

Das Experiment spannt einen weiten Bogen zwischen naturwissenschaftlichen Grundlagen (Verdunstung als Phasenübergang, Stoffwechsel der Pflanzen) und dem Wandel in der Agrikultur und Auswirkungen auf die Umwelt. Der komplexe Zusammenhang zwischen anthropogenen Einflüssen und Änderungen der natürlichen Lebensgrundlagen kann so exemplarisch und fächerübergreifend im Schulunterricht behandelt werden.

Es wird kein spezielles Fachwissen benötigt, welches über das naturwissenschaftliche Allgemeinwissen von 14-Jährigen hinausgeht. Der Charme des Experiments besteht darin, dass es alle Vorkenntnisse zusammenbringt und Wirkmechanismen zwischen ihnen aufzeigt. Falls aber z. B. bei jüngeren Schülerinnen und Schülern keine Kenntnisse über die Nutzung von Energiepflanzen vorhanden sind, könnten sie diese selbst in einem Blumentopf aufziehen und so kennenlernen. Eine weitergehende Vertiefung (Anbauflächen, Arten der (Mono-)Kultur) kann darauf aufbauend erfolgen.

### 2.2 Lehrplanrelevanz

#### 2.2.1 Altersstufe ab 11 Jahre

Biologie: Bedeutung von Kulturpflanzen, Anpassung an klimatische Verhältnisse  
Erdkunde: Veränderung der Erdoberfläche durch den Menschen (Landwirtschaft und Besiedelung), Maßnahmen zum Schutz der Erdoberfläche

#### 2.2.2 Altersstufe ab 12 Jahre

Biologie: Aufbau von Lebewesen aus Zellen, Stoffwechsel von Pflanzen  
Erdkunde: Klimafaktoren und Auswirkungen auf die Pflanzenwelt

#### 2.2.3 Altersstufe ab 13 Jahre

Erdkunde: Vegetationszonen

### 2.2.4 Altersstufe ab 14 Jahre

Physik/Chemie: Aggregatzustände und ihre Übergänge

Erdkunde: Landwirtschaftliche Produktion und Weltmarkt an Fallbeispielen

**Themen und Begriffe:** Agrikultur, Cuticula, Epidermis, Gasaustausch, Klima, Kulturpflanze, Spaltöffnungen (Stomata), Stoffwechsel von Pflanzen, Temperatur, Umwelt, Verdunstung, Wasserkreislauf

## 2.3 Kompetenzen

Die Schülerinnen und Schüler ...

- erfassen die Fragestellung des Experiments (Von welchen biologischen und klimatischen Faktoren hängt die Wasserabgabe von Pflanzen ab?) und gehen ihr arbeitsteilig nach.
- arbeiten dabei Zusammenhänge (zum Verdunsten braucht es Wärme, nicht alle Pflanzen verdunsten gleich viel Wasser) heraus und halten sie im Detail fest (Versuchsprotokolle).
- beschäftigen sich ggf. mit den weiterführenden Fragen und ziehen dabei eigenständig aus ihrem Wissen über Pflanzenwachstum und Landwirtschaft aus der Biologie, Erdkunde und Alltagserfahrungen Schlussfolgerungen auf Wirkzusammenhänge und bewerten deren Auswirkungen.

Die weiterführenden Fragen eignen sich ebenfalls gut dazu, einen Wertebezug herzustellen (*Umweltbewusstsein, Nachhaltigkeit, ...*).

## 2.4 Das Experiment im Erklärungszusammenhang

Verdunstung ist für Pflanzen lebensnotwendig: Durch das Zusammenwirken von Kapillarkräften (Adhäsion), Osmose und vor allem dem Transpirationssog kommt der Transport des Wassers mit den Nährsalzen (und je nach Jahreszeit u. a. auch mit den Kohlehydraten) von den Wurzeln zu den Blättern in Gang. Die Pflanze kann die Verdunstungsrate, welche auch von Wind, Luftfeuchte und Sonneneinstrahlung beeinflusst wird, steuern:

Ihre Blätter sind von einer Hülle aus Epidermiszellen umgeben, welche durch eine Wachsschicht (Cuticula) auf der Außenseite geschützt ist und für Wasserdampf (genauso wie für Sauerstoff und CO<sub>2</sub>) schlecht durchdringbar ist. Durch Spaltöffnungen (Stomata) erfolgt der Gasaustausch nach außen. Diese Spaltöffnungen bestehen aus zwei bohnenförmigen Schließzellen, durch die das Blatt den Gasaustausch regulieren und somit auch die Verdunstungsrate im Bereich von zwei Größenordnungen steuern kann.

Pflanzen sind an klimatische Bedingungen angepasst. So haben Kakteen z. B. eine robuste Epidermisschicht mit sehr dicker Cuticula und nur sehr wenige Spaltöffnungen. Bei Tomatenblättern verhält es sich genau umgekehrt, sie benötigen deshalb auch sehr viel Wasser.

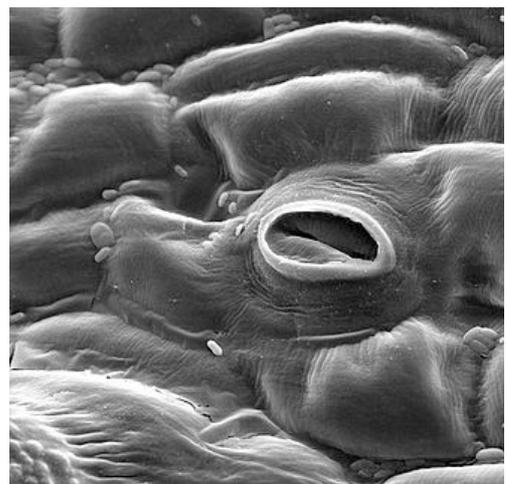


Abb. 1: Stoma am Blatt einer Tomatenpflanze. Foto: Dartmouth Electron Microscope Facility.

Werden Kulturpflanzen in großem Maßstab genutzt, so hat das vor allem Folgen für den Wasserhaushalt. Diese können z. B. im Erdkundeunterricht angesprochen werden:

- Umgestaltung großer Gebiete durch den Menschen: Rodungen und Monokulturen
- Zerstörung der ursprünglichen Lebensgemeinschaft von Pflanzen und Tieren, verursacht durch die Nutzung der Natur durch den Menschen
- Steigender Wasserbedarf, künstliche Bewässerung
- Klimatische Veränderungen im lokalen und globalen Maßstab

## 2.5 Durchführungsvarianten

Das Experiment ist von allen Schülerinnen und Schülern in kurzer Zeit durchführbar; optimal arbeiten sie dabei in Zweiergruppen. Die Lehrkraft sollte darauf achten, dass den Gruppen unterschiedliche Pflanzenproben zugeteilt werden – verdeutlichen Sie Ihren Schülerinnen und Schülern dabei, dass die unterschiedlichen Beobachtungen zusammengetragen und verglichen werden sollen. Natürlich kann das Pflanzengut zuvor in einer Exkursion von den Schülerinnen und Schülern selbst gesammelt werden.

**Zum Weiterforschen:** Eventuell haben Sie das Experiment in eine Unterrichtssequenz über Energiepflanzen oder Monokulturen eingebaut – z. B. haben die Schüler aus Samen von Mais, Raps, Soja und Sonnenblumen Pflänzchen gezogen, sodass diese nun verwendet werden können. Es bietet sich hier auch an, an einzelne Gruppen Referatsthemen zu vergeben, z. B. die Beobachtungen zu den Experimenten vorstellen oder die Behandlung der weiterführenden Fragen zu den Experimenten. So können die Schülerinnen und Schüler ihre Ergebnisse vorstellen und, differenziert nach ihren Fähigkeiten, ihr Wissen vertiefen.

## 3 Ergänzende Informationen zum Experiment

Zur Vorbereitung bzw. zur Vertiefung dieses Experiments finden Sie ergänzende Medien auf dem Medienportal der Siemens Stiftung: <https://medienportal.siemens-stiftung.org>

## 4 Hinweise zur Durchführung des Experiments

### 4.1 Räumlichkeiten

Für die Versuche ist Sonneneinstrahlung erforderlich. Sie können im Klassenzimmer oder im Freien durchgeführt werden.

### 4.2 Zeitbedarf

Man benötigt realistischerweise eine Doppelstunde. Die eigentliche Arbeit ist zwar schnell gemacht. Je nach Stärke der Sonneneinstrahlung bzw. der Lampenstärke und der Umgebungstemperatur, kann es aber eine Stunde oder mehr dauern, bis sich Kondenswasser bildet. Man sollte also die Wartezeiten für die Behandlung des zugrunde liegenden Unterrichtsthemas nutzen.

Vorbereitung	Beobachtung	Auswertung	Besprechung
10 min	Bis zu 60 min	Zusammen 15 min + häuslicher Arbeitsauftrag	Kann in der Folgestunde erfolgen, evtl. stellen einzelne Schülerinnen und Schüler ihre Ergebnisse als Referat vor.

### 4.3 Sicherheitsaspekte

Die Versuche dürfen nur bei Anwesenheit und unter Aufsicht der Lehrkraft durchgeführt werden. Die Schülerinnen und Schüler sind darauf hinzuweisen, dass die bereitgestellten Materialien nur entsprechend den jeweiligen Anweisungen eingesetzt werden dürfen.

### 4.4 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Becher, 500 ml	1
Digitalthermometer	1
Erde	nach Bedarf
Frischhaltefolie	nach Bedarf
evtl. als Ersatz für direktes Sonnenlicht eine starke Lampe	1
evtl. Leitungswasser, zum Kühlen der Gefäße	nach Bedarf
Schale aus Alu	1
Schnittgut von verschiedenen Pflanzenblättern <b>Hinweis:</b> Das Schnittgut sollte äußerlich trocken sein, damit sichergestellt ist, dass das verdunstete Wasser aus der Pflanze selbst stammt.	nach Bedarf
evtl. aus Samen gezogene Topfpflanzen	nach Bedarf
Uhr	1



Abb. 2: Materialien für eine Schülergruppe, beispielhafte Abbildung.

## 4.5 Aufräumen, Entsorgen, Recyceln

Fast alle verwendeten Geräte und Materialien sind wiederverwendbar. Daher sollten sie nach Beendigung des jeweiligen Experiments ordentlich aufgeräumt werden. So stellen Sie sicher, dass Sie bzw. Ihre Kolleginnen und Kollegen beim nächsten Einsatz alles schnell wiederfinden.

Geräte, die beim Experimentieren verschmutzt wurden, wie z. B. Becher, Schalen, Löffel, Reagenzgläser, sollten vor dem Zurücklegen erst gereinigt werden. Sinnvollerweise lässt man dies die Schülerinnen und Schüler gleich nach Beendigung des Experiments erledigen.

Stellen Sie zudem sicher, dass die Geräte wieder für den nächsten Einsatz betriebsbereit sind.

Beispielsweise sind benutzte Akkus gleich aufzuladen (Auch bei längerer Nichtbenutzung ist das Aufladen der Akkus sinnvoll.).

Materialien, die nicht wiederverwendbar sind, wie z. B. gebrauchte pH-Messstäbchen oder Filterpapier, sollten fachgerecht entsorgt werden.

Die Entsorgung der in diesem Experiment anfallenden Abfälle kann über den normalen Hausmüll bzw. den Ausguss erfolgen.



# B1 Wasserkreislauf – Verdunstung an Pflanzenblättern

Verdunstung spielt eine große Rolle beim globalen Wasserkreislauf. Das Wasser, welches als Niederschlag auf die Erde fällt und dort den Bedarf für Flora und Fauna deckt, entstammt zum einen aus der Verdunstung der Meere, zum anderen aus der Verdunstung über Landmassen. Wie viel Wasser dabei im Landbereich immer wieder gespeichert und verdunstet wird, hängt entscheidend vom Bewuchs ab. Gerade in den letzten 50 Jahren wurden große Flächenanteile des Globus durch agrikulturelle Nutzung und Städtebau verändert. Negative klimatische Auswirkungen machen sich bemerkbar. Im Versuch kannst du untersuchen, welchen Einfluss Temperatur und Bewuchs auf die Verdunstungsrate haben.

## 1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Becher, 500 ml	1
Digitalthermometer	1
Feuchte, aber nicht nasse Erde	nach Bedarf
evtl. helle Schreibtischlampe	1
Schale aus Alu	1
Schnittgut von verschiedenen Pflanzenblättern (ohne Tau oder Regenwasser!)	nach Bedarf
Uhr	1

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

## 2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht.

## 3 Versuchsdurchführung

Die Experimente werden im Team durchgeführt und bevor du eines beginnst, solltest du die Anleitung gelesen haben. Lege dir vorab alle benötigten Materialien zurecht. Verschiedene Teams sollen untersuchen, inwiefern die Verdunstungsrate von der Blattbeschaffenheit abhängt. Bedient euch dafür am bereitgestellten Pflanzenschnittgut. Falls ihr in Töpfen gezogene Pflanzen habt, können auch diese untersucht werden. Es sollten sich auch Teams finden, die das Experiment mit feuchter (nicht nasser!) Erde durchführen.



Abb. 1: Die transparenten Becher werden jeweils gut zur Hälfte mit Pflanzenschnittgut bzw. Erde gefüllt.



Abb. 2: Der gefüllte Becher wird in die Sonne oder den Lichtkegel einer starken Lampe gestellt.



Abb. 3: Temperaturmessung im Inneren des Bechers nach Lichteinwirkung.

### Und so geht es Schritt für Schritt:

Jede Gruppe sollte Schnittgut einer anderen Pflanze verwenden, eine Gruppe die Erde!

- Befülle den Becher gut zur Hälfte mit dem Schnittgut bzw. der Erde. Das Schnittgut sollte äußerlich trocken sein, damit sichergestellt ist, dass das verdunstete Wasser aus der Pflanze selbst stammt.
- Werden Experimente mit verschiedenen Pflanzen gemacht, müssen alle Gruppen, um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten, auf gleiche Höhe und Pressung des Schnittguts in ihren Bechern achten.
- Stülpe die Aluschale als Deckel über den Becher und drehe das Ganze um, sodass der umgestürzte Becher auf der Aluschale steht.
- Stelle das Gefäß zunächst in den Schatten und warte 5 Minuten.
- In der Zwischenzeit kannst du ein Versuchsprotokoll vorbereiten. Es sollte deinen Versuch und deine Ergebnisse möglichst genau festhalten (z. B. Skizze, wie unterscheidet sich dein Pflanzenmaterial von dem der anderen? Umgebungstemperatur, Sonneneinstrahlung usw.).
- Stelle jetzt das Gefäß in die Sonne (**Hinweis:** Wenn keine Sonne scheint, funktioniert das Experiment auch mit einer starken Lampe.). Diese heizt das Pflanzenmaterial auf, während die Gefäßwand und die Umgebungsluft auf Raumtemperatur bleiben (Treibhaus-Effekt!).
- (Bei Experimenten mit Lampe müssen alle Gruppen eine gleich starke Lampe verwenden. Der Abstand (ca. 5 – 10 cm) vom Becher und der Beleuchtungswinkel sind so zu wählen, dass der Becher voll im Lichtkegel der Lampe liegt).
- Schau nach jeweils ca. 15 Minuten nach, ob du einen Effekt an der Gefäßwand beobachten kannst.
- Falls sich nach 45 Minuten noch nichts beobachten lässt, kühle dein Gefäß ab! Du kannst es dazu in den Schatten stellen oder (besser!) mit einem mit kaltem Wasser getränkten Tuch oder Papier kühlen.
- Miss zum Abschluss mit dem Digitalthermometer die Temperatur im Inneren des Bechers.

## 4 Beobachtung

Halte deine Beobachtungen im Versuchsprotokoll fest. Stellst du viel oder wenig Verdunstung fest (im Vergleich zu anderen Teams)? Vergleiche die Temperatur im Inneren mit der Umgebungstemperatur!

## 5 Auswertung

Überlege:

- a) Wie hängt die Verdunstungsrate von der Blattoberfläche ab?
- b) Bei welchen Pflanzen ist im Versuch wohl am meisten Wasserabgabe zu erwarten?
- c) Welchen Einfluss hat die Temperatur auf die Verdunstung?
- d) Was kannst du aus dem Versuch mit Erde schlussfolgern?
- e) Welcher Boden trocknet schneller aus, ein dicht mit Pflanzen bewachsener oder ein blanker Boden?

## 6 Fragen

### 6.1 Allgemein

- a) Beschreibe, wie Pflanzen das Wasser aufnehmen, das sie verdunsten.
- b) Erläutere, warum bestimmte Pflanzen von Natur aus nur in bestimmten geografischen Regionen mit bestimmten Klimabedingungen gedeihen. Als Beispiel könntest du zwei so unterschiedliche Pflanzen wie Kakteen und Tomaten nehmen.
- c) Überlege, warum es zur Kondensation von Wasser an den Becherwänden kommt, auch wenn diese nicht gekühlt werden.
- d) Begründe, wieso der Versuch besser funktioniert, wenn die Becherwand gekühlt wird.
- e) Erkläre, warum es an heißen Sommertagen im Schatten eines Baumes mit dichtem Blätterdach meist kühler ist als im Schatten eines Sonnenschirms mit Stoffdach.

### 6.2 Vertiefende Frage zum Klimawandel am Fallbeispiel Paraguay

In Paraguay wurden in den letzten 30 Jahren 60 % des tropischen Regenwaldes gerodet und das Land wird nun zum Anbau vor allem von Soja als Viehfutter für Europa verwendet. Früher regnete es im Regenwald fast täglich. Heute kommt es zu Dürren und Missernten. Warum?

### 6.3 Vertiefende Frage zum Klimawandel am Fallbeispiel Biomasse aus Monokulturen

Da fossile Energieträger (Kohle, Erdgas, Öl) knappe Ressourcen sind, versucht man, durch Anbau von sog. Energiepflanzen alternative Energiequellen zu erschließen. Dabei werden diese Pflanzen (z. B. Soja, Sonnenblumen, Mais) in Monokulturen gezogen.

- a) Wie gelingt es, mit diesen Pflanzen die Sonnenenergie technisch verfügbar zu machen?
- b) Welche negativen Auswirkungen haben diese Monokulturen auf das Klima?
- c) Welche Auswirkungen ergeben sich für die Menschen in den Anbauländern von solchen Monokulturen?



## B2 Treibhauseffekt im Trinkbecher – Ein Modell zur Klimaänderung

Mit diesem recht einfachen Experiment lassen sich die dem Treibhauseffekt zu Grunde liegenden physikalischen Phänomene wie Strahlung, Reflexion, Absorption, Wärmestrahlung usw. sehr gut erkennen und differenzieren. Um die Ergebnisse des Experiments zu interpretieren, bedarf es einiger Vorkenntnisse. Es bietet sich deshalb entweder an, das Experiment nach Einführung in die vorgenannten Themen zur Verifikation des Gelernten einzusetzen. Oder das Experiment wird als Einstieg in das Thema Treibhauseffekt durchgeführt und anschließend findet die physikalische Vertiefung statt. Ideen, wie Sie das Thema Treibhauseffekt auch mit wertebezogenen Fragestellungen verknüpfen können, finden Sie im „Leitfaden Naturwissenschaft, Technik und Werte“ der Siemens Stiftung.

### 1 Zentrale Fragestellung

Die durch den Treibhauseffekt bewirkte Klimaveränderung ist Gegenstand nationaler Politik sowie internationaler Konferenzen und Vereinbarungen. Die naturwissenschaftliche Fragestellung ist nun, wie entsteht in einem Treibhaus der typische Erwärmungseffekt und wie weit kann das auf den Treibhauseffekt in der Erdatmosphäre übertragen werden. Das ist natürlich auch für lebensnahen Schulunterricht von großem Interesse. Wir untersuchen das mittels Telexperimente in einem einfachen Becher aus Kunststoff (Polypropylen, kurz PP).

- Telexperiment 1:  
Messungen im offenen Becher
- Telexperiment 2:  
Messungen im geschlossenen Becher
- Telexperiment 3:  
Messungen im geschlossenen Becher mit schwarzem Absorber
- Telexperiment 4:  
Messungen im geschlossenen Becher mit Alu-Absorber



Abb. 1: Einfaches Modell eines Treibhauses: Ein Becher aus transparentem Kunststoff (Polypropylen), der mit einem Deckel verschlossen ist, und schwarzes Papier als Absorber.

## 2 Einordnung des Experiments in den Unterrichtszusammenhang

### 2.1 Fachliche Grundlagen

Die Vorstellung der Schülerinnen und Schüler „Die Gefäßwand isoliert die Wärme bzw. Temperatur“ ist nicht ausreichend, um alle Phänomene des Experiments zu erklären! Vor allem reicht sie nicht, um die Effekte der Klimaveränderung aus einem Treibhauseffekt zu erklären!

Die Schülerinnen und Schüler sollten Vorkenntnisse über die Begriffe Energieerhaltung, Strahlung, Reflexion und Absorption von Strahlung sowie die drei Formen der Wärmeübertragung (Wärmeleitung/Wärmeströmung/Wärmestrahlung) haben. Nur durch differenzierte Betrachtung unserer Experimente unter diesen Aspekten kommen wir zu einer Klärung der Phänomene.

Falls diese Vorkenntnisse noch nicht alle vorhanden sind, kann das Experiment natürlich auch zum Einstieg in diese Themengebiete eingesetzt werden.

## 2.2 Lehrplanrelevanz

In der Altersstufe 14 – 15 Jahre steht für den Biologieunterricht zum Thema Umwelt im Lehrplan: „Beschreiben und Beurteilen an ausgewählten Beispielen zu Auswirkungen menschlicher Eingriffe in die Umwelt“. Die einschlägigen Themen im Geografieunterricht sind die vielfältigen Aspekte der Klimaveränderung (globale Bezüge; natürliche und anthropogen bedingte Klimaveränderungen und ihre Folgen, z. B. durch Treibhauseffekt, Ozonloch; Maßnahmen zum Schutz der Atmosphäre, z. B. Klimakonferenzen). Aus der Physik sind es die Themen Wärmeübertragung, Wärmeleitung, Konvektion, Wärmestrahlung (Emission, Reflexion, Absorption).

In der Altersstufe 15 – 16 Jahre stehen für Physik und/oder Chemie die Themen „Treibhauseffekt: Bedeutung in Natur, Alltag und Technik“, „Erdöl, Erdgas und Kohle: Grundstoff- und Energielieferanten“, „Kohlenstoffkreislauf und Treibhauseffekt“ sowie „Alternative Stoff- und Energiequellen“ im Lehrplan.

**Themen und Begriffe:** Absorption, Albedo, Emission, Energieerhaltung, Erdatmosphäre, Erwärmungseffekt, Farbtemperatur, globale Temperaturerhöhung, Klimagase, Klimakonferenz, Klimaveränderung, Konvektion, Ozonloch, Reflexion, Rückstrahlung, Sonnenlicht, Strahlung, Strahlungsenergie, Strahlungsgleichgewicht, Treibhauseffekt, Wärmeleitung, Wärmestrahlung, Wärmeströmung, Wiederabstrahlung

## 2.3 Kompetenzen

Die Schülerinnen und Schüler ...

- beobachten, dass sich im isolierten Gefäß die Temperatur durch Lichteinstrahlung erhöht und erklären dies mit der Rolle der verschiedenen Wärmeübertragungsmechanismen: Emission, Absorption und Reflexion von Wärmestrahlung sowie Wärmeleitung und Konvektion.
- erläutern die Wirkungsweise des Treibhauseffekts.
- untersuchen praktisch, welchen Einfluss ein modifizierter Versuchsaufbau für die Erkenntnisgewinnung darstellt.
- gestalten selbstständig die Versuchsanordnung derart, dass sich Antworten auf ihre Fragestellungen ergeben.

## 2.4 Das Experiment im Erklärungszusammenhang

### 2.4.1 Qualitativer Zugang

Im Experiment wird Strahlungsenergie in Form von Licht in das Klimagefäß eingebracht und dort vom Gas und evtl. vorhandenen Absorptionsmaterialien gespeichert. Bei unserem Versuchsaufbau fällt, ohne Absorber relativ viel Licht unabsorbiert durch den Becher durch. Wie viel absorbiert und gespeichert wird, hängt also stark vom verwendeten Absorber ab. Die Temperatur steigt an, bis sich ein Gleichgewicht zwischen Energieeintrag und Energieabgabe (durch Wärmeleitung, Konvektion und Wiederabstrahlung) einstellt.

Die Konvektion aus dem Becher heraus in die Umgebung kann in unserem Experiment durch einen Verschluss komplett unterbunden werden, man beobachtet dann eine höhere Temperatur im Inneren.

## 2.4.2 Vertiefende Erklärung der Phänomene

Im Experiment wird zwar Energie in Form von Strahlung in das Klimagefäß eingetragen, die Energieabgabe durch Strahlung ist aber „gebremst“. Wieso ist das so? Am besten kann man das verstehen, wenn der Prozess in mehreren Stufen betrachtet wird.

**Kurzwellige Einstrahlung:** Sonnenlicht strahlt mit einer Temperatur (= Farbtemperatur, siehe Planck'sche Strahlungskurve) von bis zu 6.000 K, eine helle Schreibtischlampe von bis zu 3.400 K. Beides entspricht, verglichen mit fernem Infrarot, hauptsächlich recht kurzwelliger Strahlung von ca. 250 nm bis ca. 1.000 nm (also UV-, sichtbares Licht und nahes IR). Diese kurzwellige Strahlung geht fast zu 100 % durch die Wände unseres Kunststoffbechers, ohne absorbiert zu werden. Ähnlich verhält sich die Erdatmosphäre, durch die fast 2/3 des eingestrahnten Sonnenlichts durchgehen (ca. 1/3 wird reflektiert).

**Absorption:** Befindet sich im Becher ein Material wie schwarzes Papier, absorbiert dieses fast zu 100 % das kurzwellige Licht und erwärmt sich dadurch. Dasselbe ist auch bei der Erdoberfläche der Fall.

**Langwellige Wiederabstrahlung:** Das auf ca. 310 K aufgewärmte Absorptions-Material gibt nun teils durch Wärmestöße seiner kleinsten Teilchen Wärme an die Luft im Inneren ab, teils strahlt es nun selbst wieder ab. Aufgrund der niederen Temperatur liegt das Spektrum der Wiederabstrahlung von aufgewärmter Luft und Absorber nur im langwelligen IR-Bereich von mehreren  $\mu\text{m}$  Wellenlänge. Auch die erwärmte Erdoberfläche gibt ihre Wärme wieder hauptsächlich durch Strahlung ab. Ein guter Teil wird aber auch durch sog. Konvektion abtransportiert. D. h., durch die warme Erdoberfläche erwärmte Luft und Wasserdampf steigen nach oben und transportieren Wärme ab. Diesen Effekt haben wir auch bei unserem Becher, deshalb wird das Innere mit Deckel wärmer.

**Reflexion und Absorption der Becherwand:** Die langwellige Strahlung wird nun von der Becherwand teils reflektiert, teils absorbiert. Die durch Absorption aufgewärmte Wand strahlt einen Teil der Energie in das Gefäßinnere zurück und einen Teil in die Umgebung. Auf diese Weise – direkte Reflexion an der Becherwand und Rückstrahlung der aufgewärmten Becherwand – wird die Energieabstrahlung abgebremst und das Behälterinnere bleibt wärmer als die Umgebung. Unser Gefäßinneres kann also nicht direkt an die Außenwelt Strahlungsenergie abgeben, da diese die Becherwand nur zu geringem Teil durchdringen kann. Derselbe Effekt tritt an der Erdoberfläche auf: Ein Teil der abgestrahlten Energie wird in den Wolken und Gasteilchen der Luft absorbiert. Und diese strahlen nur einen Teil in den Weltraum ab und den Rest wieder zurück zur Erde. Diese Rückstrahlung trägt ganz wesentlich zur Temperaturerhöhung der Erde bei. Und sie wird noch verstärkt, wenn anteilig mehr im langwelligen Bereich absorbierende Gase wie  $\text{CO}_2$  in der Atmosphäre sind. Wir müssen allerdings anmerken, dass in unserer Versuchsanordnung ein wesentlicher Verlust an Wärme nicht durch Strahlung, sondern durch Konvektion im Inneren des Bechers hin zu den Wänden und durch direkte Wärmeleitung durch die Wände erfolgt!

Im Experiment können aber Aspekte der globalen Temperaturerhöhung durch Klimagase nicht aufgegriffen werden. Es gibt vielmehr Einblick in praktische Anwendungen des Treibhauseffekts wie z. B. Gewächshäuser und Energiesparhäuser. Ein anderes Phänomen aus dem Erfahrungsbereich der Schülerinnen und Schüler ist z. B., dass sich bei Sonnenschein ein Auto trotz Minusgraden im Winter im Inneren sehr stark aufheizen kann.

**Albedo:** Die Albedo beschreibt den Anteil der einfallenden Sonnenstrahlung, die durch eine Oberfläche reflektiert wird. Je mehr Strahlung reflektiert wird, desto höher ist die Albedo. Helle Oberflächen, wie Schnee und Eis besitzen eine hohe Albedo. Dunkle Oberflächen, wie zum Beispiel im Experiment die schwarze Pappe, absorbieren dagegen einen größeren Anteil der Strahlung.

**Wichtiger Hinweis:** Beim Experiment mit der gewölbten Alufolie reflektiert das Aluminium das Licht und absorbiert es nicht. Dies lässt ein Ergebnis mit geringerer Erwärmung als mit schwarzem Papier erwarten. Doch es gibt auch einen gegenläufigen Effekt: Je nach Lichtquelle und Abstand zu ihr sowie je nach Wölbung der Aluminiumfolie kann die Alufolie aber auch wie ein Parabolrinnenspiegel wirken und das Licht auf den Messfühler konzentrieren. Dadurch steigt die Temperatur stark an. (Hier könnte die Lehrkraft auf entsprechend konstruierte Solarkollektoren hinweisen). Dass dieses Experiment nicht immer zum selben Ergebnis führt, ist didaktisch kein Problem. Es wäre ein guter Anlass, mit den Schülerinnen und Schülern darüber zu diskutieren, unter welchen Bedingungen Naturgesetze eindeutig erkennbar sind.

## 2.5 Durchführungsvarianten

- Die Teilerperimente funktionieren am besten in starkem Sonnenlicht. (Himmel sollte ziemlich wolkenfrei sein!)
- An Tagen mit geringer Sonneneinstrahlung sollte die Lehrkraft geeignete, starke Lichtquellen einsetzen. Messungen mit einer 20 Watt Reflektor-Lichtquelle (Abstand ca. 10 cm zum Becher) ergaben bei einer Raumtemperatur von 21 °C nach jeweils ca. 8 Minuten: Becher offen ohne schwarzes Papier 25,3 °C, Becher geschlossen ohne schwarzes Papier: 27,3 °C und Becher geschlossen mit schwarzem Papier: 30,7 °C. Leuchtstoffröhren sind wegen ihrer flächigen Abstrahlung ungeeignet.
- Normale Glühbirnen mit 60 W weisen eine um ca. den Faktor 20 niedrigere Strahlungsleistung im Vergleich zum Sonnenlicht auf. Wenn dann noch der Abstand einen halben Meter zur Lichtquelle beträgt, müssen die Schülerinnen und Schüler sehr präzise messen, um die Temperatureffekte des jeweiligen Experiments überhaupt qualitativ zu erfassen. Außerdem dauert es länger (bis ca. 30 Minuten) je Experiment, bis sich das Temperaturngleichgewicht eingestellt hat.
- Man kann die Schülerinnen und Schüler gruppenweise einzelne Teilerperimente durchführen und dann die Ergebnisse präsentieren lassen. Dann sollten die Schülerinnen und Schüler darauf hingewiesen werden, dass sie unter möglichst gleichen Bedingungen experimentieren (Schatten, Zugluft, gleiche Versuchsdauer usw.).
- Oder man lässt die Schülerinnen und Schüler nacheinander die verschiedenen Teilerperimente durchführen. Wichtig ist auch hier wieder der Hinweis auf gleiche Bedingungen!

**Zum Weiterforschen (1):** Die Oberflächen von Gletschern reflektieren einfallende Strahlung zu einem hohen Anteil. Wenn Gletscher abschmelzen, kommt die darunter liegende dunklere Oberfläche zum Vorschein. Diese kann nun bedeutend mehr Strahlung absorbieren. Es kommt zu einer stärkeren Erwärmung und damit einem sich selbst verstärkenden Rückkopplungs-Effekt. Dies kann im Experiment zum Beispiel durch Vergleich eines weißen und eines schwarzen Absorbers gezeigt werden.

**Zum Weiterforschen (2):** Um den Einfluss von CO<sub>2</sub> beim Treibhauseffekt aufzuzeigen, kann ein Becher mit Kohlenstoffdioxid befüllt werden. Dieser sollte sich dann stärker erwärmen, als ein Becher ohne CO<sub>2</sub>.

## 3 Ergänzende Informationen zum Experiment

Zur Vorbereitung bzw. zur Vertiefung dieses Experiments finden Sie ergänzende Medien auf dem Medienportal der Siemens Stiftung: <https://medienportal.siemens-stiftung.org>

## 4 Hinweise zur Durchführung der Telexperimente

### 4.1 Räumlichkeiten

Für die Telexperimente ist direktes, helles Sonnenlicht (egal ob Sommer oder Winter) zu empfehlen. Es kann entweder im Freien experimentiert werden (die Schülerinnen und Schüler sollten dann trotzdem im Klassenraum die Experimente vorbereiten, damit das Material zur Hand ist!) oder in Räumen, wo die Sonne gut einfällt (Fensterbrett oder Tische am Fenster).

### 4.2 Zeitbedarf

	Vorbereitung	Messung	Auswertung	Besprechung
Vorbereitung	5 min	5 min	Zusammen 10 min	Kann in der Folgestunde erfolgen, evtl. stellen einzelne Schüler ihre Ergebnisse als Referat vor.
Telexperiment 1	5 min	5 min		
Telexperiment 2	5 min	5 min		
Telexperiment 3	5 min	5 min		
Telexperiment 4	5 min	10 min		

Bei Kunstlicht dauern die einzelnen Messungen jeweils ca. 15 Minuten.

### 4.3 Sicherheitsaspekte

Die Versuche dürfen nur bei Anwesenheit und unter Aufsicht der Lehrkraft durchgeführt werden. Die Schülerinnen und Schüler sind darauf hinzuweisen, dass die bereitgestellten Materialien nur entsprechend den jeweiligen Anweisungen eingesetzt werden dürfen.

### 4.4 Benötigte Materialien

Für **eine** Schülergruppe werden folgende Materialien benötigt:

Material	Anzahl
Alufolie, Rolle*	1
Becher, 500 ml	1
Bierdeckel	1
Digitalthermometer	1
Evtl. ein Lineal, um die Entfernung zur Lampe zu messen.	1
Falls kein direktes starkes Sonnenlicht vorhanden ist, eine starke fokussierende Lichtquelle.	1
Nagel (Stahl, „Eisen“)	1
Papier, schwarz, DIN A4*	1
Reagenzglasklammer aus Holz	1
Schere	1
Uhr	1

\*Das einmal zugeschnittene schwarze Papier und die zugeschnittene Alufolie sollten aufgehoben werden. Sie können für das Experiment immer wieder verwendet werden.



Abb. 2: Geräte bzw. Materialien für eine Schülergruppe, beispielhafte Abbildung.

#### 4.5 Aufräumen, Entsorgen, Recyceln

Fast alle verwendeten Geräte und Materialien sind wiederverwendbar. Daher sollten sie nach Beendigung des jeweiligen Experiments ordentlich aufgeräumt werden. So stellen Sie sicher, dass Sie bzw. Ihre Kolleginnen und Kollegen beim nächsten Einsatz alles schnell wiederfinden.

Geräte, die beim Experimentieren verschmutzt wurden, wie z. B. Becher, Schalen, Löffel, Reagenzgläser, sollten vor dem Zurücklegen erst gereinigt werden. Sinnvollerweise lässt man dies die Schülerinnen und Schüler gleich nach Beendigung des Experiments erledigen.

Stellen Sie zudem sicher, dass die Geräte wieder für den nächsten Einsatz betriebsbereit sind.

Beispielsweise sind benutzte Akkus gleich aufzuladen (Auch bei längerer Nichtbenutzung ist das Aufladen der Akkus sinnvoll.).

Materialien, die nicht wiederverwendbar sind, wie z. B. gebrauchte pH-Messstäbchen oder Filterpapier, sollten fachgerecht entsorgt werden.

Die Entsorgung der in diesem Experiment anfallenden Abfälle kann über den normalen Hausmüll erfolgen.

## B2 Treibhauseffekt im Trinkbecher – Ein Modell zur Klimaänderung

### 1 Vorbereitungen zu den Telexperimenten

#### 1.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Alufolie, Rolle	1
Becher, 500 ml	1
Bierdeckel	1
Digitalthermometer	1
evtl. künstliche Lichtquelle	1
Nagel (Stahl, „Eisen“)	1
Papier, schwarz, DIN A4	1
Reagenzglasklammer	1
Schere	1

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

#### 1.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht.

#### 1.3 Versuchsdurchführung

Miss die Umgebungstemperatur in der Sonne und im Schatten.

Bei allen weiteren Versuchen musst du darauf achten, dass die äußeren Bedingungen dieselben sind:

- Schatten, Wolken, Zugluft, Temperatur des Gefäßes zu Beginn (notieren!)
- Das Thermometer sollte sich dabei immer in der gleichen Lage im Inneren befinden und nicht die Gefäßwand berühren!
- Falls die Batteriesparautomatik das Thermometer abschaltet, einfach mit „on“ wieder anschalten.
- Auch das Licht muss immer durch die gleiche Seite gleich stark einfallen!

**Hinweis:** Bei allen Messungen den Messfühler des Thermometers nicht berühren, da es sonst Verfälschungen bei der Messung gibt!

Für alle Versuche musst du ein Protokoll auf einem separaten Blatt führen.

- Notiere dir die Anfangs- und Endtemperaturen und die sich daraus ergebende Temperaturdifferenz.
- Beschreibe kurz Aufbau und Durchführung (Skizze, Stichpunkte), damit nicht in der Hektik ein wichtiges Detail „verloren“ geht! Du brauchst diese Notizen später für die Auswertung.

Für jeden Versuch hast du ca. 10 Minuten Zeit.

## 2 Durchführung der Teilerperimente

### 2.1 Welchen Einfluss hat die Abgeschlossenheit des Gefäßes auf die Temperatur? – Messungen im offenen Becher

- Platziere den Becher so in der Sonne oder im Strahlkegel der Lichtquelle, dass das Innere des Bechers angestrahlt wird. Bei Verwendung einer Lampe müssen der Einstrahlwinkel und die Entfernung Lampe – Becher über alle vier Teilerperimente konstant sein (das Lineal kannst du als Abstandsmesser verwenden).
- Lege den Reagenzglashalter über den Becher und stecke den Messfühler des Thermometers so durch, dass er bis dicht über den Boden reicht. (Er darf den Boden nicht berühren!)
- Beobachte nun die Temperaturerhöhung im Inneren.
- Notiere die Temperatur, wenn sie praktisch nicht mehr steigt (nach ca. 5 bis 10 Minuten)



Abb. 1: Messung im offenen Becher.

### 2.2 Welchen Einfluss hat die Abgeschlossenheit des Gefäßes auf die Temperatur? – Messungen im geschlossenen Becher

- Nimm den Becher kurz aus der Lichtquelle und lasse ihn abkühlen. Das Gefäß sollte zu Beginn der folgenden Messungen wieder die gleiche Starttemperatur haben wie beim Teilerperiment 1.
- Falls vor dir noch kein anderer das Experiment gemacht hat, nimmst du nun den Bierdeckel und bohrst in der Mitte mit dem Nagel ein kleines(!) Loch, sodass gerade der Messfühler hineinpasst ohne durchzufallen. Lege nun den Deckel auf den Becher. Schiebe den Messfühler des Thermometers durch, bis er wieder kurz über dem Boden endet. Achte beim Platzieren im Lichtkegel darauf, dass der Deckel das Licht nicht abschirmt, also keinen Schatten im Inneren macht.
- Wiederhole die Messungen von Teilerperiment 1. Die Endtemperatur sollte nach der gleichen Zeit gemessen und notiert werden.



Abb. 2: Messung im geschlossenen Becher.

### 2.3 Welchen Einfluss hat die Farbe des Absorbers? – Messungen im geschlossenen Becher mit schwarzem Absorber

- Falls vor dir noch kein anderer das Experiment gemacht hat, schneidest du das schwarze Papier (Absorber) so zu, dass es das Innere des Bechers halbkreisförmig auskleidet. Schneide auch eine Scheibe für den Boden.
- Platziere das Gefäß nun so in die Sonne oder im Strahlkegel der Lichtquelle, dass das schwarze Papier angestrahlt wird.
- Lege nun den Deckel mit dem Thermometer auf.
- Beobachte die Temperaturerhöhung im Inneren.
- Notiere die Temperatur, wenn sie praktisch nicht mehr steigt (nach ca. 5 bis 10 Minuten).



Abb. 3: Messung mit schwarzem Papierabsorber.

### 2.4 Welchen Einfluss hat die Farbe des Absorbers? – Messungen im geschlossenen Becher mit Alu-Absorber

- Falls vor dir noch kein anderer das Experiment gemacht hat, schneidest du die Alufolie so zu, dass sie das Innere des Bechers halbkreisförmig auskleidet. Schneide auch eine Scheibe für den Boden.
- Platziere das Gefäß nun so in die Sonne oder im Strahlkegel der Lichtquelle, dass die Alufolie angestrahlt wird.
- Lege nun den Deckel mit dem Thermometer auf.
- Beobachte die Temperaturerhöhung im Inneren.
- Notiere den höchsten Temperaturwert (nach ca. 5 bis 10 Minuten).



Abb. 4: Messung mit Alu-Absorber.

## 3 Beobachtung

Fasse deine Beobachtungen schriftlich zusammen.

## 4 Auswertung

- a) Vergleiche die erreichte Temperaturerhöhung bei den unterschiedlichen Versuchen. Bist du dir sicher, dass dafür nicht unterschiedliche äußere Bedingungen der Grund waren? Diskutiere mit deinen Mitschülerinnen und Mitschülern!
- b) Bei jedem Versuch transportiert das Licht Energie in das Innere des Gefäßes. Beschreibe, wie die Strahlungsenergie im Gefäß aufgenommen wird und wie sie wieder abgegeben wird. Benütze beim Formulieren die Fachwörter Absorption, Reflexion, Wärmeleitung, Konvektion und Emission von Strahlung.

## 5 Fragen

- Welchen Einfluss haben die sog. Treibhausgase (z. B. gasförmiges Wasser in Form von Luftfeuchtigkeit oder die feinen Wassertröpfchen der Wolken, CO<sub>2</sub>, Methan, Stickoxide usw.) bei der Wiederabstrahlung der von der Erde aufgenommenen Sonnenenergie in Form von langwelliger Infrarotstrahlung zurück in den Weltraum?
- Unterscheide zwischen natürlichen und durch den Menschen verursachten (anthropogenen) Einflüssen!

Zur Klärung der Fragen, kannst du außer den Ergebnissen deiner Messungen auch die Abb. 5 und die folgende Erläuterung verwenden:

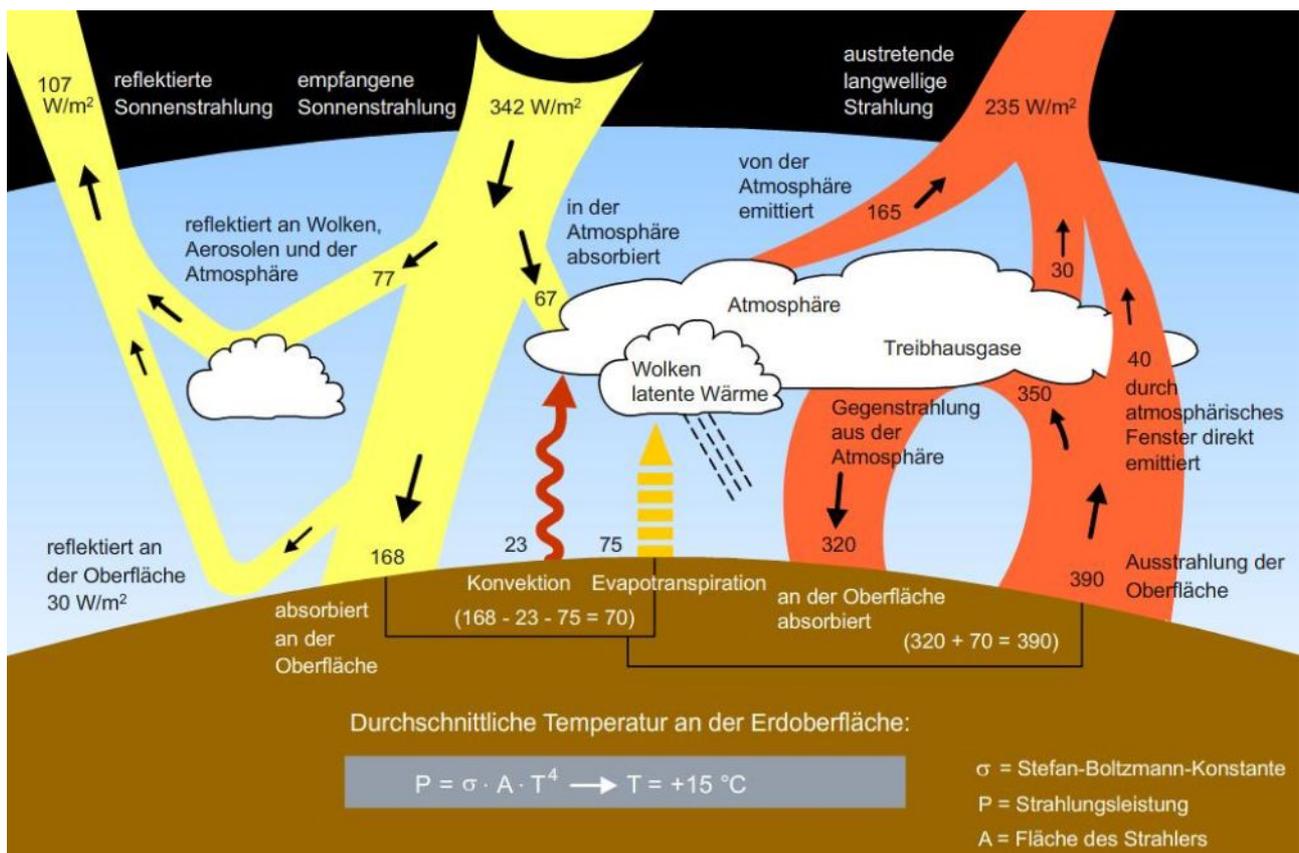


Abb. 5: Der natürliche Treibhauseffekt.

Erläuterung: Die durch Sonnenstrahlung erwärmte Erdoberfläche gibt die aufgefangene Energie überwiegend als Wärmestrahlung wieder ab. Das liegt daran, dass die Luft eine sehr geringe Wärmeleitfähigkeit besitzt und die Abmessung der Atmosphäre vom Erdboden bis zum Weltraum sehr groß ist (ca. 100 km). Die Schichtung der Atmosphäre verhindert zudem eine über die Wolkendecke reichende Wärmeabgabe durch Konvektion.

## B3 Wie funktioniert die Mülltrennung? – Stofftrennung nach Dichte und Magnetismus

Die vorgeschlagenen Telexperimente eignen sich bestens, um in das chemische Grundlagenthema Stofftrennung anhand des aktuellen Themenkreises „Umwelt, Müll, Recycling“ experimentell einzusteigen. Außerdem bietet dieser Kontext viele Anknüpfungspunkte für Werte wie Umweltbewusstsein oder Verantwortungsübernahme. Im Physikunterricht ist besonders das Telexperiment 2 interessant, bei dem die Schülerinnen und Schüler ihre Vorkenntnisse aus Elektrizitätslehre und Magnetismus am Beispiel Wirbelströme und deren Wirkung verifizieren können. Fehlen die Vorkenntnisse, sollte dies die Lehrkraft durch Vorbesprechung oder Nachbereitung ausgleichen. Natürlich können die Experimente auch fächerübergreifend z. B. im Rahmen eines Umweltprojekts eingesetzt werden.

### 1 Zentrale Fragestellung

Die ständig wachsende Flut von Abfall bzw. Müll aus Haushalten und Industrie führt weltweit zu immer stärkerer Umweltverschmutzung und gefährdet letztlich auch die Lebensgrundlagen des Menschen. Ein Beispiel ist der Plastikmüll im Meer, der inzwischen die Fischpopulationen bedroht. Müllvermeidung und Recycling der Abfälle sind deshalb wichtige Ziele des Umweltschutzes. Doch auch explodierende Rohstoffpreise und knapper werdende Ressourcen erfordern, dass Industrie, Privatbetriebe, öffentliche Stellen sowie auch die Privathaushalte mit den wertvollen Ressourcen unserer Erde schonend, sparsam und bewusst umgehen. „Recycling aller Wertstoffe“ heißt eine der Lösungen. Recycling ist bereits in vielen Ländern ein eigener industrieller Dienstleistungszweig, der mit immer raffinierteren Methoden noch den letzten Anteil Wertstoff aus dem Abfall wiedergewinnt und wiederverwertet. In einfachen Experimenten sollen die Schülerinnen und Schüler einige grundlegende Methoden der Mülltrennung kennen lernen, um sich auf dieser Basis kompliziertere Verfahren erschließen zu können.

### 2 Einordnung des Experiments in den Unterrichtszusammenhang

#### 2.1 Fachliche Grundlagen

Wünschenswerte, aber nicht zwingend notwendige Vorkenntnisse der Schülerinnen und Schüler:

- Kenntnis über die Dichte als materialabhängige Größe
- Auftriebskraft und Gewichtskraft als Erklärung, warum ein Körper sinkt oder schwimmt
- Anziehung von bestimmten Körpern durch magnetische Kräfte

#### 2.2 Lehrplanrelevanz

##### Altersstufe 12 – 15 Jahre:

Im Chemieunterricht sind die Stofftrennungsmethoden fester Bestandteil jeden Lehrplans. Insbesondere Sedimentieren, Dekantieren, Magnetscheiden, Verdampfen und Kondensieren. Aber auch das Lösungsverhalten von Feststoffen gehört zu den unverzichtbaren Grundlagen.

Im Physikunterricht wird im Teilbereich Mechanik die Dichte von Feststoffen, Flüssigkeiten und Gasen (→ Luft); der Auftrieb in Flüssigkeiten; das Schwimmen (Schweben), Sinken und Steigen behandelt. Im Teilbereich Magnetismus lauten die einschlägigen Themen: Ferromagnetische Stoffe, Theorie des Magnetismus (→ Elementarmagnet → Weiß'sche Bezirke), Magnetfelder und Magnetfeldstärke, Anziehende und abstoßende Kräfte eines Stabmagneten, Magnetische Influenz, Wirbelströme (Stromzählerprinzip).

**Themen und Begriffe:** Abfall, Dekantieren, Dichte, Feststoff, Gemenge, Industrie, Kondensieren, Lenz'sche Regel, Lösungen, Lösungsverhalten, Magnetismus, Mischungen, Mülltrennung, Nicht-Eisen-Metall, Privathaushalt, Ressourcen, Sedimentieren, Stofftrennung, Verdampfen, Wechselwirkung, Wertstoff, Wirbelströme

## 2.3 Kompetenzen

Die Schülerinnen und Schüler ...

- analysieren ihre eigenen praktischen Erfahrungen und Anschauungen zum Thema Mülltrennung.
- beschreiben Müll als ein Kompositum aus verschiedenen Wertstoffen und stellen dar, dass die Gewinnung von reinen Bestandteilen mit erheblichem Aufwand verbunden ist.
- reflektieren die sortenreine Trennung von Müllarten, wie sie aus dem privaten Haushalt inzwischen jedem geläufig ist (Glas, Papier, Kunststoffe, Bio- und Restmüll).
- diskutieren, dass sich gerade im Restmüll jedoch noch viele wertvolle Reststoffe verbergen, die in modernen Müllanlagen „gerettet“ werden können.
- führen einfache Handversuche zu grundlegenden Methoden der Mülltrennung durch.
- benennen die Sinnhaftigkeit einer Wiederverwertung der zurückgewonnenen Reststoffe.
- entwickeln einen verantwortungsbewussten Umgang mit Ressourcen.
- beschreiben die perspektivische Entwicklung neuer energiesparender Methoden des Wertstoffkreislaufs.
- erweitern und fördern diesbezüglich ihre Handlungskompetenzen.

## 2.4 Das Experiment im Erklärungszusammenhang

### 2.4.1 Telexperiment 1: Trennung eines Feststoffgemenges aus Sand und Eisen

Hier geht es um die Trennung eines Gemisches aus Sand (in Form von Quarzsand) und Eisen-Metall (in Form von Fe-Spänen). Die Trennung dieser Materialien ist sehr einfach: Zum Abtrennen des Eisens nutzt man das sog. Magnetscheiden, d. h. die Trennung der ferromagnetischen Eisenbestandteile erfolgt durch die magnetische Anziehungskraft des Stabmagneten (durch magnetische Influenz) aus dem Feststoffgemenge heraus.

**Achtung:** Die Schülerinnen und Schüler dürfen nur unbeschädigte, absolut dichte Kunststoffbeutel als Schutzhülle für den Magneten verwenden! Kommen die Eisenspäne direkt an den Magneten, lassen sie sich kaum mehr restlos entfernen.

Übrigens, Eisen und Quarzsand ließen sich in wässriger Suspension auch durch ein spezielles Verfahren, die sog. Flotation trennen (Technikbezug). Diese wird auch zur Aufbereitung von Erzen verwendet. Die mit Tensiden versetzte Suspension läuft durch eine Rinne, die von unten mit Luft durchblasen wird. Das Material, das sich je nach verwendetem Detergentium schlechter mit Wasser benetzen lässt, haftet an den Luftblasen, wird zur Oberfläche getragen und dort abgestreift. Es ist also strenggenommen eine Trennung aufgrund unterschiedlicher Oberflächenspannung, wird aber durch unterschiedliche Dichte der Materialien unterstützt.

### 2.4.2 Telexperiment 2: Können wir eine Sand-Kunststoff-Wasser-Salz-Mischung trennen?

Die Abtrennung der PE-Folienschnipsel vom Sand nutzt die unterschiedlichen Dichteigenschaften der Materialien gegenüber der Trennflüssigkeit Wasser. Materialien mit größerer Dichte als der von Wasser sinken ab, die Materialien, die weniger dicht als Wasser sind, schwimmen oben auf. Mit einem Rechen (im Versuch der Löffel) können die Kunststoffschnipsel abgeschöpft werden.

Der Quarzsand und die PE-Folienschnipsel können danach (auf Zeitungspapier oder evtl. auf Filterpapier) an der Luft getrocknet und wiederverwendet werden.

Industriell wird oft nicht mit Wasser, sondern im Luftstrom sortiert. Auch dies ist eine Trennung nach Dichte: Das weniger dichte Material fliegt weiter und sammelt sich an einem anderen Zielort als das dichtere. Noch modernere Verfahren arbeiten mit optischen und spektroskopischen Methoden. Das Fließband, unter dem viele feine Pressluftdüsen sitzen, wird mit einem Laser abgescannt. Je nachdem, in welchem Spektralbereich ein Teilchen absorbiert, wird es weggeblasen. So lassen sich nicht nur Papier und Kunststoff, sondern sogar verschiedene Kunststoffsorten zu 95 % trennen.

Das Zumischen von Kochsalz zu Sand und PE-Folienschnipseln gibt im trockenen Zustand zwar ein Gemenge. Doch Vorsicht vor falschen Schlussfolgerungen: Gibt man Wasser dazu, löst sich das Kochsalz im Wasser auf. Es bildet sich eine echte Lösung, d. h. eine Mischung auf Ebene kleinster Teilchen (hier Natrium-, Chloridionen und Wassermoleküle). Echte Lösungen lassen sich nicht mehr durch „grobmechanische“ Methoden wie Sedimentieren, Zentrifugieren oder Filtrieren trennen. Hier müssen Methoden angewendet werden, die ebenfalls auf der Ebene der kleinsten Teilchen arbeiten, z. B. Umkehrosmose oder Destillation (Anreiz zum Weiterforschen).

### 2.4.3 Telexperiment 3: Prinzip der Trennung von Aluminium von anderen Nicht-Eisen-Metallen

In diesem Telexperiment soll die Problematik aufgewiesen werden, wie schwer es ist, die nicht-magnetischen Nicht-Eisen-Metalle von Eisen-Metallen und anderen Materialien abzutrennen. Man kann hier nur bedingt mit Trennflüssigkeiten arbeiten. Die Dichten von nichtmagnetischen Metallen wie Kupfer, Messing, Zink, Zinn oder Aluminium bewegen sich in der Bandbreite zwischen 9 und 2,7 g/cm<sup>3</sup>. Im Unterschied zu Glas und Sand einerseits und Papier und Kunststoff andererseits ist der Dichteunterschied zu gering, um eine gute Trennung nach Dichte zu erreichen. Dass die zusammengefaltete Alu-Folie in unserem Experiment entgegen der Vermutung der Schülerinnen und Schüler auf dem Wasser obenauf schwimmt, liegt am Lufteinschluss zwischen den Schichten.

Der feststellbare Effekt, dass auch Aluminium durch einen starken Magneten bewegt werden kann, liegt am entstehenden Wirbelstromeffekt. Wird der Magnet bewegt, so ändert sich der magnetische Fluss durch den leitfähigen Aluminiumkörper. Dadurch werden Wirbelströme hervorgerufen. Die Wirbelströme erzeugen ihrerseits ein Magnetfeld, das dem des Magneten entgegen gerichtet ist. Die Wechselwirkungen mit dem Feld des Magneten führen gemäß der Lenz'schen Regel zur Abstoßung des Nicht-Eisen-Metalls (NE-Metall), d. h. das Aluminium bewegt sich.

**Hinweis:** Im Experiment wird die Aluminiumfolie zu einem Achteck gefaltet. Der Grund dafür ist, dass der Effekt bei einer nahezu kreisförmigen Fläche besonders ausgeprägt ist.

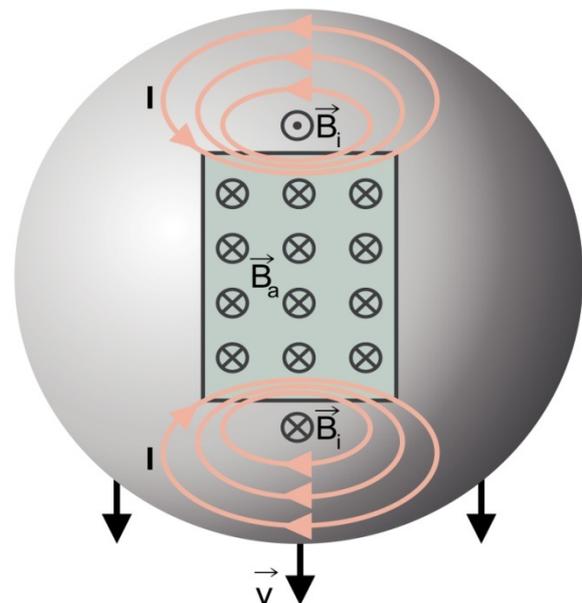


Abb. 1: Wirbelströme in Metallkörpern.

## 2.5 Durchführungsvarianten

- Die Schülerinnen und Schüler können bei Telexperiment 1 und 2 im Zweierteam arbeiten.
- Beide Versuche können jedoch auch parallel in zwei oder mehreren Gruppen durchgeführt werden, sodass die Einzelteams dann in der Reststunde im Unterricht ihr Expertenwissen aus den Versuchen der jeweils anderen Gruppe mitteilen, vergleichen und diskutieren können.
- Alle Versuche können mit jeder der genannten Altersstufen durchgeführt werden, differenzieren kann die Lehrkraft dann hinsichtlich der Tiefe der Auswertung und der weiteren Fragestellung.

## 3 Ergänzende Informationen zum Experiment

Zur Vorbereitung bzw. zur Vertiefung dieses Experiments finden Sie ergänzende Medien auf dem Medienportal der Siemens Stiftung: <https://medienportal.siemens-stiftung.org>

## 4 Hinweise zur Durchführung der Telexperimente

### 4.1 Räumlichkeiten

Es sind keine besonderen Räumlichkeiten notwendig.

### 4.2 Zeitbedarf

	Vorbereitung	Durchführung	Auswertung	Besprechung
Telexperiment 1	5 min	15 min	10 min	Je nach Tiefe
Telexperiment 2	5 min	5 min	10 min	Je nach Tiefe
Telexperiment 3	5 min	5 min	10 min	Je nach Tiefe

### 4.3 Sicherheitsaspekte

Die Versuche dürfen nur bei Anwesenheit und unter Aufsicht der Lehrkraft durchgeführt werden. Die Schülerinnen und Schüler sind darauf hinzuweisen, dass die bereitgestellten Materialien nur entsprechend den jeweiligen Anweisungen eingesetzt werden dürfen.

Stellen Sie sicher, dass keine Schäden an wasserempfindlichen Materialien und Geräten entstehen können.

#### 4.4 Benötigte Materialien

Die richtige Verkabelung und die richtige Benutzung von Multimeter, LEDs und Motor sollten je nach Kenntnissstand der Schülerinnen und Schüler von der Lehrkraft vorab erklärt, ggf. demonstriert werden. Für **eine** Schülergruppe werden folgende Materialien benötigt:

Material	Anzahl
Alufolie, Rolle	1
Becher, 100 ml	2
Becher, 500 ml	3
Digitalmultimeter	1
Eisenpulver	1 für die ganze Klasse
Filter- oder Zeitungspapier, große Bögen	1
Kaffeelöffel	1
Kochsalz	1 für die ganze Klasse
Lineal oder Geodreieck	1
Magnet (permanent), Quader	1
Messkabel-Set Banane/Kroko, je rot und schwarz	1
Nagel (Stahl, „Eisen“)	2
Neodymmagnet	1
evtl. Papiertücher zum zwischenzeitlichen Trocknen der Becher	nach Bedarf
Plastikbeutel 3 l (aus PE)	1
Quarzsand („Filtersand“)	1
Schale	1
Schere	1
Wasser	nach Bedarf



Abb. 2: Geräte bzw. Materialien für eine Schülergruppe, beispielhafte Abbildung.

## 4.5 Aufräumen, Entsorgen, Recyceln

Fast alle verwendeten Geräte und Materialien sind wiederverwendbar. Daher sollten sie nach Beendigung des jeweiligen Experiments ordentlich aufgeräumt werden. So stellen Sie sicher, dass Sie bzw. Ihre Kolleginnen und Kollegen beim nächsten Einsatz alles schnell wiederfinden.

Geräte, die beim Experimentieren verschmutzt wurden, wie z. B. Becher, Schalen, Löffel, Reagenzgläser, sollten vor dem Zurücklegen erst gereinigt werden. Sinnvollerweise lässt man dies die Schülerinnen und Schüler gleich nach Beendigung des Experiments erledigen.

Stellen Sie zudem sicher, dass die Geräte wieder für den nächsten Einsatz betriebsbereit sind.

Beispielsweise sind benutzte Akkus gleich aufzuladen (Auch bei längerer Nichtbenutzung ist das Aufladen der Akkus sinnvoll.).

Materialien, die nicht wiederverwendbar sind, wie z. B. gebrauchte pH-Messstäbchen oder Filterpapier, sollten fachgerecht entsorgt werden.

Die Entsorgung der in diesem Experiment anfallenden Abfälle kann über den normalen Hausmüll bzw. den Ausguss erfolgen.

### **Wichtiger Hinweis:**

Achten Sie als Lehrkraft bitte in diesem Experiment darauf, dass alle PE-Schnipsel sorgfältig abgeschöpft werden und keine Kunststoff-Reste in das Abwasser gelangen!

## B3 Wie funktioniert die Mülltrennung? – Stofftrennung nach Dichte und Magnetismus

Du brauchst ein Blatt Papier, um deine Beobachtungen zu notieren. Die Versuche werden im Team durchgeführt und bevor du beginnst, solltest du immer die Anleitung gelesen haben. Lege dir vorab die benötigten Materialien zurecht.

Bei den Versuchen geht es um das Erfahren von Grundprinzipien der Mülltrennung zur Wiederverwertung von Rohstoffen.

### 1 Trennung eines Feststoffgemenges aus Sand und Eisen

#### 1.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Becher, 500 ml	3
Eisenpulver	1 Kaffeelöffelstielspitze
Filter- oder Zeitungspapier	nach Bedarf
Kaffeelöffel oder Spatel	1
Magnet (permanent), Quader	1
Plastikbeutel 3 l (aus PE)	1
Quarzsand („Filtersand“)	1 Kaffeelöffelstielspitze
Schale	1

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

#### 1.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht.

#### 1.3 Versuchsdurchführung

- Zunächst musst du dir das Feststoffgemenge aus Quarzsand und Eisenpulver herstellen.
- Mische dazu ca. 1 Kaffeelöffel Sand und ca. 1/2 Kaffeelöffel Eisenpulver in der Schale.
- Nun trennst du das Eisen vom Sand. Dazu nimmst du den Magneten und steckst ihn in die Plastiktüte. Achtung, die Tüte muss absolut dicht sein und darf keine Schnitte oder Risse haben. (Wenn die Eisenspäne direkt an den Magneten kommen, lassen sie sich kaum mehr entfernen!)



Abb. 1: Arbeiten mit dem verpackten Magneten als „Eisensauger“.

- Nun „saugst“ du durch Darüberfahren mit dem verpackten Magneten den Boden der Schale ab.

- Halte anschließend den verpackten Magneten mit dem daran haftenden Eisenpulver über einen leeren 500-ml-Becher. Wenn du nun den Magneten aus der Verpackung ziehst, fallen die Eisenteilchen in den Becher.
- Stecke den Magneten wieder in den Beutel und „saug“ noch einmal den Sand in der Schale durch, bis in ihm praktisch keine Eisenteilchen mehr sichtbar sind.
- Lass das gesammelte Eisenpulver wieder in den Becher fallen.
- Fülle den gereinigten Sand in einen der leeren 500-ml-Becher.
- Wenn du nun den Becher mit den Eisenspänen betrachtest, wirst du noch etwas Sand darin sehen. Er hatte sich zwischen die Eisenspäne geklemmt.
- Schütte nun das noch nicht ganz sandfreie Eisenpulver in die Schale, „saug“ wieder mit dem verpackten Magneten durch und sammle das Eisenpulver wieder in einem Becher. Den übrig gebliebenen Sand in der Schale schüttest du zum bereits gereinigten Sand in den entsprechenden Becher.
- Wenn du diesen Vorgang noch einmal wiederholst, solltest du bei sorgfältigem Arbeiten reinen Sand und reines Eisenpulver erhalten.
- Das Eisenpulver wird nach Anweisung der Lehrkraft gesammelt zur Weiterverwendung in späteren Experimenten.

#### **1.4 Beobachtung**

Fasse deine Beobachtungen und Vorgehensweise schriftlich zusammen.

#### **1.5 Auswertung**

Erläutere, aufgrund welcher Eigenschaften sich Sand und Eisen trennen lassen.

#### **1.6 Fragen**

Würden sich Quarzsand und Eisen auch aufgrund ihrer Dichte trennen lassen?

## 2 Können wir eine Sand-Kunststoff-Wasser-Salz-Mischung trennen?

### 2.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Becher, 100 ml	1
Becher, 500 ml	3
Digitalmultimeter	1
evtl. Papiertücher zum zwischenzeitlichen Trocknen der Becher	nach Bedarf
Filter- oder Zeitungspapier	nach Bedarf
Kaffeelöffel	1
Kochsalz	1 Kaffeelöffelstielspitze
Messkabel-Set Banane/Kroko, je rot und schwarz	1
Nägel (Stahl, „Eisen“)	2
Plastikbeutel 3 l (aus PE)	1
Quarzsand („Filtersand“)	nach Bedarf
Schere	1
Wasser	nach Bedarf

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

### 2.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht.

Bei diesem Experiment achte bitte auf folgende mögliche Gefahren:

- Am Arbeitsplatz dürfen keine wasserempfindlichen Materialien vorhanden sein.
- Gehe vorsichtig mit der Schere um!

### 2.3 Versuchsdurchführung

- Jetzt stellen wir eine Sand-Kunststoff-Wasser-Salzmischung her. Dazu schneidest du erst einmal vom oberen Rand des PE-Beutels einen Streifen ab und schneidest diesen in kleine, ca. 2 mm große Schnipsel. Die Schnipsel mischst du in der Schale mit dem Sand und ca. 1/2 Kaffeelöffel Salz. Gib diese Mischung in einen ca. 1/3 mit Wasser gefüllten 500-ml-Becher.
- Schöpfe nun die PE-Schnipsel mit dem Löffel ab und gib sie auf das Filter- oder Zeitungspapier zum Trocknen. Sammle sie nach Anweisung des Lehrers, sie können evtl. wieder verwendet werden.
- Dekantiere, d. h. schüttele nun das über dem Sand stehende Wasser in einen 500-ml-Becher ab.



Abb. 2: Unsere Sand-Kunststoff-Wasser-Salzmischung.

- Fülle dann mit diesem Wasser einen der 100-ml-Becher ca. zur Hälfte.
- Schütte in den zweiten 100-ml-Becher destilliertes Wasser oder reines Leitungswasser.
- Miss nun mit den beiden Nägeln als Elektroden und dem Multimeter den Widerstand erst des reinen Wassers und dann des dekantierten Wassers. Stelle den Widerstandsbereich jeweils so ein, dass du die beste Auflösung hast. Wichtig: Die Nägel sollen bei allen Messungen den gleichen Abstand voneinander haben.



Abb. 3: Messung des Widerstands der wässrigen Lösung.

## 2.4 Beobachtung

Fasse deine Beobachtungen und Vorgehensweise schriftlich zusammen.

## 2.5 Auswertung

- a) Erläutere, aufgrund welcher Eigenschaften sich PE-Folie vom Sand trennen lässt.
- b) Erkläre, warum Widerstand bzw. Leitfähigkeit des reinen Wassers und des dekantierten Wassers so stark unterschiedlich sind.

## 2.6 Fragen

- a) Suche weitere Eigenschaften von Stoffen, die dir für die Stofftrennung brauchbar erscheinen.
- b) Erkläre, warum es so schwer ist, Nicht-Eisen-Metalle wie Aluminium, Kupfer, Messing, Zinn oder Zink einerseits von Eisenmetallen und andererseits von Glas, Papier und Kunststoffen zu trennen.
- c) Entwickle Vorschläge, wie man in Wasser gelöste Feststoffe (z. B. Salze) vom Wasser abtrennen könnte.

### 3 Prinzip der Trennung von Aluminium von anderen Nicht-Eisen-Metallen

Bei diesem Experiment geht es darum zu zeigen, dass für Trennverfahren oft zwei oder mehrere verschiedene physikalische Eigenschaften genutzt werden. Hier nutzt man die magnetische Abstoßung in einem Nicht-Eisen-Metall, die aufgrund von induzierten Wirbelströmen entsteht.

#### 3.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Alufolie, Rolle	1
Lineal oder Geodreieck	1
Neodymmagnet, sehr stark	1
Schale	1
Schere	1
Wasser	nach Bedarf

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

#### 3.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht.

Bei diesem Experiment achte bitte auf folgende mögliche Gefahren:

- Am Arbeitsplatz dürfen keine wasserempfindlichen Materialien vorhanden sein.
- Gehe vorsichtig mit der Schere um!
- Der Neodymmagnet darf nicht in die Nähe von magnetischen Datenträgern, z. B. EC-Karten kommen!

#### 3.3 Versuchsdurchführung

- Schneide aus der vorbereiteten Aluminiumfolie ein Quadrat der Größe 20 cm x 20 cm und falte es gemäß der Anleitung im Anhang zu einem Achteck.
- Probiere, ob das Alu-Achteck von dem Magneten angezogen wird.
- Fülle die Schale mit Wasser.
- Das Alu-Achteck setzt du jetzt auf die Wasseroberfläche. Bewege den Magneten langsam in ca. 1 cm Abstand kreisförmig (im Uhrzeigersinn) über dem „Aluminiumpaket“. Achte darauf, dass du immer im gleichen Abstand bleibst.
- Ändere die Geschwindigkeit und die Bewegungsrichtung (kreisförmig, gegen den Uhrzeigersinn) des Magneten.



Abb. 4: Über dem Alu-Achteck wird der Magnet kreisförmig bewegt.

### 3.4 Beobachtung

Fasse deine Beobachtungen schriftlich zusammen.

### 3.5 Auswertung

- a) Was passiert mit dem gefalteten Alu-Achteck beim Aufsetzen auf die Wasseroberfläche? Warum geht die gefaltete Folie nicht unter?
- b) Was passiert unter dem Einfluss der Magnetbewegung mit dem Alu-Achteck?
- c) Ändert sich etwas, wenn du die Geschwindigkeit oder die Drehrichtung veränderst?
- d) Versuche den Einfluss des Magneten auf das Alu-Achteck zu erklären. (Tipp: Was passiert, wenn sich ein Magnetfeld durch einen elektrischen Leiter bewegt? Und welchen magnetischen Effekt gibt es, wenn in einem elektrischen Leiter ein Strom fließt?)
- e) Was hat das Experiment mit dem Phänomen der Wirbelströme zu tun?

### 3.6 Fragen

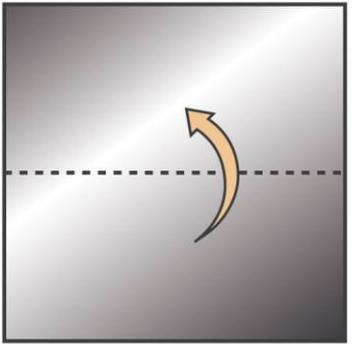
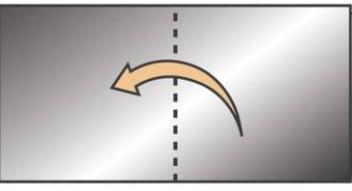
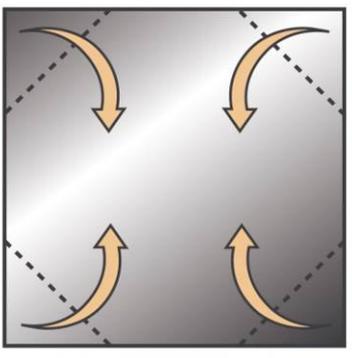
- a) Überprüfe zuhause oder in der Schule den unterschiedlichen Anteil der Bestandteile im Hausmüll.

Wenn du Zugang zum Internet hast:

- b) Erläutere auf Grund einer Recherche, wie das Prinzip der Wirbelstromabscheidung in der Mülltrennung und im Metallabfallrecycling genutzt wird.
- c) Recherchiere, wo noch in Industrie und Technik das Entstehen von Wirbelströmen genutzt wird.
- d) Das Wiedergewinnen von Rohstoffen aus Müll ist besonders sinnvoll, wenn diese Trennung energieeffizient geschieht, bzw. es sich um Stoffe handelt, die besonders energieintensiv produziert werden mussten. Finde Beispiele für diese „Regel“.
- e) Ein sehr interessanter Recyclingprozess ist die Wiederaufbereitung von Rohstoffen aus sog. Tetra Pak-Verpackungsmaterialien. Recherchiere die Material-Bestandteile und entwerfe ein eigenes Trennverfahren.
- f) Welche Möglichkeiten haben Industriebetriebe, wie z. B. ein Automobilwerk, um unnötige Abfälle zu vermeiden?

## Anhang: So faltest du ein Achteck aus der Alufolie

Diese Faltanleitung gehört zum Telexperiment 2 „Prinzip der Trennung von Aluminium von anderen Nicht-Eisen-Metallen“.

<p>1. Nimm ein quadratisches Stück Alufolie (ca. 20 cm x 20 cm) und falte es locker einmal in der Mitte, sodass ein Rechteck entsteht. Zwischen den Lagen soll etwas Luft bleiben.</p>	
<p>2. Falte das Rechteck erneut locker in der Mitte, sodass wieder ein Quadrat entsteht.</p>	
<p>3. Wiederhole die Schritte 1 und 2, sodass du letztlich wieder ein Quadrat hast, das aus sechzehn Schichten besteht (siehe Foto).</p>	
<p>4. Falte nun jede der vier Ecken in Richtung des Mittelpunkts des Quadrats und drücke die eingeklappten Ecken flach.</p>	
<p>5. So sieht das fertige Achteck aus.</p>	



## B4 Wir gewinnen Trinkwasser – Methoden der Wasserreinigung

Die vorgeschlagenen Teilerperimente eignen sich bestens, um in das chemische Grundlagenthema Stofftrennung anhand des aktuellen Themas Wasseraufbereitung einzusteigen. Ebenso können die Schülerinnen und Schüler auch ihre einschlägigen Vorkenntnisse am Beispiel dieser Experimente verifizieren. Im Biologieunterricht passen die Experimente zur Hinführung zum Thema Wasser als Lebensgrundlage. Natürlich können die Experimente auch fächerübergreifend z. B. im Rahmen eines Umweltprojekts eingesetzt werden.

### 1 Zentrale Fragestellung

Für viele Menschen ist es nicht selbstverständlich, täglich frisches und sauberes Trinkwasser zu haben. Trinkwasserknappheit ist eines der größten sozialen Probleme des 21. Jahrhunderts. Weltweit haben fast eine Milliarde Menschen keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser. Wie ist es möglich, dass ein Planet, der zu 2/3 mit Wasser bedeckt ist, seine Bewohner nicht mit ausreichend Trinkwasser versorgen kann? Das liegt unter anderem an der wachsenden Bevölkerung, regional klimatisch bedingtem Wassermangel und der Abholzung wasserspeichernder Wälder. Der Hauptgrund ist jedoch vielerorts die Verschmutzung natürlicher Wasserreserven (Flüsse, Seen und Grundwasser) durch Haushalte, Industrie und Landwirtschaft. Dass oftmals nicht einmal Grundwasser ohne Aufbereitung als Trinkwasser gebraucht werden kann, soll den Schülerinnen und Schülern bewusst gemacht werden. „Wie kann man aus verschmutztem Wasser Trinkwasser bereiten?“ ist die praxisnahe Thematik, bei der die Schülerinnen und Schüler in Gruppenexperimenten die Grundprinzipien und auch den Aufwand bei der technischen Umsetzung moderner Wasserreinigung kennen lernen sollen. Im Leitfaden „Naturwissenschaften, Technik und Werte“ finden Sie darüber hinaus Anregungen, wie Sie im Anschluss an das Experiment mit Hilfe von Impulsen Werte wie Eigenaktivität, Solidarität, Umweltbewusstsein und Nachhaltigkeit thematisieren können.

### 2 Einordnung des Experiments in den Unterrichtszusammenhang

#### 2.1 Fachliche Grundlagen

Wünschenswerte, aber nicht zwingend notwendige Vorkenntnisse der Schülerinnen und Schüler (hier reichen Erfahrungen aus dem Alltag):

- Wasser als Lösungsmittel
- Wasser als „Lebensstoff“ für Mensch, Tier- und Pflanzenwelt
- Gewässerschutz (→ Gewässer als Lebensraum)

#### 2.2 Lehrplanrelevanz

##### Altersstufe 12 – 15 Jahre

Im Chemieunterricht ist das Thema Stofftrennung und die Anwendung physikalischer Trennungsmethoden (→ Sieben, Sedimentieren, Dekantieren, Filtrieren) bei der Stofftrennung von Stoffgemischen (fest/flüssig) unverzichtbare Grundlage in allen Lehrplänen. Dazu kommen Themen wie die Löslichkeit von Stoffen, Lösung und Suspension, Emulsion, Osmose, chemische Fällungsreaktionen und die Kläranlage als Ort der Wasserreinigung.

Im Biologieunterricht ist das zentrale Thema Wasser als Lebensstoff (→ Stoffwechseltransport) und davon abgeleitet die Themen Zellaufbau (→ Membran) und Osmose. Biologische Umweltthemen sind der biologische Schadstoffabbau sowie Gewässerschutz und Trinkwasserschutz.

Mehr peripher sind die Überschneidungen mit dem Physikunterricht: Hierzu gehören Themen wie die Wirkungsweise von Filtern (→ Teilchengröße – Porengröße) und der Druck als Zustandsgröße in Gasen und Flüssigkeiten.

**Themen und Begriffe:** Abwasser, Dekantieren, Dichte, Druck, Farbstoff, Feststoffe, Filtrieren, Flüssigkeit, Geruchsstoff, Geschmacksstoff, Gewässerschutz, Ionische Lösung, Kläranlage, Lebensraum, Lebensmittel Wasser, Lösung, Lösungsmittel, Porengröße, Reinigungsprozesse, Schwebeteilchen, Sedimentieren, Sieben, Stoffgemische, Stofftrennung, Stoffwechsel, Suspension, Trennungsmethoden, Trinkwasser, Trinkwasserschutz, Van-der-Waals-Kräfte, Wasseraufbereitung, Wasserverschmutzung, Wechselwirkungskräfte (molekulare und atomare)

## 2.3 Kompetenzen

Die Schülerinnen und Schüler ...

- beschreiben ausgehend von eigenen praktischen Erfahrungen (z. B. Kaffeebrühen: Geschmack und Farbe werden extrahiert, der „Kaffeersatz“ jedoch zurückgehalten), dass Trennverfahren im Alltag eine wichtige Rolle spielen.
- erläutern die tragende Rolle von Wasser bei Trennverfahren.
- erörtern, dass unser Umgang mit Trinkwasser, in welcher Form auch immer, letztendlich Abwasser erzeugt.
- diskutieren, dass man im Alltag am umgekehrten Prozess – Trinkwasser aus Schmutzwasser – eher unbeteiligt ist.
- entwickeln ein Umweltbewusstsein.
- machen die verantwortliche Umgangsweise mit dem „Lebensstoff“ Wasser zum Beweggrund ihres sozialen Denkens und Handelns.

## 2.4 Das Experiment im Erklärungszusammenhang

In den Versuchen sollen die mechanischen Reinigungsprozesse von verschmutztem Wasser schrittweise mit immer feineren Verfahren praxisnah erklärt werden.

### 2.4.1 Telexperiment 1: Grobe Reinigung des verschmutzten Wassers mit Quarzsand, Aktivkohle und Filterpapier

Telexperiment 1 fängt an mit der groben Reinigung einer Mischung aus Tonerde, Tinte und Kochsalz durch Quarzsand und Filterpapier.

Hierbei wirkt der Sand wie ein feines Sieb zuerst einmal vor allem durch seine Porengröße. Während die Porengröße des „Papierfilters“  $> 10 \mu\text{m}$  ist, werden durch den Sandfilter Partikel und Schwebestoffe mit einer Größe von  $> 0,1 \mu\text{m}$  zurückgehalten. Denn zusätzlich zur Porengröße von ca.  $100 \mu\text{m}$  wirken beim Sandfilter auch noch Adhäsionskräfte (Wechselwirkungskräfte auf atomarer und molekularer Ebene, Stichwort Van-der-Waals-Kräfte). Wie gut die Filterwirkung im Experiment ist, hängt von der Schichtdicke und der Qualität des in den Trichter eingefüllten Quarzsandes bzw. von der Filtertüte ab. Man sieht, dass die meisten Schwebeteilchen herausgefiltert wurden, jedoch nicht die Farbstoffteilchen der Tinte. Um molekulare Stoffe wie Tinte zu beseitigen, muss man das Filtrat mit Aktivkohle ausschüttern. Diese wirkt praktisch nur aufgrund der Adsorption auf Farb-, Geschmacks- und Geruchsstoffe sowie auch auf Bakterien. Aufgrund der vielen Poren und der unglaublich kleinen Porengröße (1 bis 50 nm) addiert sich die Oberfläche dieser Poren auf das ca. 10.000-Fache im Vergleich zu massiver Kohle.

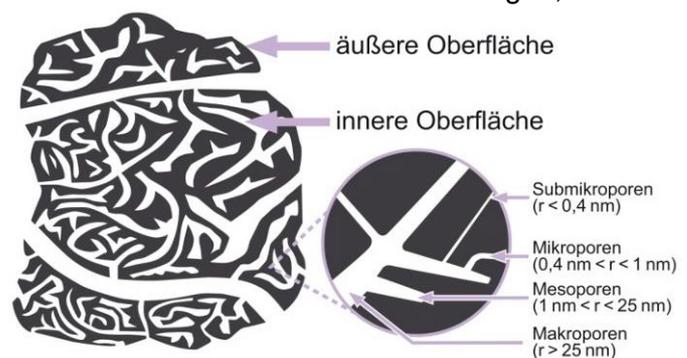


Abb. 1: Oberfläche (schematisch) der Aktivkohle.

Ein Gramm Aktivkohle hat somit eine innere Oberfläche von bis zu 1.000 m<sup>2</sup>, also etwa einem Siebtel eines Fußballfeldes. Mit der anschließenden Leitfähigkeitsprüfung soll gezeigt werden, dass neben den mechanischen Reinigungsprozessen oft auch noch chemische Stoffe im Wasser gelöst sind (hier Kochsalzionen), die nur sehr aufwändig entfernt werden könnten.

Verfahren	Mikrofiltration (MF)	Ultrafiltration (UF)	Nanofiltration (NF)	Umkehrosiose (UO)
Filtermaterial	Organisches Material oder Keramik	Polyamide, Polysulfane, Celluloseacetate, PVdF (Polyvinylidenfluorid)	Homogene Polymerschichten	Homogene Polymerschichten
Porengröße	Im Mikrometer-Bereich 0,05 – 10 µm	Hundertstel von Mikrometern 0,005 – 0,15 µm	Im Nanometer-Bereich 0,7 – 10 nm	< 1 nm „Keine Poren“
Abtrennbare Stoffe	Plankton, Algen, Trübungen, Bakterien, suspendierte Partikel, Fasern, evtl. Proteine und größere Mikroorganismen (Amöben)	Makromoleküle, Viren, Kolloide, Bakterien	Organische Verbindungen, Ionen (zweiwertige), Farbstoffe, Pestizide und auch Herbizide	Moleküle und Ionen: Alkali- und Erdalkalisalze, aber auch Schwermetallionen und Alkohole sowie Zucker
Erforderliche Druckdifferenz	0,1 – 2 bar	0,1 – 5 bar	3 – 20 bar	10 – 100 bar
Beispiel	Nachbehandlung von gereinigtem Abwasser	Trinkwasseraufbereitung (z. B. SkyHydrant)	Reinwasseraufbereitung, Wasserenthärtung	Reinstwasseraufbereitung, Meerwasserentsalzung

Abb. 2: Membranfilter im Überblick.

Im Vergleich zu den in der Tabelle genannten Werten liegen das von uns verwendete Papierrundfilter bei einer Porengröße über 10 µm, die Membranfilterpatrone bei 0,2 µm und der Hohlfasermembranschlauch bei 0,02 µm. Die Größe der blauen Farbstoffteilchen unserer Tinte liegt also offenbar teils über, teils unter 0,2 µm, ein Teil sogar unter 0,02 µm. Deshalb lässt sich der Farbstoffgehalt des Wassers mit unserer Filterpatrone und dem Membranschlauch zwar deutlich senken, aber nicht wirklich restlos entfernen.

## 2.4.2 Telexperiment 2: Feinreinigung von Wasser mit Membranfilter

Die Tinte besteht aus einem Farbstoffgemisch verschiedener Molekülgrößen, sodass vom Membranfilter zwar ein Teil der Farbe, aber nicht alles entfernt würde. Wir verzichten deshalb aus Gründen didaktischer Eindeutigkeit auf die Tinte und arbeiten nur mit einer in Kochsalzlösung suspendierten Tonerde. Das Experiment ist im Prinzip recht einfach und bei sorgfältigem(!) Arbeiten völlig erfolgssicher. Schließlich werden diese Membranfilter millionenfach in Biochemie, Medizin und Pharmazie eingesetzt. Die in der Schüleranleitung vorgeschlagene, scheinbar umständliche Vorgehensweise ist jedoch zur Vermeidung von Luftblasen im Membranfilter unerlässlich. Steht nämlich Luft auf der feuchten Membran, lässt sich die Membran wegen der Kompressibilität der Luft mit den in der Spritze möglichen Drücken nicht wieder freidrücken. Das Filter wird undurchlässig und unbrauchbar. Wird richtig gearbeitet, erkennt man die enorme Filterwirkung und erhält eine klare Lösung. Die Verwendung von Membranfiltern erlaubt eine Mikrofiltration, die Partikelgröße liegt hier bei > 0,1 µm.

### 2.4.3 Telexperiment 3: Feinreinigung von Wasser mit Hohlfasermembranfilter

Mit Ultrafiltration und Nanofiltration lassen sich mit Porengrößen bis zu 1 nm feinste Partikel wie Bakterien, Farbstoffmoleküle, Metall-Ionen und Viren zurückhalten. Diese Arten der Filtration verwenden meist Hohlfasermembranen. Die z. B. für Meerwasserentsalzung erforderlichen feinporigen Membranen benötigen jedoch sehr hohe Drücke (80 bar und mehr). Für unser Experiment können wir deshalb nur eine relativ grobporige Hohlfasermembran verwenden, mit der es nicht gelingt, die gelösten Natrium- und Chloridionen aus dem Wasser zu entfernen.

Wird das Verfahren der Nanofiltration auf salzhaltige (ionische) Lösungen angewandt, handelt es sich um Umkehrosmose. Bei diesem Verfahren wird unter Druck das salzige Wasser gegen eine extrem feinporige semipermeable Membran gepresst. Die Porengröße ist so, dass Wassermoleküle von ca. 0,28 nm durchpassen, die Salzionen aber zurückgehalten werden. (Die Salzionen sind zwar an sich kleiner als Wassermoleküle, durch ihre festgebundene Hydrathülle jedoch wesentlich größer). Anders als in unserem Versuch, wo wir im abgeschlossenen Hohlfasermembranschlauch Druck aufbauen, arbeiten moderne Entsalzungsanlagen im offenen Durchfluss. Der Druck ist aufgrund des geringen Durchmessers und der Länge der Fasern hoch genug, um die Wassermoleküle durch die Poren zu drücken. Der Vorteil: Durch den Durchfluss wird die Membran permanent vom nachfließenden Wasser gereinigt. Weltweit wird dieses Verfahren in Großanlagen in vielen Gegenden mit Trinkwassermangel zur Meerwasserentsalzung eingesetzt (Technikbezug).

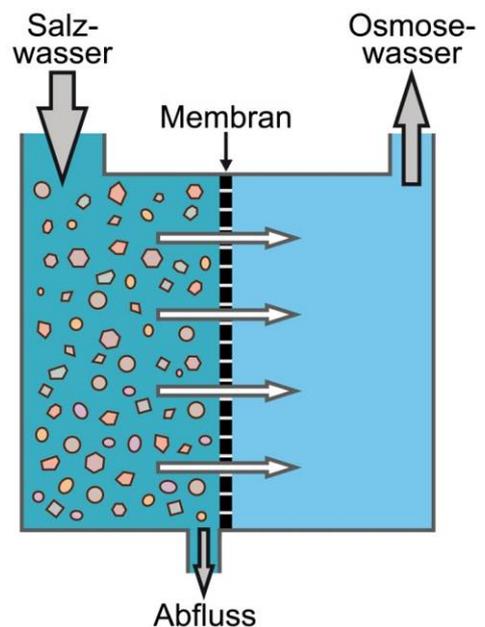


Abb. 3: Schema einer Umkehrosmose.

## 2.5 Durchführungsvarianten

- Die Schülerinnen und Schüler können bei allen Experimenten im Zweierteam arbeiten.
- Die Telexperimente 2 und 3 können jedoch auch parallel in zwei Gruppen durchgeführt werden, sodass die Einzelteams dann in der Rest- oder Folgestunde im Unterricht ihr Expertenwissen aus den Versuchen der jeweils anderen Gruppe mitteilen können.
- Alle Versuche können mit der genannten Altersstufe durchgeführt werden, differenzieren kann die Lehrkraft dann hinsichtlich der Tiefe der Auswertung und der weiteren Fragestellung je nach Vorkenntnissen und Altersstufe.

## 3 Ergänzende Informationen zum Experiment

Zur Vorbereitung bzw. zur Vertiefung dieses Experiments finden Sie ergänzende Medien auf dem Medienportal der Siemens Stiftung: <https://medienportal.siemens-stiftung.org>

## 4 Hinweise zur Durchführung der Telexperimente

### 4.1 Räumlichkeiten

Es sind keine besonderen Räumlichkeiten notwendig.

## 4.2 Zeitbedarf

	Vorbereitung	Durchführung	Auswertung	Besprechung
Teilexperiment 1	5 min	10 min	10 – 20 min je nach Tiefe	10 min
Teilexperiment 2	10 min	20 min	10 – 20 min je nach Tiefe	10 min
Teilexperiment 3	5 min	20 min	10 – 20 min je nach Tiefe	10 min

## 4.3 Sicherheitsaspekte

Die Versuche dürfen nur bei Anwesenheit und unter Aufsicht der Lehrkraft durchgeführt werden. Die Schülerinnen und Schüler sind darauf hinzuweisen, dass die bereitgestellten Materialien nur entsprechend den jeweiligen Anweisungen eingesetzt werden dürfen.

Bei diesen Experimenten achten Sie bitte auf folgende mögliche Gefahren und machen Sie auch Ihre Schülerinnen und Schüler darauf aufmerksam:

- Es muss darauf geachtet werden, dass der Akku nicht kurzgeschlossen wird. Es besteht Explosions- und Brandgefahr!
- Stellen Sie sicher, dass keine Schäden an wasserempfindlichen Materialien und Geräten entstehen können.

## 4.4 Benötigte Materialien

Die richtige Verkabelung und die richtige Benutzung der LED sollten je nach Kenntnisstand der Schülerinnen und Schüler von der Lehrkraft vorab erklärt, ggf. demonstriert werden.

Für **eine** Schülergruppe werden folgende Materialien benötigt:

Material	Anzahl
Akku, 9 V	1
Aktivkohle, Dose	1 für die ganze Klasse
Becher, 100 ml	4
Becher, 500 ml	2
Einweghahn (passend zu Schlauch 7/4mm und Luer Lock)	1
Filterpapier (Rundfilter), 12,5 cm	1
Filterpatrone (Membranfilter) mit Luer Lock	1
Hohlfasermembran mit Luer Lock	1 für die ganze Klasse
Kaffeelöffel oder Spatel	1
Kochsalz	1 für die ganze Klasse
LED rot (rotes Gehäuse), 5 V	1
Nagel (Stahl, „Eisen“), als Elektrode	2
Quarzsand („Filtersand“)	1 für die ganze Klasse
Schraubdeckel (für Becher 100 ml)	4
Spritze Luer Lock, 10 ml	1 – 2
Spritze Luer Lock, 50 ml	1
Tinte, blau („Aquatint“)	1 für die ganze Klasse
Tonerde („Bentonit“)	1 für die ganze Klasse
Trichter	1
Verbindungskabel Kroko/Kroko	6
Wasser	nach Bedarf



Abb. 4: Geräte bzw. Materialien für eine Schülergruppe, beispielhafte Abbildung.

#### 4.5 Aufräumen, Entsorgen, Recyceln

Fast alle verwendeten Geräte und Materialien sind wiederverwendbar. Daher sollten sie nach Beendigung des jeweiligen Experiments ordentlich aufgeräumt werden. So stellen Sie sicher, dass Sie bzw. Ihre Kolleginnen und Kollegen beim nächsten Einsatz alles schnell wiederfinden.

Geräte, die beim Experimentieren verschmutzt wurden, wie z. B. Becher, Schalen, Löffel, Reagenzgläser, sollten vor dem Zurücklegen erst gereinigt werden. Sinnvollerweise lässt man dies die Schülerinnen und Schüler gleich nach Beendigung des Experiments erledigen.

Stellen Sie zudem sicher, dass die Geräte wieder für den nächsten Einsatz betriebsbereit sind.

Beispielsweise sind benutzte Akkus gleich aufzuladen (Auch bei längerer Nichtbenutzung ist das Aufladen der Akkus sinnvoll.).

Materialien, die nicht wiederverwendbar sind, wie z. B. gebrauchte pH-Messstäbchen oder Filterpapier, sollten fachgerecht entsorgt werden.

Die Entsorgung der in diesem Experiment anfallenden Abfälle kann über den normalen Hausmüll bzw. den Ausguss erfolgen.

## B4 Wir gewinnen Trinkwasser – Methoden der Wasserreinigung

Zur Wasseraufbereitung gibt es verschiedene Trennverfahren, von denen wir einige kennenlernen werden.

Bei allen Versuchen arbeitet ihr im Zweier- oder Dreier-Team. Bevor ihr loslegt, solltet ihr euch alle Materialien für die Versuche bereitlegen. Zudem braucht ihr ein Protokollblatt, um eure Beobachtungen und Versuchsergebnisse zu notieren.

### 1 Grobe Reinigung des verschmutzten Wassers mit Quarzsand, Aktivkohle und Filterpapier

#### 1.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Akku, 9 V	1
Aktivkohle	1 Kaffeelöffel
Becher, 100 ml	2
Becher, 500 ml	2
Filterpapier (Rundfilter), 12,5 cm	1
Kaffeelöffel oder Spatel	1
Kochsalz	1 Kaffeelöffelstielspitze
LED rot (rotes Gehäuse), 5 V	1
Nägel (Stahl, „Eisen“) als Elektroden	2
Quarzsand („Filtersand“)	nach Bedarf
Schraubdeckel (für Becher 100 ml)	2
Tinte, blau („Aquatint“)	1 Tropfen
Tonerde („Bentonit“)	1 Kaffeelöffelstielspitze
Trichter	1
Verbindungskabel Kroko/Kroko	3
Wasser	nach Bedarf

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

#### 1.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht.

Bei diesem Experiment achte bitte auf folgende mögliche Gefahren:

- Schließe den Akku auf keinen Fall kurz! Es besteht Explosions- und Brandgefahr!
- Am Arbeitsplatz dürfen keine wasserempfindlichen Materialien vorhanden sein.

### 1.3 Versuchsdurchführung

Für die folgenden Trennverfahren musst du dir zunächst ein geeignetes Schmutzwasser herstellen. Fülle in einen 100-ml-Becher 90 ml Wasser und füge hinzu:

- einen Tropfen Tinte (stellvertretend für ungewünschte Farbstoffe, Geruchsstoffe und Geschmackstoffe)
- eine Löffelspitze Bentonit (stellvertretend für unlösliche Stoffe)
- eine Löffelspitze Kochsalz (stellvertretend für gelöste Salze).

Schraube den Deckel auf den Becher und vermische die Stoffe durch Schütteln.



Abb. 1: Herstellung des „verschmutzten“ Wassers.

- Dann wird ein Papierfilter passend gefaltet (siehe Faltanleitung im Anhang), angefeuchtet und so in den Trichter gegeben, dass er gut anliegt.
- Fülle den Filter ca. 3 cm hoch mit Quarzsand auf.
- Setze den Trichter dann auf den 500-ml-Becher.
- Jetzt schüttelst du das „Schmutzwasser“ noch einmal gut auf und gießt ca. die Hälfte davon in den Trichter.
- Hebe ab und zu den Trichter kurz an, sodass er nicht mehr ins Filtrat eintaucht, damit das Filtrat besser abfließen kann.
- Wenn alles durchgeflossen ist und das ganze Filtrat aufgefangen ist, kannst du den „Sandfilter“ in den Hausmüll entsorgen.



Abb. 2: Filtrieren durch Sand und Filterpapier.

- Die jetzt klare, blau gefärbte Lösung gibst du in einen mit 1 Löffel Aktivkohle befüllten Becher mit Schraubverschluss und schüttelst diesen nach Verschließen ca. 30 Sekunden.
- Dann gießt du den Inhalt wieder in den mit einem neuen Filterpapier versehenen Trichter und filtrierst wieder in einen 500-ml-Becher ab.
- Wie sieht das Filtrat aus?
- Auch hier kannst du den gebrauchten Filter am Ende entsorgen.



Abb. 3: „Ausschütteln“ des Farbstoffs mit Aktivkohle.

- Überprüfe nun die Leitfähigkeit des Filtrats.
- Fülle dazu das Filtrat in einen sauberen 100-ml-Becher um.
- Verwende die beiden Nägel als Elektroden und tauche sie in das Filtrat ein.
- Verbinde die beiden Nägel über die Verbindungskabel mit dem Akku und der LED (siehe Abb. 4). Achte auf die Polung der LED: Pluspol der LED (langes Bein) an Pluspol des Akkus.
- Teste zum Vergleich auch die Leitfähigkeit des Schmutzwassers. Gibt es deutliche Unterschiede?



Abb. 4: Messanordnung zur Bestimmung der Leitfähigkeit.

## 1.4 Beobachtung

Fasse deine Beobachtungen schriftlich zusammen.

## 1.5 Auswertung

- a) Wie verändert sich jeweils die Lösung nach dem Filtrationsvorgang?
- b) Hat sich das gelöste Kochsalz mit Sand/Papier-Filter und Aktivkohle entfernen lassen?

## 2 Feinreinigung von Wasser mit Membranfilter

### 2.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Akku, 9 V	1
Becher , 100 ml	4
Filterpatrone (Membranfilter) mit Luer Lock	1
Kaffeelöffel oder Spatel	1
Kochsalz	1 Kaffeelöffelstielspitze
LED rot (rotes Gehäuse), 5 V	1
Nägel (Stahl, „Eisen“), als Elektroden	2
Schraubdeckel (für Becher 100 ml)	4
Spritze Luer Lock, 10 oder 50 ml	1
Tonerde („Bentonit“)	1 Kaffeelöffelstielspitze
Verbindungskabel Kroko/Kroko	6
Wasser	nach Bedarf

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

### 2.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht.

Bei diesem Experiment achte bitte auf folgende mögliche Gefahren:

- Schließe den Akku auf keinen Fall kurz! Es besteht Explosions- und Brandgefahr!
- Am Arbeitsplatz dürfen keine wasserempfindlichen Materialien vorhanden sein.

### 2.3 Versuchsdurchführung

Für dieses Experiment setzt du mit ca. 50 ml Wasser und je einer Löffelstielspitze Bentonit und Kochsalz wieder „Schmutzwasser“ an.

Ähnlich wie beim Arzt, der auch keine Luftblasen in der Spritze haben darf, müssen wir zunächst die Kombination aus Spritze und Filterpatrone luftfrei mit Wasser füllen. Dazu gehst du folgendermaßen vor:

- Fülle die 50-ml-Spritze mit ca. 10 ml reinem Wasser.
- Halte dazu die Spritze mit dem Anschlussstutzen nach oben (siehe Abb. 5) und drücke die Luft heraus, bis gerade das erste Wasser austritt.



Abb. 5: Ausdrücken der Luft.

- Setze den Membranfilter durch vorsichtiges Anschrauben auf.
- Drücke nun das restliche Wasser durch die Filterpatrone so weit heraus, dass nur noch der Anschlussstutzen der Spritze und die Filterpatrone mit Wasser gefüllt sind. So stellst du sicher, dass keine Luftblase mehr enthalten ist.  
Jetzt ist unser Filtersystem betriebsbereit.



Abb. 6: Spritze mit aufgeschraubter Patrone vor Herausdrücken des restlichen Wassers.

Erst jetzt beginnt der eigentliche Versuch:

- Tauche die Filterpatronenspitze in das Schmutzwasser und sauge bis zu 20 ml filtriertes Wasser in den Spritzenzylinder. Ziehe dabei gleichmäßig und nicht zu stark am Kolben, denn das Wasser braucht Zeit, bis es durch den Filter gelaufen ist (ca. 1 – 2 Minuten).
- Schraube die Patrone ab und drücke das filtrierte Wasser aus der Spritze in einen sauberen 100-ml-Becher. Stelle den Becher beiseite.
- Damit sich keine Luftblasen bilden oder der Schmutz in der Filterpatrone eintrocknet, musst du nun sofort Spritze und Filterpatrone reinigen.
- Fülle dazu die Spritze einmal voll mit klarem Wasser und drücke sie wieder aus. (Nun ist die Spitze sauber).
- Fülle die Spritze ein zweites Mal voll auf und drücke wie oben beschrieben die Luft heraus. Schraube die Filterpatrone auf und drücke die Spritze leer. (Das in der Patrone sitzende ausfiltrierte Bentonit wird dabei durch Gegenspülung aus der Filtermembran wieder entfernt).
- Zum Abschluss überprüfst du nun wieder die Leitfähigkeit des beiseite gestellten Filtrats. Gibt es Unterschiede zum mit Sandfilter und Aktivkohle gewonnenen Filtrat aus Telexperiment 1?



Abb. 7: Spritze mit filtriertem Wasser.

## 2.4 Beobachtung

Fasse deine Beobachtungen schriftlich zusammen.

## 2.5 Auswertung

- Was kannst du über das Resultat nach der Filterung sagen?
- Hat sich das gelöste Kochsalz mit dem Membranfilter entfernen lassen?

### 3 Feinreinigung von Wasser mit Hohlfasermembranfilter

#### 3.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Akku, 9 V	1
Becher, 100 ml	4
Einweghahn (passend zu Schlauch 7mm/4mm und Luer Lock)	1
Hohlfasermembran mit Luer Lock für alle Gruppen	1
Kochsalz	1 Kaffeelöffelstielspitze
LED rot (rotes Gehäuse), 5 V	1
Nägel (Stahl, „Eisen“), als Elektroden	2
Schraubdeckel (für Becher 100 ml)	4
Spritze Luer Lock, 10 ml	1
Tonerde („Bentonit“)	1 Kaffeelöffelstielspitze
Verbindungskabel Kroko/Kroko	6
Wasser	nach Bedarf

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

#### 3.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht.

Bei diesem Experiment achte bitte auf folgende mögliche Gefahren:

- Schließe den Akku auf keinen Fall kurz! Es besteht Explosions- und Brandgefahr!
- Am Arbeitsplatz dürfen keine wasserempfindlichen Materialien vorhanden sein.

#### 3.3 Versuchsdurchführung

Für dieses Experiment kannst du das Schmutzwasser aus dem letzten Experiment verwenden. Sonst musst du es, wie dort beschrieben, ansetzen.

- Zuerst schraubst du den Einweghahn auf das eine Ende des Membranschlauchs (siehe Abb. 8). Der Hahn ist geschlossen, d. h. er steht auf Stellung „quer“ zum Anschluss.
- Dann saugst du in die 10-ml-Spritze ca. 5 cm Schmutzwasser und schraubst sie an das andere Ende des Membranschlauchs.



Abb. 8: Montage des Einweghahns an den Membranschlauch.

- Lasse den Membranschlauch in einen 100-ml-Becher hängen und drücke langsam, sodass das filtrierte Wasser aus der Oberfläche des Schlauches perlt und im Becher aufgefangen wird. Stelle das Filtrat beiseite.
- Nun reinigst du sofort den Hohlfasermembranfilter. Schraube dazu die Spritze ab, spüle die Spritze aus und fülle sie mit reinem Wasser und schließe sie wieder am Hohlfasermembranschlauch an.
- Öffne den Einweghahn (Stellung „längs“ zum Anschluss) und halte die Öffnung über einen anderen Becher. Drücke nun wieder langsam, sodass die Tonerde aus dem Filter wieder ausgespült wird.
- Wiederhole den Reinigungsvorgang mehrmals, bis nur noch klares Wasser aus dem Membranschlauch kommt.
- Überprüfe nun die Leitfähigkeit des beiseite gestellten Filtrats (siehe Telexperiment 1).



Abb. 9: An der Oberfläche des Membranschlauches austretendes Filtrat.

### 3.4 Beobachtung

Fasse deine Beobachtungen schriftlich zusammen.

### 3.5 Auswertung

- a) Welche der angewendeten Filtrationsmethoden war die effektivste? Erkläre!
- b) Begründe, inwiefern die Porengröße des Filters bzw. die Teilchengröße der Verschmutzungspartikel für den Einsatz und das Resultat der Filtermethode eine Rolle spielt.
- c) Überlege, ob alle Verschmutzungspartikel aus dem Wasser mit mechanischem Filtrieren beseitigt werden können.
- d) Beschreibe, wie sich die Leitfähigkeit des Filtrats nach den einzelnen Trennverfahren veränderte und erkläre das Ergebnis.
- e) Schlage ein weiteres Trennverfahren vor, mit dem man Trinkwasser aus Salzwasser gewinnen kann.

## 4 Fragen (zusammenfassend für alle Telexperimente)

- a) Erläutere, warum sauberes Trinkwasser so wichtig für die Menschheit ist. Wie viele Menschen haben kein sauberes Trinkwasser zur Verfügung?
- b) Die Verschlechterung der Trinkwasserqualität nimmt weltweit zu. Welche Erklärungen gibt es dafür?

Wenn du Zugang zum Internet hast:

- c) Ermittle durch Recherche, welche Filtermethoden für welche Teilchengrößen von Schmutzpartikeln geeignet sind. Wie heißen sie? Welche Technik braucht es dafür?
- d) Recherchiere, welche anderen Möglichkeiten der Trinkwasserreinigung es noch gibt.
- e) Erkunde, wie das Verfahren der Umkehrosmose funktioniert, wofür es angewendet wird und welche Vor- und Nachteile es hat.
- f) Was versteht man unter „biologisch abbaubaren“ Verschmutzungen? Nenne Beispiele dafür. Wie funktioniert der Abbau dabei?
- g) Wie ist der Trinkwasserschutz in deinem Staat durch den Gesetzgeber geregelt? Welche Institutionen sorgen für die Einhaltung der Gesetze?

## Anhang: So faltest du den Rundfilter, damit er in den Trichter passt

Das Material:

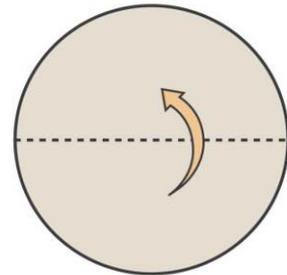
Rundfilter:



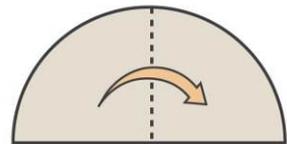
Trichter:



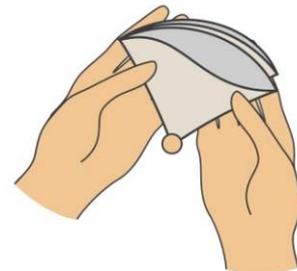
1. Falte den kreisförmigen Filter einmal in der Mitte.



2. Lege ihn so vor dich, dass der entstandene Halbkreis mit der geraden Kante nach vorne zeigt. Fasse die linke Ecke und biege sie bis zur Mittellinie des Halbkreises.



3. Fasse den gefalteten Filter an der Spitze an (in der Abbildung rechts ist die Stelle durch einen Punkt markiert). Drücke dann den Filter auseinander, sodass eine kegelförmige Öffnung entsteht.



4. Setze den Filter in den Trichter.



# B5 Wir bauen ein thermisches Sonnenkraftwerk – Mit Brennglas und Spiegel

Die beiden Teilerperimente zur Bündelung der Sonnenstrahlung mit Linse und Spiegel eignen sich sehr gut, um im Physikunterricht im Bereich Strahlenoptik und Kalorik einige Gesetzmäßigkeiten anhand eines hochaktuellen Themas kennenzulernen oder das bereits Gelernte zu verifizieren. Aber auch bei einem Projekttag zum Thema regenerative Energien oder Energiewende sind die Experimente gut einsetzbar.

## 1 Zentrale Fragestellung

Wie können die ungeheuren Energiemengen der Sonne, die täglich mehr Energie auf die Erde einstrahlt als die ganze Welt jährlich verbraucht, genutzt werden? Welche Möglichkeiten gibt es, diese regenerative Energiequelle zu erschließen? In einfachen Freihandexperimenten sollen den Schülerinnen und Schülern Ansätze dafür gezeigt werden. „Vom Brennglas zum Solarkraftwerk“ ist es zwar ein weiter Weg, dennoch lernen die Schülerinnen und Schüler auf diese Weise ganz hautnah in Gruppenexperimenten das Grundprinzip und die Schwierigkeiten bei der technischen Umsetzung regenerativer Energiegewinnung kennen. Gleichzeitig lassen sich damit wichtige Bezüge zur Wertebildung herstellen, zum Beispiel hinsichtlich des *Umweltbewusstseins* und der *Nachhaltigkeit*.

## 2 Einordnung des Experiments in den Unterrichtszusammenhang

### 2.1 Fachliche Grundlagen

Wünschenswerte, aber nicht zwingend notwendige Vorkenntnisse der Schülerinnen und Schüler:

- aus der Optik:
  - Licht als elektromagnetische Strahlung (→ Spektrum)
  - Optische Linsen und Spiegel als Instrumente zur Richtungsänderung von Strahlen
  - Konvergente Lichtbündel zur Bildung von Brennpunkten
- aus der Kalorik:
  - Temperaturstrahlung als Energietransport ohne Materie (Strahlungsenergie)
  - Temperaturmessung mit dem elektrischen Widerstandsthermometer

### 2.2 Lehrplanrelevanz

Im Physikunterricht der Altersstufe 12 bis 14 Jahre sind bei den Grundlagen der Optik folgende Themen angesprochen: Parallele, konvergente Lichtbündel; Lichtstrahl als idealisiertes enges, paralleles Lichtbündel; optische sphärische Linsen (Konvexlinse als Sammellinse → Brennpunkt); Strahlengänge beim Hohlspiegel. In der Kalorik gibt es Schnittmengen mit den Themen Temperaturmessung, Erwärmung eines Körpers durch Absorption von Strahlungsenergie; Spezifische Wärmekapazitäten; Energietransport ohne Vorhandensein von Materie (→ Temperaturstrahlung); Sonne als Temperaturstrahler und Solarkonstante.

**Themen und Begriffe:** Brennglas, Brennpunkt, elektromagnetische Strahlung, Energiedichte, Energiegewinnung, erneuerbare Energien, Hohlspiegel, Kalorik, konkav, konvex, Lichtbündel, Lichtstrahlen, Lupe, Optik, Parabolspiegel, Sammellinse, Solarkraftwerk, Sonnenlicht, sphärische Linse, Strahlengang, Temperaturstrahler, Thermometer

## 2.3 Kompetenzen

Die Schülerinnen und Schüler ...

- leiten das Bündeln von Lichtstrahlen in divergenter bis fast paralleler Form von der Taschenlampe ab.
- erfahren im praktischen Umgang mit Uhrglas oder Lupe, dass man Sonnenlicht einfangen, und in seiner Richtung verändern kann.
- ermitteln, dass die Fokussierung von Sonnenstrahlung durch optische Hilfsmittel zu einer wesentlich erhöhten Energiedichte führt, sodass in kürzester Zeit sogar Papier entzündet werden kann. Dieser Sachverhalt wird den Schülerinnen und Schülern in einfachen Experimenten und vor allem mit einfachen Mitteln überzeugend vor Augen geführt.
- entwickeln unmittelbar Überlegungen, diese Art der „Energiegewinnung“ nutzbar zu machen durch Besprechung und Auswertung der Versuchsergebnisse.
- erörtern die Bedeutung einer nachhaltigen Energieversorgung für die Zukunft (→ thermische Sonnenkraftwerke; z. B. Desertec-Projekt) und machen es zu ihrem eigenen Anliegen.
- entwickeln einen bewussten und verantwortlichen Umgang mit Natur und Ressourcen.

## 2.4 Das Experiment im Erklärungszusammenhang

### 2.4.1 Telexperiment 1: Entzünden eines Papierstreifens mit der Lupe als Brennglas

Hier geht es um das Erzeugen hoher Temperaturen mithilfe einer Lupe als Brennglas. Das experimentelle Herausfinden, wie das Brennglas als doppelkonvexe Sammellinse in den Strahlengang der Sonne (Parallellicht) zu positionieren ist (Gegenstands-Seite) und wie groß der Abstand auf der Bild-Seite zu wählen ist, damit eine maximale Verstärkung der Energie im Brennpunkt gelingt, ist Aufgabe der Schülerinnen und Schüler. Die erzielbare Energiedichte selbst hängt im Wesentlichen von der bestrahlten Fläche der wirksamen Linsenoberfläche ab.

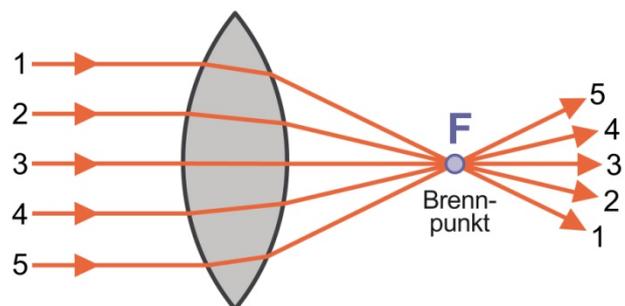


Abb. 1: Der Brennpunkt einer Sammellinse. Das aus großer Entfernung stammende und damit parallele Licht wird in einem Punkt vereint („gesammelt“).

Bei einer Linse mit  $250 \text{ mm}^2$  Fläche wird so die eingestrahelte Energie im Brennpunkt auf ca. ein Hundertstel der Fläche (ca.  $2,5 \text{ mm}^2$ ) fokussiert. Eine weitere mögliche Verkleinerung des Brennflecks wirkt sich enorm auf die Temperatur aus. Zu beachten ist, dass die Maximaltemperatur nur durch die Fixierung von Thermometer oder Papier in der Brennebene zu erreichen ist. Da die Sonne wandert, ist ein Nachführen des Brennglases notwendig; dies stellt aber in der Kürze der Versuchsdauer in Telexperiment 1 kein größeres Problem dar. Die Schülerinnen und Schüler beobachten sehr schnell die Entwicklung einer Rauchfahne und das Aufflammen des Papierstreifens. Beim Entzünden fester Substanzen wie Papier ist Voraussetzung, dass sich durch Zersetzen der Cellulose brennbare Gase entwickeln. Die für trockenes Papier zu erreichende Temperatur von  $233 \text{ °C}$  ( $451 \text{ °Fahrenheit}$ ) ist mit dem Brennglas zu erreichen, dunkles Papier erleichtert die Entzündung aber ungemein durch den erhöhten Absorptionseffekt.

## 2.4.2 Telexperiment 2: Wir erwärmen Wasser mit der Sonne

Hier soll eine kleine Menge Wasser durch die fokussierte Strahlung der Sonne erwärmt werden – im Prinzip ist dies der Aufbau eines „Solarkochers“, wie er in südlichen, noch wenig industrialisierten Ländern praktische Verwendung findet. Hierbei wird ein Parabolspiegel angewendet. Der Brennpunkt bei dem verwendeten Brennspiegel liegt bei senkrechter Bestrahlung ca. 3,5 cm über dem Spiegelgrund. Ein optimaler Erwärmungseffekt ist aber auch hier nur gewährleistet, wenn das Sonnenlicht senkrecht einfällt, was je nach Breitengrad eine mehr oder weniger starke Neigung des Spiegels voraussetzt. Da zur experimentellen Bestimmung des Brennpunkts ständig in den Spiegel hineingeschaut werden muss, ist das Tragen einer starken Sonnenbrille obligatorisch.

Ansonsten ist die Strahlenoptik des Brennspiegels der einer Konvexlinse durchaus vergleichbar, nur dass der Brennpunkt auf der sonnenzugewandten Seite liegt.

Da bei diesem Versuch zunächst das Glas mit Wasser (mit hoher spezifischer Wärmekapazität) erwärmt wird, ist wegen der zeitlichen Streckung des Experiments das Nachführen des Spiegels und des Reagenzglases abhängig vom Sonnenstand erforderlich. Es erfordert einiges an Geschick, den „strahlenden Fokus“ immer auf den Erwärmungspunkt zu fixieren. (Eine elektronisch motorgesteuerte Nachführung der Spiegel bei Sonnenkraftwerken ist die technische Lösung dieses Problems.)

Die Vergrößerung des Parabolspiegels ergibt genau wie bei der Lupe als Brennglas eine um das Vielfache erhöhte Energiedichte. Es sind so Temperaturen bis zu 400 °C möglich, wodurch Strom mit einer Gesamtleistung von über 50 MW pro Kraftwerksblock erzeugt werden kann. Das zeigen moderne Solarthermiekraftwerke, z. B. in Südspanien (Andasol), Marokko oder Kalifornien.

## 2.5 Durchführungsvarianten

- Die Schülerinnen und Schüler können bei Telexperiment 1 im Zweierteam arbeiten, das etwas aufwändigere Telexperiment 2 kann dann zu viert durchgeführt werden, wobei jeweils zu zweit aufgebaut und experimentiert wird, die beiden anderen im Team messen und werten aus.
- Sollte Telexperiment 2 im Freien durchgeführt werden, ist auf eine Abschirmung des Reagenzglases gegen Wind zu achten, da hierbei der Kühlungseffekt nicht zu unterschätzen ist. Der spätere Vormittag ist wegen des höheren Sonnenstands zu bevorzugen.
- Beide Versuche können jedoch auch parallel in zwei Gruppen durchgeführt werden, sodass die Einzelteams dann in der Folgestunde im Unterricht ihr Expertenwissen aus den Versuchen der jeweils anderen Gruppe mitteilen können.
- Alle Versuche können mit jeder der genannten Altersstufen durchgeführt werden, differenzieren kann die Lehrkraft dann hinsichtlich der Tiefe der Auswertung und der weiteren Fragestellung.

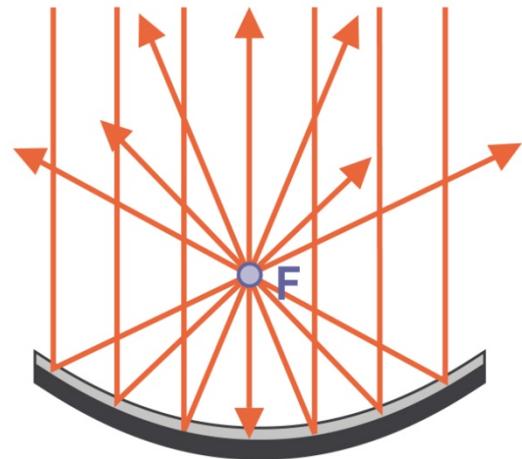


Abb. 2: Brennpunkt eines Hohlspiegels. Das aus großer Entfernung stammende und damit parallele Licht wird in einem Punkt vereint („gesammelt“).

### 3 Ergänzende Informationen zum Experiment

Zur Vorbereitung bzw. zur Vertiefung dieses Experiments finden Sie ergänzende Medien auf dem Medienportal der Siemens Stiftung: <https://medienportal.siemens-stiftung.org>.

Speziell zum Thema „Solarthermie und Photovoltaik – Energien mit Zukunft“ findet man ein weiteres Medienpaket auf dem Medienportal.

#### Optional: Weitere Experimentiermöglichkeiten

- Um die Wirkungsweise von Konvex- und Konkavlinen zu erarbeiten, kann man in der Einführung mit einem Löffel arbeiten.
- Die Schülerinnen und Schüler können dabei jeweils ihr Spiegelbild in der Innenseite und der Außenseite des Löffels erkennen und beschreiben: (Konvex: verkleinert, aufrecht/ Konkav: verkleinert, umgedreht)

### 4 Hinweise zur Durchführung der Telexperimente

#### 4.1 Räumlichkeiten

Die Experimente können nur an sonnigen Tagen im direkten, intensiven Sonnenlicht durchgeführt werden, am besten am offenen Fenster oder im Freien. Es sollte windstill sein und die Lufttemperatur mindestens 20 °C betragen. Prinzipiell würde auch die Sonne im Winter reichen. Jedoch ist bei geschlossenem Fenster die Sonnenstrahlung stark abgeschwächt und im Freien wird zu viel Wärme durch die kalte Luft abgeführt. Genauso gut geeignet sind starke Foto-/Video-Lampen mit parallelem Lichtbündel und Leistungen ab ca. 500 Watt. Preisgünstige Leuchten mit Hochleistungslampen (z. B. aus dem Baumarkt) müssten ausgetestet werden, da das Licht eventuell zu wenig parallel ist.

#### 4.2 Zeitbedarf

	Vorbereitung	Durchführung	Auswertung	Besprechung
Telexperiment 1	5 min	10 min	10 min	10 min
Telexperiment 2	10 min	30 min	10 min	5 min

#### 4.3 Sicherheitsaspekte

Die Versuche dürfen nur bei Anwesenheit und unter Aufsicht der Lehrkraft durchgeführt werden. Die Schülerinnen und Schüler sind darauf hinzuweisen, dass die bereitgestellten Materialien nur entsprechend den jeweiligen Anweisungen eingesetzt werden dürfen.

Bei diesen Experimenten achten Sie bitte auf folgende mögliche Gefahren und machen Sie auch Ihre Schülerinnen und Schüler darauf aufmerksam:

- Brennpunkt der Lupe bei Bestrahlung durch die Sonne kontrolliert einsetzen, nicht auf das Auge lenken!
- Wegen der Blendgefahr für das Auge durch Lupe und Brennspeigel muss zumindest die Schülerin bzw. der Schüler, die/der den Spiegel fokussiert, unbedingt eine Sonnenbrille tragen und durch die Lehrkraft beaufsichtigt werden.
- Beim Erwärmen des Wassers nicht in den Brennspeigel schauen!
- Es besteht Verbrennungsgefahr und Brandgefahr beim Arbeiten mit Feuer. Vor der ersten Benutzung der Feuerzeuge sind diese von der Lehrkraft auf ordnungsgemäße Funktion zu überprüfen, insbesondere die Regulierung der Flammengröße.
- Stellen Sie sicher, dass keine Schäden an wasserempfindlichen Materialien und Geräten entstehen können.
- Wasserbehälter bereitstellen zum Löschen des Papierbrandes!

#### 4.4 Benötigte Materialien

Sicherheitsrelevante Materialien und Geräte sind vor Aushändigung an die Schülerinnen und Schüler auf ihre ordnungsgemäße Funktion zu testen.

Für **eine** Schülergruppe werden folgende Materialien benötigt:

Die Schülerinnen und Schüler müssen Sonnenbrillen mitbringen.

Material	Anzahl
Digitalthermometer	1
Feuerzeug (wenn möglich ein Stabfeuerzeug) bzw. Streichhölzer	1
Kaffeelöffel	1
Klebeband	1 für die ganze Klasse
Lupe als Brennglas	1
Papier, schwarz, DIN A4	1
Reagenzglas aus Glas	1
Reagenzglasklammer aus Holz	1
Spiegel, konkav (als Brennspeigel)	1
Wünschenswert: Stativ mit Stativklammer. Alternativ können auch Bücher oder ein stabiles Trink- oder Konservenglas als Stativersatz dienen.	1
Teelicht	1
Wasser	nach Bedarf
Weißes Papier	1



Abb. 3: Geräte bzw. Materialien für eine Schülergruppe, beispielhafte Abbildung.

## 4.5 Aufräumen, Entsorgen, Recyceln

Fast alle verwendeten Geräte und Materialien sind wiederverwendbar. Daher sollten sie nach Beendigung des jeweiligen Experiments ordentlich aufgeräumt werden. So stellen Sie sicher, dass Sie bzw. Ihre Kolleginnen und Kollegen beim nächsten Einsatz alles schnell wiederfinden.

Geräte, die beim Experimentieren verschmutzt wurden, wie z. B. Becher, Schalen, Löffel, Reagenzgläser, sollten vor dem Zurücklegen erst gereinigt werden. Sinnvollerweise lässt man dies die Schülerinnen und Schüler gleich nach Beendigung des Experiments erledigen.

Stellen Sie zudem sicher, dass die Geräte wieder für den nächsten Einsatz betriebsbereit sind.

Beispielsweise sind benutzte Akkus gleich aufzuladen (Auch bei längerer Nichtbenutzung ist das Aufladen der Akkus sinnvoll.).

Materialien, die nicht wiederverwendbar sind, wie z. B. gebrauchte pH-Messstäbchen oder Filterpapier, sollten fachgerecht entsorgt werden.

Die Entsorgung der in diesem Experiment anfallenden Abfälle kann über den normalen Hausmüll bzw. den Ausguss erfolgen.

# B5 Wir bauen ein thermisches Sonnenkraftwerk – Mit Brennglas und Spiegel

Durch den Einsatz von Lupe und Brennspeigel im Sonnenlicht sollt ihr so hohe Temperaturen im Brennpunkt erzeugen, dass ihr sogar Papier entzünden könnt oder das Wasser bis fast zum Siedepunkt erhitzt.

Bei allen Versuchen arbeitet ihr im Team, beim Teilexperiment 1 z. B. zu zweit, bei Teilexperiment 2 zu viert, bzw. so wie euch die Lehrkraft einteilt. Bevor ihr loslegt, solltet ihr euch alle Materialien für die Versuche bereitlegen. Zudem braucht ihr ein Protokollblatt, um eure Beobachtungen und Messungen zu notieren

## 1 Entzünden eines Papierstreifens mit der Lupe als Brennglas

### 1.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Eimer mit Wasser	1
Lupe als Brennglas	1
Papier, schwarz, DIN A4	nach Bedarf
Sonnenbrille für mindestens eine Schülerin bzw. einen Schüler	1

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

### 1.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht.

Bei diesem Experiment achte bitte auf folgende mögliche Gefahren:

- Brennpunkt der Lupe bei Bestrahlung durch Sonne kontrolliert einsetzen! Es besteht Verbrennungsgefahr und Brandgefahr.
- Brennpunkt nicht auf das Auge lenken!
- Wasserbehälter bereitstellen zum Löschen des Papierbrandes.
- Am Arbeitsplatz dürfen keine wasserempfindlichen Materialien vorhanden sein.

### 1.3 Versuchsdurchführung

- Zunächst müsst ihr in einem Vorversuch mit der Lupe ans Fenster gehen und das Sonnenlicht draufscheinen lassen. Wenn ihr eure Hand hinter die Lupe bringt und diese ein Stück in der Bestrahlungsrichtung entfernt, seht ihr einen kleiner werdenden Lichtpunkt, den Brennpunkt.
- Versucht, das Licht auf einen möglichst kleinen Lichtpunkt zu fokussieren, indem ihr den Abstand zwischen Lupe und Hand verändert. Wenn ihr das Licht auf die Innenfläche eurer Hand fokussiert, werdet ihr sehr schnell feststellen, dass es an dieser Stelle ziemlich heiß wird. Also aufpassen! Probiert dies aber ruhig öfter aus.

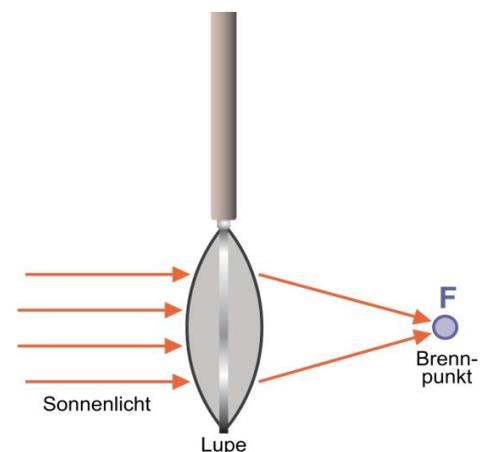


Abb. 1: Die Sammellinse als Brennglas.

- Im eigentlichen Versuch setzt ihr anstelle der Handfläche einen schwarzen Papierstreifen ein.
- Schaut auf die Uhr und messt die Zeit, bis ihr eure erste Beobachtung macht. Taucht das Papier dann in das Wasser (aus Sicherheitsgründen).
- Notiert eure Beobachtungen auf dem Protokollblatt.
- Das nasse Papier könnt ihr entsorgen.



Abb. 2: Erzeugen des Brennpunkts und Entzünden des Papierstreifens.

#### 1.4 Beobachtung

- Beschreibe, was du auf der Handinnenfläche fühlst, wenn der Brennpunkt erscheint.
- Notiere, was passiert, wenn man den Brennpunkt jetzt auf das Papier fokussiert.

#### 1.5 Auswertung

- Fertige eine Skizze zur Ermittlung der Brennweite der verwendeten Lupe an.
- Beschreibe den Unterschied von Konvex- und Konkavlinse.
- Vergleiche die Konvexlinse mit einem Hohlspiegel.
- Errechne die Energieverstärkung, wenn das Brennglas einen Durchmesser von 5,5 cm hat und der Brennpunkt eine angenommene Fläche von 5 mm<sup>2</sup> besitzt.

#### 1.6 Fragen

- Wovon hängt die Entzündungstemperatur fester, brennbarer Stoffe ab?
- Wenn du Zugang zum Internet hast, dann recherchiere im Internet die Bedeutung des Temperaturpunkts „Fahrenheit 451“. Tipp: Ein gleichnamiger Roman und Film sorgten in den 50er- bzw. 60er-Jahren des letzten Jahrhunderts weltweit für Furore.

## 2 Wir erwärmen Wasser mit der Sonne

### 2.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Digitalthermometer	1
Feuerzeug bzw. Streichhölzer	1
evtl. Klebeband zum Fixieren des Reagenzglashalters	bei Bedarf
Reagenzglas aus Glas	1
Reagenzglasklammer aus Holz	1
Sonnenbrille für mindestens eine Schülerin bzw. einen Schüler	1
Spiegel, konkav (als Brennspiegel)	1
evtl. Stativ mit Klammer	1
Als Stativesatz: Einige Bücher oder ein schweres Trink- oder Konservenglas	
Teelicht	1
Wasser	nach Bedarf

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

### 2.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht.

Bei diesem Experiment achte bitte auf folgende mögliche Gefahren:

- Sei vorsichtig beim Arbeiten mit Feuer, es besteht Verbrennungsgefahr und Brandgefahr!
- Am Arbeitsplatz dürfen keine wasserempfindlichen Materialien vorhanden sein.
- Den Brennpunkt der Lupe bei Bestrahlung durch Sonne kontrolliert einsetzen! Es besteht Verbrennungsgefahr und Brandgefahr.
- Auf keinen Fall während des Versuches ohne geeigneten Augenschutz (Sonnenbrille oder geschwärzte Glasscheibe) in den Brennspiegel schauen. Hier sieht man das Spiegelbild der Sonne: Es besteht Erblindungsgefahr!
- Beim Erwärmen des Wassers nicht in den Brennspiegel schauen.
- Verbrühe dich nicht beim Umgang mit heißem Wasser.

### 2.3 Versuchsdurchführung

- Geht mit dem Brennspiegel ins Freie oder an das offene Fenster. Richtet den Brennspiegel Richtung Sonne aus. Eventuell müsst ihr den Brennspiegel dazu etwas ankippen. Die gekippte Position kann durch ein untergeschobenes Heft, Radiergummi o. ä. fixiert werden.
- Versucht nun, den Brennpunkt des Spiegels zu finden. Er liegt zwischen ca. 2 cm und 5 cm über dem mittleren Bereich des Spiegels. Haltet dazu einen schmalen Streifen weißes Papier in verschiedener Höhe über den Spiegel. Der Brennpunkt ist gefunden, wenn ihr einen möglichst kleinen hellen Fleck auf dem Papier seht.



Abb. 3: Brennpunktsuche.

- Zündet das Teelicht an und schwärzt das untere Ende des Reagenzglases mit dem Kerzenruß.
- Füllt dann in das Reagenzglas ca. 1,5 cm hoch Wasser ein.
- Bringt die Reagenzglasklammer an und stellt das Digitalthermometer vorsichtig in das Reagenzglas.
- Wenn ihr die Position des Brennpunkts bestimmt habt, könnt ihr die Reagenzglasklammer am Stativ fixieren. Oder ihr klemmt, den Reagenzlashalter zwischen ein paar übereinander geschichteten Büchern fest. Oder ihr befestigt ihn mit Klebeband an einem stabilen, großen Glas.
- Und dann noch einmal nachjustieren, sodass das untere Ende des Reagenzglases genau im Brennpunkt liegt.
- Jetzt könnt ihr das Thermometer einschalten.
- Lest ca. 30 Minuten lang jede Minute die Temperatur am Thermometer ab und notiert diese Messwerte.



Abb. 4: Klebeband und großes, schweres Trinkglas als Stativesatz.

## 2.4 Beobachtung

Fasse deine Beobachtungen schriftlich zusammen.

## 2.5 Auswertung

- a) Was kannst du über den Temperaturanstieg sagen, wenn das Sonnenlicht das Wasser erwärmt?
- b) Wie lange dauert es, bis das Wasser siedet? Woran erkennst du das?
- c) Falls die Sonnenstrahlung nicht zum Sieden reicht, welche Temperatur konntet ihr erreichen?
- d) Erstellt aus den gemessenen Temperaturwerten beim Erhitzen des Wassers ein Temperatur-Zeit-Diagramm.

## 2.6 Fragen

- a) Die Bündelung der Sonnenenergie erfolgt nach den Gesetzmäßigkeiten der Optik. Wie müsste man ein Solarkraftwerk im großen Maßstab konstruieren? Fertige eine Skizze dazu an.
- b) Erkläre warum das Reagenzglas mit Ruß geschwärzt werden musste.

Wenn du Internet-Anschluss hast:

- c) Recherchiere im Internet, wo die größten Solarkraftwerke der Welt stehen und begründe ihren Standort.
- d) Was ist die Idee beim sog. „Desertec-Projekt“? Recherchiere.
- e) Recherchiere, wie groß die Solarkonstante ist. Berechne damit die Spiegelfläche eines Solarkraftwerks zur Erzeugung von 20 MW Leistung bei einem Wirkungsgrad von 80 %.

## B6 Erneuerbare Energien – Sonne, Wasser, Wind, Wasserstoff und Brennstoffzelle

Die Abfolge von Telexperimenten zu Photovoltaik, Wasserkraft, Windkraft und Wasserstofftechnologie bietet einen hochaktuellen Einstieg in das Thema Regenerative Energien. Der zeitliche und inhaltliche Umfang ist allerdings relativ groß. Deshalb eignet sich der Einsatz der Experimente vor allem in Form eines Projekts bzw. Projekttags zum Thema Energiewende. Aufgrund des Umfangs ist es auch kaum möglich, die zugrundeliegenden naturwissenschaftlichen Themen von den Schülerinnen und Schülern im Experiment erarbeiten zu lassen. Gewisse Grundkenntnisse vorausgesetzt, können sie allerdings ihr bereits vorhandenes physikalisches und chemisches Grundwissen anhand der Experimente bestens verifizieren. Alternativ können natürlich die Telexperimente auch einzeln dazu verwendet werden, anhand einer lebensnahen technischen Anwendung den Einstieg in eines der naturwissenschaftlichen Basisthemen zu finden. Eine Möglichkeit ist, die Klasse in Gruppen aufzuteilen, die dann unterschiedliche Telexperimente ausführen.

### 1 Zentrale Fragestellung

Die Abnahme abbauwürdiger und bezahlbarer Ressourcen von Steinkohle, Erdöl und Erdgas (fossile Brennstoffe), die äußerst risikoreiche Nutzung der Kernenergie, der Klimawandel und das zunehmende Umweltbewusstsein haben die beschleunigte Einführung geeigneter erneuerbarer Energien nötig gemacht.

Erneuerbare oder regenerative Energien sind nachhaltig, da sie im Gegensatz zu fossilen Brennstoffen (Kohle, Erdgas und Erdöl) durch die Nutzung z. B. der Sonnenenergie praktisch unbegrenzt vorhanden sind. Bekannte Beispiele für erneuerbare Energien sind die direkt genutzte Sonnenenergie (Solarthermie und Photovoltaik), Biomasse (z. B. Holz, Biogas, Bioethanol), Windenergie, Wasserkraft und Erdwärme (Geothermie). Außer bei Biomasse entstehen Kosten nur für die Anlagen, die Energieträger selbst sind kostenlos.

Die Schülerinnen und Schüler haben die Möglichkeit, sich in dieser Experimentier-Einheit mit der Problematik der bestehenden Energieversorgung auseinander zu setzen und die alternative Nutzung von erneuerbaren Energien als einen möglichen Lösungsweg zu erkennen.

Dabei sollen sie die Vielfältigkeit des Begriffs **Energie** erfassen, insbesondere die vier zentralen Grundideen: Energieumwandlung, Energietransport, Energieerhaltung und Energieentwertung.

Die verschiedenen Formen von erneuerbaren Energien sollen an ausgewählten Beispielen (Sonnenenergie, Wasserkraft, Windenergie) experimentell behandelt werden.

Am Beispiel der Umwandlung von elektrischer Energie in chemische Energie (Wasserstoff) sollen die Schülerinnen und Schüler ein Verfahren zur Speicherung und zum Transport von Energie kennen lernen. Wahrscheinlich wird es noch eine Weile dauern, bis man an den Tankstellen anstelle der bisherigen fossilen Treibstoffe Wasserstoff tanken kann. Aber als stationärer Speicher für Wind- und Solarstrom ist Wasserstoff bereits heute schon in praktischer Erprobung.

### 2 Einordnung des Experiments in den Unterrichtszusammenhang

#### 2.1 Fachliche Grundlagen

Das Thema Energie wird im naturwissenschaftlichen Unterricht nicht immer in seiner vollen Tragweite behandelt, obwohl biologische und physikalische Vorgänge und chemische Reaktionen immer mit Energieumwandlungen verbunden sind. Auch im Alltag macht man sich häufig über die Verfügbarkeit von Energieträgern (Elektrizität, Treibstoffe, Nahrungsmittel usw.) erst dann Gedanken, wenn es plötzlich keinen Nachschub mehr gibt.

Wünschenswert wäre, wenn die Schülerinnen und Schüler erkennen, dass der Anteil der erneuerbaren Energien an der weltweiten Energieversorgung zunehmen muss, um die zurückgehenden Vorräte an fossilen Brennstoffen auszugleichen und den zunehmenden Energieverbrauch umweltverträglicher zu gestalten.

Im „Leitfaden Naturwissenschaften, Technik und Werte“ der Siemens Stiftung finden Sie zusätzlich Ideen, wie Sie zum Beispiel anhand einer Dilemmadiskussion zum Thema Windkraft bei den Schülerinnen und Schülern Werte wie *Umweltbewusstsein*, *Nachhaltigkeit* und *Verantwortungsübernahme* stärken können.

Die Gewinnung von erneuerbaren Energien durch Windkraftwerke, Wasserkraftwerke oder Solarkraftwerke liegt im Erfahrungsbereich der Schülerinnen und Schüler. Weniger bekannt ist dagegen, wie man diese erneuerbaren Energien in eine so vielfältig einsetzbare Energieform wie den Wasserstoff umwandeln kann, um ihn dann z. B. für den Antrieb von Gasturbinen oder Brennstoffzellen zu nutzen.

Kenntnisse über das Energiestufenmodell, das Prinzip der Elektrolyse und die Basisbegriffe der Elektrizitätslehre (Spannung, Stromstärke und Leistung) sind hilfreich, um die einzelnen Experimente erfolgreich durchführen und auswerten zu können.

## 2.2 Lehrplanrelevanz

In der Altersstufe bis 15 Jahre sollen die Schülerinnen und Schüler einen Überblick über die im Alltag und in der Technik genutzten fossilen und erneuerbaren Energieträger und die aus ihnen gewonnenen Energieformen (z. B. elektrische Energie, Wärmeenergie, Bewegungsenergie, chemische Energie) erhalten. Sie sollen verstehen, dass die primär genutzte Energieform je nach Bedarf in andere Energieformen umgewandelt werden kann, wobei ein bestimmter „Energieverlust“ (Energieentwertung) zu beachten ist. Energie geht bei einer solchen Umwandlung aber nicht verloren, sondern wird zu einem bestimmten Anteil in eine andere als die gewünschte Energieform umgewandelt (Beispiel: In einer Glühlampe wird nur etwa 5 % der elektrischen Energie in Lichtenergie und 95 % in Wärmeenergie umgewandelt).

In der Altersstufe ab 16 Jahre kann neben dem qualitativen auch der quantitative Aspekt der Energieumwandlung behandelt werden. So können die Leistung von Solarzellen und Brennstoffzellen berechnet oder der Wirkungsgrad von Generatoren bestimmt werden.

Obwohl der fachliche Schwerpunkt dieses Themenbereichs im Fach Physik liegt, werden mit der „Wasserstofftechnologie“ auch Lehrplaninhalte des Faches Chemie behandelt.

**Themen und Begriffe:** Arbeit, Biomasse (z. B. Holz, Biogas, Bioethanol), Definition des Begriffs Energie („Energie ist die Fähigkeit eines Systems, Arbeit zu verrichten“ oder „Energie ist gespeicherte Arbeit“), Energiestufenmodell, Energieumwandlung, „Energieverbrauch“, Energieversorgung, Erdwärme (tiefe Geothermie), Fallhöhe des Wassers, Gasturbinen, Gezeitenkraftwerke, Last, Leistung, Methan, Nachhaltigkeit, Nutzlast, Parallelschaltung, Photovoltaik, Reihenschaltung, Solarthermie, Solarzellen, Spannung, Spitzenlaststrom, Strom, Wasserkraft, Wasserrad, Wasserturbine, Windenergie, Windrad

## 2.3 Kompetenzen

Die Schülerinnen und Schüler sollen ...

- mit der Silizium-Solarzelle experimentieren können.
- den Einfluss von Serien- und Parallelschaltung von Solarzellen auf die Spannung und die Stromstärke beschreiben.
- den Einfluss der Windstärke auf die Leistung einer Windturbine erklären.
- die Leistung von Wasserturbinen und Windturbinen berechnen.
- die Herstellung von Wasserstoff bei der Elektrolyse einer Soda-Lösung erläutern.
- die freigesetzte chemische Energie bei einer Knallgas-Reaktion erkennen.
- die Umwandlung der im Wasserstoff und Sauerstoff gespeicherten chemischen Energie in elektrische Energie (in der Brennstoffzelle) beschreiben.
- ein einfaches Konzept für eine Wasserstofftechnologie entwickeln können.
- mit den anderen Gruppen die erhaltenen Ergebnisse kommunizieren.

## 2.4 Das Experiment im Erklärungszusammenhang

Die Physik definiert: „Energie ist die Fähigkeit eines Systems, Arbeit zu verrichten“, oder „Energie ist gespeicherte Arbeit“. Eine anschauliche Beschreibung für die Schule: „Ein System besitzt Energie, wenn es etwas anheben, bewegen, erwärmen oder zum Leuchten bringen kann.“

Bei der Behandlung des Themas spielen die Energiearten, -umwandlung, -transport, -speicherung und -entwertung eine zentrale Rolle.

Menschen, Tiere und Pflanzen benötigen Energie zum Leben und in der Technik funktioniert nichts ohne Energie.

Die international gültige Einheit für die Energie ist das Joule (J). Dabei gilt für Umrechnungen: 1 Joule = 1 J = 1 Newtonmeter = 1 Nm = 1 Wattsekunde = 1 Ws = 0,239 Kilokalorien (kcal).

Ein Joule ist gleich der Energie, die benötigt wird, um ...

- die Masse von 100 g um (ungefähr) einen Meter anzuheben.

$$E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot \Delta h = 0,1 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 1 \text{ m} = 0,981 \text{ J}$$

- für die Dauer von einer Sekunde die Leistung von einem Watt aufzubringen (z. B. ein Herz einmal schlagen zu lassen).

$$E = P \cdot t = 1 \text{ W} \cdot 1 \text{ s} = 1 \text{ Ws} = 1 \text{ J}$$

- ein Gramm Wasser (bei 15 °C) um 0,239 °C zu erwärmen.

$$E = c \cdot m \cdot \Delta T = 4,18 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 1 \text{ g} \cdot 0,239 \text{ } ^\circ\text{C} = 1 \text{ J}$$

Über ihren täglichen Energieumsatz oder den Energiegehalt von Lebensmitteln können die Schülerinnen und Schüler eine Vorstellung über den Energiebedarf in technischen Bereichen entwickeln. Der tägliche Energieverbrauch eines Jugendlichen von ca. 10.000 Kilojoule (kJ) entspricht etwa der Energie um ...

- ein 1.000-Watt-Gerät 2,8 Stunden laufen zu lassen.
- 30 Liter Wasser von 20 °C auf 100 °C zu erwärmen.

**Hinweis:** Auch, wenn die Begriffe Energiegewinnung und Energieverbrauch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten ständig verwendete Begriffe sind, müssen die Schülerinnen und Schüler wissen, dass sie physikalisch und technisch falsch sind. Energie kann man weder gewinnen noch verbrauchen, sondern nur von einer Form in die andere umwandeln: In Teilexperiment 1 erfolgt die Um-

wandlung von Strahlungsenergie in elektrische Energie und dann wieder in mechanische Energie (Motor). In Telexperiment 2 von mechanischer Energie in elektrische und dann wieder in mechanische Energie. In Telexperiment 3 von mechanischer Energie in elektrische und dann wieder in mechanische Energie. In Telexperiment 4 von elektrischer Energie in chemische und dann wieder in elektrische Energie.

### 2.4.1 Telexperiment 1: Elektrische Energie aus der Strahlungsenergie des Lichts

An den Solarzellen misst man Spannung und Strom. Die Leistung  $P$  berechnet man aus der gemessenen Spannung  $U$  und der Stromstärke  $I$ :

Leistung  $P = \text{Spannung } U \cdot \text{Stromstärke } I$

Mögliche Messwerte in diesem Experiment sind:

Anzahl Zellen	Schaltung	Spannung [V]	Stromstärke [A]	Leistung [W]
1	-	0,5	0,2	0,1
2	Reihenschaltung	1,0	0,2	0,2
2	Parallelschaltung	0,5	0,4	0,2

**Hinweis:** Die aus der Leerlaufspannung und dem Kurzschlussstrom errechnete Leistung ist zwar ein typischer Kennwert für die Solarzelle, entspricht aber nicht der tatsächlichen Leistung unter Last, also bei Anschluss eines Verbrauchers. Auch der verwendete Solarmotor ist zur Bestimmung der maximal möglichen Leistung der Solarzelle nicht geeignet. Zur dieser Bestimmung müsste nämlich der Lastwiderstand und Erfassung der Strom und Spannungswerte variiert werden. Darauf sollten die Schülerinnen und Schüler zur Vermeidung von Missverständnissen hingewiesen werden. (Zur Bestimmung der realen Leistung einer Solarzelle gibt es ein Telexperiment im Experiment A5 Eigenschaften von Solarzellen – Spannung, Strom und Leistung.)

Die Messungen zeigen deutlich, dass die höchste Spannung bei einer Reihenschaltung entsteht; das ist vergleichbar mit der Reihenschaltung von Batterien, um eine höhere Spannung bereit zu stellen. Die höchste Stromstärke wird mit einer Parallelschaltung erreicht.

Bei dieser Messung ist die jeweils erreichte Leistung mit z. B. zwei Zellen gleich, da sich die Änderung der Stromstärke und der Spannung praktisch kompensieren.

Der Solarmotor beginnt sich zu drehen, wenn eine Spannung von etwa 0,4 Volt und eine Stromstärke von etwa 0,014 Ampere erreicht werden. Diese Werte sind je nach Lichtstärke mit einer bis drei Solarzellen erreichbar (Reihenschaltung).

**Zum Weiterforschen:** Als Erweiterung des Experiments könnte man auch noch einen Brennspeigel zur Verstärkung des Lichts bzw. zur Bündelung des Lichts auf die Solarzelle einsetzen.

### 2.4.2 Telexperiment 2: Elektrische Energie aus Wasserkraft

Bei dieser Versuchsanordnung wird die potenzielle Energie des Wassers in elektrische Energie umgewandelt, wobei Messwerte von z. B. 0,4 Volt und 0,025 Ampere für eine Dauer von 8 Sekunden zu erwarten sind. Die umgewandelte elektrische Energie berechnet sich aus der Leistung  $P$  und der Zeit  $t$ :

$$\text{Energie } E = \text{Leistung } P \cdot \text{Zeit } t$$

Spannung [V]	Stromstärke [A]	Leistung [W]	Zeit [t]	Energie [Ws]
0,4	0,025	0,01	8	0,08

(Siehe auch Hinweis zur Problematik der Leistungsbestimmung unter 2.4.1!)

Die Schülerinnen und Schüler sollen erkennen, dass mit größerer Fallhöhe des Wassers die Spannung und die Stromstärke zunehmen und damit die elektrische Leistung größer wird. Denn mit zunehmender Fallhöhe des Wassers und steigender Wassermenge erhöht sich die potenzielle Energie des Wassers und damit auch die daraus erzeugte elektrische Energie. Die Schülerinnen und Schüler sollen das Prinzip eines Speicherkraftwerks beschreiben: Bei Energieüberschuss wird Wasser hochgepumpt, bei Energiebedarf wieder durch die Wasserturbinen abgelassen, wobei potenzielle in elektrische Energie umgewandelt wird. (Quellen zur Vertiefung des Themas Wasserkraftwerke findet man unter Punkt 3 „Ergänzende Informationen zum Experiment“.)

### 2.4.3 Telexperiment 3: Elektrische Energie aus Windenergie

Ein mit Propeller bestückter Elektromotor wird angeblasen und dient als Generator. Mögliche Ergebnisse in diesem Experiment sind:

Spannung [V]	Stromstärke [A]	Leistung [W]
3,1	0,030	0,093

Die Leuchtdiode, die hier als Verbraucher eingesetzt wird, leuchtet erkennbar ab einer Spannung von 1,8 Volt.

Die Schülerinnen und Schüler sollen erkennen, dass die Leistung einer Windturbine abhängig ist von der Form und Fläche des Propellers und der Windstärke.

### 2.4.4 Telexperiment 4: Umwandlung von elektrischer Energie in chemische Energie und umgekehrt

Die Schülerinnen und Schüler sollen durch die Experimente erkennen, dass Wasserstoff (am Minuspol) und Sauerstoff (am Pluspol) im Verhältnis 2:1 entstanden sind. Beim Entzünden verpufft reiner Wasserstoff, ein Gemisch von Wasserstoff und Sauerstoff (Volumenverhältnis 2:1) dagegen erzeugt ein knallendes Geräusch (Knallgas).

Wenn die Wasserstoff-Elektrolyse nicht nur mit dem 9-Volt-Akku, sondern auch mit den Solarzellen durchgeführt wird, wird klar: Ab ca. 2 bis 2,2 Volt (vier bis fünf Solarzellen in Reihe geschaltet) beginnt eine sichtbare Gasbildung in der Elektrolysezelle. Die elektrische Energie des Akkus bzw. der Solarzellen wurde in chemische Energie (Wasserstoff und Sauerstoff) umgewandelt.

Die mit Wasserstoff und Sauerstoff gesättigten Graphitelektroden der Elektrolysezelle können nun selbst zur Stromquelle werden: Schließt man einen Motor anstelle der Batterie bzw. Solarzelle an die Elektrolysezelle an, so funktioniert diese nun als Brennstoffzelle, da durch die Rückreaktion von Wasserstoff und Sauerstoff zu Wasser elektrischer Strom produziert wird.

Bei Anwendung dieser Wasserstofftechnologie könnte elektrischer Strom aus erneuerbaren Energiequellen vor Ort durch Elektrolysezellen in Wasserstoff umgewandelt werden. Dieser könnte dann z. B. ins Erdgasnetz eingespeist und zum Verbraucher transportiert werden. Gerade erprobt man auch den Wasserstoff direkt in Inland-Windparks. Bei Windüberschuss wird der Strom zur Wasserstofferzeugung verwendet und vor Ort in Tanks gespeichert. Bei Windstille kann dann die chemische Energie des Wasserstoffs durch Brennstoffzellen in elektrischen Strom zurück verwandelt werden.

Derzeit erproben Forschende erste Pilotanlagen, um aus dem mit regenerativem Überschussstrom gewonnenen Wasserstoff durch Katalyse mit  $\text{CO}_2$  Methan herzustellen – ein Verfahren, das schon seit 70 Jahren bekannt ist. Mit diesem regenerativen Methan könnte man das Erdgasnetz sowohl als Energiespeicher als auch als Energieverteiler nutzen! In fernerer Zukunft liefen die Gasturbinen zur Gewinnung des Spitzenlaststroms dann nicht mehr mit fossilem, sondern mit regenerativem Brennstoff.

Anhand der abgebildeten Versuchsanordnung wurde die Wasserstoff-Brennstoffzelle entdeckt. Im Unterschied dazu verwenden wir in unserem Versuch statt Pt-Elektroden Graphitelektroden und verzichten auf eine Zweiteilung der Brennstoffzelle durch eine Membran. Als Elektrolyt verwenden wir nicht reines Wasser, sondern eine gesättigte Natriumcarbonat-Lösung. Auf die Membrane kann für einen nicht kontinuierlichen, kurzzeitigen Betrieb verzichtet werden. Die Natriumcarbonat-Lösung benötigen wir zur Absenkung der Zersetzungsspannung des Wassers. Im Detail wird das in der Lehreranleitung zum Experiment **B7 Kondensator, Wasserstoff, Redox-Flow – Wir speichern regenerative Energie** erklärt.

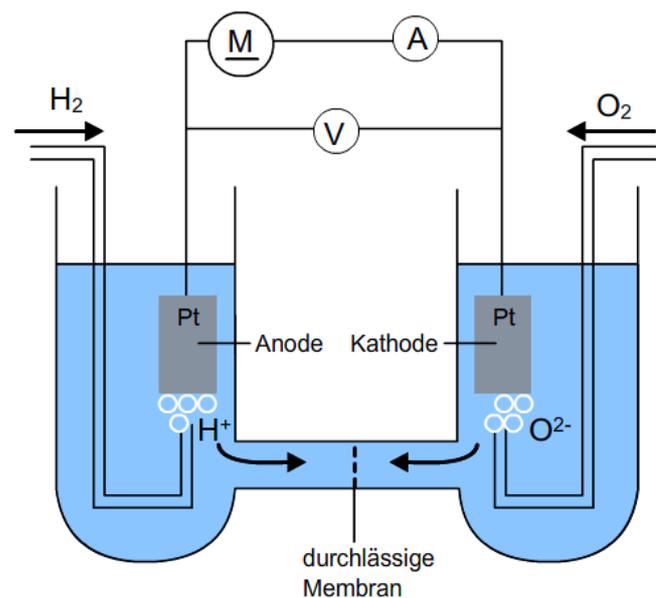


Abb. 1: Das Urprinzip der Wasserstoff-Brennstoffzelle.

## 2.5 Durchführungsvarianten

Die verschiedenen Teilerperimente können zum Beispiel von unterschiedlichen Gruppen durchgeführt werden. Bei ausreichender Zeit können die Gruppen die Geräte tauschen und die Teilerperimente der anderen Gruppen durchführen. Wichtig ist der Austausch bzw. der Vergleich der Ergebnisse der Gruppen untereinander. Wenn die Schülerinnen und Schüler mit den Berechnungen überfordert sind, sollte nur eine Beschreibung des Phänomens gefordert werden.

## 3 Ergänzende Informationen zum Experiment

Zur Vorbereitung bzw. zur Vertiefung dieses Experiments finden Sie ergänzende Medien auf dem Medienportal der Siemens Stiftung: <https://medienportal.siemens-stiftung.org>

Des Weiteren gibt es auf dem Medienportal passend zu einzelnen Aspekten der erneuerbaren Energien die folgenden Medienpakete:

- Regenerative Energien – die Zukunft ist sonnig!
- Wasser und Windkraft – traditionelle Energielieferanten neu entdeckt
- Solarthermie und Photovoltaik – Energien mit Zukunft

## 4 Hinweise zur Durchführung der Telexperimente

### 4.1 Räumlichkeiten

Es sind keine besonderen Räumlichkeiten notwendig.

### 4.2 Zeitbedarf

	Vorbereitung und Durchführung, Auswertung, Fragen
Telexperiment 1 und 2	Bis zu 120 min
Telexperiment 3 und 4	Bis zu 120 min
Alle Telexperimente en bloc	Bis zu 240 min

### 4.3 Sicherheitsaspekte

Die Versuche dürfen nur bei Anwesenheit und unter Aufsicht der Lehrkraft durchgeführt werden. Die Schülerinnen und Schüler sind darauf hinzuweisen, dass die bereitgestellten Materialien nur entsprechend den jeweiligen Anweisungen eingesetzt werden dürfen.

Bei diesen Experimenten achten Sie bitte auf folgende mögliche Gefahren und machen Sie auch Ihre Schülerinnen und Schüler darauf aufmerksam:

- Es besteht Verbrennungsgefahr und Brandgefahr beim Arbeiten mit dem Feuer. Vor der ersten Benutzung der Feuerzeuge sind diese von der Lehrkraft auf ordnungsgemäße Funktion zu überprüfen, insbesondere die Regulierung der Flammengröße.
- Es muss darauf geachtet werden, dass der Akku nicht kurzgeschlossen wird. Es besteht Explosions- und Brandgefahr!
- Für die Knallgasprobe müssen die Reagenzgläser aus Kunststoff (PP) verwendet werden, auf keinen Fall Reagenzgläser aus Glas!
- Beim Telexperiment 4 müssen die Schülerinnen und Schüler Schutzbrillen tragen. Weisen Sie die Schülerinnen und Schüler auf Maßnahmen zur ersten Hilfe bei Spritzern von Natriumcarbonat bzw. Soda-Lösung ins Auge oder auf die Haut hin (sofortiges Aus- bzw. Abspülen mit Wasser reicht aus).

Nach internationaler Gefahrstoffkennzeichnung GHS: „Achtung“



H-Sätze: H319  
P-Sätze: P260, P305+P351+P338

### 4.4 Benötigte Materialien

Die richtige Verkabelung und die richtige Benutzung von Multimeter, LEDs und Motor sollten je nach Kenntnissstand der Schülerinnen und Schüler von der Lehrkraft vorab erklärt, ggf. demonstriert werden.

Sicherheitsrelevante Materialien und Geräte sind vor Aushändigung an die Schülerinnen und Schüler auf ihre ordnungsgemäße Funktion zu testen.

Für die **Teilexperimente 1 – 3**, werden für **eine** Schülergruppe folgende Materialien benötigt:

Material	Anzahl
Becher, 500 ml	1
Digitalmultimeter	1
Doppel-Propeller für Solarmotor klein	1
Eimer oder große Schüssel als Auffanggefäß	1
Gummibänder	2
Klebeband	1
LED rot (klares Gehäuse), 1,7 V	1
Leitungswasser	nach Bedarf
Lineal	1
Messkabel-Set Banane/Kroko, je rot und schwarz	1
Pappstreifen für die Montage der Solarzellen	1
Pflanzenclip (als Reagenzglasständer)	1
Propeller (für Solarmotor groß)	1
Helle Schreibtischlampe (Falls kein ausreichendes Sonnenlicht)	1
Sodalösung (Aus Sicherheitsgründen sollte die Lehrkraft am besten selbst vor Versuchsbeginn die gesättigte Sodalösung in einem geeigneten Vorratsgefäß ansetzen)	ca. 500 ml
Solarmotor groß, Eisenanker, 0,4 V/25 mA	1
Solarmotor klein, Glockenanker, 0,1 V/2 mA	1
Solarzelle, 0,5 V/150 mA	2
Spritze (konische Spitze), 100 ml	1
Uhr (eine Armbanduhr genügt)	1
Verbindungskabel Kroko/Kroko	5

- Wird das **Teilexperiment 2** zum ersten Mal durchgeführt, müssen auch ein Teelicht und ein Feuerzeug pro Schülergruppe mitgenommen werden, damit der Propeller auf die Wasserradfunktion umgebogen werden kann.
- Für das **Teilexperiment 4**: Pro Schülergruppe ein Feuerzeug (wenn möglich ein Stabfeuerzeug) bzw. Streichhölzer



Abb. 2: Geräte bzw. Materialien pro Schülergruppe für die Teilexperimente 1 – 3, beispielhafte Abbildung.

Für das **Teilexperiment 4** werden für **eine** Schülergruppe jeweils **zusätzlich** folgende Materialien benötigt:

Material	Anzahl
Akku, 9 V*	1
Einweghahn (passend zu Schlauch 7/4mm und Luer Lock)	2
Elektrolysezelle**	1
Reagenzglas aus Kunststoff (PP), mini	1
Schutzbrille	1
Silikonschlauch 7mm/4mm, 3,5 m (passend zu Luer Lock) Beim ersten Mal pro Gruppe 1 Stück zu 3,5 cm schneiden, das dann immer wieder verwendet werden kann.	1 für die ganze Klasse
Spritze Luer Lock, 10 ml (als Auffanggefäß)	3
Waschsoda (Natriumcarbonat), Packung***	1

\*Die Akkus müssen aufgeladen sein und sollten nach Gebrauch sofort wieder geladen werden.

\*\*Die Elektrolysezelle ist als Teil-Set (Becher, 2 Graphitelektroden, 2 Drahtstücke, 2 Schlauchabschnitte) erhältlich und muss von der ersten Schülergruppe noch montiert werden (Anleitung im Teil für Schülerinnen und Schüler).

\*\*\***Hinweis:** Ein Selbstansatz der für das Experiment erforderlichen Sodalösung durch die Schülerinnen und Schüler erscheint wenig sinnvoll. Zumal die Lösung immer wiederverwendet werden kann. Zur Vorbereitung von Teilexperiment 4 sollten deshalb von der Lehrkraft etwa 500 ml gesättigte Natriumcarbonat-Lösung hergestellt werden.

(Bei 20 °C lösen sich maximal 217 g Natriumcarbonat in einem Liter Wasser.) Die Lösung sollte in einem gut verschließbaren Gefäß bereitgestellt werden.



Abb. 3: Geräte bzw. Materialien pro Schülergruppe für Teilexperiment 4, beispielhafte Abbildung.

## 4.5 Aufräumen, Entsorgen, Recyceln

Fast alle verwendeten Geräte und Materialien sind wiederverwendbar. Daher sollten sie nach Beendigung des jeweiligen Experiments ordentlich aufgeräumt werden. So stellen Sie sicher, dass Sie bzw. Ihre Kolleginnen und Kollegen beim nächsten Einsatz alles schnell wiederfinden.

Geräte, die beim Experimentieren verschmutzt wurden, wie z. B. Becher, Schalen, Löffel, Reagenzgläser, sollten vor dem Zurücklegen erst gereinigt werden. Sinnvollerweise lässt man dies die Schülerinnen und Schüler gleich nach Beendigung des Experiments erledigen.

Stellen Sie zudem sicher, dass die Geräte wieder für den nächsten Einsatz betriebsbereit sind.

Beispielsweise sind benutzte Akkus gleich aufzuladen (Auch bei längerer Nichtbenutzung ist das Aufladen der Akkus sinnvoll.).

Materialien, die nicht wiederverwendbar sind, wie z. B. gebrauchte pH-Messstäbchen oder Filterpapier, sollten fachgerecht entsorgt werden.

Die Entsorgung der in diesem Experiment anfallenden Abfälle kann über den normalen Hausmüll bzw. den Ausguss erfolgen.

# B6 Erneuerbare Energien – Sonne, Wasser, Wind, Wasserstoff, Brennstoffzelle

## 1 Elektrische Energie aus der Strahlungsenergie des Lichts

### 1.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Digitalmultimeter	1
Doppel-Propeller (für Solarmotor klein)	1
evtl. helle Schreibtischlampe	1
Messkabel-Set Banane/Kroko, je rot und schwarz	1
Propeller (für Solarmotor groß)	1
Solarmotor groß, Eisenanker, 0,4 V/25 mA	1
Solarmotor klein, Glockenanker, 0,1 V/2 mA	1
Solarzellen, 0,5 V/150 mA	2
Verbindungskabel Kroko/Kroko	5

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Geräte und Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

### 1.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht.

### 1.3 Versuchsdurchführung

- Schließe eine Solarzelle über die Messkabel an das Multimeter an (Pluspol und Minuspol beachten!) und richte sie so zur Lichtquelle (Sonnenlicht oder Lichtstrahler) aus, dass du die höchste messbare Spannung (in mV) und den höchsten messbaren Strom (in mA) ermitteln kannst.
- Danach versuchst du, die beiden zur Verfügung stehenden Solarzellen so zu verbinden, dass du die höchste Spannung oder die höchste Stromstärke erreichst. Beachte dabei, dass bei einer Reihenschaltung der Pluspol der einen Solarzelle mit dem Minuspol der anderen Solarzelle und bei einer Parallelschaltung Pluspol mit Pluspol und Minuspol mit Minuspol verbunden ist. Orientiere dich an den in den Abbildungen gezeigten Schaltplänen und Tipps zur Verkabelung.
- Damit beide Solarzellen dasselbe Licht bekommen, sollten sie nebeneinander, wie abgebildet (siehe Abb. 4) auf einen Pappstreifen montiert werden.
- Schließe nun nach Lichtverhältnissen erst eine Solarzelle an den großen Solarmotor. Wenn er sich noch nicht zu drehen beginnt, dann schließe zwei hintereinander geschaltete Solarzellen an.

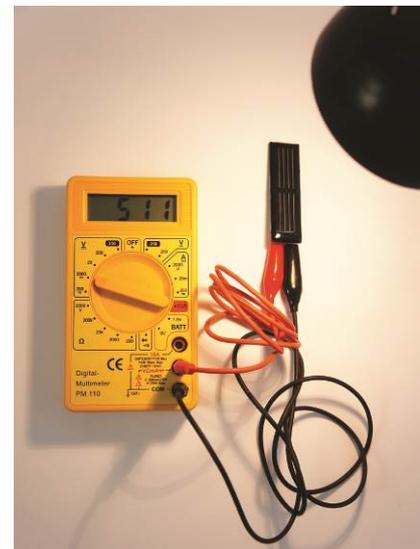


Abb. 1: Messung mit einer Solarzelle.

- Messe, wenn der Motor sich zu drehen beginnt, die hierzu notwendigen Werte für Spannung und Stromstärke.
- Falls sehr wenig Licht zur Verfügung steht, müsst ihr den Versuch mit einem kleinen, empfindlicheren Solarmotor wiederholen.

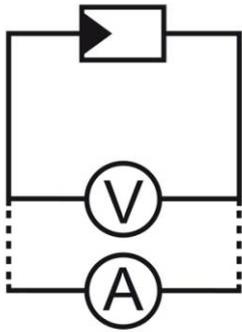


Abb. 2: Schaltplan zur Messung an einer Solarzelle mit einem Multimeter durch Umschalten des Messbereichs von Spannung (V) nach Stromstärke (A).

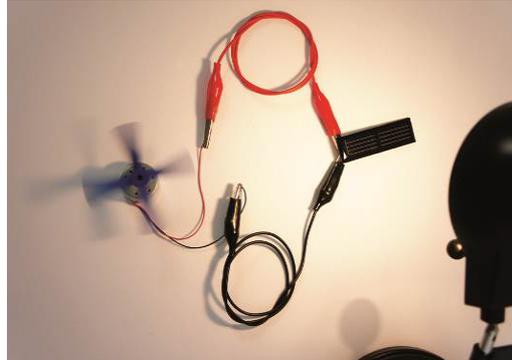


Abb. 3: Betrieb des großen Solarmotors an einer Solarzelle.



Abb. 4: Montage der Solarzellen auf einen Pappstreifen mittels Gummiband.

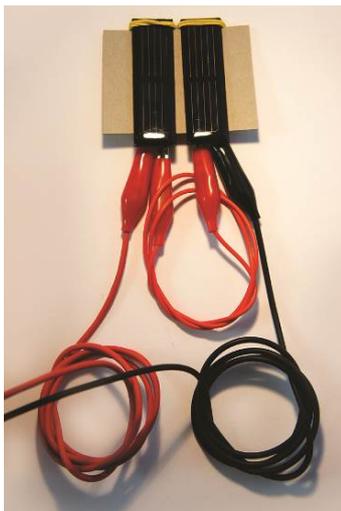


Abb. 5: Verkabelung an der Solarzelle bei serieller Schaltung.

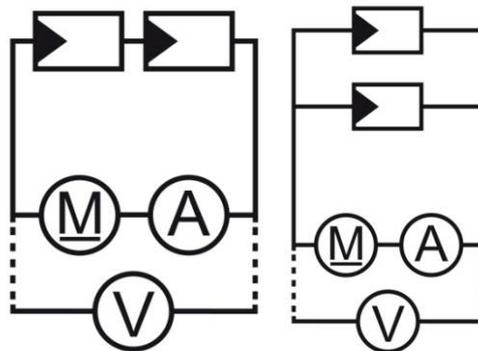


Abb. 6: Schaltpläne Reihenschaltung (links) und Parallelschaltung (rechts).

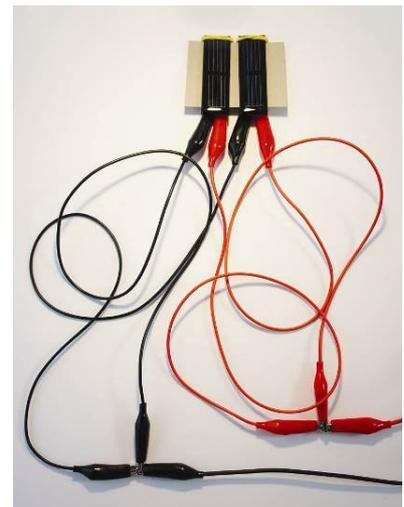


Abb. 7: Verkabelung bei paralleler Schaltung. Zweite Solarzelle nicht direkt an der ersten anschließen (Gefahr von Wackelkontakt und Kurzschluss)! Stattdessen über Kreuzungspunkt der Kabel verbinden.

## 1.4 Beobachtung

Ermittle jeweils die höchsten Messwerte von Spannung und Strom, rechne sie in Volt (V) und Ampere (A) um und notiere sie in einer Tabelle.

## 1.5 Auswertung

Die Leistung  $P$  berechnet man aus der gemessenen Spannung  $U$  und der Stromstärke  $I$ :

$$\text{Leistung } P = \text{Spannung } U \cdot \text{Stromstärke } I$$

Beispiel für 0,3 V und 0,05 A  $\Rightarrow P = 0,3 \text{ V} \cdot 0,05 \text{ A} = 0,015 \text{ W}$

Berechne aus den gemessenen Werten die Leistung:

Anzahl Zellen	Schaltung	Spannung [V]	Stromstärke [A]	Leistung [W]
1	-			
2	Reihenschaltung			
2	Parallelschaltung			

## 1.6 Fragen

- Nenne die Schaltung, die sich am besten eignet, um die höchste Spannung bzw. die höchste Stromstärke zu erhalten.
- Vergleiche die berechnete Leistung bei gleicher Zellenzahl, aber verschiedener Schaltung (Reihenschaltung oder Parallelschaltung) und erkläre.

## 2 Elektrische Energie aus Wasserkraft

### 2.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Digitalmultimeter	1
Eimer oder große Schale zum Auffangen des Wassers	1
Klebeband	nach Bedarf
Leitungswasser	nach Bedarf
Lineal	1
Messkabel-Set Banane/Kroko, je rot und schwarz	1
Pflanzenclip, u. a. als Motorhalterung	1
Propeller (für Solarmotor groß)	1
Solarmotor groß, Eisenanker, 0,4 V/25 mA	1
Spritze (konische Spitze), 100 ml	1
evtl. Teelicht	1
Uhr	1

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

### 2.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht.

### 2.3 Versuchsdurchführung

- Falls noch keiner vor dir den Versuch gemacht hat, musst du den Propeller zu einem Wasserrad umformen. Halte den Propeller für ca. zehn Sekunden über die Flamme eines Teelichts. Der Ansatz des zu verformenden Flügels sollte ca. 3 cm über der Flamme sein. Benutze den Pflanzenclip, um das heiße Flügelrad von 45 Grad auf 90 Grad zu biegen. Wiederhole diesen Vorgang, bis alle vier Flügel auf 90 Grad stehen.
- Klebe zunächst mit dem Klebeband die Öffnungen des Solarmotors so zu, dass er spritzwasserdicht wird.
- Stecke das Wasserrad auf den Solarmotor, der jetzt als Generator arbeiten soll, und verbinde diesen mit dem Multimeter.



Abb. 8: Verformung des Propellers zu einem Wasserrad.

- Ziehe aus der 100 ml Spritze den Kolben heraus, fülle in die Spritze 100 ml Wasser und halte die Öffnung mit einem Finger zu
- Deine Partnerin oder dein Partner hält den Generator mit Wasserrad am besten mittels Pflanzenclip über ein Auffanggefäß und du lässt aus ca. 30 cm Höhe das Wasser aus der Spritze auf das Wasserrad fließen. (Nicht vergessen: Die Entfernung Wasserradschaufel zu Austrittsöffnung des Spritzenzylinders zu Beginn des Versuchs exakt messen und während des ganzen Versuchs auch konstant halten!)
- Miss die Laufzeit des Motors mit der Uhr.

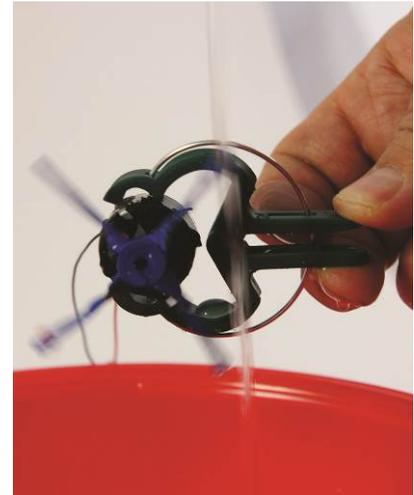


Abb. 9: Das Wasserrad läuft im Wasserstrahl.

- Wiederholt den Versuch mit verschiedenen Höhen, bis ihr die maximalen Werte für die Spannung (in mV), die Stromstärke (in mA) und die Laufzeit des Motors (in s) ermittelt habt.
- Wenn zwei Stative zur Verfügung stehen, könnt ihr den Motor und die Spritze einspannen und den Wasserstrahl auf das Wasserrad justieren.

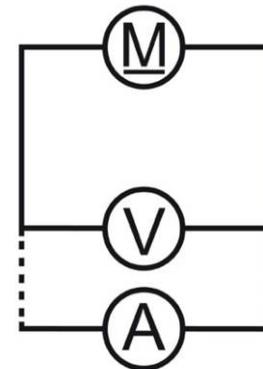


Abb. 10: Schaltplan zur Messung von Strom bzw. Spannung.

## 2.4 Beobachtung

- Notiert die ermittelten maximalen Werte für die Spannung (in mV), die Stromstärke (in mA) und die Laufzeit des Motors (in s).
- Rechnet die erhaltenen Werte in Volt (V) und Ampere (A) um und tragt die Werte in eine Tabelle nach folgendem Muster ein:

Höhe [cm]	Spannung [V]	Stromstärke [A]	Zeit [s]	Leistung [W]	Energie [Ws]

## 2.5 Auswertung

Die umgewandelte elektrische Energie berechnet sich aus der Leistung  $P$  und der Zeit  $t$ :

$$\text{Energie } E = \text{Leistung } P \cdot \text{Zeit } t$$

Beispiel für  $0,03 \text{ W}$  und  $5,5 \text{ s} \Rightarrow E = 0,03 \text{ W} \cdot 5,5 \text{ s} = 0,165 \text{ Ws} = 0,165 \text{ J}$

- a) Erkläre, welchen Einfluss die Fallhöhe des Wassers auf die vom Wasser abgegebene Energie und damit die Leistung des Wasserrads hat.
- b) Berechne die durch das Wasserrad erzeugte Leistung und Energie aus den ermittelten Werten und trage sie in die Tabelle ein!
- c) Begründe, welche Versuchsanordnungen du wählen würdest, um möglichst viel elektrische Energie mit dem Wasserrad zu erzeugen.

## 2.6 Fragen

Kraftwerke erzeugen nachts überschüssigen elektrischen Strom, den man für den Verbrauch tagsüber speichern möchte. Entwickle eine technische Anlage unter Einbeziehung von Wasserturbinen, um ein funktionsfähiges Speichersystem zu bauen.

### 3 Elektrische Energie aus Windenergie

#### 3.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Digitalmultimeter	1
Doppel-Propeller (für Solarmotor klein)	1
LED rot (klares Gehäuse), 1,7 V	1
Messkabel-Set Banane/Kroko, je rot und schwarz	1
Pflanzenclip als Motorhalterung	1
Propeller (für Solarmotor groß)	1
Solarmotor groß, Eisenanker, 0,4 V/25 mA	1
Solarmotor klein, Glockenanker, 0,1 V/2 mA	1
Verbindungskabel Kroko/Kroko	5

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

#### 3.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht.

#### 3.3 Versuchsdurchführung

- Verbinde den großen Solarmotor (25 mA) mit dem kleinen, hochempfindlichen Solarmotor (2 mA) und versuche, durch Anpusten des Doppelpropellers des kleinen Motors den großen Motor zum Laufen zu bringen.
- Schließe nun eine LED an den kleinen, hochempfindlichen Solarmotor (2 mA) an (Pole beachten: Das lange Bein der LED ist der Pluspol!) und puste kräftig, bis die LED kurz aufleuchtet. Ermittle dabei die Spannung mit dem Multimeter, indem du das Messgerät mit den Krokoklemmen zusätzlich an die Beine der LED anschließt.

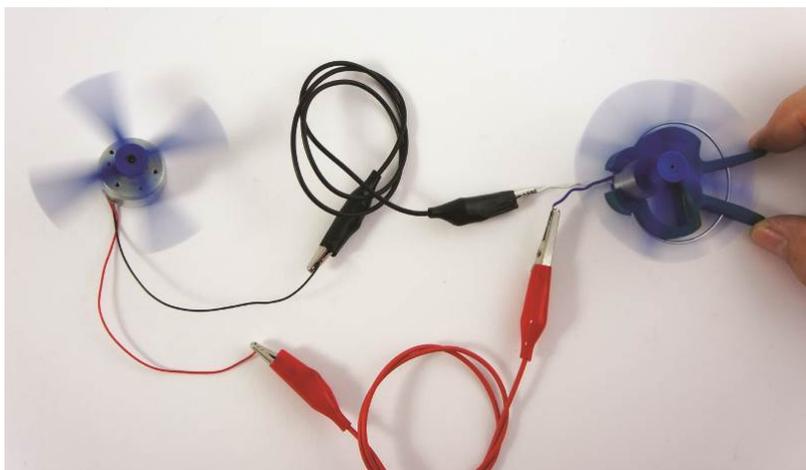


Abb. 11: Versuchsanordnung zum Betrieb des großen Motors mit dem kleinen als Windturbine. Der kleine Motor wird dabei am besten mit dem Pflanzenclip gehalten.

- Schließe den kleinen, hochempfindlichen Solarmotor (2 mA) mit zwei übereinander aufgesteckten Propellern („Doppelpropeller“) über die Messleitungen an das Multimeter an (Achtung: Pluspol und Minuspol beachten!) und bestimme die höchste Spannung (in mV) und die höchste Stromstärke (in mA), die du durch das Anpusten des Doppelpropellers erreichen kannst.  
Wiederhole den Versuch, in dem nun deine Partner pusten. Trage in die Tabelle auch die Ergebnisse deiner Partner ein.

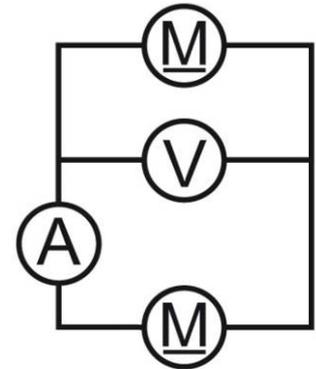


Abb. 12: Schaltplan zur Messung von Strom und Spannung.

### 3.4 Beobachtung

- Notiere, welche Spannung (in mV) und welche Stromstärke (in mA) du maximal erreicht hast.
- Rechne die Werte in Volt (V) und Ampere (A) um und trage sie in eine Tabelle nach folgendem Muster ein:

Messung	Spannung [V]	Stromstärke [A]	Leistung [W]
1			
2			
3			

- Überlege, wie hoch die Spannung (in mV) etwa sein muss, damit die LED sichtbar leuchtet.

### 3.5 Auswertung

- Berechne die erreichten Leistungen der Windturbine.
- Erläutere, welchen Einfluss die Windstärke, also die Stärke deines Pustens, auf die Leistung einer Windturbine hat.

### 3.6 Fragen

Erkläre, welche einfachen Veränderungen du an der Windturbine vornehmen müsstest, um ihre Leistung zu erhöhen.

## 4 Umwandlung von elektrischer Energie in chemische Energie und umgekehrt

### 4.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Akku, 9 V	1
Einweghähne (passend zu Schlauch 7 mm/4 mm und Luer Lock)	2
Elektrolysezelle	1
Feuerzeug bzw. Streichhölzer	1
Gesättigte Soda-Lösung*	ca. 100 ml
Reagenzgläser aus Kunststoff (PP), mini	2
Schutzbrille	1 pro Schülerin/Schüler
Stück Silikonschlauch 7 mm/4 mm, ca. 3,5 cm lang	1
Solarmotor klein, Glockenanker, 0,1 V/2 mA	1
Spritzen Luer Lock, 10 ml	3
Verbindungskabel Kroko/Kroko	4

\*Falls noch keine Sodalösung vorhanden ist, müsst ihr sie bereiten. Eure Lehrkraft wird euch sagen, wie.

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

### 4.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht.

- Trage während des ganzen Versuchs eine Schutzbrille! Gelangen dennoch Spritzer der Sodalösung ins Auge oder auf die Haut, wasche sie sofort mit viel klarem Wasser ab!
- Sei vorsichtig beim Arbeiten mit Feuer, es besteht Verbrennungsgefahr und Brandgefahr!
- Das Gasgemisch darf nur in den Mini-Reagenzgläsern aus Kunststoff (PP) vorsichtig entzündet werden.
- Schließe den Akku auf keinen Fall kurz! Es besteht Explosions- und Brandgefahr!

### 4.3 Versuchsdurchführung

Falls noch keine andere Gruppe vor euch diesen Versuch gemacht hat, müsst ihr die Elektrolysezelle (siehe Abb. 13) erst einmal aufbauen. Entfernt dazu die Isolation (etwa 2 cm) an den Enden der Kupferkabel und biegt diese nach der beigefügten Abbildung (siehe Abb. 14). Verbindet nun jeweils ein gebogenes Kupferkabel mithilfe eines Schlauchstücks mit der Graphitelektrode (siehe Abb. 15) und befestigt beide Elektroden am Becherrand. Nun stehen die Elektroden im Becher und die Spritzenzylinder können darüber geschoben werden (siehe Abb. 16).



Abb. 13: Teile für Elektrolysezellen-Set.

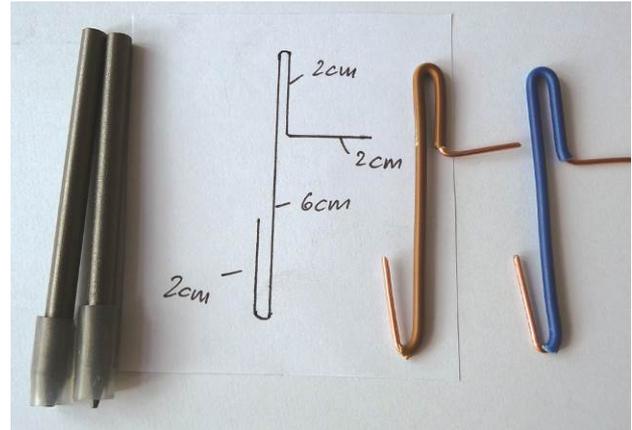


Abb. 14: Zurechtbiegen der Kupferkabel.

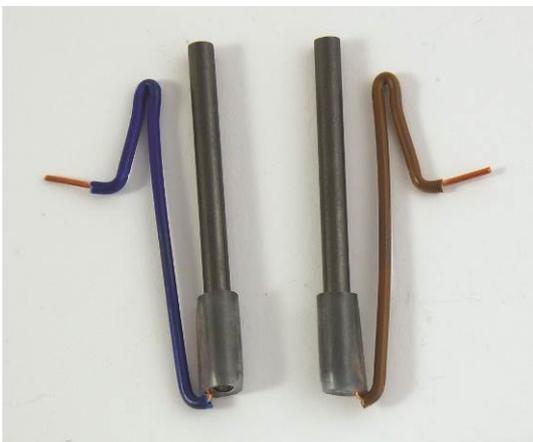


Abb. 15: Die Enden der Kupferkabel werden zwischen Schlauch und Elektrode geschoben.



Abb. 16: Endmontage der Zelle.

- Entferne aus zwei 10-ml-Spritzen die Spritzenkolben und schraube einen Einweghahn auf jede Spritze.
- Stecke nun die Spritzenzylinder bei geöffnetem Hahn auf die Graphitelektroden.
- Fülle etwa 100 ml gesättigte Soda-Lösung in die Elektrolysekammer.
- Saug mit einer 10-ml-Spritze mit Schlauchstück die restliche Luft aus den beiden Spritzen und verschließe die Hähne (siehe Abb. 17).
- Schließe nun den 9-Volt-Akku an die Elektroden an (beachte Minuspol und Pluspol) und beobachte die Gasbildung (siehe Abb. 18).
- Wenn die Graphit-Elektroden mit Gas umgeben sind, schließe den kleinen Solarmotor (2 mA) anstelle des 9-Volt-Akkus an die Elektroden an (siehe Abb. 19).



Abb. 17: Absaugen der restlichen Luft, die Zylinder füllen sich mit Sodalösung.



Abb. 18: Die Erzeugung von Gas nach Anschluss des Akkus.



Abb. 19: Die mit Elektrolyse-Gas aufgeladene Zelle kann auch Strom abgeben.

- Entnehme am Minuspol 6 ml Gas mit einer Spritze und fülle damit ein PP-Reagenzglas, das du mit der Öffnung nach unten hältst. Entzünde das Gas mit einer Flamme.
- Wiederhole nun den Versuch mit einem Gemisch aus 4 ml Gas vom Minuspol und 2 ml Gas vom Pluspol.
- Bei ausreichendem Sonnenlicht oder mithilfe einer starken Lichtquelle kannst du auch Solarzellen als Energiequelle nutzen. Erkundige dich bei den anderen Gruppen, wie die Solarzellen geschaltet werden müssen, um eine möglichst hohe Spannung zu erreichen.

#### 4.4 Beobachtung

- Bestimme in etwa das Verhältnis der an Pluspol und Minuspol entstandenen Gasmen-gen.
- Halte ggf. fest, wie viele Solarzellen notwendig sind, um die Gasentwicklung in der Elektrolysezelle zu starten.
- Notiere, wie lange sich der angeschlossene Solarmotor gedreht hat.
- Fasse deine Wahrnehmungen beim Zünden des Gases bzw. des Gasgemischs schriftlich zusammen.

#### 4.5 Auswertung

- a) Nenne die Gase, die am Minuspol/Pluspol entstanden sind.
- b) Halte fest, in welchem Volumenverhältnis die Gase gebildet worden sind. Begründe dieses Volumenverhältnis aus der Zusammensetzung von Wasser.
- c) Gib ggf. an, bei welcher Spannung in etwa die Gasbildung in der Elektrolysezelle be-ginnt, wenn du von einer Spannung von 0,5 Volt pro Solarzelle ausgehen kannst.
- d) Nenne die Energieform, in die die elektrische Energie des 9-Volt-Akkus bzw. der Solar-zellen in der Elektrolysezelle hauptsächlich umgewandelt wurde.
- e) Erkläre, warum beim Betrieb der Elektrolysezelle als Stromlieferant aus dieser eine Brennstoffzelle wird.
- f) In der Brennstoffzelle wird aus Wasserstoff und Sauerstoff elektrischer Strom erzeugt. Beschreibe die dabei ablaufenden chemischen Vorgänge.

## 4.6 Fragen

- a) Wenn du Zugang zum Internet hast, dann recherchiere, warum bei diesem Experiment nicht reines Wasser, sondern eine Sodalösung verwendet wird.
- b) Wie könnte aus deiner Sicht ein Energiekonzept aufgebaut sein, das auf der Wasserstofftechnologie beruht? Erstelle hierzu eine beschriftete Skizze!

# B7 Kondensator, Wasserstoff, Redox-Flow – Wir speichern regenerative Energie

Die Abfolge von Telexperimenten zur Energiespeicherung bietet einen aktuellen Einstieg in ein Thema, das für den Einsatz von regenerativen Energien besonders wichtig ist. Der zeitliche und inhaltliche Umfang der Experimente ist allerdings relativ groß. Deshalb eignet sich der Einsatz der Experimente vor allem in Form eines Projekts bzw. Projekttags zum Thema Energiewende. Aufgrund des Umfangs ist es auch kaum möglich, die zugrundeliegenden naturwissenschaftlichen Themen von den Schülerinnen und Schülern im Experiment erarbeiten zu lassen. Ein gewisses physikalisches und chemisches Grundwissen vorausgesetzt, können sie dieses allerdings anhand der Experimente bestens verifizieren. Alternativ können die Telexperimente natürlich auch einzeln dazu verwendet werden, anhand einer lebensnahen technischen Anwendung den Einstieg in eines der naturwissenschaftlichen Basisthemen zu finden. Eine Möglichkeit dabei ist, die Klasse in Gruppen aufzuteilen, die dann unterschiedliche Telexperimente ausführen.

## 1 Zentrale Fragestellung

Die vermehrte Nutzung von erneuerbaren Energien bringt eine große technische Herausforderung bei der stationären Energieversorgung mit sich: Wie kann die bei starkem Wind oder starker Sonneneinstrahlung erzeugte Energie effektiv gespeichert werden, um sie in Zeiten mit hohem Energiebedarf und Wind- und Sonnenenergiamangel über das Stromnetz an die Verbraucher zu liefern? Neben Wasserstoff als Energiespeicher wird hierfür an Batterien neuer Art, den Redox-Flow Zellen, gearbeitet.

Auch die Mobilität des Menschen stellt an die Entwickler von Energiespeichersystemen immer größere Anforderungen. So werden Elektroautos sich nur durchsetzen können, wenn ihr Energiespeicher (z. B. die Lithium-Batterie) eine dem Treibstofftank der heutigen Verbrennungsmotoren vergleichbare Reichweite ermöglicht und dabei ein möglichst geringes Eigengewicht und lange Lebensdauer besitzt.

Doch es sind nicht nur Batterien gefragt! Moderne U- und S-Bahnen sowie Hochgeschwindigkeitszüge sparen bereits heute bis zu 30 % der Antriebsenergie durch Rückgewinnung der Bremsenergie, die in Kondensatoren gespeichert wird.

In den folgenden Experimenten werden einige für die mobile und stationäre Energieversorgung geeignete Energiespeichersysteme behandelt. Alle Experimente eignen sich zudem dafür, in eine vertiefte Wertediskussion einzusteigen. Beispielhafte Umsetzungsmöglichkeiten zum Bereich Umwelt finden Sie im „Leitfaden Naturwissenschaften, Technik und Werte“.

## 2 Einordnung des Experiments in den Unterrichtszusammenhang

### 2.1 Fachliche Grundlagen

Den Schülerinnen und Schülern ist sicherlich schon in anderen naturwissenschaftlichen Themenbereichen der Begriff „Energie“ in anschaulicher Form als die „Fähigkeit, Arbeit zu verrichten“ beschrieben worden. Anschaulichere Ansätze erklären „Energie“ differenzierter mit „Systemen, die Energie besitzen und damit etwas anheben, bewegen, erwärmen, tönen lassen oder zum Leuchten bringen“ können.

Die Verfügbarkeit von Energie ist allerdings nur dann gesichert, wenn man für den zu erwartenden Energiebedarf auch ausreichend große Energiespeicher eingeplant hat. Das kennt jeder von Handys, Digitalkameras, Laptops usw.: Ohne aufgeladene Akkus oder eine ausreichende Zahl von Ersatzakkus oder Batterien sind diese Geräte ohne Stromnetz schnell unbrauchbar.

Den Schülerinnen und Schülern ist allerdings weniger bewusst, dass Energiespeicher auch für die Stromnetzbetreiber eine wichtige Rolle spielen, da sich Stromproduktion und Stromnutzung häufig sehr stark zeitlich (und örtlich) voneinander unterscheiden.

Besonders in den Industrieländern wird „rund um die Uhr“ eine gesicherte Versorgung mit elektrischer Energie verlangt. Die Stromnetzbetreiber haben dafür computergesteuerte Ausgleichssysteme entwickelt, damit das Stromnetz bei Stromüberschuss oder Strommangel nicht „zusammenbricht“:

- Kooperationen mit anderen Stromnetzen
- Zuschaltung von gasbetriebenen Kraftwerken, die schnell hochgefahren werden können
- Einsatz von Wasserspeicherkraftwerken

Mit zunehmendem Anteil der leistungsmäßig sehr stark schwankenden erneuerbaren Energien (z. B. Offshore Windparks), die z. T. auch nicht rund um die Uhr zur Verfügung stehen (z. B. Photovoltaik), ist eine breite Anwendung zusätzlicher Technologien zur Energiespeicherung gefragt. Diese Technologien sind eigentlich schon längst bekannt, werden aber noch kaum großtechnisch eingesetzt.

Die Schülerinnen und Schüler sollen bei der Durchführung der Experimente erkennen, dass sie mit den Anwendungen ihnen bekannter Funktions-Prinzipien (Elektrolyse, Kondensatoren und Galvanische Zellen) Modellsysteme zur Energiespeicherung aufbauen und ihre Funktionsweise und Anwendungsbereiche untersuchen können.

## 2.2 Lehrplanrelevanz

Das Thema „Energiespeicherung“ wird ab der Altersstufe 13 Jahre zumeist qualitativ behandelt. Ab der Altersstufe 16 Jahre können auch quantitative Aspekte wie die Berechnungen des Energiegehalts und der Leistungsdichte von Speichersystemen hinzukommen.

In der Biologie wird sowohl die Umwandlung der Lichtenergie in chemische Energie (Photosynthese) als auch die Speicherung von überschüssiger Energie in Form von Kohlenhydraten behandelt. Im Fach Chemie verwendet man das Thema „Energiespeicherung“ ab der Altersstufe 13 Jahre häufig im Zusammenhang mit endothermen und exothermen Reaktionen, wobei der Verlauf von Reaktionen und weniger die Speicherung von Energie im Vordergrund steht. Die der Redox- bzw. Elektrochemie zugeordneten Themen Batterien und Akkus sind fester Bestandteil fast aller Lehrpläne. Ab der Altersstufe 16 Jahre werden Energieveränderungen qualitativ („Energie wird abgegeben/aufgenommen“) und quantitativ (Berechnung der Energieveränderung in kJ pro mol umgesetzter Stoffmenge) an geeigneten Reaktionsbeispielen behandelt und experimentell untersucht. Im Physikunterricht wird die „Energiespeicherung“ im übergeordneten Themenbereich „Energieversorgung“ behandelt. Ab der Altersstufe 16 Jahre wird in der Regel nur der Kondensator ausführlicher untersucht.

**Themen und Begriffe:** Anode, Brennstoffzelle, Doppelschicht-Kondensator, Drehrichtung, Druckluftspeicher, Elektrochemie, Elektrolyt, Elektrolyt-Kondensator, Elektromotor, Elektrostatik, endotherme und exotherme Reaktionen, Energiespeicher, Energieumwandlung, Energieversorgung, erneuerbare Energien, Galvanische Zellen, Gaskraftwerk, Gel-Elektrolyt, Glimmspanprobe, „Gold Cap“-Kondensator, Kathode, Knallgasreaktion, Kondensator, Kraftwerk, Ladung und Entladung (von Akkus), Leistungsdichte, Polung, Redox-Flow-Zelle, regenerative Energien, Sauerstoff, Solarmotor, Treibstofftank, Wasserspeicherkraftwerk, Wasserstoff, Windturbine

## 2.3 Kompetenzen

Die Schülerinnen und Schüler ...

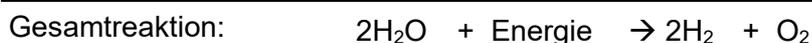
- können die Bildung von Wasserstoff (Minuspol) und Sauerstoff (Pluspol) bei der Elektrolyse von Wasser oder einer wässrigen Natriumcarbonat-Lösung („Sodalösung“) beschreiben.
- können die Knallgasreaktion als Nachweis von Wasserstoff und die Glimmspan-Probe als Nachweis für Sauerstoff beschreiben.
- können die Umsetzung von Wasserstoff und Sauerstoff zu Wasser in einer „Brennstoffzelle“ beschreiben.
- können die Elektrolyse als endotherme Reaktion und die Vorgänge in der Brennstoffzelle als exotherme Reaktion benennen.
- nennen die Elektrolysezelle als möglichen Energiespeicher für Windenergie, wobei aus der Windenergie Wasserstoff (chemische Energie) gewonnen wird, der durch Brennstoffzellen wieder in elektrische Energie umgewandelt werden kann.
- lernen Kondensatoren als Speicher für elektrische Energie kennen, erarbeiten qualitative und quantitative Eigenschaften experimentell und benennen die Anwendungsbereiche.
- beschreiben die Redox-Flow-Zelle als erweiterte Elektrolysezelle und erläutern die Speicherung von elektrischer Energie in chemischer Energie.

## 2.4 Das Experiment im Erklärungszusammenhang

### 2.4.1 Telexperiment 1: Speicherung von elektrischer Energie in chemische Energie (Wasserstoff)

Dieses Telexperiment ist ein Modellversuch zur Wasserstofftechnologie, bei der überschüssige elektrische Energie in Form von Wasserstoff (als chemische Energie) gespeichert und bei Energiebedarf in Gaskraftwerken oder Brennstoffzellen wieder zu elektrischer Energie umgewandelt wird.

Nach dem bekannten Prinzip der Elektrolyse wird dabei aus einer gesättigten Sodalösung durch Zufuhr elektrischer Energie Wasserstoff und Sauerstoff gebildet. Das gelöste Natriumcarbonat (Soda) dient hierbei als Elektrolyt, der die Eigenschaft hat, die nötige Spannung herabzusetzen. Er wird bei der Reaktion nicht verbraucht. An den Elektroden laufen folgende Reaktionen ab:

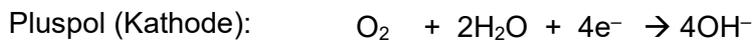
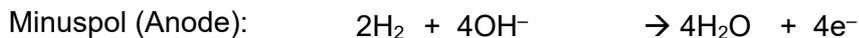


Die gebildeten Gase können durch einfache Versuche nachgewiesen werden: Wasserstoff durch die Knallgas-Probe und Sauerstoff durch die Glimmspan-Probe.

In den Auffanggefäßen über den Elektroden kann man das Volumenverhältnis der gebildeten Gase erkennen: Zwei Volumenteile Wasserstoff zu einem Volumenteil Sauerstoff.

Sind die Graphitelektroden mit genügend Wasserstoff und Sauerstoff umgeben, so funktioniert die Zelle kurzzeitig als Brennstoffzelle: Wasserstoff und Sauerstoff werden wieder zu Wasser und elektrischer Energie umgewandelt und ein angeschlossener Motor dreht sich.

An den Elektroden verlaufen folgende Reaktionen:



Werden Solarzellen an die Elektrolysekammer angeschlossen, so erkennt man eine erste Gasbildung an den Elektroden bei Zuschaltung der vierten Zelle. Die Zersetzungsspannung liegt etwa bei 2 Volt.

Nutzt man den Solarmotor durch Anpusten als Windturbine (Generator) und schließt ihn an die Elektrolysekammer an, so wird durch die erzeugte elektrische Energie ebenso Wasserstoff und Sauerstoff gebildet. Auch als Verbraucher funktioniert der Solarmotor mit gleicher Drehrichtung des Propellers, da die Polung der Elektroden die gleiche geblieben ist.

Elektrische Energie wird in der Elektrolysezelle als chemische Energie (Wasserstoff und Sauerstoff) gespeichert. Der dadurch gebildete Wasserstoff könnte als Beimischung zu Erdgas über Gaspipelines zu den Verbrauchern transportiert werden, wo er wieder zur „Energieerzeugung“ eingesetzt werden kann. Oder der Wasserstoff wird stationär in Tanks gespeichert und bei Strombedarf z. B. mit Brennstoffzellen wieder in Strom verwandelt. Der Sauerstoff ist ein begehrtes chemisches Reagenz und kann gut verkauft werden (z. B. an Kläranlagen). Man kann den Sauerstoff aber auch an die Luft abgeben und bei Bedarf wieder aus der Luft entnehmen.

#### 2.4.2 Telexperiment 2: Direkte Speicherung von elektrischer Energie in Kondensatoren

Es stehen im Experimentierkasten insgesamt vier „Gold Cap“-Kondensatoren und acht Solarzellen zur Verfügung, es können also maximal zwei Schülergruppen parallel damit experimentieren.

Der Kondensator ist die einzige Möglichkeit, elektrische Energie direkt in Form von Ladungsträgern zu speichern. In diesem Telexperiment wird hierzu ein besonders leistungsfähiger „Gold Cap“-Kondensator zur Energiespeicherung verwendet. Dieser Doppelschicht-Kondensator besteht aus zwei Schichten mit Aktivkohle (= Graphit), die durch einen organischen Elektrolyten voneinander getrennt sind. Zum Laden legt man an die beiden Elektroden aus Aktivkohle eine Spannung. Dann wandern die negativen Anionen des Elektrolyten zur positiv aufgeladenen Elektrode und die positiven Kationen zur negativ aufgeladenen Elektrode.

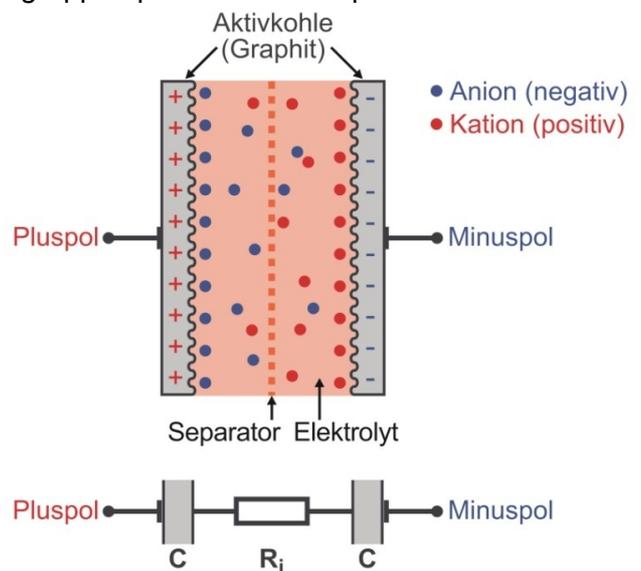


Abb. 1: „Gold Cap“-Kondensator.

Es bilden sich vor den Kohleelektroden zwei Zonen von unbeweglichen Ladungsträgern unterschiedlichen Vorzeichens. Auf diese Weise entstehen zwei hintereinander geschaltete Kondensatoren, bei denen die Elektroden jeweils aus Graphit bestehen. So erklärt sich der Name Doppelschicht-Kondensator. In der Mitte des Kondensators befindet sich der ionendurchlässige Separator, der einen Kontakt zwischen den Elektroden verhindern soll.

Die Kapazität eines Kondensators hängt grundlegend von der Größe der Oberfläche der Elektroden ab. Aufgrund der extrem großen Oberfläche der porösen Aktivkohle hat dieser Kondensatortyp bei kleinstem Volumen höchste Kapazität.

Kondensatoren speichern zugeführte Energie elektrostatisch – also in Form von Elektronen – im Gegensatz zu elektrochemischen Energiespeichern (Batterie, Akku).

Wird der Kondensator für jeweils eine Minute mit vier Solarzellen in Reihenschaltung geladen, so läuft der Solarmotor etwa 2 Minuten und die Leuchtdiode leuchtet etwa 10 Minuten, was durch einen geringeren Stromverbrauch der Leuchtdiode zu erklären ist.

Durch Anpusten des Motors (Windturbine) wird der Kondensator ebenfalls geladen. Da die Polung bestehen bleibt, dreht sich der Motor beim Entladen des Kondensators in der gleichen Richtung weiter. Bei kräftigem Pusten für z. B. fünf Sekunden und kurzem Anhalten des Propellers sollte sich der Motor auch anschließend fünf Sekunden weiterdrehen.

Kondensatoren könnten z. B. in Fahrrädern, die zusätzlich mit einem Akku und einem Elektromotor ausgestattet sind (sog. „Elektrobikes“), die Bremsenergie speichern, um sie bei Bedarf zur Beschleunigung beim Anfahren wieder abzugeben. Eine Technik, die in Hochgeschwindigkeitszügen sowie in U- und S-Bahn längst genutzt wird.

### 2.4.3 Telexperiment 3: Speicherung von elektrischer Energie in der Zinkiodid-Zelle (Redox-Flow)

Dieses Telexperiment ist ein Modellversuch für eine Redox-Flow-Zelle, in der die bei der Elektrolyse (endotherme Reaktion) erzeugten Stoffe aus der Reaktionszelle entzogen und in getrennten Tanks gelagert werden. Bei Energiebedarf werden diese Stoffe nach dem Prinzip der Galvanischen Zelle (exotherme Reaktion) wieder zur Produktion von elektrischer Energie umgesetzt.

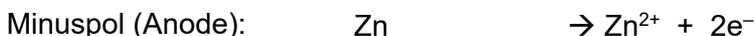
Dieser Zellentyp wird zurzeit für eine Verwendung in Windkraftanlagen erprobt.

Die chemischen Reaktionen beim Laden der Zinkiodid-Zelle:



An der Anode ist nach kurzer Ladezeit eine braune Färbung durch das gebildete Iod zu erkennen. Die Abscheidung von Zink an der Kathode ist nur schwer zu erkennen. Wir arbeiten bei unserem Modellversuch mit einem stationären Gel-Elektrolyt. In echten Redox-Flow-Zellen entstehen an Kathode und Anode lösliche Stoffe, die als Flüssigkeit in getrennte Tanks gepumpt und problemlos gelagert werden können. Die Tanks sind billig und die Speichermengen beliebig groß. Darüber hinaus sind bei diesem System theoretisch beliebig viele Lade-/Entladezyklen möglich.

Die chemischen Reaktionen beim Entladen der Zinkiodid-Zelle lautet:



**Hinweis:** Lädt man die Zinkiodid-Zelle sehr stark und sehr oft nacheinander auf, verschwindet die braune Iodfärbung auch beim Entladen nicht mehr, was manche Lehrkräfte aus didaktischen Gründen stört. Dies ist aber kein dauerhafter Effekt (siehe dazu im Kapitel 4.5.2).

Die Drehrichtung des Motors ändert sich nicht, da die Polung sich nicht geändert hat. Bei guter Sonneneinstrahlung läuft der Motor etwa zwei Minuten bei einer Ladezeit von einer Minute.

## 2.5 Durchführungsvarianten

Die verschiedenen Teilerperimente können zum Beispiel von unterschiedlichen Gruppen durchgeführt werden.

Bei ausreichender Zeit sollten die Gruppen die Materialien tauschen und die Experimente der anderen Gruppen durchführen. Wichtig ist vor allem der Vergleich der Ergebnisse der Gruppen untereinander.

## 3 Ergänzende Informationen zum Experiment

Zur Vorbereitung bzw. zur Vertiefung dieses Experiments finden Sie ergänzende Medien auf dem Medienportal der Siemens Stiftung: <https://medienportal.siemens-stiftung.org> (Unter anderem finden Sie dort Animationen zur Elektrolyse des Wassers und zur Funktionsweise der Brennstoffzelle)

### Zum Weiterforschen:

Weitere Experimentiermöglichkeiten: Ergänzend zu den bereits vorgestellten Speichersystemen könnte mit einfachen Mitteln auch die Funktion von Wasserspeicherkraftwerken und Druckluftspeicherkraftwerken behandelt werden.

- Wasserspeicherkraftwerke: Ein mit Wasser gefüllter Behälter wird auf einen Schrank gehoben. Das über einen Schlauch ablaufende Wasser treibt eine Wasserturbine an.
- Druckluftspeicherkraftwerk: Ein Ballon wird aufgeblasen und zum Antrieb einer Windturbine genutzt.

## 4 Hinweise zur Durchführung der Teilerperimente

### 4.1 Räumlichkeiten

Es sind keine besonderen Räumlichkeiten notwendig.

### 4.2 Zeitbedarf

	Vorbereitung, Durchführung, Auswertung und Besprechung
Teilerperiment 1	60 min
Teilerperiment 2	60 min
Teilerperiment 3	60 min
Durchführung aller Experimente en bloc	180 min

### 4.3 Sicherheitsaspekte

Die Versuche dürfen nur bei Anwesenheit und unter Aufsicht der Lehrkraft durchgeführt werden. Die Schülerinnen und Schüler sind darauf hinzuweisen, dass die bereitgestellten Materialien nur entsprechend den jeweiligen Anweisungen eingesetzt werden dürfen.

Bei diesen Experimenten achten Sie bitte auf folgende mögliche Gefahren und machen Sie auch Ihre Schülerinnen und Schüler darauf aufmerksam:

- Beim Telexperiment 1 müssen die Schülerinnen und Schüler Schutzbrillen tragen. Weisen Sie die Schülerinnen und Schüler auf Maßnahmen zur ersten Hilfe bei Spritzern von Natriumcarbonat bzw. Sodalösung ins Auge oder auf die Haut hin (sofortiges Aus- bzw. Abspülen mit Wasser reicht aus).

Nach internationaler Gefahrstoffkennzeichnung GHS: „Achtung“



H-Sätze: H319  
P-Sätze: P260, P305+ P351 +P338

- Es besteht Verbrennungsgefahr und Brandgefahr beim Arbeiten mit Feuer. Vor der ersten Benutzung der Feuerzeuge sind diese von der Lehrkraft auf ordnungsgemäße Funktion zu überprüfen, insbesondere die Regulierung der Flammengröße.
- Befüllte Elektrolysezellen müssen sachgerecht entsorgt werden. Am besten wird die Sodalösung von der Lehrkraft wieder eingesammelt, denn sie kann immer wieder verwendet werden.
- Telexperiment 3: Die Zinkiodid-Zelle darf nicht zerlegt werden, sie ist dann nicht mehr funktionsfähig und es könnten Chemikalien, die Reizungen hervorrufen, austreten.

### 4.4 Benötigte Materialien

Die richtige Verkabelung und die richtige Benutzung von Multimeter, LEDs und Motor sollten je nach Kenntnistand der Schülerinnen und Schüler von der Lehrkraft vorab erklärt, ggf. demonstriert werden. Sicherheitsrelevante Materialien und Geräte sind vor Aushändigung an die Schülerinnen und Schüler auf ihre ordnungsgemäße Funktion zu testen.

Für **eine** Schülergruppe werden folgende Materialien benötigt:

Material	Anzahl
Akku, 9 V*	1
Digitalmultimeter	1
Doppelpropeller für Solarmotor klein	1
Einweghahn (passend zu Schlauch 7/4 mm und Luer Lock)	2
Elektrolysezelle**	1
Feuerzeug (wenn möglich ein Stabfeuerzeug) bzw. Streichhölzer	1
Gummiband	4
Kondensator Gold Cap, 0,22 F	1
LED rot (rotes Gehäuse), 5 V	1
Messkabel-Set Banane/Kroko, je rot und schwarz	1
Pappstreifen für die Montage der Solarzellen	nach Bedarf
Pflanzenclip (als Reagenzglasständer)	2
Reagenzglas aus Kunststoff (PP), mini	2
Schere	1
Schutzbrille	1



## 4.5 Aufräumen, Entsorgen, Recyceln

### 4.5.1 Allgemein

Fast alle verwendeten Geräte und Materialien sind wiederverwendbar. Daher sollten sie nach Beendigung des jeweiligen Experiments ordentlich aufgeräumt werden. So stellen Sie sicher, dass Sie bzw. Ihre Kolleginnen und Kollegen beim nächsten Einsatz alles schnell wiederfinden. Geräte, die beim Experimentieren verschmutzt wurden, wie z. B. Becher, Schalen, Löffel, Reagenzgläser, sollten vor dem Zurücklegen erst gereinigt werden. Sinnvollerweise lässt man dies die Schülerinnen und Schüler gleich nach Beendigung des Experiments erledigen.

Stellen Sie zudem sicher, dass die Geräte wieder für den nächsten Einsatz betriebsbereit sind.

Beispielsweise sind benutzte Akkus gleich aufzuladen (Auch bei längerer Nichtbenutzung ist das Aufladen der Akkus sinnvoll.).

Materialien, die nicht wiederverwendbar sind, wie z. B. gebrauchte pH-Messstäbchen oder Filterpapier, sollten fachgerecht entsorgt werden.

Die Entsorgung der in diesem Experiment anfallenden Abfälle kann über den normalen Hausmüll bzw. den Ausguss erfolgen.

### 4.5.2 Zur Regeneration der Zinkiodid-Zelle

Wird die Zinkiodid Zelle geladen, bilden sich atomares Iod und Zink. Besonders das gebildete Iod ist als braune „Wolke“ um die positive Elektrode gut sichtbar. Dieses Phänomen ist didaktisch sehr wertvoll, da man sofort ein Ergebnis des Aufladevorgangs sehen kann. Beim Entladen der Zinkiodid-Zelle mit dem Elektromotor verschwindet jedoch die Braunfärbung durch das Iod nicht vollständig. Um das Entladen und damit die Entfärbung zu beschleunigen, sollte man deshalb die beiden Elektroden der Zelle mit einem Kroko-Verbindungskabel kurzschließen. Je nach Ladungszustand der Zelle dauert es dann noch einige Stunden bis maximal drei Tage bis zur kompletten Entfärbung. Der Grund für diese langsame Entladung ist: Das Iod diffundiert zu weit von der Elektrode weg, um von ihr wieder zu  $I^-$  (farblos) reduziert werden zu können. Es dauert also relativ lange, bis das diffundierende Iod auf Zink-Metallteilchen trifft (interner Kurzschluss) und mit diesen wieder zu farblosem Zinkiodid reagiert. Notfalls muss man aber nicht tagelang warten, bis man das Experiment wiederholen kann. Auch dann, wenn noch eine Braunfärbung vorhanden ist, lässt sich die Zelle jederzeit auf- und entladen (man verzichtet dabei nur auf den deutlichen Farbeffekt).



## B7 Kondensator, Wasserstoff, Redox-Flow – Wir speichern regenerative Energie

Energiespeicher sind immer dann notwendig, wenn Ort oder Zeitpunkt der Energieerzeugung und der Energienutzung auseinander liegen. Besonders bei der vermehrten Nutzung der erneuerbaren Energien sind Energiespeicher enorm wichtig. Nicht alle Energieformen eignen sich zum Speichern und müssen daher mit „Verlust“ in andere Energieformen umgewandelt werden. So lässt sich überschüssige elektrische Energie in Pumpspeicherkraftwerken speichern und mit einem „Verlust“ von nur ca. 15 Prozent wieder in elektrische Energie zurückverwandeln.

In den folgenden Experimenten werden einige für die erneuerbaren Energien geeignete Energiespeichersysteme vorgestellt.

### 1 Speicherung von elektrischer Energie in chemische Energie (Wasserstoff)

Die aus Windkraftanlagen oder Sonnenkraftwerken gewonnene elektrische Energie kann durch die Elektrolyse von Wasser in Form des dabei entstehenden Wasserstoffs gespeichert werden, der dann für Brennstoffzellen oder Verbrennungsmotoren als Energieträger zur Verfügung steht. Das Prinzip dieser Wasserstofftechnologie wird in dem folgenden Experiment behandelt.

#### 1.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Akku, 9 V	1
Digitalmultimeter	1
Doppelpropeller für Solarmotor klein	1
Einweghähne (passend zu Schlauch 7 mm/4 mm und Luer Lock)	2
Elektrolysezelle	1
Feuerzeug bzw. Streichhölzer	1
Gesättigte Soda-Lösung*	Nach Bedarf
Gummibänder zur Montage der Solarzellen	4
evtl. helle Schreibtischlampe	1
Messkabel-Set Banane/Kroko, je rot und schwarz	1
Pappstreifen zur Montage der Solarzellen	nach Bedarf
Reagenzgläser aus Kunststoff (PP), mini	2
Schutzbrille	1 pro Schülerin/Schüler
gesättigte Soda-Lösung*	nach Bedarf
Solarmotor klein, Glockenanker, 0,1 V/2 mA	1
Solarzellen 0,5 V/150 mA	4
Spritzen Luer Lock, 10 ml	3
Stück Silikonschlauch 7 mm/4 mm (passend zu Luer Lock), ca. 3,5 cm	1
Verbindungskabel Kroko/Kroko	5

\*Falls noch keine Sodalösung vorhanden ist, müsst ihr sie bereiten. Eure Lehrkraft wird euch sagen, wie.

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

## 1.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht.

- Trage während des ganzen Versuchs eine Schutzbrille! Gelangen dennoch Spritzer der Sodalösung ins Auge oder auf die Haut, wasche sie sofort mit viel klarem Wasser ab!
- Sei vorsichtig beim Arbeiten mit Feuer, es besteht Verbrennungsgefahr und Brandgefahr!
- Das Gasmischung darf nur in den Mini-Reagenzgläsern aus Kunststoff (PP) vorsichtig entzündet werden.
- Schließe den Akku auf keinen Fall kurz! Es besteht Explosions- und Brandgefahr!

## 1.3 Versuchsdurchführung

### Vorbereitung:

Falls noch keine andere Gruppe vor euch diesen Versuch gemacht hat, müsst ihr die Elektrolysezelle aus den einzelnen Teilen (siehe Abb. 1) erst einmal aufbauen. Entfernt dazu die Isolation (etwa 2 cm) an den Enden der beiliegenden Kupferkabel und biegt diese nach der beigefügten Abbildung (siehe Abb. 2). Verbindet nun jeweils ein gebogenes Kupferkabel mithilfe eines Schlauchstücks mit der Graphitelektrode (siehe Abb. 3) und befestigt beide Elektroden am Bechertrand. Nun stehen die Elektroden im Becher und die Spritzenzylinder können darüber geschoben werden (siehe Abb. 4).



Abb. 1: Teile für Elektrolysezellen-Set.

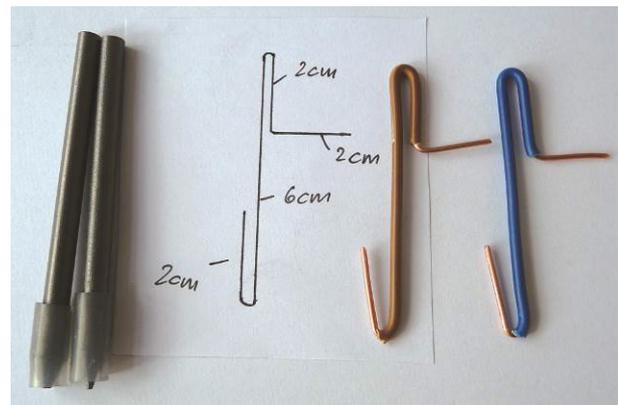


Abb. 2: Zurechtbiegen der Kupferkabel.

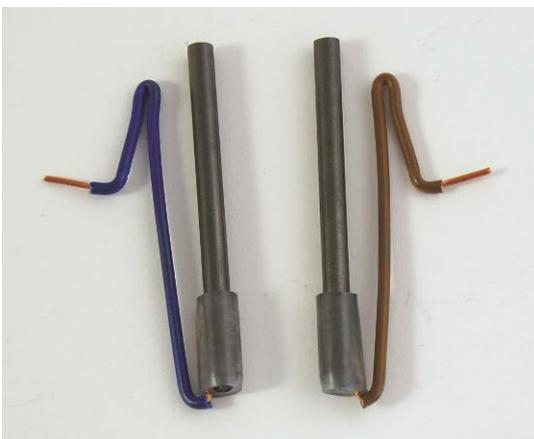


Abb. 3: Die Enden der Kupferkabel werden zwischen Schlauch und Elektrode geschoben.



Abb. 4: Endmontage der Zelle.

- Entferne aus zwei 10-ml-Spritzen die Spritzenkolben und schraube einen Einweghahn auf jede Spritze.
- Stecke nun die Spritzenzylinder bei geöffnetem Hahn auf die Graphitelektroden.
- Fülle nun etwa 100 ml gesättigte Sodalösung in die Elektrolysekammer.
- Saug mit einer 10-ml-Spritze mit Schlauchstück die restliche Luft aus den beiden Spritzen und verschließe die Hähne (siehe Abb. 5).

### 1.3.1 Schritt 1: Elektrolyse von Wasser

- Schließe nun den 9-Volt-Akku an die Elektroden (beachte Minuspol und Pluspol) und beobachte die Gasbildung (siehe Abb. 6).



Abb. 5: Absaugen der restlichen Luft, die Zylinder füllen sich mit Sodalösung.



Abb. 6: Die Erzeugung von Gas nach Anschluss des Akkus.



Abb. 7: Die mit Elektrolyse-Gas aufgeladene Zelle kann auch Strom abgeben.

### 1.3.2 Schritt 2: Knallgasprobe

- Entnehme am Minuspol 4 ml Gas und am Pluspol 2 ml Gas mit einer Spritze und fülle damit ein PP-Röhrchen, das du mit der Öffnung nach unten hältst.
- Entzünde das Gas mit einer Flamme. Erschrecke nicht!

### 1.3.3 Schritt 3: Windgenerator

- Schließe den Elektromotor an das Multimeter an (Messbereich 2.000 mV) und bringe den Propeller durch kräftiges Pusten zum Drehen. Zeigt der Messwert ein Minuszeichen, muss der Anschluss getauscht werden.
- Schließe nun den Solarmotor an die Elektrolysezelle an (Polung beachten) und puste etwa zehnmals kräftig auf den Doppelpropeller.
- Halte den Propeller nach dem letzten Anpusten kurz fest, lass ihn wieder los und zähle die Sekunden, die sich der Propeller weiter dreht. (siehe Abb. 7).



Abb. 8: Messanordnung zur Ermittlung der Mindestspannung bei der Elektrolyse mittels Solarzellen.



Abb. 9: Beachte, dass es beim Verkabeln nicht zum Kontakt der Krokodilklemmen und damit zu Kurzschluss kommt.



Abb. 10: Montage der Solarzellen auf einen Pappstreifen mittels Gummiband.

#### 1.3.4 Schritt 4: Solarzellen

- Entferne die beiden Spritzen über den Graphitelektroden.
- Schließe eine Solarzelle nach der anderen in Reihenschaltung an die Elektrolysekammer an, bis die ersten Gasblasen an den Elektroden zu erkennen sind.
- Montiert dazu die Solarzellen mittels Gummibändern auf einen Pappstreifen. Achte beim Verkabeln darauf, dass es zu keinem Kurzschluss kommt (siehe Abb. 9).
- Ermittle mit dem Multimeter die Spannung, bei der die Gasbildung beginnt.

#### 1.4 Beobachtung

- Beschreibe, in welchem Volumenverhältnis die am Minuspol bzw. Pluspol gebildeten Gase entstehen.
- Notiere, wie lange sich der angeschlossene Solarmotor (in Sekunden) bei Schritt 1.3.3 gedreht hat. Notiere auch die gemessenen Spannungen.
- Beschreibe, was beim Entzünden des Gasgemisches geschieht.

## 1.5 Auswertung

- a) Nenne die Gase, die am Minuspol bzw. Pluspol entstanden sind und erkläre, wie diese nachgewiesen werden können.
- b) Erstelle für die Elektrolyse von Wasser (siehe Abschnitt 1.3.1) die Reaktionsgleichung und erkläre, ob es sich hierbei um eine endotherme oder exotherme Reaktion handelt.
- c) In der Brennstoffzelle wird durch die Reaktion der vorhandenen Gase elektrischer Strom gewonnen (siehe Abschnitt 1.3.3 und 1.3.4). Erstelle hierzu die Reaktionsgleichung und erkläre, ob es sich hierbei um eine endotherme oder exotherme Reaktion handelt.
- d) Notiere, wie viele Solarzellen (0,5 Volt) notwendig sind, um Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff elektrolytisch zu spalten. Ermittle die Zersetzungsspannung des Wassers.
- e) Erkläre, was beim Anpusten des Propellers in der Elektrolysezelle geschieht und warum sich der Propeller nach dem kurzen Anhalten weiterdreht.
- f) Erläutere, welche technische Anlage unter Einbeziehung der Elektrolysezelle geeignet wäre, um elektrische Energie z. B. von Windkraftanlagen zu speichern. Erstelle hierzu eine beschriftete Skizze.

## 1.6 Fragen

Entwirf ein Konzept, wie der energiereiche Wasserstoff über große Entfernungen zum Verbraucher transportiert und dort wieder in elektrische Energie umgewandelt werden könnte.

**Hinweis:** Der Transport von Sauerstoff ist nicht notwendig, da er weltweit durch die Luft (Sauerstoffgehalt der Luft beträgt etwa 21 Prozent) zur Verfügung steht.

## 2 Direkte Speicherung von elektrischer Energie in Kondensatoren

### 2.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Kondensator Gold Cap, 0,22 F	1
LED rot (rotes Gehäuse), 5 V	1
evtl. helle Schreibtischlampe	1
Pflanzenclips (als Reagenzglasständer)	2
Reagenzglas aus Kunststoff (PP), mini	1
Solarmotor klein, Glockenanker, 0,1 V/2 mA*	1
Solarzellen, 0,5 V/150 mA	4
Uhr	1
Verbindungskabel Kroko/Kroko	5

\*Da nur ein Motor zur Verfügung steht, muss er von den Gruppen nacheinander genutzt werden.

### 2.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur entsprechend den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung eingesetzt werden.

### 2.3 Versuchsdurchführung

Bei allen Versuchen mit dem Kondensator diesen bitte nicht kurzschließen, d. h. keine direkte Verbindung zwischen Pluspol und Minuspol ohne einen Verbraucher dazwischen herstellen! Achte bitte immer auf die richtige Polung!

Es empfiehlt sich, den Kondensator in die Öffnung des Mini-Kunststoffreagenzglases zu stecken und die Polung zu markieren. Mit der Halterung im Pflanzenclip wird der Versuchsaufbau dann übersichtlicher.



Abb. 11: Gold Cap Kondensator in Halterung.

#### 2.3.1 Schritt 1

- Schalte vier Solarzellen (0,5 Volt) in Reihenschaltung (Pluspol-Minuspol-Pluspol-...) und verbinde sie mit dem Kondensator (Pluspol an Pluspol und Minuspol an Minuspol).
- Lade den Kondensator für eine Minute.
- Sorge für eine gute Beleuchtung der Solarzellen. Steht kein kräftiges direktes Sonnenlicht zur Verfügung, ist z. B. auch eine helle Schreibtischlampe (ca. 5 – 10 cm Abstand zur Solarzelle) gut geeignet.

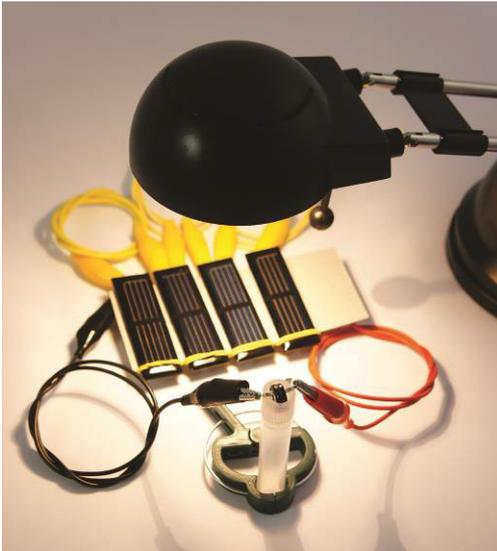


Abb. 12: Aufladen des Kondensators.

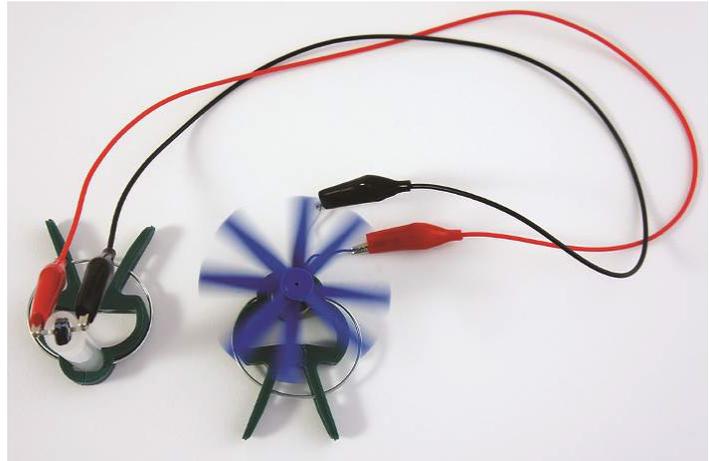


Abb. 13: Motor wird mit Kondensator betrieben. Dieselbe Anordnung gilt auch beim Laden des Kondensators mit dem „Windrad-Generator“.

### 2.3.2 Schritt 2

Schließe den kleinen Solarmotor (2 mA) anstelle der Solarzellen an den Kondensator an und bestimme die Laufzeit des Propellers (in Minuten) und notiere sie.

### 2.3.3 Schritt 3

- Lade den Kondensator wieder wie in Schritt 2.3.1 für eine Minute und schließe nun als Verbraucher eine Leuchtdiode an (Polung beachten: Langes Bein: Pluspol, kurzes Bein: Minuspol).
- Bestimme die Leuchtdauer der Diode in Minuten und notiere sie.

### 2.3.4 Schritt 4

- Schließe den Elektromotor an das Multimeter an (Messbereich 2.000 mV) und bringe den Propeller durch kräftiges Pusten zum Drehen. Zeigt der Messwert ein Minuszeichen, muss der Anschluss getauscht werden. Du kennst nun Plus- und Minuspol für den richtigen Anschluss des Motors an den Kondensator.
- Schließe den Solarmotor an den Kondensator an und bringe den Propeller durch zehnmaliges kräftiges Pusten zum Drehen (Polung beachten!).
- Halte nach dem letzten Pusten den Propeller kurz an, lass ihn wieder los und bestimme die Laufzeit des Propellers (in Sekunden).

## 2.4 Beobachtung

Fasse deine Beobachtungen schriftlich zusammen.

## 2.5 Auswertung

- Benenne, welches Bauteil in Schritt 2.3.4 in welcher Situation der Stromerzeuger ist und welches der Verbraucher.
- Vergleiche die Ladezeit des Kondensators mit der Laufzeit des Motors und erkläre den Unterschied.
- Vergleiche die Leuchtdauer der Diode mit der Laufzeit des Motors und erkläre den Unterschied.
- Begründe, warum sich der Solarmotor nach dem Anpusten weiter dreht und dies sogar in der gleichen Richtung.
- Beschreibe die Vorgänge im „Gold Cap“-Kondensator beim Laden und Entladen mithilfe der Abbildung. Beachte dabei, dass an die beiden Elektroden aus Aktivkohle eine Gleichspannung angelegt wird und der Elektrolyt sich in Ionen aufspalten lässt. Warum spricht man hier von einem Doppelschicht-Kondensator?

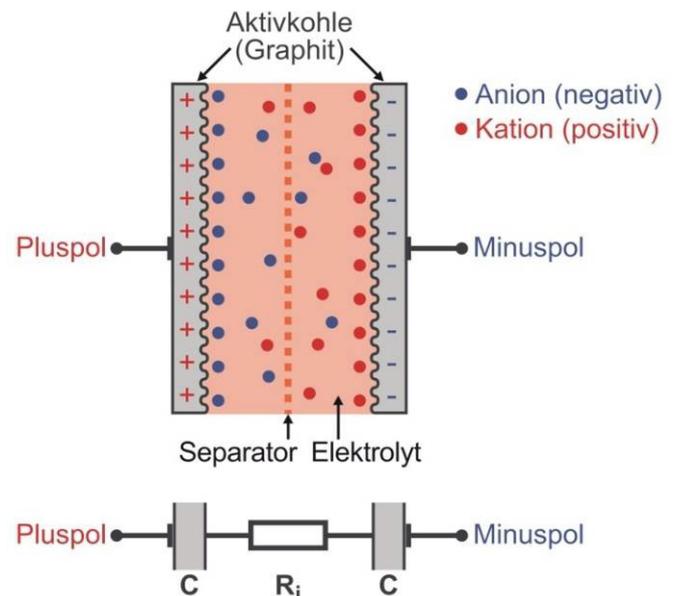


Abb. 14: „Gold Cap“-Kondensator.

## 2.6 Fragen

Kondensatoren und besonders „Gold Cap“-Kondensatoren werden genutzt, um kurzzeitig elektrische Energie in relativ großen Mengen zu speichern. Das ist nicht nur beim elektrischen Bremsen in Rennwagen, LKWs und Zügen der Fall. Auch in einem Handy sind „Gold Cap“-Kondensatoren vorhanden zur Kompensation von Leistungsschwankungen. Ein weiteres Anwendungsbeispiel sind sog. Solaruhren: Diese arbeiten in der Regel nicht mehr mit Akkus, sondern die in der Uhr integrierten Solarzellen laden einen „Gold Cap“-Kondensator auf. Errechne, welche Kapazität der Kondensator haben muss, wenn die Uhr bei einem Verbrauch von 0,2 mA und 3 Volt bis zu 48 Stunden ohne Sonnenlicht laufen soll.

### 3 Speicherung von elektrischer Energie in der Zinkiodid-Zelle (Redox-Flow)

Am Beispiel einer Zinkiodid-Zelle soll das Prinzip der Speicherung von elektrischer Energie in Redox-Flow-Zellen beschrieben werden. Große Anlagen mit diesem Zellsystem können als Energie-Puffer in modernen Stromnetzen eingesetzt werden, um Unterschiede bei Energieerzeugung und Energieverbrauch auszugleichen. In Redox-Flow-Zellen werden die bei der Elektrolyse (endotherme Reaktion) erzeugten Stoffe in getrennten Tanks gelagert, um sie bei Energiebedarf nach dem Prinzip der Galvanischen Zelle (exotherme Reaktion) wieder zur Produktion von elektrischer Energie einzusetzen.

#### 3.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
evtl. helle Schreibtischlampe	1
Solarmotor klein, Glockenanker, 0,1 V/2 mA	1
Solarzellen, 0,5 V/150 mA	4
Verbindungskabel Kroko/Kroko	4
Zinkiodid-Zelle	1

#### 3.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur entsprechend den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung eingesetzt werden.

Die Zinkiodid-Zelle darf nicht zerlegt werden, sie ist dann nicht mehr funktionsfähig und es könnten Chemikalien, die Reizungen hervorrufen, austreten.

#### 3.3 Versuchsdurchführung

##### 3.3.1 Schritt 1

- Schließe den kleinen Solarmotor mit den Krokoklemmen an die Graphitelektroden an (Polung beachten) und bringe den Propeller durch zehnmaliges kräftiges Pusten zum Drehen. Notiere, wie lange etwa (in Sekunden) sich der Propeller nach der Aufladung durch das Anpusten dreht.
- Halte beim letzten Pusten den Propeller kurz an, lass ihn dann sich selbständig weiter drehen.
- Die anderen Mitglieder in der Gruppe versuchen das Gleiche. Wer in der Gruppe schafft es, so zu pusten, dass sich der Propeller beim Entladen am längsten dreht?

##### 3.3.2 Schritt 2

- Schließe die vier Solarzellen in Reihe geschaltet an die Zinkiodid-Zelle an. Beachte dabei die Polung (Pluspol an Pluspol und Minuspol an Minuspol). Lasse ca. 1 Minute kräftiges Licht einwirken.
- Verbinde anschließend den Solarmotor mit der Zelle. Wie lange läuft er?

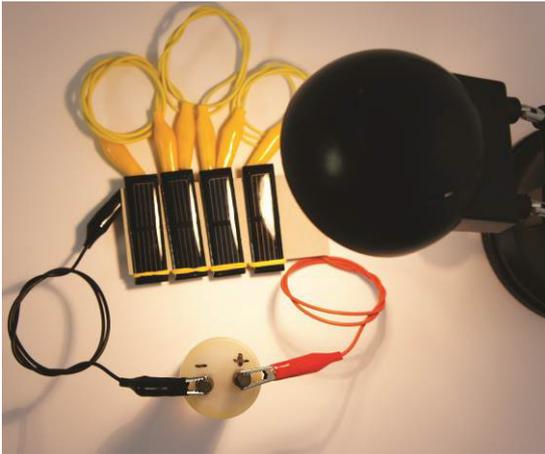


Abb. 15: Zinkiodid-Zelle beim Laden mit vier Solarzellen.

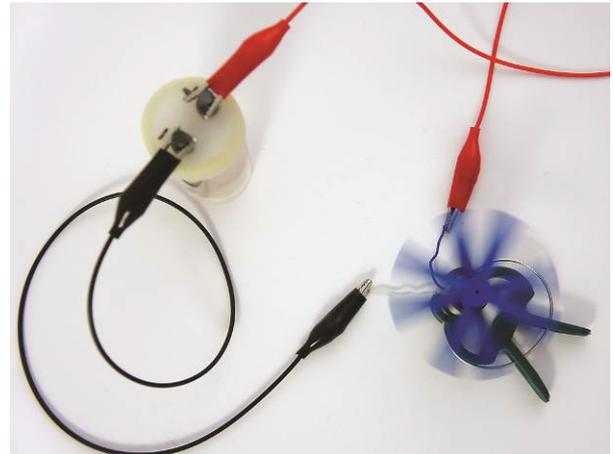


Abb. 16: Solarmotor an der Zinkiodid-Zelle.

### 3.4 Beobachtung

- Fasse deine Beobachtungen schriftlich zusammen.
- Konntest du eine Farbänderung an den Elektroden der Zinkiodid-Zelle erkennen?

### 3.5 Auswertung

- Beschreibe die Veränderungen nach dem Anpusten des Propellers bzw. nach dem Anschluss der Solarzellen am Minuspol und Pluspol.
- Beschreibe, welche chemischen Reaktionen in der Zinkiodid-Zelle stattfinden, wenn elektrische Energie zugeführt wird (Ladevorgang).
- Beschreibe, welche chemischen Reaktionen in der Zinkiodid-Zelle stattfinden, wenn ein Verbraucher an die Zelle angeschlossen ist (Entladevorgang).

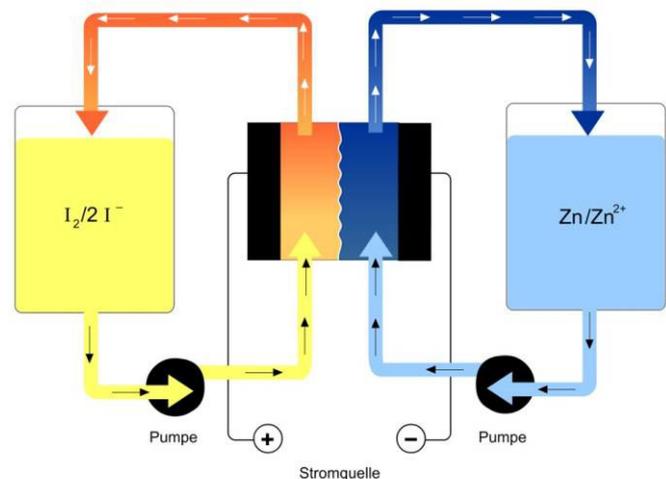


Abb. 17: Redox-Flow-Zelle.

- Mache einen Vorschlag, welche Veränderungen an der verwendeten Zinkiodid-Zelle vorgenommen werden sollten, um dem Modell einer Redox-Flow-Zelle eher zu entsprechen.

### 3.6 Fragen

Erläutere, wo Energiespeichersysteme, die nach dem Prinzip der Redox-Flow-Zelle arbeiten, am effektivsten eingesetzt werden könnten.

# **Anleitungen Gesundheit**



## Inhaltsverzeichnis

### C Gesundheit

- C1 Wir verbrennen Zucker – Zellatmung und Atmungskette
  - 1 Zucker lässt sich verbrennen
  - 2 Nachweis der Reaktionsprodukte in der Atemluft: Stoff A (Wasser)
  - 3 Nachweis der Reaktionsprodukte in der Atemluft: Stoff B (Kohlenstoffdioxid)
  
- C2 Kohlenhydrate als Energielieferanten des Stoffwechsels – Stärke und Zucker
  - 1 Kartoffeln enthalten Stärke
  - 2 Hydrolyse von Stärke
  
- C3 Wie zerlegt die menschliche Verdauung Fette? – Verseifung von Speiseöl
  - 1 Wir emulgieren Öl
  - 2 Verseifung von Speiseöl
  
- C4 pH-Wert von Getränken – Wie sauer ist es im Magen?
  - 1 Ermittlung des pH-Wertes mit pH-Messstäbchen
  - 2 Exkurs: Digitale Ermittlung des pH-Wertes mit einem Arduino
  
- C5 Welche Aufgaben hat die Haut? – Die Haut als Sinnesorgan
  - 1 Wie reagiert die Haut auf Berührung?
  - 2 Wie nimmt die Haut Kälte und Wärme wahr?
  - 3 Wie unterscheidet die Haut Temperatur?
  
- C6 Haut und Hygiene – Warum waschen wir uns die Hände?
  - 1 Was passiert beim Händewaschen?
  - 2 Der pH-Wert der Haut



## C1 Wir verbrennen Zucker – Zellatmung und Atmungskette

Hier handelt es sich um ein typisches Einstiegsexperiment in den Themenkomplex Energieversorgung im menschlichen Körper, Zellatmung und Atmungskette. Drei einfache Teilerperimente (Zuckerverbrennung ohne und mit Katalysator und der Nachweis von Wasser und Kohlenstoffdioxid [CO<sub>2</sub>] in der Atemluft) legen die Erklärung nahe, dass auch im menschlichen Körper Zucker verbrannt wird. Mit der Analogie heterogene Katalyse bei der Zuckerverbrennung im Experiment und biokatalytische Verbrennung im Körper kommt man so zum Thema Energiestoffwechsel und Zellatmung im menschlichen Körper. In der Altersstufe bis 16 Jahre mag eine qualitative Deutung der experimentellen Ergebnisse reichen. Die Lehrkraft muss im Fachunterricht der Altersstufe 16+, wo genügend Vorkenntnisse vorausgesetzt werden können, das Thema unabhängig vom Experiment ganz erheblich vertiefen.

### 1 Zentrale Fragestellung

Zucker (Saccharose) gehört zur Stoffgruppe der Kohlenhydrate und verbrennt als solches zu Wasser und Kohlenstoffdioxid. Doch wie „verbrennt“ Zucker im menschlichen Körper und ist er wirklich der Hauptenergielieferant im menschlichen Stoffwechsel? Von einem Teilerperiment zur katalytischen Zuckerverbrennung über zwei weitere Teilerperimente zu Nachweisreaktionen zu den Produkten der Zellatmung kommen wir zum Energieumsatz auf Zellebene. Die Schülerinnen und Schüler erhalten einen Einblick in die oxidativen Abbauprozesse im menschlichen Körper auf der Zellebene, die der Energieumwandlung von energiereichen Nährstoffen zu ATP dienen. Die Bestandteile der Nahrung, insbesondere Kohlenhydrate und Fette, werden hierzu über die drei Reaktionswege der Zellatmung – Glykolyse bzw.  $\beta$ -Oxidation, Zitronensäurezyklus und oxidative Phosphorylierung abgebaut. Durch Reaktion mit Sauerstoff entstehen dabei die energiearmen Produkte Wasser und Kohlenstoffdioxid. Die Nachweisreaktionen zeigen diese beiden Abbauprodukte, die bei der Ausatmung an die Umwelt abgegeben werden.

Zum gesamten Themenkomplex „Verdauung und Energiehaushalt des Menschen“ gibt es auch noch die Experimente **C2 Kohlenhydrate als Energielieferanten des Stoffwechsels – Stärke und Zucker** und **C3 Wie zerlegt die menschliche Verdauung Fette? – Verseifung von Speiseöl**. Fachmethodisch werden die Schülerinnen und Schüler mit der systematischen Variation von Variablen beim Experimentieren vertraut gemacht, um den Nachweis auf genau eine Substanz zurückführen zu können.

## 2 Einordnung des Experiments in den Unterrichtszusammenhang

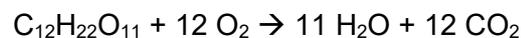
### 2.1 Fachliche Grundlagen

Diese Teilerperimente zum Thema Gesundheit eröffnen einen experimentellen Zugang zum Themenkomplex Ernährung, Atmung, Stofftransport und Energieumwandlung. Im Rahmen des Unterrichts sollte insbesondere auf die Herstellung von Zusammenhängen zwischen den verschiedenen Themenbereichen geachtet werden. Was haben die Atmung und der Blutkreislauf mit der Ernährung zu tun? Der Zusammenhang von Aufnahme, Transport und Abgabe von Stoffen und Energie sollte explizit thematisiert werden.

Die oxidativen Prozesse in der Zelle sind gerade für jüngere Schülerinnen und Schüler schwer vorstellbar, da sie sich nicht sichtbar vollziehen und nur indirekt durch Wärmeentwicklung des Körpers z. B. bei körperlicher Aktivität spürbar werden. Auch haben Kinder nur wenig Zugang zur Stoffumwandlung auf der Teilchenebene; Atome werden nach ihren Vorstellungen durch die Zähne zerkleinert, im Darm verdaut oder in der Lunge „vernichtet“. Zum Verständnis der Stoffwechselfvorgänge in der Zelle, insbesondere der Atmungskette auf molekularer Ebene, sollten für die qualitative Behandlung zumindest Reaktionsgleichungen und Verbrennungsprozesse bekannt sein. Für die vertiefende Behandlung ist die Kenntnis von Redox-Reaktionen erforderlich. Für das Verständnis der sauren Reaktion von Kohlenstoffdioxid in Wasser, werden Grundkenntnisse über Säuren und Basen vorausgesetzt.

#### 2.1.1 Qualitativer Zugang in der Altersstufe 10 bis 16 Jahre

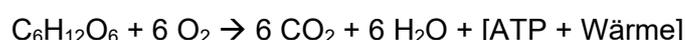
Rohrzucker (Saccharose) verbrennt mit Sauerstoff zu Wasser und Kohlenstoffdioxid. Das können wir theoretisch über eine Reaktionsgleichung verifizieren.



Doch im Teilerperiment 1 sehen wir, das Verbrennen von Zucker geht in der Praxis gar nicht so einfach: Man benötigt einen Katalysator. Ähnlich ist es im menschlichen Körper. Der dort als Hauptenergieträger dienende Zucker, die Glukose (u. a. ein Umwandlungsprodukt der Saccharose), setzt seine Energie nur über eine komplexe Kette von chemischen Reaktionen frei. Diese werden durch Enzyme katalysiert (Enzym = Biokatalysator).

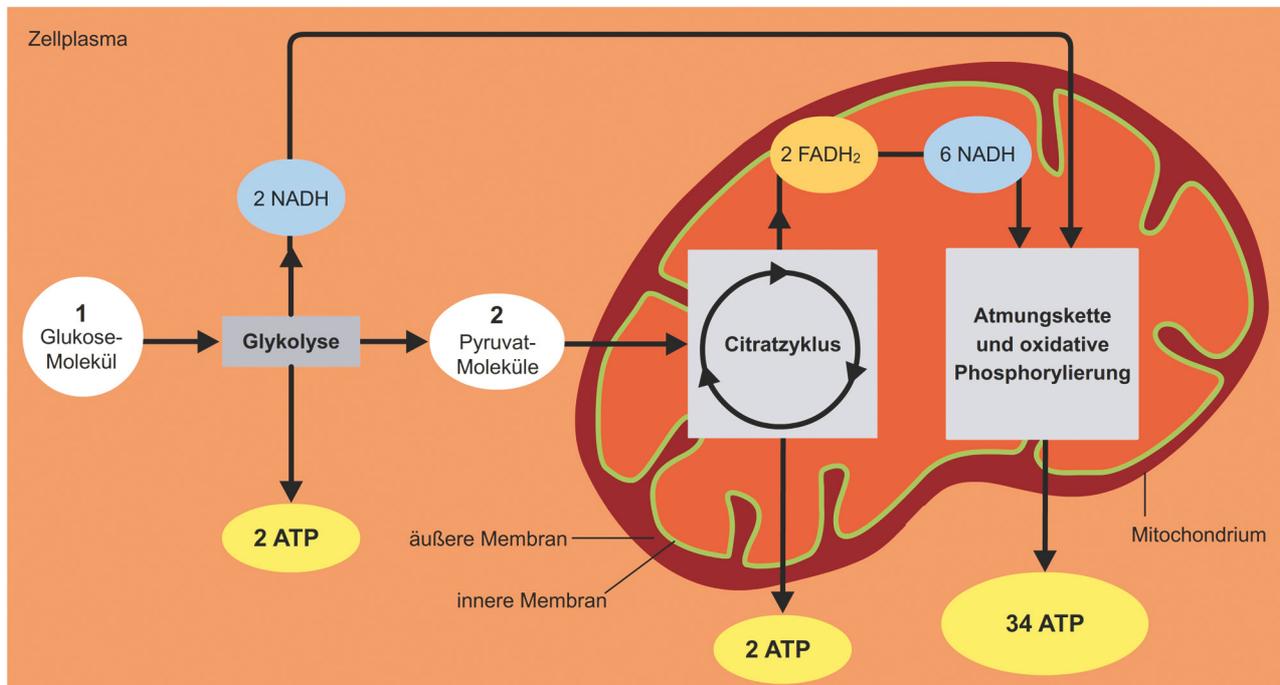
In unserem zweiten Teilerperiment verifizieren wir diesen Tatbestand über die Zellatmung. Die Zellatmung verbindet die Vorgänge der Ernährung und Verdauung mit dem Gaswechsel. Der Transport der Ausgangsstoffe für die Zellatmung wird durch das Blut gewährleistet. Es bringt die energiereichen Verbindungen (z. B. Kohlenhydrate, Glukose, Fette), die durch den mechanischen und enzymatischen Abbau der Nahrung in Mund, Magen und Darm entstehen, sowie den Sauerstoff zu den Geweben im Körper. Die energiereichen Verbindungen und der Sauerstoff treten vom Blut in die Gewebezellen über und reagieren hier in einer komplexen Reaktionsfolge zu den energiearmen Verbindungen Wasser und Kohlenstoffdioxid. Die energiereichen Verbindungen werden also durch den Sauerstoff oxidiert („verbrannt“). Die Reaktionsenergie wird zum Aufbau eines elektrochemischen Gradienten und nachfolgend zur Synthese von ATP genutzt.

Alternativ können auch Fettsäuren durch Sauerstoff oxidiert werden. Für die Oxidation von energiereichen Verbindungen am Beispiel der Glukose kann folgende Reaktionsgleichung aufgestellt werden:



## 2.1.2 Vertiefende Klärung der Prozesse für die Altersstufe 16+

Die Stoffwechselfvorgänge zur Oxidation der energiereichen Verbindungen finden in unterschiedlichen Teilen der Zelle statt:

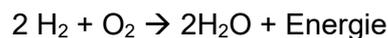


■ ATP = Adenosintriphosphat ■ NADH = Nicotinamadenindinukleotid ■ FADH<sub>2</sub> = Flavinadenindinukleotid

Abb. 1: Übersicht über die Zellatmung.

In der **Glykolyse** wird das Kohlenstoffgerüst eines Glukosemoleküls mit sechs Kohlenstoffatomen zu zwei Molekülen mit drei Kohlenstoffatomen umgebaut; die entstehende Verbindung heißt Pyruvat. Die Glykolyse findet im Zytoplasma der Zellen statt.

Das Pyruvat wird in die Mitochondrien transportiert. In Vorbereitung auf den **Citratzyklus** wird das Kohlenstoffgerüst des Pyruvats von drei auf zwei Kohlenstoffatome verkürzt und an das Coenzym A gebunden. Daraus entsteht das Acetyl-Coenzym A (oder Acetyl CoA bzw. aktivierte Essigsäure). Dabei wird Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff freigesetzt. Der Wasserstoff wird auf das Coenzym NAD<sup>+</sup> übertragen, dabei entsteht NADH+H<sup>+</sup>. Im Citratzyklus wird das verbleibende Kohlenstoffgerüst mit zwei Kohlenstoffatomen am Acetyl-Coenzym A durch Sauerstoff oxidiert. Dabei wird wiederum Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid freigesetzt, der Wasserstoff wird abermals auf das Coenzym NAD<sup>+</sup> übertragen. NADH+H<sup>+</sup> wird an der inneren Mitochondrienmembran mit dem eingeatmeten Luftsauerstoff oxidiert:



Die Reaktion entspricht formal der Knallgasreaktion und setzt große Mengen Energie frei. Damit die Zellen keinen Schaden nehmen, erfolgt diese Redox-Reaktion über die **Atmungskette**. Über mehrere hintereinander geschaltete Proteinkomplexe in der inneren Mitochondrienmembran werden Elektronen zwischen den Komplexen übertragen. Auf diese Weise wird immer nur ein Teil der gesamten Reaktionsenergie frei. Der letzte Proteinkomplex in der Atmungskette überträgt die Elektronen gemeinsam mit Protonen (H<sup>+</sup>-Ionen) aus der Mitochondrienmatrix auf Sauerstoff. Dabei entsteht Wasser als Endprodukt der Atmungskette.

Die Reaktionsenergie wird an den Proteinkomplexen der Atmungskette genutzt, um Protonen aus dem Inneren des Mitochondriums in den Spalt zwischen den beiden Mitochondrienmembranen zu schaffen. Dadurch entsteht ein Protonengradient über der inneren Mitochondrienmembran, der als vorläufiger Energiespeicher dient. Fließen Protonen entlang ihres Gradienten aus dem Spalt zwischen den beiden Mitochondrienmembranen durch das Enzym ATP-Synthase in die Mitochondrienmatrix zurück, wird die freiwerdende Energie für die Bildung von ATP genutzt. Fazit: Die Reaktionsprodukte Kohlenstoffdioxid und Wasser entstehen in zwei unterschiedlichen Stoffwechselfvorgängen. Während das Kohlenstoffdioxid bereits im Citratzyklus entsteht, wird das Wasser am Ende der Atmungskette gebildet. Bei den Reaktionen in den Mitochondrien entsteht außerdem das reduzierte Coenzym  $\text{NADH}+\text{H}^+$ , dessen Oxidation mit Sauerstoff die Energie für die ATP-Synthese liefert.

## 2.2 Lehrplanrelevanz

Während die Anatomie und die physiologischen Vorgänge auf der Organebene bei der Ernährung, Verdauung und Atmung in der Altersstufe 12 bis 16 Jahre thematisiert werden, werden die stoffwechselphysiologischen Vorgänge auf der Zellebene unter Rückgriff auf Vorkenntnisse aus der allgemeinen und organischen Chemie mehrheitlich erst ab Altersstufe 16+ behandelt. Dennoch können die Nachweisreaktionen für die Abbauprodukte des Stoffwechsels als qualitative Experimente ab der Altersstufe 10+ dienen. Hier empfiehlt sich die Aktivierung des Vorwissens bezüglich einfacher Verbrennungsprozesse (Kerze, Verbrennung von Zucker mit/ohne Katalysator). Verbrennungsprozesse können aus der chemischen Perspektive reflektiert werden. Oxidation und Reduktion sollten als Elektronenübergänge thematisiert werden, um ihre Anwendung auf der Ebene der Zellatmung verstehen zu können. Die fächerübergreifende Komponente ist damit durch die Oxidation und Reduktion im biologischen Kontext der Zellatmung gegeben.

**Themen und Begriffe:** Atmungskette, ATP, Biokatalysator, Citratzyklus (Zitronensäurezyklus), Cytoplasma, Energielieferant, Enzym, Fett, Glykolyse ( $\beta$ -Oxidation), Katalyse, Knallgasreaktion, Kohlenhydrate, Kohlenstoffdioxid, Mitochondrien, NAD, oxidative Phosphorylierung, pH-Wert, Protonen, Pyruvat, Redox-Reaktion, Sauerstoff, Säure-Base-Reaktion, Stofftransport, Stoffwechsel, Verbrennungsvorgang, Wasser, Zellatmung, Zitronensäurezyklus, Zucker

## 2.3 Kompetenzen

Die Schülerinnen und Schüler ...

- können das Prinzip der Zuckerverbrennung auf die Stoffwechselfvorgänge übertragen.
- können die Zelle als System, in dem unterschiedliche Stoffwechselfvorgänge zusammenwirken, beschreiben.
- können Grundprinzipien der Energieumwandlung durch Stoffabbau zusammenfassen.
- können die Zellatmung in groben Zügen erläutern und die Bruttogleichung formulieren.
- können den Zusammenhang zwischen dem Gasaustausch in der Lunge und der Zellatmung erklären.
- können geeignete qualitative Experimente zum Nachweis von Stoffwechselprodukten aussagekräftig planen, durchführen und auswerten.

## 2.4 Das Experiment im Erklärungszusammenhang

### 2.4.1 Telexperiment 1: Zucker lässt sich verbrennen

Das Telexperiment dient der Aktivierung von Vorwissen zu Verbrennungsvorgängen. Es illustriert auch die Besonderheit der Zuckerverbrennung: Zucker lässt sich nicht entzünden bzw. brennt nicht fort. Die Schülerinnen und Schüler versuchen zunächst erfolglos ein Stück Zucker zu entzünden. Dann entzünden sie ein mit Papierasche eingeriebenes Stück Würfelzucker. Ein Reagenzglas wird einige Sekunden über die Flamme gehalten. Wir erkennen: Zuckerverbrennung bedarf eines Katalysators. Bei der Verbrennung entsteht offensichtlich Wasserdampf, der am kalten Becherglas kondensiert.

**Hinweis zur Entzündung des Zuckers:** Die Entzündung von Zucker wurde erfolgreich mit der Asche verschiedenster Papierarten getestet. Besonders mit der Asche von Zellstoff-Papiertüchern funktioniert der Versuch sehr gut. Trotzdem kommt es mitunter zu Misserfolgen, wenn die Experimentieranleitung nicht sorgfältig befolgt wird. Halten Sie also ihre Schülerinnen und Schüler zu exaktem Arbeiten an. (Vielleicht sollten Sie das Experiment auch erst einmal für sich alleine selbst ausprobieren, bevor Sie es die Schülerinnen und Schüler durchführen lassen.) Zum Entzünden des Zuckers sind Streichhölzer ungeeignet. Nur die heiße und gerichtete Flamme eines Stabfeuerzeugs lässt das Experiment gelingen. Falls der Versuch nicht gelingt, ist es hilfreich, den Zuckwürfel auf ein Metallgitter o. Ä. zu legen und von unten her zu erhitzen.

Tipp: Auch wenn es aus im Hinblick auf den Wert „Gesundheitsbewusstsein“ etwas ungünstig erscheint: Mit Zigarettenasche funktioniert das Experiment im Gegensatz zur Papierasche immer.

**Fachliche Erklärung:** Zur Wirkung der Asche gibt es viele falsche Erklärungen, wie z. B. die „Dochtwirkung“. Da jedoch nicht der flüssige Zucker verbrennt, sondern die Zersetzungsgase des Zuckers, ist diese Erklärung mit Sicherheit falsch. Die richtige Erklärung ist die Katalysatorwirkung der Asche. Im Internet und in der Literatur gibt es dazu die Erklärung, dass in der Zigarettenasche enthaltene Eisen bzw. Eisenoxid wirke als Katalysator. Versuche mit Eisen und Eisenoxid konnten das jedoch nicht bestätigen. Ein anderer Vorschlag ist es, statt Asche Braunstein ( $\text{MnO}_2$ ) zu verwenden. Aber der Braunstein wirkt wohl eher als Sauerstoffhaltiges Oxidationsmittel und nicht als Katalysator. Und was ist nun in der Asche von Papier bzw. der Zigarette enthalten, das wirkt? Jedenfalls nicht Braunstein. Auch statt Asche Aktivkohle zu verwenden, ist didaktisch fraglich. Aktivkohle dürfte zwar zunächst als heterogener Katalysator wirken: Der Luftsauerstoff adsorbiert an der Aktivkohle und diese gibt den Sauerstoff direkt an die Zuckermoleküle weiter. Doch nur so lange, bis die Aktivkohle selbst verbrannt ist. Die wahrscheinlichste Erklärung ist wohl diese: Die in vielen Aschen enthaltenen Alkalioxide wirken als homogene Katalysatoren für die hydrolytische Zersetzung des Zuckers bei höheren Temperaturen. Die niedermolekularen Bruchstücke bilden nun gut brennbare Gase, die sich mit dem Luftsauerstoff vermischen und eine selbstständig weiter brennende Flamme ermöglichen. Da Tabakasche mehr von diesen Alkalioxiden enthält als Papierasche, wirkt sie besonders gut.

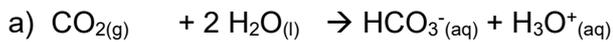
### 2.4.2 Telexperiment 2: Nachweis der Reaktionsprodukte in der Atemluft: Stoff A (Wasser)

Das beschlagene Reagenzglas deutet auf kondensierten Wasserdampf hin, der sich in der ausgeatmeten Luft befindet. Hier kann direkt an die Beobachtung aus Telexperiment 1 angeknüpft werden.

### 2.4.3 Telexperiment 3: Nachweis der Reaktionsprodukte in der Atemluft: Stoff B (Kohlenstoffdioxid)

Bei diesem Telexperiment wird der Kohlenstoffdioxidgehalt der Lösung in den drei Versuchsanordnungen systematisch variiert.

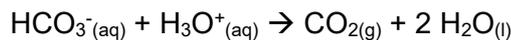
Kohlenstoffdioxid löst sich einerseits physikalisch in Wasser, reagiert andererseits in einer Säure-Base-Reaktion mit dem Wasser unter Bildung von Hydrogencarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) bzw. Carbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) und Oxonium-Ionen ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ):



Reaktionsgleichung 1: Säure-Base Gleichgewicht des Kohlenstoffdioxids, Hinreaktion.

Die gebildeten Oxonium-Ionen lassen sich durch die pH-Wert-Messung mit pH-Papier oder einem anderen Indikator nachweisen – die Lösung reagiert schwach sauer, das Gleichgewicht liegt auf der Seite der Ausgangsstoffe. Kohlenstoffdioxid wird z. B. Mineralwässern beigegeben. Das hat im Wesentlichen zwei Gründe: Das Wasser bleibt durch die leicht konservierende Wirkung länger frisch und der empfundene Durstlöscheffekt ist größer.

Zum Weiterforschen: Das Gas lässt sich alternativ auch durch Natron (Natriumhydrogencarbonat,  $\text{NaHCO}_3$ ) und Essigsäure ( $\text{CH}_3\text{-COOH}$ ) herstellen. Bei dieser Reaktion läuft die Rückreaktion der Reaktion 2.4.3 a) ab, sodass Kohlenstoffdioxid aus der Lösung entweicht:



Reaktionsgleichung 2: Säure-Base Gleichgewicht des Kohlenstoffdioxids, Rückreaktion zu 2.4.3 a).

Bei der Zellatmung entsteht gleichfalls Kohlenstoffdioxid, das bei der Ausatmung an die Umwelt abgegeben wird. Wird die ausgeatmete Luft in Wasser eingebracht, vollzieht sich die Reaktion ebenfalls gemäß Reaktionsgleichung 2.4.3 a). Diese Lösung reagiert daher gleichfalls schwach sauer. Die Referenz für den Neutralpunkt stellt in diesem Experiment die Probe mit reinem Wasser dar.



Abb. 2: Bei richtiger Durchführung ist im Gegensatz zu reinem Wasser (links) bei den Proben mit Kohlensäure (Mitte aus Atemluft, rechts Mineralwasser) eine Absenkung des pH-Werts an der Verfärbung des grünen Farbfelds zu erkennen.

Die saure Reaktion von Kohlenstoffdioxid in wässriger Lösung kann in didaktisch vereinfachter Form auch auf den Kohlenstoffdioxidtransport im Blut übertragen werden. Etwa 10 % des Kohlenstoffdioxids, das bei der Zellatmung entsteht, löst sich physikalisch im Blutplasma. Der überwiegende Teil des hydratisierten Kohlenstoffdioxids diffundiert in die roten Blutkörperchen und reagiert hier enzymatisch katalysiert nach Reaktionsgleichung 2.4.3 a) zu Hydrogencarbonat und Protonen. Das Hydrogencarbonat wird z. T. aus den roten Blutkörperchen ins Blutplasma entlassen und in gelöster Form zur Lunge transportiert. Die Protonen werden an verschiedene Blutproteine gebunden, sodass der pH-Wert des Blutes weitestgehend konstant bleibt (Pufferwirkung des Blutes). In der Lunge wird Kohlenstoffdioxid aus allen Transportformen wieder abgegeben.

## 2.5 Durchführungsvarianten

Die Experimente zur Verbrennung sowie zu den Produkten des Stoffwechsels sind wenig material- und zeitintensiv und können als Demonstrations- oder Schülerexperimente in Einzel- oder Partnerarbeit in den Unterricht integriert werden. Aufgrund der Komplexität des Themenfeldes bieten sich schüleraktivierende Unterrichtsmethoden an, die neben dem experimentellen Zugang weitere Materialien für die Hintergrundinformationen vorhalten. Solche Arbeitsformen können z. B. Lernen an Stationen oder das Gruppenpuzzle sein. Diese Methoden sind gleichfalls gut dazu geeignet, dem individuellen Lerntempo und Lernfortschritt der Schülerinnen und Schüler Rechnung zu tragen.

## 3 Ergänzende Informationen zum Experiment

Zur Vorbereitung bzw. zur Vertiefung dieses Experiments finden Sie ergänzende Medien auf dem Medienportal der Siemens Stiftung: <https://medienportal.siemens-stiftung.org>

Inhaltliche Anregung:

Organisierende Gesamtübersicht für das Themenfeld Ernährung, Atmung, Stofftransport und Energieumwandlung mit Auflistung der Experimente als Mind-Map (kann gleichfalls ein Arbeitsauftrag für die Schülerinnen und Schüler am Beginn der Unterrichtseinheit sein)

Methodische Anregung:

Zusätzliche Materialien für eine Stationenarbeit, z. B. Lerndominos, Infoblätter und Rechercheaufträge, Modelle, Simulation zur Atmungskette und ATP-Synthese mit Lernaufgaben

## 4 Hinweise zur Durchführung der Telexperimente

### 4.1 Räumlichkeiten

Die Experimente können unter Beaufsichtigung der Lehrkraft von den Schülerinnen und Schülern selbstständig in jedem gut zu belüftenden Klassenraum durchgeführt werden.

### 4.2 Zeitbedarf

	Vorbereitung	Durchführung	Auswertung und Besprechung
Telexperiment 1	3 min	3 – 5 min	ca. 15 min
Telexperiment 2	2 min	2 min	ca. 15 min
Telexperiment 3	5 min	10 min	ca. 15 min

### 4.3 Sicherheitsaspekte

Die Versuche dürfen nur bei Anwesenheit und unter Aufsicht der Lehrkraft durchgeführt werden. Die Schülerinnen und Schüler sind darauf hinzuweisen, dass die bereitgestellten Materialien nur entsprechend den jeweiligen Anweisungen eingesetzt werden dürfen.

Bei diesen Experimenten achten Sie bitte auf folgende mögliche Gefahren und machen Sie auch Ihre Schülerinnen und Schüler darauf aufmerksam:

- Es besteht Verbrennungsgefahr und Brandgefahr beim Arbeiten mit Feuer. Vor der ersten Benutzung der Feuerzeuge sind diese von der Lehrkraft auf ordnungsgemäße Funktion zu überprüfen, insbesondere die Regulierung der Flammengröße.
- Unterbinden Sie Zündeln! Bei den Telexperimenten 1 und 3 kann die Schale aus Alu als feuerfeste Unterlage verwendet werden.
- Die Lebensmittel sind nicht zum Verzehr geeignet.

### 4.4 Benötigte Materialien

Sicherheitsrelevante Materialien und Geräte sind vor Aushändigung an die Schülerinnen und Schüler auf ihre ordnungsgemäße Funktion zu testen.

Für **eine** Schülergruppe werden folgende Materialien benötigt:

Material	Anzahl
Becher, 100 ml	3
Für das Telexperiment 1: ein Feuerzeug (wenn möglich ein Stabfeuerzeug). Bitte auf keinen Fall Streichhölzer anstatt eines Feuerzeugs verwenden, da der Versuch sonst nicht funktioniert.	1
Leitungswasser (ein pH-Wert von ca. 7,0 – 7,5 ist gut geeignet)	nach Bedarf
evtl. Mineralwasser	nach Bedarf
etwas Papier	nach Belieben
Pflanzenclip (als Reagenzglasständer)	1
pH-Messstäbchen, Packung	1 für die ganze Klasse
Reagenzglas aus Glas	1
Schale aus Alu	1
Strohhalme	1
Teelicht bzw. Teelichtschale	1
evtl. destilliertes Wasser	nach Bedarf
Würfelzucker, Packung	1 Würfel



Abb. 1: Geräte bzw. Materialien für eine Schülergruppe, beispielhafte Abbildung.

#### 4.5 Aufräumen, Entsorgen, Recyceln

Fast alle verwendeten Geräte und Materialien sind wiederverwendbar. Daher sollten sie nach Beendigung des jeweiligen Experiments ordentlich aufgeräumt werden. So stellen Sie sicher, dass Sie bzw. Ihre Kolleginnen und Kollegen beim nächsten Einsatz alles schnell wiederfinden.

Geräte, die beim Experimentieren verschmutzt wurden, wie z. B. Becher, Schalen, Löffel, Reagenzgläser, sollten vor dem Zurücklegen erst gereinigt werden. Sinnvollerweise lässt man dies die Schülerinnen und Schüler gleich nach Beendigung des Experiments erledigen.

Stellen Sie zudem sicher, dass die Geräte wieder für den nächsten Einsatz betriebsbereit sind.

Beispielsweise sind benutzte Akkus gleich aufzuladen (Auch bei längerer Nichtbenutzung ist das Aufladen der Akkus sinnvoll.).

Materialien, die nicht wiederverwendbar sind, wie z. B. gebrauchte pH-Messstäbchen oder Filterpapier, sollten fachgerecht entsorgt werden.

Die Entsorgung der in diesem Experiment anfallenden Abfälle kann über den normalen Hausmüll bzw. den Ausguss erfolgen.



# C1 Wir verbrennen Zucker – Zellatmung und Atmungskette

## 1 Zucker lässt sich verbrennen

### 1.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Feuerzeug (Stabfeuerzeug)	1
Papier-Schnitzel	1
Reagenzglas aus Glas,	1
Schale aus Alu (als feuerfeste Unterlage)	1
Wasser	nach Belieben (etwas)
Stück Würfelzucker	1

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

### 1.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht.

Bei diesem Experiment achte bitte auf folgende mögliche Gefahren:

- Sei vorsichtig beim Arbeiten mit dem Feuerzeug, es besteht Verbrennungsgefahr und Brandgefahr!
- Die Zuckerwürfel sind nicht zum Verzehr geeignet. Nach dem Anzünden sind die Zuckerwürfel heiß. Verbrenne dich nicht!

### 1.3 Versuchsdurchführung

- Lege den Würfelzucker auf eine feuerfeste Unterlage, z. B. in eine Alu-Schale hinein und versuche, das Stück Zucker mit dem Feuerzeug zu entzünden.



Abb. 1: Versuch, den Zucker mit der Feuerzeugflamme zu entzünden.

- Lege ein Stück Papier auf das Zuckerstück, zünde es an und warte, bis es komplett verbrannt ist.
- Verreibe die gebildete Papierasche sorgfältig auf der gesamten Zuckeroberfläche.
- Halte nun die Feuerzeugflamme so lange gegen den Zuckerwürfel, bis er schmilzt und karamellisiert. Wenn es in der Alu-Schale nicht funktioniert, kannst du versuchen, den Zuckerwürfel auf einem Metallgitter zu befestigen und ihn von unten her anzuzünden.



Abb. 2: Ein Stück Papier wird direkt auf den Zucker gelegt.

- Achte darauf, dass der heißeste Teil der Feuerzeugflamme den Zucker erwärmt (Zucker nur in das vorderste Drittel der Flammenspitze eintauchen!). Bei zu tiefem „Eintauchen“ bis in den blauen Bereich der Flamme, ist die Flamme evtl. zu kalt, um den Zucker zu entzünden!
- Erst wenn die braune Schmelze sich mit der Asche gemischt hat, ist die Entzündung möglich.
- Halte nun ein mit kaltem Wasser gefülltes Reagenzglas in ca. 2 – 3 cm Abstand über die Flamme.
- Stellst du eine Veränderung am Reagenzglas fest?



Abb. 3: Das kalte Reagenzglas über der Zuckerflamme.

## 1.4 Beobachtung

Fasse deine Beobachtungen schriftlich zusammen.

## 1.5 Auswertung

- Erkläre deine Beobachtung.
- Formuliere eine Reaktionsgleichung bzw. Wortgleichung für die Verbrennung des Zuckers.

## 1.6 Fragen

- Nenne den Reaktionstyp, zu dem Verbrennungen gehören.
- Erkläre, was auf der Teilchenebene bei einer Verbrennung geschieht.
- Erläutere, welche Eigenschaften die Reaktionspartner bei einer Verbrennung haben müssen.
- Erkläre, welche Wirkung die Asche bei unserem Experiment hat.

## 2 Nachweis der Reaktionsprodukte in der Atemluft: Stoff A

### 2.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Reagenzglas aus Glas	1

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

### 2.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht.

### 2.3 Versuchsdurchführung

Hauche ein sauberes Reagenzglas an.

### 2.4 Beobachtung

Fasse deine Beobachtungen schriftlich zusammen.

### 2.5 Auswertung

Erkläre deine Beobachtung.

### 2.6 Fragen

- Benenne das Gas (Stoff A) in der ausgeatmeten Luft, das am Reagenzglas kondensiert.
- Mit dem Versuch wird ein Reaktionsprodukt des menschlichen Stoffwechsels nachgewiesen. Erläutere, welche Stoffe im Körper umgesetzt werden und wie sie dort hinein kommen. Wie gelangen diese Ausgangsstoffe zur weiteren Umsetzung in deinen Körper?

### 3 Nachweis der Reaktionsprodukte in der Atemluft: Stoff B

#### 3.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Becher 100 ml	3
evtl. Mineralwasser mit viel Kohlensäure	bei Bedarf
pH-Messstäbchen	3
Strohalm	1
Wasser (evtl. destilliertes Wasser)*	nach Bedarf

\*Leitungswasser mit einem pH-Wert von ca. 7,0 – 7,5 ist gut geeignet.

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

#### 3.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht.

Am Arbeitsplatz dürfen keine wasserempfindlichen Materialien vorhanden sein.

#### 3.3 Versuchsdurchführung

- Bereite die Becher vor und fülle in den ersten reines Wasser in den zweiten reines Wasser und, falls vorhanden, in den dritten Mineralwasser.
- Gib jeweils ein pH-Messstäbchen in jeden Becher.
- Blase deine Ausatemluft mit dem Strohhalm in den zweiten Becher. Blase so lange, bis sich mindestens eine Farbe auf dem pH-Messstäbchen sichtlich ändert. Das kann 5 – 10 Minuten dauern!
- Stelle für alle drei Wasserproben die pH-Werte fest, indem du die Farbe der Teststäbchen mit der Farbskala auf der Packung vergleichst. Notiere die Werte.

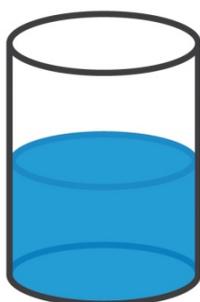


Abb. 4: Destilliertes Wasser.

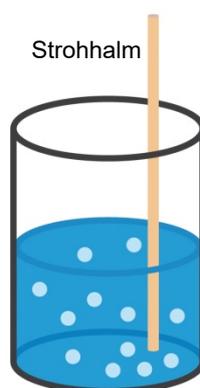


Abb. 5: Wasser mit Atemluft.

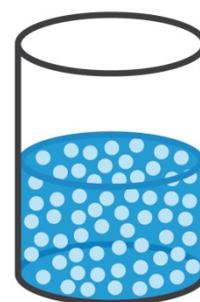


Abb. 6: Mineralwasser.

### 3.4 Beobachtung

Fasse deine Beobachtungen schriftlich zusammen.

### 3.5 Auswertung

- a) Erkläre deine Beobachtung.
- b) Benenne das Gas, das in der menschlichen Ausatemluft enthalten ist und durch diesen Versuch nachgewiesen werden kann.
- c) Erläutere, welches Gas aus dem Mineralwasser entweicht.
- d) Mit dem Versuch wird ein Reaktionsprodukt des menschlichen Stoffwechsels nachgewiesen. Benenne die Ausgangsstoffe der Reaktionen. Wie gelangen diese Ausgangsstoffe zur weiteren Umsetzung in deinen Körper?

### 3.6 Fragen

Erläutere die Abbauprozesse im menschlichen Körper für Kohlenhydrate, die mit der Nahrung aufgenommen werden.



## C2 Kohlenhydrate als Energielieferanten des Stoffwechsels – Stärke und Zucker

Das Experiment ist ein Einstiegsexperiment in den Themenkomplex Verdauung und Stoffwechsel im menschlichen Körper. Zum qualitativen Einstieg in das Thema Verdauung eignet es sich für die Altersgruppe bis 16 Jahre. Die Vertiefung des Themas Stoffwechsel setzt dann allerdings erhebliche Grundkenntnisse in organischer Chemie und Biochemie voraus, die erst in der Altersstufe 16+ vorausgesetzt oder erarbeitet werden können.

### 1 Zentrale Fragestellung

Mit dieser Versuchsreihe erhalten Schülerinnen und Schüler einen Einblick in den Stoffwechsel der Kohlenhydrate im menschlichen Körper. Dazu wird gezeigt, dass viele unserer Lebensmittel Kohlenhydrate in Form von Stärke, Saccharose und Glukose enthalten. Des Weiteren werden die enzymatische Spaltung und die nachfolgenden Abbauprozesse von Mehrfachzuckern thematisiert. Dabei wird an die Verbrennungsprozesse aus Experiment **C1 Wir verbrennen Zucker – Zellatmung und Atmungskette** angeknüpft. Diese werden nun aus der Perspektive des zu oxidierenden Substrats Zucker besprochen. Zur Vertiefung der bekannten Phänomene kann der chemische Aufbau von Einfach- und Mehrfachzuckern behandelt werden sowie ihre chemischen Reaktionen: Oxidation der Aldehydgruppe, Halbacetalbildung beim Übergang von der Ketten- in die Ringform sowie Acetalbildung bei der Kondensation von Glukosemolekülen bzw. die (enzymatische) Hydrolyse als Umkehr dieser Reaktion.

Fachmethodisch lernen die Schülerinnen und Schüler charakteristische Nachweisreaktionen für Kohlenhydrate sowie das Prinzip katalysierter Reaktionen kennen.

### 2 Einordnung des Experiments in den Unterrichtszusammenhang

#### 2.1 Fachliche Grundlagen

Der Themenkreis Ernährung ist den Schülerinnen und Schülern häufig schon aus dem Primarbereich geläufig. Sie bringen Vorkenntnisse darüber mit, dass wir essen müssen, um aktiv sein zu können: Nahrung liefert die Energie zum Leben. Die Schülerinnen und Schüler haben bereits auch die Hauptbestandteile der Nahrung – Zucker, Fette und Eiweiße – kennen gelernt und können sie für eine ausgewogene und gesunde Mahlzeit, z. B. für ein Frühstück, zusammenstellen. Im darauf aufbauenden Unterricht sollten Bezüge zwischen den Themenbereichen Ernährung, Stofftransport, Atmung und Energieumwandlung hergestellt werden. Was hat die Ernährung mit dem Blutkreislauf und der Atmung zu tun? Der Zusammenhang von Aufnahme, Transport und Abgabe von Stoffen und Energie sollte explizit thematisiert werden, wenn die Nährstoffe Kohlenhydrate, Fette und Eiweiße und ihre Verdauung im Detail behandelt werden.

Übrigens: Ausführliche Ideen, um das Thema Ernährung mit Wertebildung zu verknüpfen, finden Sie in der Online-Anwendung zu Experimento | 10+ auf dem Medienportal der Siemens Stiftung.

##### 2.1.1 Qualitativer Zugang in den Altersstufen 10 bis 16 Jahre

Verschiedene Nährstoffe haben unterschiedliche Aufgaben im Körper. Die **Kohlenhydrate** dienen hauptsächlich als Energielieferanten, um die Arbeit der Muskeln, die Tätigkeit aller Körperorgane und die Körperwärme aufrecht zu erhalten.

**Vom Vollkornbrot zur Glukose: Verdauung der Kohlenhydrate beginnt im Mund.** Die in der Nahrung enthaltenen Nährstoffe sind dem Zellstoffwechsel nicht direkt zugänglich, daher sind mehrere Stationen der Stoffumwandlung erforderlich. Die Zerlegung der Nahrung und die anschließende Aufnahme der Nährstoffe werden unter dem Begriff Verdauung zusammengefasst. Die ersten Verdauungsschritte beginnen bereits in der Mundhöhle. Während die Zähne die Nahrung mechanisch zerkleinern, sondern die Speicheldrüsen den Mundspeichel ab. Dieser hat zwei wesentliche Funktionen: Einerseits macht der darin enthaltene Schleim die Nahrungsbrocken schluckfähig, andererseits enthält er das Enzym Amylase, das am kettenförmigen Stärkemolekül (siehe Abb. 4) angreift und in Umkehrung der Kondensation diese Kette in kürzere Einheiten bis zur Maltose zerlegt (→ Hydrolyse von Stärke). Dieses Phänomen können Schülerinnen und Schüler unmittelbar durch längeres Kauen einer Scheibe Brot erfahren (siehe Teilexperiment 2). Der Nahrungsbrei wandert dann durch die Speiseröhre in den Magen (siehe Experiment **C4 pH-Wert von Getränken – Wie sauer ist es im Magen?**). Im Magen wird das im Speichel zur Stärkespaltung dienende Enzym durch die Magensäure deaktiviert (siehe auch unter 2.5 Durchführungsvarianten). Hier müssen nun andere Enzyme und Mechanismen wirksam werden. Ein schönes Beispiel, an dem die Schülerinnen und Schüler lernen können, dass die Verdauungsenzyme nur in bestimmten pH-Bereichen wirksam sein können.

**Die Kohlenhydrate gelangen vom Darm ins Blut.** Vom Magen aus wird die Nahrung schubweise durch Zusammenziehen der Muskeln in der Magenwand in den Dünndarm geschoben. Diese einzelnen Abschnitte des Dünndarms (z. B. der Zwölffingerdarm) sorgen für eine maximale Zerkleinerung der Nahrungsbestandteile und die Resorption der Glukosemoleküle. Dazu muss die Maltose durch weitere Enzyme des Darms in Glukosemoleküle zerlegt werden (→ Hydrolyse). Die Glukose wird mittels aktiven Transports in die Darmzellen aufgenommen und diffundiert von dort in das Blut der Pfortader. Von dort wird die Glukose zu den Zellen des Verbrauchs (z. B. Muskelzellen) transportiert und in den Prozessen der Zellatmung (Glykolyse, Zitronensäurezyklus) zu Wasser und Kohlenstoffdioxid oxidiert (siehe Experiment **C1 Wir verbrennen Zucker – Zellatmung und Atmungskette**). Diese Oxidationsvorgänge liefern ATP als chemischen und universell im Stoffwechsel verwendbaren Energiespeicher.

Auch andere Disaccharide wie die Saccharose werden im Darm durch die entsprechenden Enzyme in ihre Monosaccharide zerlegt. Werden zu viele Kohlenhydrate mit der Nahrung aufgenommen, wird der Überschuss an Glukose durch die Leber in Fett umgewandelt und im Körper als Reserve eingelagert. Bei einem langfristigen Ungleichgewicht zwischen aufgenommener und benötigter Energie führt dieser Vorgang zu Übergewicht. Nahrung, die nicht verwertet werden kann, werden abschließend im Dickdarm Wasser und Mineralstoffe entzogen, sodass der Nahrungsbrei eingedickt wird und über den Mastdarm und den After den Körper verlässt.

### 2.1.2 Vertiefende Betrachtungen für die Altersstufe 16+

Kohlenhydrate können nach ihrem chemischen Aufbau in Mono-, Di- und Polysaccharide (Einfach-, Zweifach- und Mehrfachzucker) unterschieden werden. Monosaccharide können als Oxidationsprodukte mehrwertiger Alkohole aufgefasst werden. Sie bestehen aus einer Kohlenstoffkette mit drei bis sechs Kohlenstoffatomen und tragen eine Aldehyd- oder Ketogruppe, die ihre chemischen Reaktionen bestimmt. Die übrigen Kohlenstoffatome tragen Hydroxygruppen. Als Substrat für den Zellstoffwechsel (siehe Experiment C1) ist die Glukose von besonderer Bedeutung. Sie kann in Ketten- oder Ringform vorliegen; beide Formen sind in einander überführbar (Halbacetalbildung, siehe Abb. 2) und liegen in wässriger Lösung mit geringem Anteil der Kettenform vor.

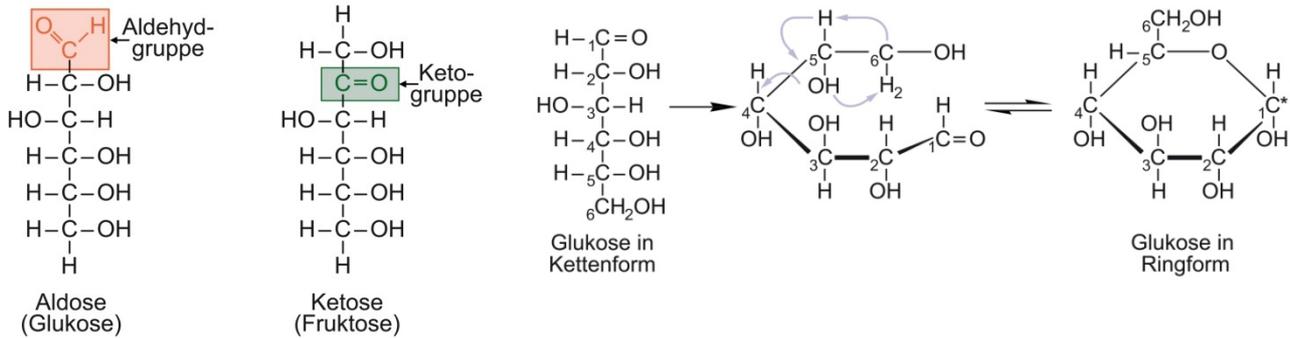


Abb. 1: Glukose und Fruktose als Beispiele für Monosaccharide.

Abb. 2: Ringschluss beim Glukosemolekül (Halbacetalbildung).

Disaccharide entstehen durch den Zusammenschluss zweier Monosaccharideinheiten. Hierbei reagiert eine Hydroxygruppe mit der Halbacetalgruppe unter Wasserabspaltung (Acetalbildung). Diese Reaktion ist am Beispiel der Vereinigung von Glukose und Fruktose in Abb. 3 gezeigt; es entsteht Saccharose, unser gebräuchlichster Zucker im Haushalt.

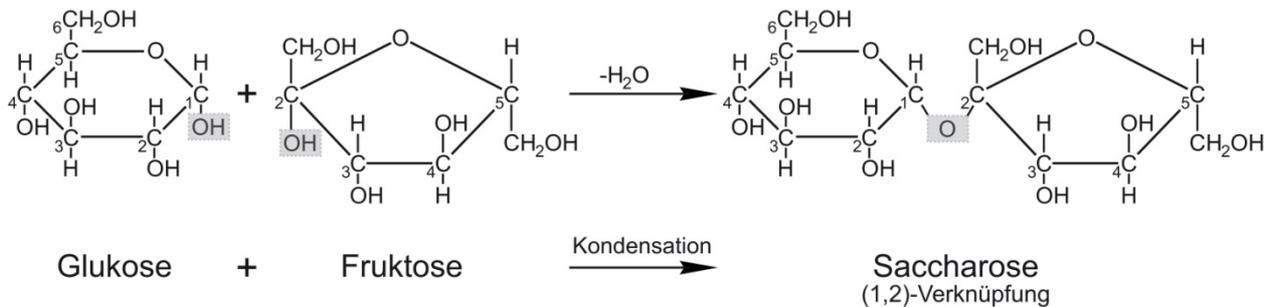


Abb. 3: Glukose und Fruktose reagieren zu Saccharose.

Vereinigen sich zwei Glukosemoleküle unter Wasserabspaltung zu einem Disaccharid, entsteht Maltose.

Ein prominenter Vertreter der pflanzlichen Polysaccharide ist die Stärke (siehe Abb. 4). Sie besteht aus verknüpften Glukoseresten. Davon sind ca. 25 % lösliche Stärke (Amylose). Die Amylose bildet lange Ketten, die sich zu einer  $\alpha$ -Helix aufwinden. Dagegen ist der unlösliche Anteil (Amylopektin, ca. 75 %) mit zusätzlichen Bindungen zwischen kürzeren Kettenstücken stark verzweigt. Das tierische Speicherkohlenhydrat Glykogen ist vergleichbar zum Amylopektin aufgebaut. Stärke (Amylose) lässt sich mithilfe von Iod spezifisch nachweisen: Das Iod lagert sich in das Innere der  $\alpha$ -Helix des Stärkemoleküls ein. Somit entsteht ein Komplex, der sich – je nach Iodkonzentration – durch seine tiefblaue, blauviolette bis schwarze Farbe auszeichnet.

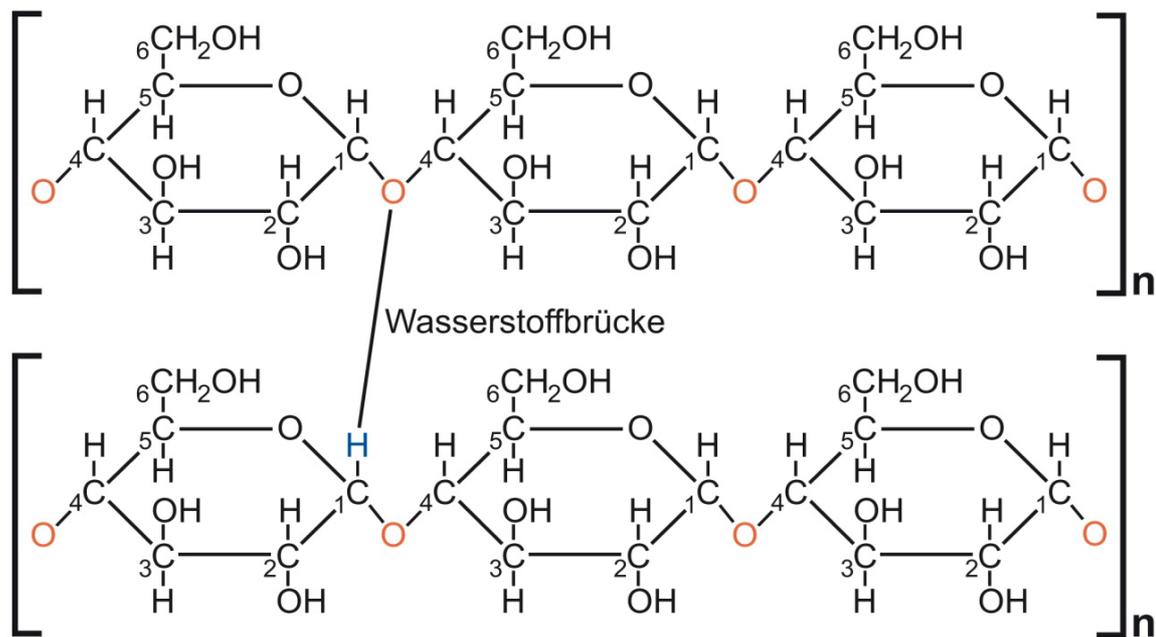


Abb. 4: Ausschnitt aus einem Stärkemolekül.

Zur Vertiefung der Stoffwechselfysiologie können die Enzymreaktionen (z. B. der Amylase) mit ihrer Kinetik behandelt werden. Des Weiteren ist die Membranphysiologie ein Thema der Altersstufe 16 bis 18 Jahre. Der Glukosetransporter im Darmlumen ist ein geeignetes Beispiel, um den sekundär aktiven Transport zu erörtern.

## 2.2 Lehrplanrelevanz

In der Altersstufe von 10 bis 16 Jahre stehen die humanbiologischen Aspekte der Ernährung und Verdauung im Vordergrund. Die Gewinnung und der Nachweis von Stärke aus z. B. Kartoffeln können als qualitative Experimente durchgeführt werden. Gleiches gilt für die katalytische Zuckerverbrennung, die das Prinzip der Zellatmung und Energieumwandlung verdeutlicht (siehe auch Experiment C1). Hier empfiehlt sich ferner die Aktivierung des Vorwissens bezüglich einfacher Verbrennungsprozesse (Kerze, Verbrennung von Zucker mit/ohne Katalysator).

Die Chemie der Kohlenhydrate sollte im Detail erst ab der Altersstufe 16+ behandelt werden. Hierzu gehören die Struktur und Reaktionen der Kohlenhydrate sowie die Erörterung der Nachweisreaktionen auf molekularem Niveau. Grundlegende Kenntnisse aus der organischen Chemie sind dafür unerlässlich (Alkohole, Aldehyde, Ketone: Struktur und Reaktionen; Formen der Isomerie). Die fächerübergreifende Komponente ist darüber hinaus durch die Oxidation und Reduktion von Kohlenhydraten im biologischen Kontext der Zellatmung gegeben.

**Themen und Begriffe:** (Halb)acetalbildung, Aldehyd, Einfachzucker (Monosaccharid), Energieumwandlung, Enzym Amylase, Glukose, Hydrolyse, Isomerie, Katalyse, Keton, Ketten- bzw. Ringform von Molekülen, Kohlenhydrat, Mehrfachzucker (Polysaccharid), Oxidation, Resorption, Saccharose, Stärke, Stoffwechsel, Wasserstoffbrückenbindung, Zucker, Zweifachzucker (Disaccharid)

## 2.3 Kompetenzen

Die Schülerinnen und Schüler ...

- nennen die Bestandteile der Nahrung und nennen Nahrungsmittel, in welchen diese enthalten sind.
- beschreiben den Weg der Nahrung durch den Körper.
- können Nachweisreaktionen für Kohlenhydrate durchführen und die beobachteten Phänomene erklären.
- können die Struktur von Kohlenhydraten fachsprachlich erläutern (ggf. mit Strukturformeln und Reaktionsgleichungen).
- können Grundprinzipien der Energieumwandlung durch Stoffabbau zusammenfassen.

## 2.4 Das Experiment im Erklärungszusammenhang

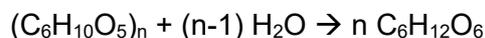
### 2.4.1 Telexperiment 1: Kartoffeln enthalten Stärke

Das optionale Experiment dient als Vorstufe zur Erkenntnis, dass Kohlenhydrate wie Stärke wesentlicher Bestandteil vieler Lebensmittel sind.

### 2.4.2 Telexperiment 2: Hydrolyse von Stärke

Das Experiment zeigt einerseits den Nachweis von Stärke, andererseits die enzymatische Hydrolyse des löslichen Anteils der Stärke, der Amylose, durch das Enzym Amylase im menschlichen Speichel. Der Nachweis resultiert aus der Einlagerung von Polyiodid-Ionen aus der Iodlösung in der spiralförmigen Amylosekette (s. o.). Dadurch entsteht die charakteristische Violett- oder Blaufärbung der Lösung.

Die Speichelamylase greift als Endoamylase oder  $\alpha$ -Amylase an beliebigen Stellen der Kette an:



**Wichtiger Hinweis:** Iodtinktur (braun) enthält in unverdünnter Form zu viel Iod. In der Folge des Iodüberschusses verfärbt sich der größte Teil der Stärke nach schwarz, ein geringer Teil nach blau. Der Anteil der bläulich verfärbten Stärke bildet dann zusammen mit der braunen, überschüssigen Iodlösung eine graugrüne Färbung der wässrigen Phase.

Auch kommt es zu Problemen, wenn die Stärkelösung zu viel Stärke enthält. Der Speichel wandelt dann nicht die gesamte Stärke in Glucose um. Es kommt dann bei Zugabe des Iods immer noch zu einer Blaufärbung oder einer graugrünen Mischfarbe.



Abb. 5: Zu viel Iod und/oder Stärke.



Abb. 6: Richtige Konzentration von Stärke und Iod. Bereits ein kleiner Tropfen verdünnte Iodlösung führt zu einer ersten Blaufärbung.

Es wird deshalb vorgeschlagen, dass die Lehrkraft die exakt dosierte Stärkelösung selbst herstellt (siehe unter 4.4 Geräte und Materialien!). Sind sämtliche Stärkemoleküle zu Glukosemolekülen gespalten worden, ließe sich die Glukose z. B. durch die Fehling-Probe nachweisen (hier nicht vorgesehen).

## 2.5 Durchführungsvarianten

Die Experimente zu Nachweis und Hydrolyse von Stärke sind wenig material- und zeitintensiv und können als Schülerexperimente in Einzel- oder Partnerarbeit in den Unterricht integriert werden. Auf das Telexperiment 1 kann, wenn kein geeignetes Material (Kartoffel, Brot, Maniok o. Ä.) zur Verfügung steht, ggf. verzichtet werden. Aufgrund der Komplexität des Themenfeldes Ernährung, Verdauung und Zellstoffwechsel bieten sich schüleraktivierende Unterrichtsmethoden an, die neben dem experimentellen Zugang weitere Materialien für die Hintergrundinformationen vorhalten. Solche Arbeitsformen können z. B. Lernen an Stationen oder das Gruppenpuzzle sein. Diese Methoden sind gleichfalls gut dazu geeignet, dem individuellen Lerntempo und Lernfortschritt der Schülerinnen und Schüler Rechnung zu tragen.

**Zum Weiterforschen:** Falls man die nötigen Chemikalien hat, ist noch ein ergänzender Versuch zur Deaktivierung der Amylase möglich:

- Fülle zwei Reagenzgläser jeweils mit ca. 3 ml Stärkelösung.
- Füge in das erste Reagenzglas einige Tropfen Säure hinzu (z. B. Zitronensäure).
- Gib in das zweite Reagenzglas einige Tropfen Kupfersulfatlösung dazu.
- Gib zu beiden Reagenzgläsern etwas Speichel dazu.
- Schüttle beide Reagenzgläser ab und zu und warte ca. 15 Minuten.
- Gib nun in beide Reagenzgläser dieselbe Menge an verdünnter Iodlösung, wie bei den vorhergehenden Versuchen.

### Optional: Weitere Experimentiermöglichkeiten zu Telexperiment 1

Optional könnte die Stärke auch aus Kartoffeln isoliert werden. Eine Anleitung dazu befindet sich im Medienportal.

### Ergänzender Versuch zur Zuckerverbrennung:

Das Telexperiment „Zucker lässt sich verbrennen“ aus dem Experiment C1 demonstriert einerseits, dass Zucker sich oxidieren (verbrennen) lässt, andererseits, dass hierfür ein Katalysator nötig ist. Die Schülerinnen und Schüler versuchen zunächst erfolglos, ein Stück Zucker zu entzünden. Dann entzünden sie ein mit Papierasche bestreutes Stück Würfelzucker in einem Teelichtbecher. Ein Reagenzglas wird einige Sekunden über die Flamme gehalten. Dies lässt den Schluss zu, dass die Zuckerverbrennung eines Katalysators bedarf. So bietet sich ein guter Ansatzpunkt für die Besprechung der enzymatischen Vorgänge im menschlichen Stoffwechsel.

## 3 Ergänzende Informationen zum Experiment

Zur Vorbereitung bzw. zur Vertiefung dieses Experiments finden Sie ergänzende Medien auf dem Medienportal der Siemens Stiftung: <https://medienportal.siemens-stiftung.org>

## 4 Hinweise zur Durchführung der Telexperimente

### 4.1 Räumlichkeiten

Die Experimente können unter Beaufsichtigung der Lehrkraft von den Schülerinnen und Schülern selbstständig in jedem gut zu belüftenden Klassenraum durchgeführt werden.

### 4.2 Zeitbedarf

	Vorbereitung	Durchführung	Auswertung
Telexperiment 1	5 min	10 min	7 min
Telexperiment 2	5 min	10 min	7 min

### 4.3 Sicherheitsaspekte

Die Versuche dürfen nur bei Anwesenheit und unter Aufsicht der Lehrkraft durchgeführt werden. Die Schülerinnen und Schüler sind darauf hinzuweisen, dass die bereitgestellten Materialien nur entsprechend den jeweiligen Anweisungen eingesetzt werden dürfen.

Bei diesen Experimenten achten Sie bitte auf folgende mögliche Gefahren und machen Sie auch Ihre Schülerinnen und Schüler darauf aufmerksam:

- Stellen Sie sicher, dass keine Schäden an wasserempfindlichen Materialien und Geräten entstehen können.
- Es besteht Verbrennungsgefahr und Brandgefahr beim Arbeiten mit Feuer. Vor der ersten Benutzung der Feuerzeuge sind diese von der Lehrkraft auf ordnungsgemäße Funktion zu überprüfen, insbesondere die Regulierung der Flammengröße.
- Auf nicht chemieresistenten Tischen sollte man Pappe oder Zeitungspapier unterlegen, um Iodflecken zu vermeiden.
- Iod ist nur bei Aufnahme großer Mengen in den Körper gesundheitsschädlich (Einnehmen, Einatmen, Hautkontakt). In kleinen Mengen wird es nach wie vor in der Medizin zur Desinfektion verwendet. Allergiker sollten auf jeden Fall den Hautkontakt vermeiden!

Nach internationaler Gefahrstoffkennzeichnung GHS: „Achtung“



H-Sätze: H373  
P-Sätze: P260, P314

#### 4.4 Benötigte Materialien

Für **eine** Schülergruppe werden folgende Materialien benötigt:

Material	Anzahl
Becher, 100 ml	1
Becher, 500 ml	2
Feuerzeug (wenn möglich ein Stabfeuerzeug) bzw. Streichhölzer	1
Kohlenhydrathaltiges Gemüse oder Lebensmittel wie z. B. Kartoffeln, Maniok, helles Brot	nach Belieben
Iodtinktur (Iod/Kaliumiodid-Lösung), Tropffläschchen	2 für ganze Klasse
Kaffeelöffel oder Spatel	1
Leitungswasser, evtl. destilliertes Wasser	nach Bedarf
Messer	1
Pflanzenclip (als Reagenzglasständer)	1
Reagenzglas aus Glas	2
Reagenzglasklammer aus Holz	1
Reagenzglasstopfen	1
Stärke („Kartoffelmehl“)*	1
Herstellung einer 0,1 %igen Stärkelösung durch die Lehrkraft: 0,1 g Stärke (etwa das Volumen einer Erbse) werden in 100 ml destilliertem Wasser suspendiert und bis zum Kochen erhitzt. Die klare Lösung sollte vor Verwendung auf Raumtemperatur abkühlen.	1
Teelicht	1
Zeitungspapier oder Pappe als Unterlage	1

\*Die für den Versuch benötigte 0,1 %ige, gekochte Stärkelösung wird am besten von der Lehrkraft selbst vor Versuchsbeginn hergestellt, da dies für die Schülerinnen und Schüler erfahrungsgemäß zu schwierig ist.



Abb. 7: Geräte bzw. Materialien für eine Schülergruppe, beispielhafte Abbildung.

## 4.5 Aufräumen, Entsorgen, Recyceln

Fast alle verwendeten Geräte und Materialien sind wiederverwendbar. Daher sollten sie nach Beendigung des jeweiligen Experiments ordentlich aufgeräumt werden. So stellen Sie sicher, dass Sie bzw. Ihre Kolleginnen und Kollegen beim nächsten Einsatz alles schnell wiederfinden.

Geräte, die beim Experimentieren verschmutzt wurden, wie z. B. Becher, Schalen, Löffel, Reagenzgläser, sollten vor dem Zurücklegen erst gereinigt werden. Sinnvollerweise lässt man dies die Schülerinnen und Schüler gleich nach Beendigung des Experiments erledigen.

Stellen Sie zudem sicher, dass die Geräte wieder für den nächsten Einsatz betriebsbereit sind.

Beispielsweise sind benutzte Akkus gleich aufzuladen (Auch bei längerer Nichtbenutzung ist das Aufladen der Akkus sinnvoll.).

Materialien, die nicht wiederverwendbar sind, wie z. B. gebrauchte pH-Messstäbchen oder Filterpapier, sollten fachgerecht entsorgt werden.

Die Entsorgung der in diesem Experiment anfallenden Abfälle kann über den normalen Hausmüll bzw. den Ausguss erfolgen.

**Ausnahme:** Die im Experiment verwendeten Iodmengen sind zwar minimal, dennoch sollte man die Reste aus dem Stärkehydrolyseexperiment als anorganischen Chemieabfall entsorgen.



## C2 Kohlenhydrate als Energielieferanten des Stoffwechsels – Stärke und Zucker

### 1 Kartoffeln enthalten Stärke

#### 1.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Iodtinktur (Iod/Kaliumiodid-Lösung), Tropffläschchen	1
Kartoffel, Maniok, Stück helles Brot	1
Messer (für alle Schüler)	1
Zeitungspapier oder Pappe als Unterlage	nach Bedarf

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

#### 1.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht.

Gelangen Spritzer der Iodtinktur auf die Haut, wasche sie sofort mit viel klarem Wasser ab.

#### 1.3 Versuchsdurchführung

- Schneide eine Gemüsescheibe (Kartoffel oder Maniok) und gib einen Tropfen Iodtinktur auf die Schnittfläche.
- Auf das Brot kannst du die Iodtinktur direkt auftragen.
- Was passiert?



Abb. 1: Scheibe schneiden.

#### 1.4 Beobachtung

Fasse deine Beobachtungen schriftlich zusammen.

#### 1.5 Auswertung

- a) Formuliere deine Vermutung, welcher Stoff in dem Lebensmittel die Verfärbung bewirkt haben könnte.
- b) Nenne eine Möglichkeit, wie man diese Vermutung überprüfen könnte (siehe auch Teilexperiment 2).

## 2 Hydrolyse von Stärke

### 2.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Becher, 100 ml	1
Becher, 500 ml für das Wasser bzw. das „Abwasser“	2
Feuerzeug bzw. Streichhölzer	1
Iodtinktur (Iod/Kaliumiodid-Lösung), Tropffläschchen	1
Kaffeelöffel oder Spatel	1
Leitungswasser, besser destilliertes Wasser	nach Bedarf
Pflanzenclip (als Reagenzglasständer)	1
Reagenzglaslammer aus Holz	1
Reagenzglasstopfen	1
Reagenzgläser aus Glas	2
Stärke („Kartoffelmehl“) oder besser noch 0,1 %ige Stärkelösung	nach Bedarf
Teelicht	1
Zeitungspapier oder Pappe als Unterlage	nach Bedarf

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

### 2.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht.

Bei diesem Experiment achte bitte auf folgende mögliche Gefahren:

- Gelangen Spritzer der Iodtinktur auf die Haut, wasche sie sofort mit viel klarem Wasser ab!
- Die Stärke ist nicht zum Verzehr geeignet.
- Sei vorsichtig beim Arbeiten mit Feuer, es besteht Verbrennungsgefahr und Brandgefahr!

## 2.3 Versuchsdurchführung

### 2.3.1 Herstellung der Stärkelösung

Falls eure Lehrkraft eine 0,1 %ige Stärkelösung bereitstellt, könnt ihr diesen Arbeitsschritt überspringen. Falls nicht, müsst ihr die Stärkelösung zunächst selbst herstellen.

- Gib weniger als eine „Kaffeelöffelstielspitze“ Kartoffelstärke in ein Reagenzglas und fülle es zu ca. 10 cm mit (destilliertem) Wasser auf.
- Schüttle gut durch und schüttele das Wasser ab, bis noch ca. 1 cm im Reagenzglas steht.
- Fülle das Reagenzglas nun mit Wasser auf ca. 5 cm auf.
- Erhitze das Reagenzglas über dem Teelicht, bis die Lösung gerade kocht.
- Lasse das Reagenzglas wieder auf Raumtemperatur abkühlen. Die Lösung muss nun völlig klar sein und darf keine sichtbaren Stärkekörner mehr enthalten. (Sonst musst du nochmal abgießen und verdünnen!)



Abb. 2: Die Lösung der Stärke sollte völlig klar sein!

### 2.3.2 Einmal Stärkelösung mit und einmal ohne Speichel

- Befülle zwei Reagenzgläser jeweils ca. 2,5 cm hoch mit Stärkelösung. (Wenn du die Stärkelösung gerade selbst bereitet hast, gibst du nun die Hälfte der Stärkelösung in das zweite Reagenzglas.)
- Stelle ein Reagenzglas zur Seite.
- Gib anschließend Speichel in das zweite Reagenzglas, verschließe es mit dem Stopfen und schüttle gut durch.
- Schüttle dieses Reagenzglas die nächsten 15 Minuten alle 5 Minuten.

### 2.3.3 Zugabe von Iodlösung in beide Reagenzgläser

- Stelle nun eine verdünnte Iodlösung her: Nimm dazu den Kunststoffbecher und fülle ihn ca. 1 cm hoch mit Wasser und gib einen Tropfen Iodtinktur dazu. Schwenke den Becher vorsichtig, um das Wasser und die Iodtinktur zu mischen.
- Tropfe nun gerade so viel von dieser verdünnten Iodlösung in das beiseite gestellte erste Reagenzglas, bis du einen Effekt bemerkst.
- Gib nun dieselbe Menge verdünnte Iodlösung in das zweite Reagenzglas (das mit dem Speichel).

## 2.4 Beobachtung

Fasse zusammen, welche Unterschiede sich bei der Zugabe der verdünnten Iodtinktur zu Reagenzglas 1 und 2 ergeben.

## 2.5 Auswertung

- a) Erläutere deine Beobachtungen und erkläre die Wirkung des Speichels.
- b) Erkläre, wie das erste Telexperiment mit dem Telexperiment 2 zusammenhängt!
- c) Formuliere eine Reaktionsgleichung zu dem beobachteten Phänomen.

## 2.6 Fragen

- a) Benenne die Stoffgruppe, zu der der Inhaltsstoff des Lebensmittels gehört, das du in Telexperiment 1 untersucht hast.
- b) Nenne andere Lebensmittel, die vergleichbare Stoffe enthalten.
- c) Erläutere, welche Nährstoffe für uns noch von Bedeutung sind.
- d) Erläutere den Weg der Nahrung durch den menschlichen Körper.
- e) In jedem Ernährungsberater steht, gründliches Kauen ist wichtig für die Verdauung. Erkläre dies aus der biologischen und chemischen Perspektive.

Vertiefung:

- f) Informiere dich über Enzymreaktionen; wozu werden Enzyme im Körper benötigt?
- g) Beschreibe, wie Nährstoffe im menschlichen Körper abgebaut werden.
- h) Rückwärtsgang: Wenn du zu viel Glukose im Blut hast, kann die Leber die überschüssigen Moleküle zu dem Speicherstoff Glykogen zusammenbauen. Dies entspricht formal der Rückreaktion zu derjenigen, die du in diesem Experiment kennengelernt hast. Informiere dich über den Speicherstoff Glykogen und formuliere eine Reaktionsgleichung für seine Synthese.

## C3 Wie zerlegt die menschliche Verdauung Fette? – Verseifung von Speiseöl

Die einfachen Experimente zum Emulgieren und Verseifen von Fetten eignen sich gut zum Einstieg in das Thema Verdauung und Stoffwechsel im menschlichen Körper. Ausgehend vom Experiment, das nur zeigt, dass Fette in Fettsäuren aufgespaltet werden können, kann dann das Thema auf die menschliche Verdauung übertragen werden. Dazu gibt diese Anleitung für die Lehrkraft einige Informationen und Anregungen. Durch den Bezug zur Ernährung und Verdauung kann auch der Wert Gesundheitsbewusstsein gestärkt werden.

### 1 Zentrale Fragestellung

Diese Experimentenreihe dient zur Hinführung zum Thema der Fettverdauung im menschlichen Körper auf Organ- und Zellebene. Hierzu werden die Eigenschaften und Reaktionen von Fetten und Ölen als Nahrungsbestandteile experimentell zugänglich gemacht und ihre chemische Struktur erarbeitet. Auch sollen die gesundheitlichen Aspekte der Fettverdauung im Unterricht besprochen werden.

### 2 Einordnung des Experiments in den Unterrichtszusammenhang

#### 2.1 Fachliche Grundlagen

Der Themenkreis Ernährung ist den Schülerinnen und Schülern häufig schon aus dem Primarbereich geläufig. Sie bringen Vorkenntnisse darüber mit, dass wir essen müssen, um aktiv sein zu können: Nahrung liefert die Energie zum Leben. Die Schülerinnen und Schüler kennen zumeist die Hauptbestandteile der Nahrung Kohlenhydrate, Fette und Eiweiße. Auch ist ihnen der Verdauungsprozess als Phänomen aus eigener Erfahrung bekannt. Diese Vorkenntnisse können genutzt werden, um eine detaillierte Betrachtung der Nahrungsbestandteile (hier Fette), ihre Verarbeitung, Umwandlung und Nutzung im menschlichen Körper anzuschließen.

##### 2.1.1 Qualitativer Zugang in der Altersstufe 10 bis 16 Jahre

Verschiedene Nährstoffe haben unterschiedliche Aufgaben im Körper. Die Fette dienen der Energiespeicherung, als Transportvehikel für fettlösliche Vitamine und sind wichtige Baustoffe für die Zellen (z. B. für Biomembranen). Für die Energieversorgung nicht benötigte Fette werden als Depot- und als Baufett gespeichert.

Bei körperlicher Betätigung werden zunächst die Kohlenhydrate für die Energieversorgung der Muskeln verbraucht (siehe Experiment **C1 Wir verbrennen Zucker – Zellatmung und Atmungskette** bzw. **C2 Kohlenhydrate als Energielieferanten des Stoffwechsels – Stärke und Zucker**), erst im Anschluss wird auch auf die Energie aus den Fettdepots zurückgegriffen. Dies geschieht erst nach etwa 30 Minuten kontinuierlicher körperlicher Belastung! Der Fettstoffwechsel wird vor allem bei leichteren Ausdauerbelastungen aktiviert. Je intensiver die sportliche Aktivität ist, desto größer ist die Energiedeckung durch die schneller verwertbaren Kohlenhydrate. Auch bei längeren Hunger- und Mangelzuständen greift der Körper auf die Fettreserven zurück.

Fette haben darüber hinaus eine wärmeisolierende Funktion; die ist besonders auffällig bei Tieren, die in den Polarregionen leben (z. B. Wale und Robben). Aber auch der Mensch verfügt über eine isolierende Fettschicht unter der Haut.

Die Fettaufnahme im menschlichen Körper verläuft über mehrere Stationen. Aufgrund ihrer schlechten Wasserlöslichkeit bedarf es einer besonderen Behandlung der Fette im Magen-Darm-Trakt, um sie für die Energieumwandlung aufzuschließen. Die Fettverdauung beginnt im **Magen**. Hier werden die Fette durch die Muskelbewegung mechanisch emulgiert und in Tröpfchen bis zu einem Durchmesser von 0,5 – 2 µm zerkleinert. An diesen Tröpfchen können nun fettspaltende Enzyme, die Lipasen, angreifen und das Fett in seine Bestandteile – die langkettigen Fettsäuren und das Glycerin – zerlegen. Im Magen werden so ca. 15 – 30 % der Fette verdaut. Sobald der Speisebrei den Zwölffingerdarm erreicht, übernimmt die Bauchspeicheldrüse eine zentrale Funktion bei der weiteren Fettverdauung: Ihre Lipasen und Gallensalze werden aktiv und sorgen dafür, dass die Fetttröpfchen noch feiner verteilt werden und sich Mizellen bilden, die so klein sind (max. 50 nm), dass sie zwischen die Mikrovilli des Darmsaums drängen und sich an die Zellmembranen anlagern können. Die Mizellen bestehen aus den ersten Abbauprodukten (Fettsäuren, Mono- und Diglyceriden), Gallensalzen und anderen fettähnlichen Substanzen, wobei die wasserlöslichen Teile der Stoffe nach außen in die wässrige Phase zeigen (siehe Abb. 1). Die Aufnahme der Fettsäuren und der anderen Abbauprodukte geschieht im **Dünndarm**. Die Abbauprodukte und sonstigen fettähnlichen Substanzen gelangen durch die Membran in die Zellen und werden dort wieder zu Triglyceriden zusammengesetzt. Die neu zusammengesetzten Fette werden zusammen mit Transportproteinen verpackt und erreichen über die Lymphe den Blutkreislauf. Kurz- und mittelkettige Fettsäuren werden direkt in die Bürstensaummembran aufgenommen und gelangen von dort in das Pfortaderblut.

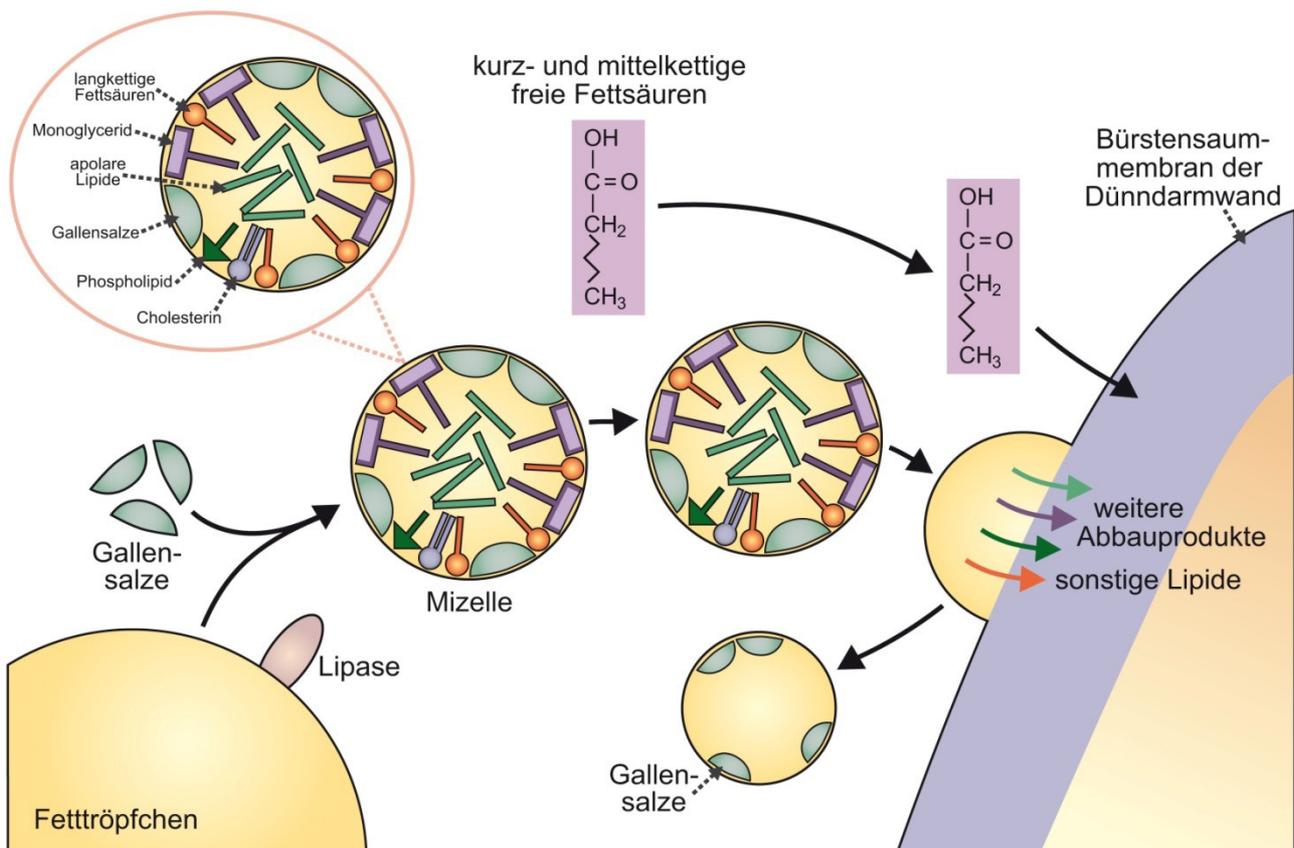


Abb. 1: Fettaufnahme im Dünndarm.





**Themen und Begriffe:** Alkylrest, Carboxylgruppe, Diglycerid, Emulsion, Enzyme, Ernährung, Esterhydrolyse, Fette (Lipide), Fettsäure, Fettspaltung, Gallensalz, Glycerin, hydrophil, hydrophob, Lipase, Mizelle, Monoglycerid, polar, Stoffwechsel, Tensid, Triglycerid, unpolar, Verdauung, Veresterung, Verseifung

## 2.3 Kompetenzen

Die Schülerinnen und Schüler ...

- beschreiben den Weg der Nahrung durch den menschlichen Körper.
- nennen die Stationen der Fettverdauung und können die dort stattfindenden Vorgänge erläutern.
- reflektieren ihr Essverhalten und diskutieren die gesundheitlichen Folgen übermäßigen bzw. defizitären Nahrungsverzehrs.
- erklären den Bau und die prinzipielle Wirkungsweise eines Tensids und können es auf die Fettverdauung anwenden.
- erläutern den chemischen Aufbau der Fette.
- formulieren die Reaktionsgleichung zur Fettverseifung.

## 2.4 Das Experiment im Erklärungszusammenhang

### 2.4.1 Telexperiment 1: Wir emulgieren Öl

Dieses Telexperiment knüpft an die alltägliche Erfahrung der Schülerinnen und Schüler an. Dass Fette schlecht mit Wasser mischbar sind, haben sie z. B. beim Spülen einer fettigen Pfanne schon einmal beobachtet. Auch dass sich Fette unter Verwendung von Spülmittel entfernen lassen, ist als Phänomen bekannt. Der experimentelle Zugang zu diesen Phänomenen bietet daher die Möglichkeit, die chemischen Grundlagen der Mischbarkeit von Stoffen noch einmal aufzugreifen und die Wirkungsweise von Tensiden explizit zu thematisieren.

### 2.4.2 Telexperiment 2: Verseifung von Speiseöl

Das Telexperiment zeigt die alkalische Verseifung eines Speiseöls. Diese vollzieht sich in mehreren Schritten. In Wasser löst sich das Natriumcarbonat unter Wärmeentwicklung. Es reagiert in einer Säure-Base-Reaktion mit dem Lösungsmittel unter Bildung von Hydrogencarbonat und Hydroxidionen:



Dabei entsteht eine stark basische Lösung. Die Hydroxidionen dieser Lösung greifen an den Esterbindungen im Speiseöl an und hydrolysieren diese. Dabei entstehen Glycerin und Carboxylationen nach Abb. 3. Zusätzlich in die Lösung eingebrachtes Natriumchlorid erhöht die Natriumionenkonzentration in dem Maße, dass das Löslichkeitsprodukt der Natrium-Seifen überschritten wird. (Vereinfacht ausgedrückt: Da bereits so viele Natriumionen durch das Kochsalz in der wässrigen Lösung sind, kann sich das Natriumsalz der Fettsäure nicht mehr auflösen.)

**Hinweis:** Man kann bei diesem Versuch auf jeden Fall die Bildung der Kernseife an der optisch gut sichtbaren Konsistenzänderung vom klaren, leichtflüssigen Öl hin zur trüben, dickflüssigen Seife erkennen. Da Kernseife im warmen Zustand relativ lange flüssig bleibt, muss man auf das Ausfällen fester Seife eventuell relativ lange warten. Möglicherweise fällt die Seife auch gar nicht

aus. Anhand der bereits nach kurzer Zeit gut erkennbaren Schaumbildung, lässt sich dennoch auf die erfolgreiche Verseifungsreaktion schließen.

## 2.5 Durchführungsvarianten

Die Experimente zur Emulgation und Verseifung von Speiseöl sind wenig material- und zeitintensiv und können als Schülerexperimente in Einzel- oder Zweierarbeit in den Unterricht integriert werden. Aufgrund der Komplexität des Themenfeldes Ernährung, Verdauung und Zellstoffwechsel bieten sich schüleraktivierende Unterrichtsmethoden an, die neben dem experimentellen Zugang weitere Materialien für die Hintergrundinformationen vorhalten. Solche Arbeitsformen können z. B. Lernen an Stationen oder ein Gruppenpuzzle zum gesamten Themenkomplex sein. Diese Methoden sind gleichfalls gut dazu geeignet, dem individuellen Lerntempo und Lernfortschritt der Schülerinnen und Schüler Rechnung zu tragen.

## 3 Ergänzende Informationen zum Experiment

Zur Vorbereitung bzw. zur Vertiefung dieses Experiments finden Sie ergänzende Medien auf dem Medienportal der Siemens Stiftung: <https://medienportal.siemens-stiftung.org>

Zum Weiterforschen im Anschluss auf das vorgestellte Experiment finden Sie weitere Versuche zu den Eigenschaften von Seifenlösungen ebenfalls auf dem Medienportal. Diese thematisieren zum Beispiel das Dispergiervermögen.

## 4 Hinweise zur Durchführung der Teilerperimente

### 4.1 Räumlichkeiten

Die Experimente können unter Beaufsichtigung der Lehrkraft von den Schülerinnen und Schülern selbstständig in jedem gut zu belüftenden Klassenraum durchgeführt werden.

### 4.2 Zeitbedarf

	Vorbereitung	Durchführung	Auswertung
Teilerperiment 1	5 min	3 min	5 min
Teilerperiment 2	5 min	25 min	7 min

### 4.3 Sicherheitsaspekte

Die Versuche dürfen nur bei Anwesenheit und unter Aufsicht der Lehrkraft durchgeführt werden. Die Schülerinnen und Schüler sind darauf hinzuweisen, dass die bereitgestellten Materialien nur entsprechend den jeweiligen Anweisungen eingesetzt werden dürfen.

Bei diesen Experimenten achten Sie bitte auf folgende mögliche Gefahren und machen Sie auch Ihre Schülerinnen und Schüler darauf aufmerksam:

- Es besteht Verbrennungsgefahr und Brandgefahr beim Arbeiten mit Feuer und heißer Lauge. Vor der ersten Benutzung der Feuerzeuge sind diese von der Lehrkraft auf ordnungsgemäße Funktion zu überprüfen, insbesondere die Regulierung der Flammengröße.
- Stellen Sie sicher, dass keine Schäden an wasserempfindlichen Materialien und Geräten entstehen können.
- Unterbinden Sie Zündeln! Die Schale aus Alu kann als feuerfeste Unterlage verwendet werden.

- Bei diesem Experiment müssen die Schülerinnen und Schüler Schutzbrillen tragen. Weisen Sie die Schülerinnen und Schüler auf Maßnahmen zur ersten Hilfe bei Spritzern von Natriumcarbonat ins Auge oder auf die Haut hin.

Nach internationaler Gefahrstoffkennzeichnung GHS: „Achtung“



H-Sätze: H319

P-Sätze: P260, P305+P351+P338

#### 4.4 Benötigte Materialien

Sicherheitsrelevante Materialien und Geräte sind vor Aushändigung an die Schülerinnen und Schüler auf ihre ordnungsgemäße Funktion zu testen.

Für **eine** Schülergruppe werden folgende Materialien benötigt:

Material	Anzahl
Feuerzeug (wenn möglich ein Stabfeuerzeug) bzw. Streichhölzer	1
Kaffeelöffel oder Spatel	1
Kochsalz, Karton	1 für die ganze Klasse
Leitungswasser	nach Bedarf
Pflanzenclip (als Reagenzglasständer)	1
pH-Messstäbchen, Packung	1 für die ganze Klasse
Reagenzglas aus Glas	2
Reagenzglasklammer aus Holz	1
Reagenzglasstopfen	1
Schale aus Alu	1
Schutzbrille	1
Siedesteinchen, Fläschchen	1
Speiseöl („Pflanzenöl“), Fläschchen	1
Spülmittel, Fläschchen	1
Teelicht	1
Waschsoda (Natriumcarbonat), Packung	1 für die ganze Klasse



Abb. 4: Geräte bzw. Materialien für eine Schülergruppe, beispielhafte Abbildung.

#### 4.5 Aufräumen, Entsorgen, Recyceln

Fast alle verwendeten Geräte und Materialien sind wiederverwendbar. Daher sollten sie nach Beendigung des jeweiligen Experiments ordentlich aufgeräumt werden. So stellen Sie sicher, dass Sie bzw. Ihre Kolleginnen und Kollegen beim nächsten Einsatz alles schnell wiederfinden.

Geräte, die beim Experimentieren verschmutzt wurden, wie z. B. Becher, Schalen, Löffel, Reagenzgläser, sollten vor dem Zurücklegen erst gereinigt werden. Sinnvollerweise lässt man dies die Schülerinnen und Schüler gleich nach Beendigung des Experiments erledigen.

Stellen Sie zudem sicher, dass die Geräte wieder für den nächsten Einsatz betriebsbereit sind.

Beispielsweise sind benutzte Akkus gleich aufzuladen (Auch bei längerer Nichtbenutzung ist das Aufladen der Akkus sinnvoll.).

Materialien, die nicht wiederverwendbar sind, wie z. B. gebrauchte pH-Messstäbchen oder Filterpapier, sollten fachgerecht entsorgt werden.

Die Entsorgung der in diesem Experiment anfallenden Abfälle kann über den normalen Hausmüll bzw. den Ausguss erfolgen.

## C3 Wie zerlegt die menschliche Verdauung Fette? – Verseifung von Speiseöl

### 1 Wir emulgieren Öl

#### 1.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Leitungswasser	nach Bedarf
Pflanzenclip (als Reagenzglasständer)	1
Reagenzglas aus Glas	1
Reagenzglasstopfen	1
Spülmittel	einige Tropfen
Speiseöl („Pflanzenöl“)	einige Tropfen

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

#### 1.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht.

Bei diesem Experiment achte bitte auf folgende mögliche Gefahren:

- Am Arbeitsplatz dürfen keine wasserempfindlichen Materialien vorhanden sein.
- Spülmittel nicht ins Auge bringen. Falls es doch passiert, gleich mit viel klarem Wasser ausspülen!

#### 1.3 Versuchsdurchführung

- Fülle das Reagenzglas ca. 3 cm hoch mit Wasser und fülle darauf ca. 1 cm Öl.
- Verschließe das Reagenzglas mit einem Stopfen und schüttele es gut durch.
- Stelle es ab und beobachte die Mischung der Flüssigkeit einige Zeit.
- Gib nun in das Reagenzglas zusätzlich zwei Tropfen Spülmittel und schüttele abermals. Stelle es ab und beobachte.
- Wiederhole das, nachdem du vier weitere Tropfen Spülmittel zugeben hast.



Abb. 1: Das Reagenzglas mit Öl und Wasser vor dem Schütteln. Der Pflanzenclip dient als Reagenzglasständer.

## 1.4 Beobachtung

Fasse deine Beobachtungen schriftlich zusammen.

## 1.5 Auswertung

- a) Durch Zusatz welcher Stoffe lassen sich Öl und Wasser dauerhaft mischen?
- b) Erläutere die Wirkung dieser Zusatzstoffe.

## 1.6 Fragen

- a) Zu welcher Stoffgruppe gehört das Speiseöl, das du in diesem Versuch verwendet hast?
- b) Erläutere, welche chemische Zusammensetzung Öle haben.
- c) Nenne andere Vertreter dieser Stoffgruppe.
- d) Das Experiment zeigt dir ein wichtiges Prinzip, wie sich zwei Stoffe miteinander mischen lassen. Wo findest du das Prinzip im menschlichen Körper wieder?

## 2 Verseifung von Speiseöl

### 2.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Feuerzeug bzw. Streichhölzer	1
Kaffeelöffel oder Spatel	1
Kochsalz	nach Bedarf
Pflanzenclip (als Reagenzglasständer)	1
pH-Meßstäbchen	1
Reagenzglas aus Glas	1
Reagenzglasklammer aus Holz	1
Reagenzglasstopfen	1
Schale aus Alu	1
Schutzbrille pro Schüler/-in	1
Siedesteinchen	1
Speiseöl („Pflanzenöl“)	einige Tropfen
Teelicht	1
Waschsoda (Natriumcarbonat, $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )	nach Bedarf

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

### 2.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht.

Bei diesem Experiment achte bitte auf folgende mögliche Gefahren:

- Sei vorsichtig beim Arbeiten mit Feuer, es besteht Verbrennungsgefahr und Brandgefahr!
- Trage während des ganzen Versuchs eine Schutzbrille! Gelangt dennoch Natriumcarbonat ins Auge oder auf die Haut, wasche es sofort mit viel klarem Wasser ab!
- Verwende die Aluschale als feuerfeste Unterlage.

### 2.3 Versuchsdurchführung

- Fülle das Reagenzglas ca. 3 cm hoch mit Wasser und gib ca. 3 Löffelstielspitzen Soda ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) dazu.
- Verschließe das Reagenzglas mit dem Stopfen und schüttele, sodass eine klare Lösung entsteht.
- Entferne den Stopfen und miss den pH-Wert der Lösung.
- Gib ein Siedesteinchen dazu.
- Gib dann ein paar Tropfen Speiseöl dazu, schüttele etwas und erhitze ca. 20 Minuten lang so stark in der Teelicht-Flamme, dass die Flüssigkeit sprudelt.
- Beits nach ca. 5 Minuten solltest du erste Veränderungen im Glas beobachten können.
- Gib abschließend ca. 2 Löffelstielspitzen Kochsalz zu der Lösung und beobachte abermals.
- Miss noch einmal den pH-Wert in der Lösung.



Abb. 2: Die wässrige Sodalösung wird erhitzt und dann das Öl zugegeben.

## 2.4 Beobachtung

Beschreibe die Veränderungen in dem Reagenzglas während des Erhitzens des Öls mit der Sodalösung und nach der Zugabe von Kochsalz.

## 2.5 Auswertung

- a) Erläutere deine Beobachtungen.
- b) Formuliere Reaktionsgleichungen für die oben durchgeführten Arbeitsschritte.
- c) Erkläre die Wirkung des Kochsalzes.

## 2.6 Fragen

- a) Informiere dich über die Seifenherstellung in der Vergangenheit und heute.
- b) Welche chemischen Reaktionen liegen der Seifenherstellung zugrunde?
- c) Welche Bedeutung hat die zugrunde liegende Reaktion für den menschlichen Stoffwechsel?

## C4.1 pH-Wert von Getränken – Wie sauer ist es im Magen?

Es handelt sich um ein typisches Einstiegsexperiment. Aus der experimentell gewonnenen Erkenntnis „der Mensch verträgt extrem saure Getränke“ kommt die Folgerung „im Magen muss es sehr sauer sein“. Es stellt sich die Frage nach dem „Warum“. So kommt man zwanglos zum Einstieg in das Thema Verdauungstrakt und Verdauung. Je nach Altersstufe kann und muss das Thema durch die Lehrkraft vertieft werden. Abgesehen vom Thema Verdauung im Biologieunterricht kann auch im Chemieunterricht das Grundwissen der Schülerinnen und Schüler zum Thema Säuren und Basen hervorragend experimentell angewendet werden.

### 1 Zentrale Fragestellung

Abweichend vom plakativen Haupttitel ist die eigentliche Fragestellung, welche Bedeutung der pH-Wert in den Verdauungsorganen im Körper hat. Für den experimentellen Einstieg in dieses Thema bietet sich der pH-Wert von Getränken an. Mit Kenntnissen über den Säure-Basen-Haushalt im Körper sowie über die Funktion der Verdauungsorgane können so verschiedene Krankheitssymptome in ihrer Entstehung verstanden werden. Darüber hinaus kann das Experiment einen Anstoß dazu geben, den Genuss mancher Getränke vor dem Hintergrund ihres (hohen oder niedrigen) Säuregehaltes zu bevorzugen oder zu vermindern und damit den Wert „Gesundheitsbewusstsein“ bei den Schülerinnen und Schülern zu fördern.

### 2 Einordnung des Experiments in den Unterrichtszusammenhang

#### 2.1 Fachliche Grundlagen

Der Verdauungstrakt besteht aus einer Reihe hintereinander geschalteter Organe. Dazu gehören die Mundhöhle, der Rachen (Pharynx), die Speiseröhre (Ösophagus), der Magen (Gaster) sowie der Darm (Intestinum). In den ersten Teil des Dünndarms, den Zwölffingerdarm (Duodenum), münden die Ausführungsgänge von Bauchspeicheldrüse und Galle. An den Dünndarm schließt sich der Dickdarm (Kolon) mit einem aufsteigenden, einem querverlaufenden und einem absteigenden Teil an. An dessen Ende wird der Kot im Mastdarm gesammelt und durch den Anus ausgeschieden.

In verschiedenen Bereichen des Körpers sowie des Verdauungstraktes herrschen dabei unterschiedliche pH-Werte. pH ist die Abkürzung für potentia hydrogenii und ist ein logarithmisches Maß für die Konzentration der Protonen ( $H^+$  bzw.  $H_3O^+$ ) in einer wässrigen Lösung. Je mehr Protonen in einer Lösung vorhanden sind, desto geringer ist der pH-Wert. Säuren haben daher einen pH-Wert von 0 – 7 und Basen im Bereich von 7 – 14. Ein pH-Wert, der im Körper allgemein gute Voraussetzungen für ein Funktionieren der inneren Organe ermöglicht, liegt im schwach basischen Bereich, im Blut bei etwa 7,4. Messungen des pH-Wertes können auch über den Urin oder auf der Haut vorgenommen werden. Allerdings schwanken dort die gemessenen Werte ziemlich stark, je nach Tageszeit und aufgenommener Nahrung und Getränke bzw. der Einwirkung von Seife. Von besonderer Bedeutung für die Verdauung ist das gründliche Kauen der Nahrung. Die Speise wird dabei mit Speichel vermischt. Dieser ist mit einem pH-Wert von 7,0 – 7,1 meist neutral oder schwach basisch. Speichel enthält Amylase, ein Enzym zur Verdauung von Kohlenhydraten. Es spaltet Stärke zu Maltose.

Beim anschließenden Schlucken passiert der Speisebrei den Rachen und gelangt in die Speiseröhre und weiter durch die Öffnung des Schließmuskels zwischen Speiseröhre und Magen (Ösophagus-Sphinkter) in den Magen. Der Speisebrei wird mit Magensaft durchmischt und anschließend in kleinen Portionen in den Dünndarm weitergeleitet. Durch den starken Salzsäuregehalt des Magensafts werden Mikroben abgetötet.

Der pH-Wert des Magensafts liegt zwischen 1 und 3. Damit handelt es sich um die sauerste Substanz im menschlichen Körper. Darüber hinaus sorgt die Salzsäure zusammen mit dem Enzym Pepsin für den enzymatischen Abbau der Proteine zu Peptiden. Mithilfe des sauren Saftes ist der Magen außerdem in der Lage, sehr feste Nahrungsbestandteile zu verflüssigen. Die Art der zugeführten Nahrung hat demnach Einfluss auf ihre Verweildauer im Magen („das liegt mir schwer im Magen“). Um sich selbst vor dem aggressiven Magensaft zu schützen, muss die Magenschleimhaut mit intakten Schutzmechanismen ausgestattet sein. Eine durchgehende „säurefeste“ Schleimschicht (Mukosebarriere) sowie eine gute Schleimhautdurchblutung gehören dazu. Zu einem Rückfluss von Mageninhalt (und -säure), der sog. Refluxkrankheit, kommt es, wenn der Ösophagus-Sphinkter den Magen nicht richtig verschließt. Die Magensäure kommt dann in Kontakt zur Schleimhaut der Speiseröhre. Anders als der Magen verfügt sie jedoch nicht über die nötigen Schutzmechanismen (s. o.), um die Säure aushalten zu können. Es kommt zu einem brennenden Gefühl im Brustbereich, saurem Aufstoßen („Sodbrennen“) und Schmerzen beim Schlucken. Um Folgekrankheiten wie Speiseröhrenkrebs zu vermeiden, muss diese Refluxkrankheit unbedingt behandelt werden.

Um eine Übersäuerung im sich anschließenden Dünndarm zu vermeiden, verfügt der Körper über mehrere Steuerungsmechanismen für den Magen:

- Das Hormon Gastrin fördert die Produktion der Magensäure.
- Das Hormon Sekretin hemmt die Produktion der Magensäure.
- Der Vagusnerv (Parasympathikus) fördert Peristaltik und Entleerung des Magens.
- Peristaltik und Magenentleerung werden u. a. durch Geruch und Geschmack der Nahrung sowie den Füllungsstatus des Magens beeinflusst.

Eine Übersäuerung des Magens kann viele Ursachen haben. Manchmal kann die Ursache im allgemeinen Befinden der Person liegen. Unausgeglichene und energische Menschen neigen eher dazu, zu viel Magensäure zu produzieren, als ruhige und gelassene Typen. Mit ruhigerem Lebenswandel geht der erhöhte Säurespiegel im Magen oft von selbst zurück. Entzündungen der Magenschleimhaut klingen ab.

Ein weiterer wichtiger Faktor ist die Ernährung. Vor allem zu viel Nahrung ist zu vermeiden. Die sonst aufkommende Überbelastung des Magens führt zu andauernd erhöhter Säureproduktion. Weiterhin sollten stark säurehaltige Lebensmittel nur in eingeschränktem Maß konsumiert werden, also z. B. Zitrusfrüchte und Säfte aus Zitrusfrüchten, kohlenensäure- und zuckerhaltige Limonaden. Auf seinem Weg durch den Verdauungstrakt gelangt der saure Speisebrei in den Dünndarm. Hier werden ihm Gallen- und Bauchspeichelsekrete zugefügt. Die Gallenflüssigkeit zur Emulsion der Fette ist mit pH 7,1 leicht basisch, der Bauchspeichel (beteiligt an der weiteren Aufspaltung energieliefernder Nährstoffe) sorgt mit seinem pH-Wert von 8,0 für eine weitere Verschiebung des pH-Wertes in Richtung basischer Bereich. Nur so können im weiteren Verlauf des Dünndarms die Nährstoffe vom Organismus aufgenommen werden. Steigt der Säuregehalt im Zwölffingerdarm an, schließt sich der Magenausgang so lange, bis das Sekret der Bauchspeicheldrüse die Säure neutralisiert hat. Dann erst lässt der Magenausgang weiteren Speisebrei in den Zwölffingerdarm. Während der Nährstoffresorption im Dünndarm hat der Darminhalt einen pH-Wert von etwa 8,0 oder darüber. Kommt es durch Verdauungsstörungen, verursacht durch Gärungs- oder Fäulnisprozesse, zu einer Entstehung von Säuren im Darm, ist Durchfall die Folge.

Zuletzt wird im Dickdarm (Kolon) das Wasser aus dem Nahrungsbrei resorbiert, nützliche Bakterien bilden Vitamine (z. B. Vitamin H „Biotin“, Vitamin K, Folsäure und in geringen Mengen Vitamin B12) und im Mastdarm wird der Kot gesammelt und ausgeschieden.

Urin, der von den Nieren gebildet wird, liegt mit einem pH-Wert von 4,8 (deutlich sauer) bis zu 8,0 (basisch) oft im sauren Bereich. Das ist leicht erklärlich, denn mit dem Urin wird überschüssige Säure aus dem Körper abtransportiert. Außerdem ist ein leicht saurer Urin von Vorteil, da er das

Bakterienwachstum im Harn bremst und die Gefahr von Blasenentzündungen verringert. Parallel zur Aktivität der Leber werden in der zweiten Nachthälfte vermehrt Säuren ausgeschieden. Dies macht den Morgenurin normalerweise leicht sauer. Abendurin sollte einen pH-Wert zwischen 6,8 und 7,4 aufweisen. Die Schwankungen des pH-Wertes sind demnach normal und Zeichen für eine gelingende Regulation des Säure-Haushalts im Körper des Menschen. Im Muskelgewebe herrscht mit  $\text{pH} < 7$  meist ein saurer Wert vor. Das liegt daran, dass bei der Energiegewinnung in den Muskelzellen letztlich Kohlensäure entsteht. Um die Zellen zu entsäuern, wird das entstehende Kohlenstoffdioxid mit dem Blut fortgeleitet und über die Lungenbläschen abgeatmet.

## 2.2 Lehrplanrelevanz

Aufbauend auf den Kenntnissen über die Funktion verschiedener Verdauungsorgane, die meist im Alter von etwa 14 Jahren erworben werden, können die hier beschriebenen pH-Wert-Zusammenhänge ab einem Alter von etwa 15 Jahren thematisiert werden.

Zum Verständnis der Vorgänge im Verdauungstrakt ist Vorwissen aus dem Fach Biologie erforderlich. Grundlagenkenntnisse des Faches Chemie erleichtern das Verständnis der pH-Wert-Zusammenhänge.

**Themen und Begriffe:** Amylase, Bauchspeicheldrüse, Blut, Darm (Intestinum), Dickdarm (Kolon), Eiweiß, Fette, Galle, Gastrin, Kohlenhydrate, Kohlenstoffdioxid, Magen (Gaster), Mundhöhle, Nahrungsmittel, Pepsin, pH-Wert, Rachen (Pharynx), Refluxkrankheit, Sekretin, Sodbrennen, Speiseröhre (Ösophagus), Urin, Verdauung, Verdauungsenzyme, Zwölffingerdarm (Duodenum)

## 2.3 Kompetenzen

Die Schülerinnen und Schüler ...

- ermitteln den pH-Wert verschiedener Getränke.
- überprüfen ihre Messergebnisse im Vergleich mit denen anderer Schülerinnen und Schüler.
- unterscheiden Getränke mit niedrigen von solchen mit hohen pH-Werten.
- beschreiben den Weg der Nahrung durch den Verdauungstrakt.
- erklären die Verdauungsvorgänge in den verschiedenen Abschnitten des Verdauungstraktes.
- leiten auf der Basis ihrer Messergebnisse Eigenschaften des Magens ab.

## 2.4 Das Experiment im Erklärungszusammenhang

Die Schülerinnen und Schüler ermitteln bei dem Experiment die pH-Werte verschiedener Getränke. Die folgende Übersicht listet die pH-Werte verschiedener Flüssigkeiten auf.

Getränk	pH-Wert (ca.)
Leitungswasser	7 – 8
Wasser mit Kohlensäure versetzt	5 – 6
Bier	4 – 5
Apfel-/Orangensaft	3,5
Wein	2,5 – 4
Kaffee	2,5 – 3,5
Erfrischungsgetränke (z. B. Fanta, Cola)	2 – 4
Magensäure	1 – 3
Zum Vergleich: Batteriesäure	1,0

Der pH-Wert ist ein Maß für die Konzentration von Protonen in wässriger Lösung. Protonen können bestimmte Substanzen, mit denen sie in Kontakt treten, stark verändern („Ätzmittel“). Die Schülerinnen und Schüler kennen dies am Beispiel der Wirkung von Essigsäure zur Reinigung von Kalkbelägen in Küche und Bad.

Das mit Kohlensäure versetzte und somit angesäuerte Wasser erzeugt durch sein „Prickeln“ lediglich einen Durstlösch- bzw. Erfrischungseffekt. Darüber hinaus hat Kohlensäure im Wasser einen konservierenden Effekt. Sollte z. B. Mineralwasser nicht völlig steril abgefüllt worden sein, bleibt es durch die Kohlensäure trotzdem „frisch“. Für den Körper bzw. Magen ist die Kohlensäure hingegen völlig entbehrlich und senkt den pH-Wert im Magen unnötig ab.

Der Mensch kann, zumindest in kleinen Mengen, unbeschadet sehr saure Getränke zu sich nehmen. Das deutet darauf hin, dass auch im Magen ein sehr niedriger pH-Wert herrscht.

Trotzdem können säurehaltige Getränke im Übermaß die Magenschleimhaut belasten und diese dazu zwingen, ihre Mukosebarriere „unnötig“ zu aktivieren. Das leuchtet den Schülerinnen und Schülern aufgrund der Beobachtungen und Vorkenntnisse ein. Sie erkennen, dass verschiedene Getränke unterschiedlich magenfreundlich sind.

**Wichtiger Hinweis:** Der auf den pH-Messstäbchen durch Farbänderung angezeigte Wert entspricht nur unmittelbar nach dem Entnehmen des Stäbchens dem pH-Wert der zu messenden Flüssigkeit. An der Luft kann sich der angezeigte Wert im Verlauf von Minuten wieder ändern.

## 2.5 Durchführungsvarianten

Das Experiment kann in Einzel- oder Zweierarbeit durchgeführt werden.

Alternativ zu den hier vorgeschlagenen Getränken können die Schülerinnen und Schüler zur Vorbereitung des Experiments aufgefordert werden, von all den Getränken eine Probe mit in den Unterricht zu bringen, die sie im Laufe eines Tages zu sich nehmen. So wird die Datenbasis größer. Anschließend können die Schülerinnen und Schüler in Kleingruppen ihre Getränke nach pH-Werten (vom basischen zum sauren hin) ordnen.

**Zum Weiterforschen:** Außerdem können die pH-Werte, wie separat beschrieben, nicht nur mit Hilfe von pH-Messstäbchen erfasst werden, sondern auch durch digitale Messwerterfassungssysteme, wie zum Beispiel einem Microcontroller (Arduino Uno).

## 3 Ergänzende Informationen zum Experiment

Zur Vorbereitung bzw. zur Vertiefung dieses Experiments finden Sie ergänzende Medien auf dem Medienportal der Siemens Stiftung: <https://medienportal.siemens-stiftung.org>

Sie finden im Handbuchordner noch weitere Experimente zu den Themen Verdauung und Stoffwechsel:

- C1 Wir verbrennen Zucker – Zellatmung und Atmungskette
- C2 Kohlenhydrate als Energielieferanten des Stoffwechsels – Stärke und Zucker
- C3 Wie zerlegt die menschliche Verdauung Fette? – Verseifung von Speiseöl
- C4.2 pH-Messung mit dem Arduino

## 4 Hinweise zur Durchführung des Experiments

### 4.1 Räumlichkeiten

Das Experiment kann in jedem Klassenraum durchgeführt werden.

### 4.2 Zeitbedarf

Vorbereitung und Durchführung	Auswertung und Fragen
10 min	20 min

### 4.3 Sicherheitsaspekte

Die Versuche dürfen nur bei Anwesenheit und unter Aufsicht der Lehrkraft durchgeführt werden. Die Schülerinnen und Schüler sind darauf hinzuweisen, dass die bereitgestellten Materialien nur entsprechend den jeweiligen Anweisungen eingesetzt werden dürfen.

Bei diesem Experiment achten Sie bitte auf folgende mögliche Gefahren und machen Sie auch Ihre Schülerinnen und Schüler darauf aufmerksam:

- Stellen Sie sicher, dass keine Schäden an wasserempfindlichen Materialien und Geräten entstehen können.
- Weisen Sie die Schülerinnen und Schüler darauf hin, dass die Getränke nicht zum Verzehr geeignet sind.

### 4.4 Benötigte Materialien

Für **eine** Schülergruppe werden folgende Materialien benötigt:

Material	Anzahl
genügend Becher zum Einfüllen der Getränkeproben	nach Bedarf
wasserlösliche Folienstifte	1 pro Gruppe
verschiedene Getränkeproben, z. B. Leitungswasser, Mineralwasser (mit Kohlensäure), Apfel-/Orangensaft, Cola (wenn irgend möglich, da Cola in der Regel extrem sauer ist)	je ca. 40 ml
pH-Messstäbchen	nach Bedarf
Papiertücher o. Ä. zum Abwischen der Hände	nach Bedarf



Abb. 1: Benötigte Geräte bzw. Materialien, beispielhafte Abbildung

#### 4.5 Aufräumen, Entsorgen, Recyceln

Fast alle verwendeten Geräte und Materialien sind wiederverwendbar. Daher sollten sie nach Beendigung des jeweiligen Experiments ordentlich aufgeräumt werden. So stellen Sie sicher, dass Sie bzw. Ihre Kolleginnen und Kollegen beim nächsten Einsatz alles schnell wiederfinden.

Geräte, die beim Experimentieren verschmutzt wurden, wie z. B. Becher, Schalen, Löffel, Reagenzgläser, sollten vor dem Zurücklegen erst gereinigt werden. Sinnvollerweise lässt man dies die Schülerinnen und Schüler gleich nach Beendigung des Experiments erledigen.

Stellen Sie zudem sicher, dass die Geräte wieder für den nächsten Einsatz betriebsbereit sind.

Beispielsweise sind benutzte Akkus gleich aufzuladen (Auch bei längerer Nichtbenutzung ist das Aufladen der Akkus sinnvoll.).

Materialien, die nicht wiederverwendbar sind, wie z. B. gebrauchte pH-Messstäbchen oder Filterpapier, sollten fachgerecht entsorgt werden.

Die Entsorgung der in diesem Experiment anfallenden Abfälle kann über den normalen Hausmüll bzw. den Ausguss erfolgen.

## C4.1 pH-Wert von Getränken – Wie sauer ist es im Magen?

### 1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Becher, 100 ml	4
wasserlöslicher Folienstift zum Beschriften	1
verschiedene Getränke, z. B. Leitungswasser, Mineralwasser (mit Kohlensäure), Apfelsaft, Cola, Tee	je nach Belieben
pH-Messstäbchen	4
Papiertücher o. Ä. zum Händeabwischen	nach Bedarf

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

### 2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht. Die Getränke sind nicht zum Verzehr geeignet!

### 3 Versuchsdurchführung

- Beschrifte jeden Becher in der Reihenfolge der Getränke, die du messen wirst.
- Notiere, zu welcher Nummer welches Getränk gehört.



Abb. 1: Becher beschriften.

- Fülle von jedem Getränk etwa 40 ml (ca. halbvoll) in den Becher.
- Lege für jeden Becher ein pH-Messstäbchen bereit.

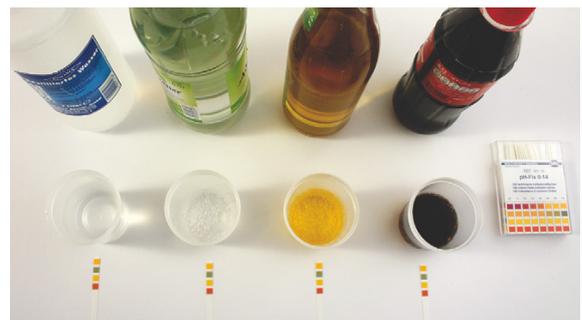


Abb. 2: Vor der Messung. Die pH-Messstäbchen liegen zum Eintauchen bereit.

- Tauche das pH-Messstäbchen ca. 10 Sekunden in das Getränk ein. Achte darauf, dass alle Indikatorfelder (Farbfelder) benetzt werden.
- Streife das Stäbchen am Becherrand ab.
- Lies unmittelbar den pH-Wert des jeweiligen Getränks durch direkten Vergleich mit der Farbfeldskala auf der Packung ab. Achte darauf die Messstäbchen richtig herum an die Vergleichsskala zu halten. Orientiere dich am grünen Feld.

- **Hinweis:** Durch längeres Einwirken der Luft kann sich die Farbanzeige auf dem Messstäbchen wieder ändern und einen falschen pH-Wert anzeigen.
- Entleere nach dem Experiment die Becher nach Anweisung der Lehrkraft, spüle sie mit Wasser aus und wische die Nummerierung ab. Die Messstäbchen dürfen in den normalen Hausmüll entsorgt werden.

#### 4 Beobachtung

Notiere die pH-Werte der verschiedenen Getränke.

#### 5 Auswertung

- a) Vergleiche die pH-Werte der Getränke miteinander. Ordne sie in einer kleinen Tabelle nach aufsteigendem pH-Wert an.
- b) Überprüfe, ob deine Ergebnisse mit den Ergebnissen deiner Mitschülerinnen und Mitschüler übereinstimmen.

#### 6 Fragen

- a) Erläutere, wodurch sich Getränke mit einem niedrigen pH-Wert von denen mit einem hohen pH-Wert unterscheiden.
- b) Folgere aus deinen Messergebnissen: Über welche Eigenschaften muss der Magen verfügen, um Getränke und Nahrung mit extremen pH-Werten schadlos zu verarbeiten?
- c) Welchen pH-Wert hat der Magensaft? Erläutere, warum!
- d) Es gibt Krankheiten, bei denen der Magensaft die Magenschleimhaut angreift. Erläutere, was der Arzt dem Patienten raten bzw. verschreiben wird.
- e) Welchen Weg nehmen die Getränke auf ihrem Weg durch den Verdauungstrakt? Beschreibe den Weg mit eigenen Worten.
- f) Beschreibe, wie und in welchen Abschnitten des Verdauungstraktes die energieliefernden Nährstoffe, Eiweiße, Kohlenhydrate und Fette, mechanisch und chemisch abgebaut werden.

## C4.2 Exkurs: Digitale Ermittlung des pH-Wertes mit dem Arduino

pH-Werte können nicht nur mit Messstäbchen, sondern auch digital gemessen werden. Besonders, wenn Sie sich mit dem Modul Computational Thinking in der Online-Anwendung für Lehrkräfte zu Experimento | 10+ beschäftigt haben, können Sie, wie nachfolgend beschrieben, beispielsweise pH-Werte auch mit dem sogenannten Arduino erfassen.

### 1 Was ist Arduino?

Bei Arduino handelt es sich um einen Mikrocontroller, eine Art Mini-Computer. Dieser besteht aus der Hardware, dem Arduino-Board und einer dazugehörigen Software, der Arduino IDE, mit welcher der Arduino programmiert werden kann. Es gibt viele verschiedene Arduino-Boards. Wird von „dem“ Arduino gesprochen, so ist meist – wie auch hier – der Arduino Uno gemeint.

Mit Hilfe der Software kann der Arduino zum Beispiel dazu programmiert werden, eine LED zum Blinken zu bringen. Es ist zusätzlich möglich, diverse Sensoren anzuschließen, deren Werte mit Hilfe des Arduinos ausgelesen werden können. Dadurch ist Arduino auch als Messwerterfassungssystem im naturwissenschaftlich-technischen Unterricht einsetzbar. Der Vorteil ist, dass es sich bei Arduino um ein Open-Source-Projekt handelt, das darüber hinaus verhältnismäßig kostengünstig ist.



Abb. 1: Arduino Uno

### Aufbau des Arduino Uno

In dieser Abbildung sind die wichtigsten Bauteile des Arduinos benannt:

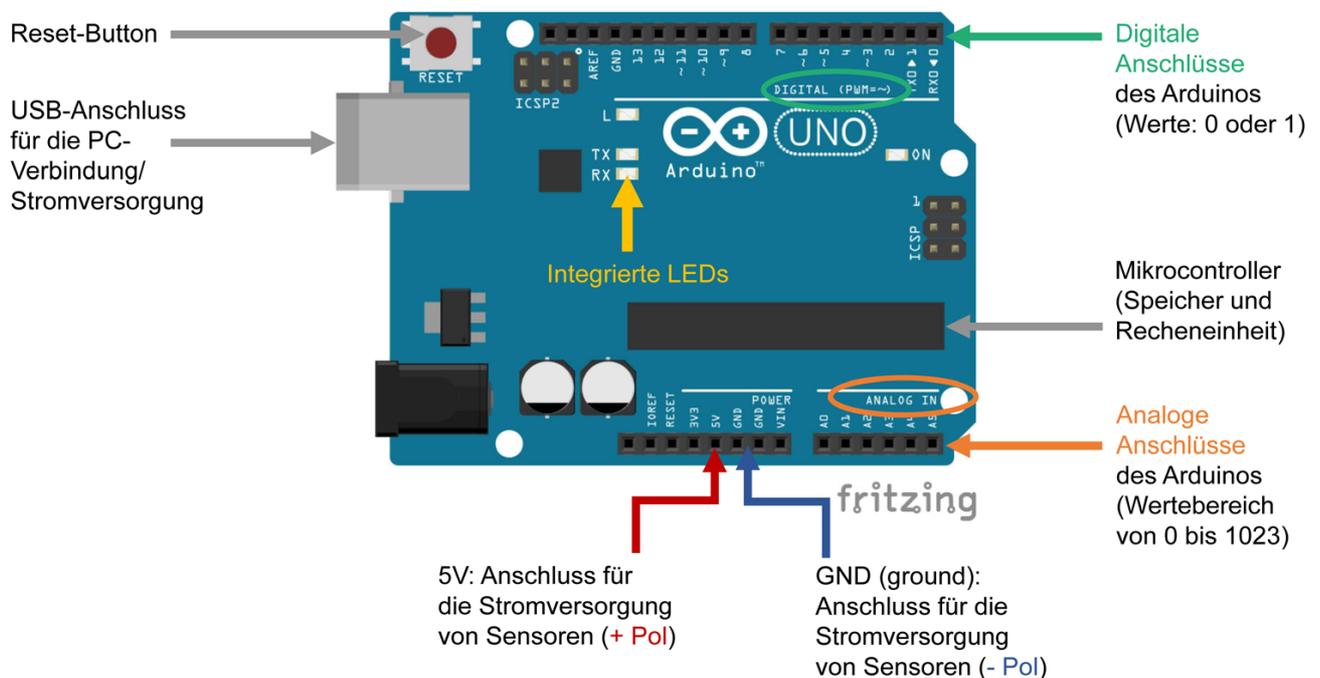


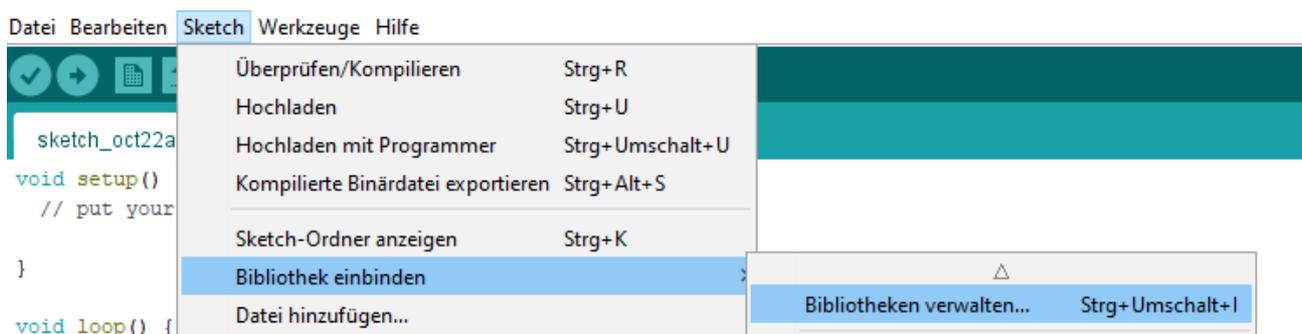
Abb. 2: Aufbau des Arduino Uno, erstellt mit Fritzing (<https://fritzing.org/>)

**Hinweis:** Für eine bessere Lesbarkeit können Sie auch die Zoom-Funktion in den digitalen PDF-Dokumenten (Anleitungen für Lehrkräfte und Schülerinnen und Schüler) nutzen. Alle Abbildungen zum Arduino können stark vergrößert werden, ohne zu verpixeln. Alternativ können Sie den Arduino auch „in Echt“ mit einer kleinen Lupe näher betrachten.

## 2 Erste Schritte mit dem Arduino

Um Arduino nutzen zu können, benötigen Sie das Arduino-Board und die dazugehörige Software Arduino IDE. Um die Programmierumgebung auf Ihren Rechner zu laden, können Sie dieser Anleitung folgen:

1. Gehen Sie auf die Website von Arduino: [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc). Wählen Sie dann im Reiter „Software“ die passende Software für Ihr System aus und laden Sie diese herunter. Anschließend können Sie die Software nach Anleitung auf Ihrem Rechner installieren. Die Software ist kostenlos und steht unter einer freien Lizenz.
2. Laden Sie nun die passenden Programmcodes (Sketche) aus dem Medienportal herunter. Sie finden diese in der Online-Anwendung unter „Methoden und Materialien“ (Medienportal der Siemens Stiftung → Reiter „Fortbildungen“ → Zur Fortbildung Experimento | 10+ → Zur Online-Anwendung → Methoden und Materialien → C++-Quellcodes für Arduino). Öffnen Sie den gewünschten Programmcode mit Hilfe der Arduino IDE.
3. Schließen Sie den Arduino mit Hilfe des USB-Kabels an Ihrem Rechner an.
4. Sie können die Sketche nun mit dem  Pfeil links oben auf den Arduino hochladen. Falls der Port (Anschluss) nicht automatisch erkannt wird, klicken Sie auf Werkzeuge → Port.
5. Falls Sie ein externes Display anschließen möchten, wählen Sie die Datei „pH\_Sketch\_mitDisplay“. Außerdem müssen Sie noch die passende Bibliothek einbinden. Bibliotheken erweitern die Funktionen der Arduino Software. Dazu klicken Sie in der Arduino IDE auf Sketch → Bibliothek einbinden → Bibliotheken verwalten. Dort wählen Sie beim Thema „Display“ aus.
6. Suchen Sie nun nach „LiquidCrystal\_I2C“ (exakte Bezeichnung genauso in das Suchfeld eintippen!). Möglicherweise müssen Sie etwas scrollen bis Sie die passende Bibliothek gefunden haben. Sie stammt von Marco Schwartz. Installieren Sie diese Bibliothek.



## 2.1 Benötigte Materialien

Sicherheitsrelevante Materialien und Geräte sind vor Aushändigung an die Schülerinnen und Schüler auf ihre ordnungsgemäße Funktion zu testen.

Für **eine** Schülergruppe werden folgende Materialien benötigt:

Material	Anzahl
Arduino	1
Becher, 100 ml	nach Bedarf
Verschiedene Getränke/Haushaltschemikalien, z. B. Leitungswasser, Mineralwasser (mit Kohlensäure), Apfelsaft, Cola, Tee, Natronlösung	nach Belieben
Laptop mit Arduino IDE	1
LCD-Display mit eingebautem I2C-Anschluss	1
Papiertücher o.Ä. zum Händeabwischen	nach Bedarf
pH-Elektrode mit BNC-Anschluss	1
pH-Sensor (PH-4502C)	1
ggf. Powerbank	bei Bedarf
Pufferlösung mit pH = 7,0	einige ml
Schraubendreher (nicht magnetisch)	1
Steckbrett	1
Verbindungskabel (female – male)	8
Verbindungskabel (male – male)	2
wasserlöslicher Folienstift zum Beschriften	1

## 2.2 Benötigte Materialien für eine pH-Wert-Messung

Für eine pH-Wert-Messung mit dem Arduino benötigen Sie zunächst natürlich ein Arduino Uno-Board, erhältlich im Elektronik-Versandhandel (z. B. Conrad) ab ca. 23 €.

Im Elektronik-Versandhandel finden Sie auch die benötigten Verbindungskabel (ca. 5 € pro 10er-Packung) und – falls gewünscht – das LCD-Display (Liquid Crystal Display) mit eingebautem sog. I2C-Anschluss (ca. 15 €) sowie das Steckbrett (ca. 3 €).

Als pH-Elektrode können Sie jede beliebige pH-Elektrode mit einem BNC-Anschluss (siehe Abb. 3) nutzen.

Ausreichende Genauigkeit bieten auch günstige Modelle. Den hier verwendeten pH-Sensor PH-4520C gibt es zum Beispiel über Amazon zu kaufen (ab ca. 10 €).



Abb. 3: BNC-Anschluss

### 3 Kalibrierung des pH-Sensors

#### 3.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Arduino	1
Becher, 100 ml	1
Laptop mit Arduino IDE	1
pH-Elektrode mit BNC-Anschluss	1
pH-Sensor (PH-4502C)	1
Schraubendreher (nicht magnetisch)	1
Verbindungskabel (female – male)	4

Chemikalien	Anzahl
Pufferlösung mit pH = 7,0	einige ml

#### 3.2 Anleitung zur Kalibrierung

Bei der pH-Messung wird ein analoger Eingang des Arduinos verwendet. Im Gegensatz zum digitalen Eingang, der nur zwei Werte kennt („an“ oder „aus“), können analoge Eingänge Spannungswerte von 0-5 V verarbeiten. Dies geschieht mit einer Auflösung von 1024 Schritten, also mit Werten von 0 bis 1023.

Um nun das gesamte Spektrum der pH-Werte abdecken zu können, muss der verwendete Sensor erst kalibriert werden. Da der Arduino keine negativen Spannungen auslesen kann, muss pH = 7 als „Mitte“ der pH-Skala auch genau auf die Mitte des Spannungsbereichs, also auf 2,5 V, gesetzt werden. Dazu wird der pH-Sensor gemäß Abbildung am Arduino angeschlossen:

Arduino	pH-Sensor
5 V	V+
GND	G
GND	G
A0	P0

Die weiteren Pins (Anschlüsse) am pH-Sensor werden nicht benötigt. Am pH-Sensor wird eine beliebige pH-Elektrode mit BNC-Anschluss angebracht, der Arduino wird per USB-Kabel mit einem Computer verbunden.

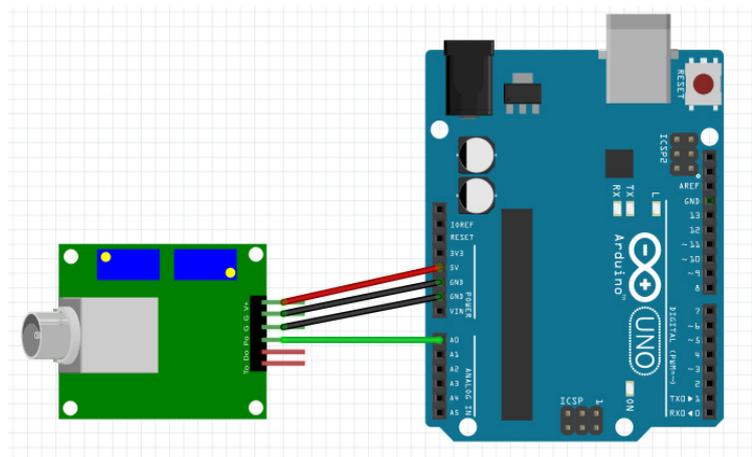


Abb. 4: Anschließen des pH-Sensors (erstellt mit Fritzing).

Nun wird die pH-Elektrode in eine Pufferlösung mit pH = 7,0 gegeben. Zu guter Letzt wird der Sketch „Kalibrierung“ (Datei → Öffnen → ...) auf den Arduino geladen (in der IDE links oben auf den Pfeil klicken):

```

void setup()                // Diese Funktion wird am Anfang einmal ausgeführt.
{
  Serial.begin(9600);       // Initialisierung der Kommunikation zum Arduino, 9600 bits pro Sekunde.
}

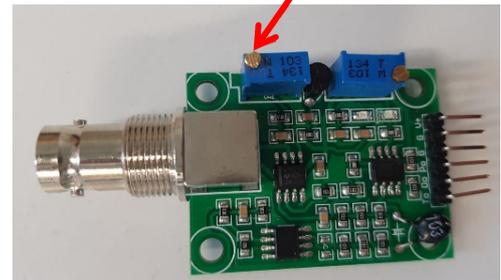
void loop()                 // Die Funktion wird durchgehend immer wieder ausgeführt.
{
  int sensorWert = analogRead(A0); // Der Sensor-Wert an Pin A0 soll ausgelesen werden.
  float spannung = sensorWert * (5.0 / 1024.0); // Die analogen Werte (von 0 - 1023) werden in Spannungswerte (von 0 - 5 V) konvertiert.
  Serial.println(spannung);      // Der Spannungswert wird am seriellen Monitor ausgegeben.
  delay(1000);                 // Kurze Wartezeit.
}

```

Auf dem seriellen Monitor (Werkzeuge → Serieller Monitor) können jetzt die Spannungswerte abgelesen werden.

Um den Sensor zu kalibrieren, muss das Potentiometer (blaues „Kästchen“), das näher am BNC-Anschluss liegt, reguliert werden. Dazu wird mit einem kleinen Schraubenzieher so lange am Potentiometer gedreht, bis bei pH = 7 ein Spannungswert von 2,50 V angezeigt wird.

Abb. 5: Schraube, die am pH-Sensor gedreht werden muss.



**Hinweis:** Der dargestellte Programmcode geht davon aus, dass der volle Umfang der möglichen Spannungswerte genutzt werden kann. Tatsächlich ist die am Arduino anliegende Spannung oft niedriger als 5 V, wenn dieser per USB an einem PC angeschlossen ist. Möglicherweise kann daher der Wert von 2,50 V nicht exakt erreicht werden, sondern die Werte bleiben stets größer. Sollte dies der Fall sein, dann drehen Sie so lange am Potentiometer, bis kein niedrigerer Wert mehr eingestellt werden kann.

## 4 Vorbereitungen zur pH-Wert-Messung

### 4.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Laptop mit Arduino IDE	1
Arduino	1
Becher, 100 ml	nach Bedarf
pH-Sensor (PH-4502C)	1
pH-Elektrode mit BNC-Anschluss	1
Verbindungskabel (female – male)	8
Verbindungskabel (male – male)	2
LCD-Display mit eingebautem I2C-Anschluss	1
Steckbrett	1
ggf. Powerbank	1
Wasser	nach Bedarf
wasserlöslicher Folienstift zum Beschriften	1

Chemikalien	Anzahl
Pufferlösung mit pH = 7,0	einige ml
Pufferlösung mit pH = 4,0	einige ml
Pufferlösung mit pH = 10,0	einige ml
Zu testende Getränke o.Ä. (z. B. Leitungswasser, Mineralwasser mit Kohlensäure, Apfelsaft, Cola, Tee, Natronlösung)	nach Belieben

## 4.2 Hintergrund

Bei einer pH-Wert Messung werden Referenzelektroden eingesetzt, die je nach pH-Wert unterschiedliche Spannungswerte ausgeben.

Der pH-Wert wird demnach nicht direkt gemessen, sondern muss aus der erhaltenen Spannung berechnet werden. pH-Elektroden verhalten sich im Bereich zwischen 0-14 annähernd linear. Um also die Spannungswerte in pH-Werte umzurechnen, wird eine lineare Gleichung in der Form  $y = mx + b$  benötigt (Geradengleichung). Für die Berechnung der Steigung  $m$  der Geraden sind die dazugehörigen Spannungswerte zu mindestens zwei pH-Werten nötig.

Das erste Wertepaar ist durch die Kalibrierung schon bekannt: pH = 7; U = 2,5 V

Nun wird die Spannung (zum Beispiel) bei pH = 4 gemessen.

$m$  errechnet sich nun folgendermaßen:

$$m = \frac{\Delta \text{Spannung}}{\Delta \text{pH-Wert}} = \frac{\text{Spannung (pH=7)} - \text{Spannung (pH=4)}}{7 - 4}$$

Bei pH = 4 wurde beispielsweise eine Spannung von 3,0 V gemessen =>

$$m = \frac{2,5 - 3,0}{7-4} = -0,167$$

Zur Steigerung der Genauigkeit kann eine Zweipunkt-Kalibrierung vorgenommen werden, indem zusätzlich die Spannung bei pH = 10 gemessen und entsprechend der Mittelwert von  $m$  errechnet wird.

Das Verständnis davon, wie  $m$  zu Stande kommt, ist wichtig, um nachzuvollziehen, wie die Spannungswerte im Programmiercode („Sketch“) in pH-Werte umgerechnet werden:

```
phWert = (7 + ((2.5 - spannung) / 0.167));
```

Hier findet sich der soeben berechnete Wert wieder. Diesen können Sie entsprechend Ihrer eigenen Messwerte anpassen.

Die genaue Umstellung der Formeln regt zu einer fächerübergreifenden Zusammenarbeit mit den Mathematik-Kolleginnen und Kollegen an.

### 4.3 Exkurs

$$m = \frac{\Delta \text{Spannung}}{\Delta \text{pH}} = -0,167$$

$$-0,167 = \frac{2,5 - \text{Spannung}}{7 - \text{pH}}$$

$$0,167 = \frac{\text{Spannung} - 2,5}{\text{pH} - 7}$$

$$\text{pH} - 7 = \frac{\text{Spannung} - 2,5}{0,167}$$

$$\text{pHWert} = (7 + ((2.5 - \text{spannung}) / 0.167));$$

Die Variable **b** wird zunächst vernachlässigt, kann aber manuell auf einen beliebigen Wert gesetzt werden, falls sich systematische Abweichungen ergeben.

**Hinweis:** Sollten Sie während der Kalibrierung den Wert von 2,50 V nicht erreicht haben, dann ändern Sie die 2,5 im Programmiercode entsprechend Ihres Wertes ab, zum Beispiel:

**2.56**

$$\text{pHWert} = (7 + ((\del{2.5} - \text{spannung}) / 0.167));$$

So erhalten Sie weiterhin hinreichend genaue Messwerte.

### 4.4 Anleitung

Laden Sie den passenden Programmcode auf den Arduino. Passen Sie gegebenenfalls den Wert für **m** an. Messen Sie die pH-Werte verschiedener Lösungen. Warten Sie dabei mindestens 30 Sekunden, bis sich der Messwert kaum noch verändert. Spülen Sie die pH-Elektrode nach jeder Nutzung kurz mit Wasser ab.

## 5 Anschließen eines Displays

### 5.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Arduino	1
Laptop mit Arduino IDE	1
LCD-Display mit eingebautem I2C-Anschluss	1
pH-Sensor (PH-4502C)	1
ggf. Powerbank	1
Steckbrett	1
Verbindungskabel (female – male)	8
Verbindungskabel (male – male)	2

### 5.2 Anleitung

Im Schulalltag ist es oftmals unpraktisch, den seriellen Monitor an einem Laptop zu nutzen. Daher bietet es sich an, ein Display zu integrieren. Es empfiehlt sich, ein LCD-Display mit einem sogenannten I2C-Anschluss (Inter-Integrated Circuit) zu nutzen. Durch den eingebauten I2C-Anschluss sind wesentlich weniger Verkabelungen notwendig als bei einem normalen LCD-Display für Arduino.

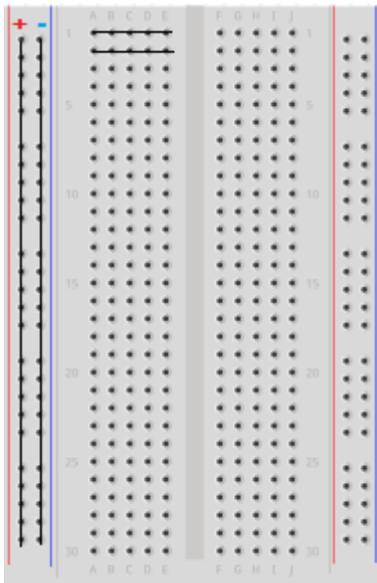


Abb. 6: Steckbrett  
(erstellt mit Fritzing).

Wenn ein Display integriert wird, können nicht mehr alle Kabel direkt am Arduino angeschlossen werden, sondern es muss ein Steckbrett dazwischengeschaltet werden. Nur so können das Display und der Sensor gleichzeitig mit Strom versorgt werden (5 V und GND-Anschluss).

Die Steckplatine ist in zwei Hälften unterteilt. Jeweils am Rand befinden sich die Anschlüsse für die Stromversorgung. Diese sind in der Vertikalen leitend miteinander verbunden. Im mittleren Bereich sind die Reihen jeweils entlang der Horizontalen leitend miteinander verbunden (siehe Abb. 6).

Dementsprechend können die Bauteile nun folgendermaßen verbunden werden:

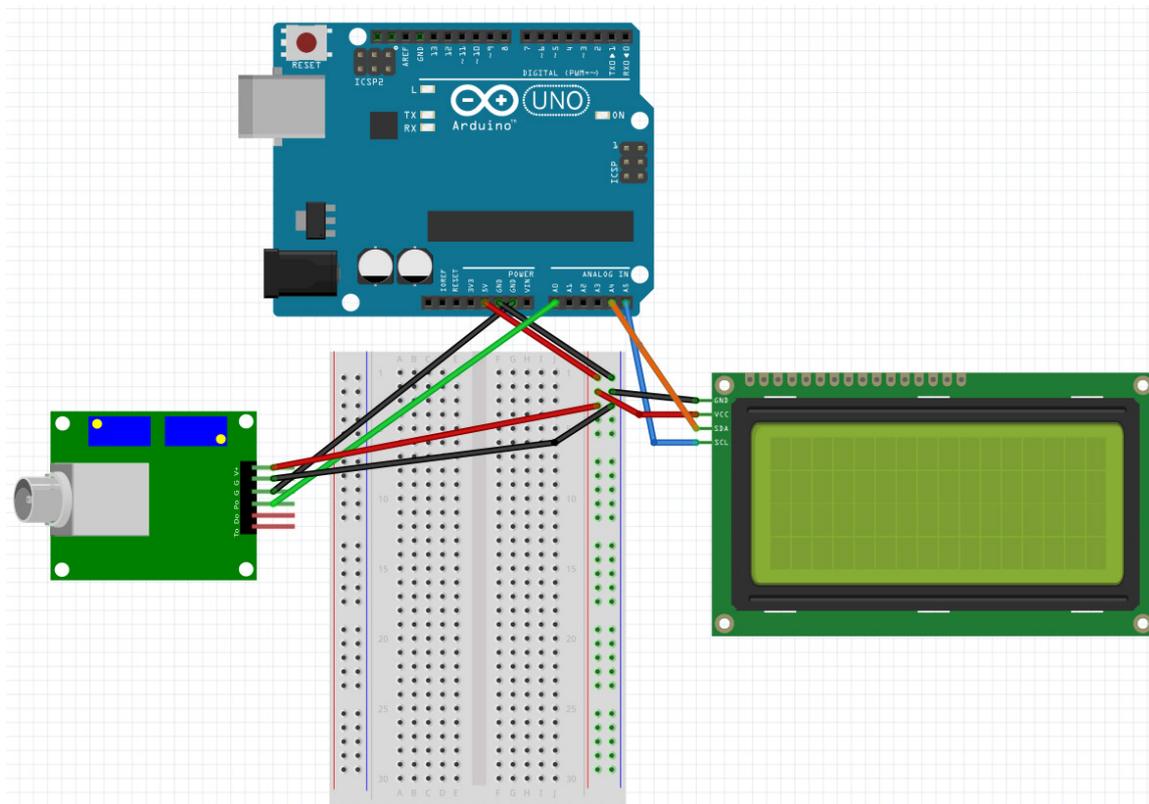


Abb. 7: Anschließen des Displays und des pH-Sensors mit Hilfe eines Steckbretts (erstellt mit Fritzing).

pH-Sensor	Arduino	
V+	5 V	Via Steckbrett
G	GND	Via Steckbrett
G	GND	Direkt
P0	A0	Direkt

Display	Arduino	
GND	GND	Via Steckbrett
VCC	5 V	Via Steckbrett
SDA	A4	Direkt
SCL	A5	Direkt

Nicht vergessen, das Steckbrett mit dem Arduino zu verbinden!

### 5.3 Code

Um ein Display verwenden zu können, muss die Bibliothek „LiquidCrystal\_I2C“ in die Arduino IDE heruntergeladen und entsprechend eingebunden werden (siehe allgemeine Anleitung). Die zusätzlichen Programmzeilen, die dazu benötigt werden, um mit dem Display zu kommunizieren, sind bereits im zur Verfügung gestellten Sketch (z.B. „pH\_Sketch\_mitDisplay“) enthalten.

Wenn als Stromversorgung eine Powerbank genutzt wird, kann die pH-Messung nach Hochladen des passenden Sketches auch ohne Verwendung eines Laptops durchgeführt werden.

**Wichtig:** Beim Wechsel der Spannungsquelle des Arduinos und/oder beim Hinzufügen eines Displays kann es notwendig sein, den pH-Sensor erneut kurz zu kalibrieren (Potentiometer so lange drehen, bis eine Spannung von 2,50 V angezeigt wird, wenn die pH-Elektrode in eine Lösung mit pH = 7 taucht).



## C4.2 Exkurs: Digitale Ermittlung des pH-Wertes mit dem Arduino

### 1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Arduino	1
Becher, 100 ml	nach Bedarf
wasserlöslicher Foliestift zum Beschriften	1
verschiedene Getränke/Haushaltschemikalien, z. B. Leitungswasser, Mineralwasser (mit Kohlensäure), Apfelsaft, Cola, Tee, Natronlösung	nach Belieben
Laptop mit Arduino IDE	1
LCD-Display	1
Papiertücher o. Ä. zum Händeabwischen	nach Bedarf
pH-Elektrode mit BNC-Anschluss	1
pH-Sensor (PH-4502C)	1
ggf. Powerbank	bei Bedarf
Pufferlösung mit pH = 7,0	1
Schraubendreher (nicht magnetisch)	1
Steckbrett	1
Verbindungskabel (female – male)	8
Verbindungskabel (male – male)	2
Wasser	nach Bedarf

### 2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht. Die Getränke sind nicht zum Verzehr geeignet.

### 3 Versuchsdurchführung

Falls der Arduino noch nicht mit dem pH-Sensor verbunden ist, erkundige dich bei deiner Lehrkraft nach dem Aufbau. Solltest du den Arduino selbst mit dem pH-Sensor verbunden haben, muss du den Sensor zuerst kalibrieren:

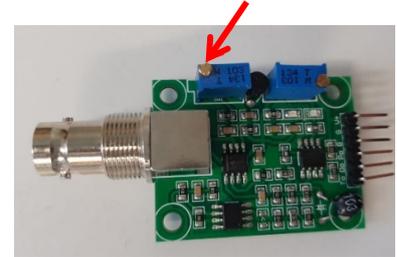
- Als erstes verbindest du den Arduino per USB mit dem Laptop.
- Öffne auf dem Laptop die Arduino IDE.
- Suche in der IDE den Kalibrier-Sketch (= Programmcode) unter *Datei* → *Öffnen*.
- Lade den Sketch mit dem Pfeil  links oben auf das Arduino-Board.
- Stelle die pH-Elektrode in eine Pufferlösung mit pH = 7,0
- Öffne den seriellen Monitor in der Arduino IDE (*Werkzeuge* → *Serieller Monitor*).
- Dort kannst du nun die Spannung ablesen, die der Arduino ausgibt.



Abb. 1: pH-Elektrode in der Pufferlösung.

- Drehe mit einem kleinen Schraubenzieher so lange an der Schraube an dem blauen Kästchen, das näher an der pH-Elektrode ist, bis eine Spannung von 2,50 V angezeigt wird. Begründung: Der Arduino kann Spannungen von 0-5 V auslesen. Damit keine negativen Werte für die Spannung auftreten, muss pH = 7 genau auf die Mitte des Spannungsbereichs, also auf 2,5 V, gesetzt werden. Sollte der Wert nicht bis auf 2,5 V sinken, nimm den kleinstmöglichen und sage deiner Lehrkraft Bescheid.

Abb. 2: Schraube, die am pH-Sensor gedreht werden muss.



## pH-Wert-Messung

Wenn der Sensor kalibriert ist, kannst du mit der pH-Wert-Messung starten:

- Als erstes verbindest du den Arduino per USB mit dem Laptop.
- Öffne auf dem Laptop die Arduino IDE.
- Suche in der IDE den richtigen Sketch (= Programmiercode). Deine Lehrkraft kann dir sagen, welchen du benötigst.
- Lade den Sketch mit dem Pfeil  links oben auf das Arduino-Board.
- Nun kannst du verschiedene Getränke oder andere Haushaltschemikalien testen.
- Beschrifte jeden Becher in der Reihenfolge der Getränke, die du messen wirst.
- Notiere, zu welcher Nummer welches Getränk gehört
- Tauche die pH-Elektrode in das Getränk. Warte **mind. 30 Sekunden**, bis sich der Messwert kaum noch verändert.
- Notiere dir den pH-Wert. Spüle die pH-Elektrode nach jeder Nutzung kurz mit Wasser ab.
- Entleere nach dem Experiment die Becher nach Anweisung der Lehrkraft, spüle sie mit Wasser aus und wische die Nummerierung ab.

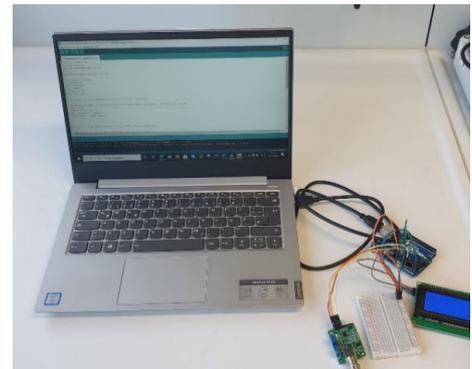


Abb. 3: Versuchsaufbau.



Abb. 4: Becher beschriften.

## 4 Beobachtung

Notiere die pH-Werte der verschiedenen Getränke.

## 5 Auswertung

- a) Vergleiche deine Messwerte mit denen deiner Mitschülerinnen und -schüler.
- b) Betrachte den Programmiercode, den du zur Messung der pH-Werte verwendet hast. Versuche nachzuvollziehen, was der Programmiercode „tut“ und wie die gemessenen pH-Werte zu Stande kommen.
- c) Ergänze den Programmcode um eine automatische „Getränkeerkennung“. Dieses Programm soll anhand des gemessenen pH-Wertes erkennen, um welches Getränk es sich handelt. So kannst du verschiedene ähnlich aussehende Getränke schnell unterscheiden.
  - a. Was musst du im Hinblick auf die Messwerte beachten?
  - b. Welche Daten benötigst du? Welche kannst du weglassen?
  - c. Wie kannst du das Gesamtproblem in kleinere Teilprobleme zerlegen?
  - d. Setze deine Überlegungen in einem Programmcode um. Was fällt dir dabei auf?
  - e. Teste deine Lösung anhand eines dir unbekanntes Getränks.



## C5 Welche Aufgaben hat die Haut? – Die Haut als Sinnesorgan

Die vorgeschlagenen Experimente eignen sich gut zum Einstieg in das sinnesphysiologische Thema Tastsinn. In der vorliegenden Anleitung für die Lehrkraft finden Sie Hinweise zur Verbindung der Experimente zum Lernstoff und darüber hinaus Anregungen zur Vertiefung des Themas.

### 1 Zentrale Fragestellung

Die Frage, welche Aufgaben die Haut hat, wird bezüglich der Tast- und Temperaturempfindungen durch drei Teilerperimente beantwortet.

- Im Teilerperiment 1 erfahren die Schülerinnen und Schüler am eigenen Körper, dass verschiedene Hautareale unterschiedlich sensibel auf Berührung reagieren. Die dabei zutage tretenden individuellen Varianzen der Hautsensibilität sind den Schülerinnen und Schülern auch aus dem Alltag bekannt, z. B. weil manche Menschen an bestimmten Körperregionen kitzelig sind, andere wiederum weniger.
- Die Teilerperimente 2 und 3 befassen sich mit der Funktion der Thermorezeptoren. Das Teilerperiment 2 verdeutlicht die unterschiedliche Anzahl von Kälte- und Wärmerezeptoren auf einem bestimmten Hautareal. Teilerperiment 3 soll zeigen, dass die Haut nicht absolute Temperaturen registriert, sondern Temperaturdifferenzen. Im Alltag wird dieses Phänomen genutzt, wenn wir uns z. B. vor dem Schwimmen kalt duschen, um die Wassertemperatur im Bad wärmer zu empfinden.

Die Teilerperimente 2 und 3 verlangen darüber hinaus von den Schülerinnen und Schülern ein methodisch korrektes Arbeiten, z. B. bei der Vorbereitung von Wasser mit bestimmten Temperaturen bzw. beim systematischen „Bearbeiten“ der Hautoberfläche des Handrückens.

## 2 Einordnung des Experiments in den Unterrichtszusammenhang

### 2.1 Fachliche Grundlagen

#### 2.1.1 Aufbau der Haut

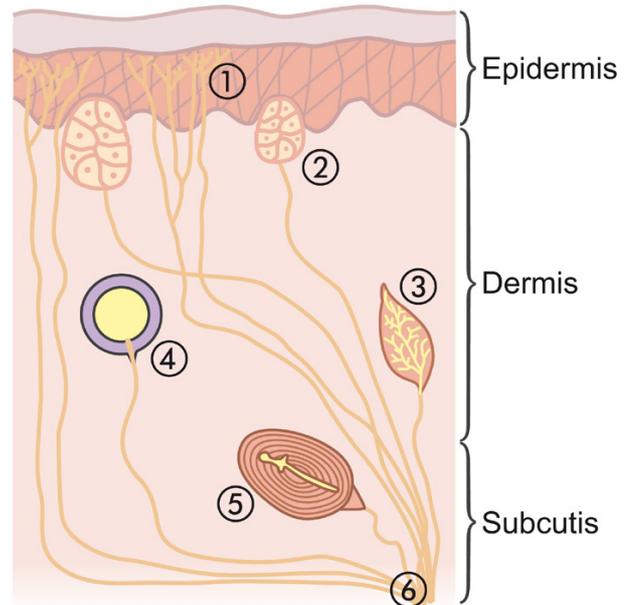
Die Haut bildet mit einer Gesamtfläche von etwa 1,5 bis 2 m<sup>2</sup> das größte menschliche Organ. Sie hat mehrere Funktionen. Die Haut ...

- ist ein wichtiges Sinnesorgan für die Wahrnehmung von Kälte, Wärme, Berührung, Druck und Schmerz.
- reguliert die Körpertemperatur (durch Veränderung der Blutgefäßweite sowie Schweißabgabe).
- schützt den Körper vor schädlichen Einflüssen der Außenwelt (Strahlen, Krankheitserreger, mechanische Einflüsse u. a.).
- speichert Fett.
- sondert Stoffe ab (Schweiß, Talg).
- lässt Emotionen erkennen (blass werden, erröten usw.).

Grob lässt sich die Haut in drei Schichten unterteilen:

- Die Oberhaut (Epidermis)
- Die Lederhaut (Corium)
- Die Unterhaut (Subcutis).

Die Nervenendigungen und Rezeptoren, die auf Schmerz, Druck und Temperatur reagieren, befinden sich jeweils in bestimmten Hautschichten.



- ① Schmerzrezeptor (freie Nervenendigungen)
- ② Meissner-Tastkörperchen
- ③ Wärmerezeptor
- ④ Kälterezeptor
- ⑤ Vibrationsrezeptor (Vater-Pacini-Körperchen)
- ⑥ erregungsleitende Nervenfasern

Abb. 1: Die Rezeptoren der Haut.

### 2.1.2 Sensoren der Haut

- **Freie Nervenendigungen:** Sie können Schmerz-, Juck- und Kitzelreize aufnehmen. Da insbesondere Schmerzempfindung überlebenswichtig ist, reichen diese Nervenendigungen bis in die Oberhaut hinein, damit der Mensch möglichst jeden Schmerzreiz wahrnimmt. Auf einen  $\text{cm}^2$  kommen bis zu 170 solcher Nervenendigungen. Dies erklärt, warum es, abgesehen von Stellen, die mit dicker Hornhaut versehen sind, keine Hautareale gibt, die oberflächlich schmerzunempfindlich sind. An den oberflächlich unempfindlichen Stellen reagieren tiefer gelegene Schmerzrezeptoren allerdings auf Stoffe, die bei Gewebeschädigungen freigesetzt werden.
- **Meissner-Tastkörperchen:** Sie reagieren auf Druckveränderungen und damit auf Berührungen und Scherkräfte. Besonders zahlreich kommen sie an den Fingerkuppen und der Mundschleimhaut vor, an Orten also, wo meist die erste Überprüfung von Gegenständen und Substanzen aus der Umwelt stattfindet. Im Rückenbereich hingegen weisen sie nur eine geringere Dichte auf. Meissner-Körperchen informieren über die Oberflächenbeschaffenheit von Gegenständen, was bei der Durchführung des Teilerperiments 1 die entscheidende Rolle spielt. Es gibt noch weitere Tastkörperchen.
- **Kälterezeptoren:** Sie sind im oberen Bereich der Lederhaut angesiedelt und für die Wahrnehmung von Kälte verantwortlich. Anders als ein Thermometer messen sie nicht die absolute Temperatur, sondern Temperaturdifferenzen. Sie reagieren auf sinkende Temperaturen und lösen dabei ein Kälteempfinden aus. Maximal empfindlich sind sie bei einer Umgebungstemperatur von etwa  $25\text{ }^\circ\text{C}$ . Auf dem Handrücken kommen sie bis zu 8-mal pro  $\text{cm}^2$  vor, an der Zunge dagegen bis zu 20-mal pro  $\text{cm}^2$ .

- **Wärmerezeptoren:** Auch sie befinden sich in der Lederhaut. Sie reagieren auf Temperaturanstiege und sind somit an der Wahrnehmung von Wärme beteiligt. Auf dem Handrücken kommen sie durchschnittlich weniger als einmal pro cm<sup>2</sup> vor. Insgesamt sind sie wesentlich seltener als Kälterezeptoren.
- **Frequenzcodierung der Nervensignale:** Beide Temperaturrezeptoren senden ständig Impulse an das Gehirn. Dies geschieht, indem die jeweiligen Rezeptoren einen Impuls auf Dendriten der nachfolgenden Nervenzelle übertragen. Über den Zellkörper wandert der Impuls zum Axon, das ihn an die Endknöpfchen weiterleitet. Von hier aus übermittelt ein Überträgerstoff den Impuls an die Nachbarzelle. Auf diese Weise erreicht die Information das Gehirn. Die Frequenz der Impulse ist abhängig von der Temperatur. Durch Kälte- bzw. Wärmereize ändern die Wärme- und Kälterezeptoren die Impulsfrequenz: Kälterezeptoren geben mit abnehmender Temperatur mehr Aktionspotenziale pro Zeiteinheit ab. Wärmerezeptoren tun dies entsprechend umgekehrt, das heißt, sie geben bei zunehmender Temperatur mehr Aktionspotenziale ab. Nach einer gewissen Zeit passen sich die Frequenzen der Aktionspotenziale von Kälte- und Wärmerezeptoren an die jeweils herrschende Temperatur an. Erst wenn sich die Temperatur erneut ändert (im Teilexperiment 3 beim Eintauchen beider Hände in die mittlere Schale mit lauwarmem Wasser), wird wieder eine Temperaturveränderung wahrgenommen. Es werden wieder mehr Aktionspotenziale abgegeben und die Rezeptoren der „warmen Hand“ melden kälteres Wasser, die der „kalten Hand“ melden wärmeres Wasser.
- **Vibrationsrezeptoren (Vater-Pacini-Körperchen):** Sie sind an der Wahrnehmung schneller Vibrationen beteiligt und reagieren auf Formveränderungen der Haut. Sie befinden sich meist im Übergangsbereich zwischen Lederhaut und Unterhaut.

### 2.1.3 Bezug zur Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler und Einbau in den Unterricht:

In der Lebenswelt von Schülerinnen und Schülern bis etwa 12 bis 14 Jahre existiert „Haut“ zumeist als eine homogene Schicht, die den Körper umgibt. Ihr mehrschichtiger Aufbau wird als solcher nicht wahrgenommen. Nicht selten ist es der beginnende Einsatz von Hautpflegeprodukten und Kosmetika, der Jugendliche beginnen lässt, sich mit dem Aufbau und der Funktion ihrer Haut genauer zu befassen. Dem Unterricht kommt u. a. die Bedeutung zu, den Teilinformationen und Halbwahrheiten der Industrie Wissen über die überaus vielfältige Funktion der Haut entgegenzusetzen, die mehr ist als bloßes Trägermaterial für Kosmetika.

Die Experimente können entweder ohne Vorkenntnis der Schülerinnen und Schüler, rein demonstrativ angewandt werden mit dem Ziel, Fragen der Schülerinnen und Schüler zu initialisieren („Warum spüre ich die Unterschiede des Schleifpapiers hier so gut und dort so schlecht?“, „Warum fühlt sich das Mischwasser für die eine Hand kalt, für die andere warm an?“). Auf dieser Grundlage schließt sich eine vertiefende Arbeit zum Aufbau der Haut an.

Oder die Informationen zu Aufbau und Funktion der Hautschichten werden zuvor im Unterricht behandelt, sodass den Schülerinnen und Schülern der dreigeteilte Aufbau sowie die Existenz verschiedener Sinnesrezeptoren in der Haut bereits bekannt sind. Dann dienen die Experimente der Veranschaulichung bzw. Anwendung von bereits erworbenen theoretischen Kenntnissen. Außerdem können anhand der Experimente auch Werte wie „Gesundheitsbewusstsein“ angesprochen werden. Ideen zur Umsetzung finden Sie zum Beispiel im „Leitfaden Naturwissenschaften, Technik und Werte“ der Siemens Stiftung.

## 2.2 Lehrplanrelevanz

Die Durchführung der Experimente bietet sich, je nachdem, auf welche Weise sie in den Unterrichtszusammenhang integriert werden (siehe 2.1.3), für Altersstufen ab 12 bzw. 15 Jahre an. Die detaillierte Kenntnis der Funktion unterschiedlicher Druck- und Temperaturrezeptoren sowie deren neurologische Abhängigkeiten sind demnach der höheren Altersstufe zuzuordnen. Die behandelten Inhalte tangieren ausschließlich Themen des Fachs Biologie.

**Themen und Begriffe:** Oberhaut, Lederhaut, Unterhaut, Sensibilität, Rezeptoren, Schmerzrezeptoren, Meissner-Tastkörperchen, Kälterezeptoren, Wärmerezeptoren, Vibrationsrezeptoren (Vater-Pacini-Körperchen), freie Nervenendigungen, Aktionspotenziale, Dendriten, Zellkörper, Axon, Endknöpfchen, Überträgerstoff

## 2.3 Kompetenzen

Die Schülerinnen und Schüler ...

- beschreiben den dreischichtigen Aufbau der Haut.
- können die Strukturen in der menschlichen Haut benennen, die für die Wahrnehmung von Berührungs- und Temperaturreizen zuständig sind.
- ordnen die benötigten Geräte und Materialien im Rahmen der Vorbereitung des Experiments sicherheitsbewusst an.
- stellen Wärme- und Kältepunkte auf der Haut farblich dar.
- bestimmen die Anzahl von Wärme- und Kältepunkten auf einem definierten Areal der Haut.
- beschreiben die sich im Verlauf eines Experiments verändernden Wärme- und Kälteempfindungen.
- bestimmen die Dauer bestimmter Temperaturempfindungen beider Hände.
- erklären das Zustandekommen scheinbar widersprüchlicher Temperaturempfindungen beider Hände.
- vergleichen ihre Arbeitsergebnisse mit denen anderer Schülerinnen und Schüler.

## 2.4 Das Experiment im Erklärungszusammenhang

### 2.4.1 Telexperiment 1: Wie reagiert die Haut auf Berührung?

Das Experiment verdeutlicht, dass Tastkörperchen in unterschiedlichen Hautregionen in unterschiedlicher Häufigkeit vorkommen. Während an Fingerspitzen und Lippen eine hohe Sensibilität für Berührungen vorherrscht, lässt diese beispielsweise am Rücken nach. Gleichzeitig sind individuelle Varianzen zwischen den verschiedenen Versuchspersonen festzustellen. Mit der Aufteilung in zwei Durchgänge kann herausgefunden werden, welche Hautregionen nur gröbere (Schleifpapier Körnung 60 und 120) und welche feinere Unterschiede (Schleifpapier Körnung 80 und 100) registrieren können (siehe auch 3.1).

### 2.4.2 Telexperiment 2: Wie nimmt die Haut Kälte und Wärme wahr?

Die Schülerinnen und Schüler erfahren, dass auf dem Handrücken die Dichte der Kälterezeptoren erheblich höher ist als die der Wärmerezeptoren. Es ist eine interessante Erfahrung, am eigenen Körper festzustellen, dass nicht die Haut als Gesamtheit Kälte oder Wärme spürt, sondern stets nur ganz bestimmte Punkte für die Empfindungen sensibel sind.



Abb. 2: Beispiel eines Ergebnisses von Telexperiment 2.

### 2.4.3 Telexperiment 3: Wie unterscheidet die Haut Temperatur?

Dass die Kälte- und Wärmerezeptoren keine absoluten Temperaturen, sondern Temperaturdifferenzen registrieren, wird im dritten Telexperiment deutlich. Sowohl die Wärmerezeptoren der linken Hand als auch die Kälterezeptoren der rechten Hand geben zu Beginn des Experiments vermehrt Aktionspotenziale zum Gehirn. Nach einer Zeit der Gewöhnung (im Bereich von Minuten) passen sich die Frequenzen der Aktionspotenziale der Wärme- und Kälterezeptoren an. Erst durch das erneute Eintauchen der Hände in die mittlere Schale mit Mischwasser entsteht für beide Hände eine neue Temperaturdifferenz. Die Frequenz der Aktionspotenziale nimmt beidseits wieder zu und erzeugt das jeweilige Kälte- bzw. Wärmegefühl an der Haut. Da die Thermorezeptoren aber keine absolute Temperatur, sondern Temperaturdifferenzen vermitteln, erscheint das Mischwasser für die zuvor warme Hand kalt, für die kalte Hand warm. Das Temperaturempfinden der Hand, die aus dem warmen Wasser kommt, hält länger an als das der „kalten“ Hand, weil wir zum einen im Bereich der Hände mehr Kälterezeptoren haben, zum anderen adaptieren Kälterezeptoren schneller als Wärmerezeptoren. Kälte stellt für den Menschen evolutionsgeschichtlich vermutlich eine größere Bedrohung dar als Wärme.

## 2.5 Durchführungsvarianten

Die drei Telexperimente eignen sich für die Partnerarbeit. Gleichfalls ist ein Arbeiten im Rahmen des Stationenlernens möglich. Zu beachten ist jedoch, dass das Telexperiment 2 ein gewisses Maß an Konzentration von der Versuchsperson erfordert, sodass Möglichkeiten der Ablenkung durch andere Schülerinnen und Schüler weitgehend vermieden werden sollten.

Zum Weiterforschen: Ergänzend zum Telexperiment 1 lässt sich durch ein einfaches Experiment herausfinden, in welchem Abstand sich die Berührungssensoren befinden. Dazu kann eine Schülerin oder ein Schüler die zwei Spitzen einer aufgefalteten Büroklammer in zunehmend kleiner werdenden Abständen vorsichtig auf die Haut der Versuchsperson aufsetzen. So lässt sich feststellen, ab welchem Abstand der beiden Spitzen die Versuchsperson nur noch einen Berührungspunkt wahrnimmt, also nicht mehr zwischen zwei getrennten Berührungen unterscheiden kann. Das Experiment führt, je nach Körperregion, zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen (siehe 2.1.2). Um Unterrichtszeit zu sparen, kann das Telexperiment 2 nur auf einem begrenzten Teil des Handrückens durchgeführt werden. Hierzu wird der Versuchsperson zuvor eine Fläche von z. B. 3x3 cm (neun Quadrate mit 1x1 cm) auf die Hand aufgezeichnet. Die neun Quadrate können dann systematisch „abgearbeitet“ werden.

Das Teilexperiment 3 gelingt umso eindrucksvoller, je unterschiedlicher die Temperaturen des Wassers in der linken und rechten Schüssel sind.

### 3 Ergänzende Informationen zum Experiment

Zur Vorbereitung bzw. zur Vertiefung dieses Experiments finden Sie ergänzende Medien auf dem Medienportal der Siemens Stiftung: <https://medienportal.siemens-stiftung.org>

## 4 Hinweise zur Durchführung der Teilexperimente

### 4.1 Räumlichkeiten

Die Experimente können in jedem Klassenraum durchgeführt werden.

### 4.2 Zeitbedarf

	Vorbereitung und Durchführung	Auswertung, Fragen
Teilexperiment 1	20 min	15 min
Teilexperiment 2	30 min	15 min
Teilexperiment 3	10 min	15 min

### 4.3 Sicherheitsaspekte

Die Versuche dürfen nur bei Anwesenheit und unter Aufsicht der Lehrkraft durchgeführt werden. Die Schülerinnen und Schüler sind darauf hinzuweisen, dass die bereitgestellten Materialien nur entsprechend den jeweiligen Anweisungen eingesetzt werden dürfen.

Bei diesen Experimenten achten Sie bitte auf folgende mögliche Gefahren und machen Sie auch Ihre Schülerinnen und Schüler darauf aufmerksam:

- Es besteht Verbrennungsgefahr und Brandgefahr beim Arbeiten mit Feuer. Vor der ersten Benutzung der Feuerzeuge sind diese von der Lehrkraft auf ordnungsgemäße Funktion zu überprüfen, insbesondere die Regulierung der Flammengröße.
- Bei Teilexperiment 2 ist darauf zu achten, dass der Nagel nicht zu heiß wird, damit es nicht zu Verletzungen kommt.
- Stellen Sie sicher, dass keine Schäden an wasserempfindlichen Materialien und Geräten entstehen können.
- Die Schülerinnen und Schüler sollten möglichst viel Platz an ihren Tischen haben, sodass beim Teilexperiment 2 und 3 ein versehentliches Verschütten des Wassers vermieden werden kann.
- Beim Teilexperiment 3 sollte das Wasser in der Schüssel mit heißem Wasser (linke Schüssel) die angegebene Temperatur von max. 45 °C nicht übersteigen, um Verbrennungen zu verhindern. Bitte das Thermometer benutzen!

#### 4.4 Benötigte Materialien

Sicherheitsrelevante Materialien und Geräte sind vor Aushändigung an die Schülerinnen und Schüler auf ihre ordnungsgemäße Funktion zu testen.

Für **eine** Schülergruppe werden folgende Materialien benötigt:

Material	Anzahl
Digitalthermometer	1
Feuerzeug (wenn möglich ein Stabfeuerzeug) bzw. Streichhölzer	1
Filzstift, blau	1
Filzstift, rot	1
Handtuch zum Abtrocknen der Hände	1
Nagel (Stahl, „Eisen“)	1
Schale, klein	2
Schere	1
Schleifpapier Körnung 60, 80, 100, 120	je 1 Bogen für die ganze Klasse
Schüssel, groß	3
Teelicht	1
Tuch oder Schal zum Verbinden der Augen	1
Uhr	1
... heißes (ca. 45 °C) und kaltes Wasser, evtl. Eiswürfel. Kommt das warme Wasser nicht aus der Wasserleitung im Klassen- zimmer, sollte es die Lehrkraft selbst mit einem Wasserkocher bereiten und in der geeigneten Temperatur ausgeben.	nach Bedarf



Abb. 3: Geräte bzw. Materialien für eine Schülergruppe, beispielhafte Abbildung.

## 4.5 Aufräumen, Entsorgen, Recyceln

Fast alle verwendeten Geräte und Materialien sind wiederverwendbar. Daher sollten sie nach Beendigung des jeweiligen Experiments ordentlich aufgeräumt werden. So stellen Sie sicher, dass Sie bzw. Ihre Kolleginnen und Kollegen beim nächsten Einsatz alles schnell wiederfinden.

Geräte, die beim Experimentieren verschmutzt wurden, wie z. B. Becher, Schalen, Löffel, Reagenzgläser, sollten vor dem Zurücklegen erst gereinigt werden. Sinnvollerweise lässt man dies die Schülerinnen und Schüler gleich nach Beendigung des Experiments erledigen.

Stellen Sie zudem sicher, dass die Geräte wieder für den nächsten Einsatz betriebsbereit sind.

Beispielsweise sind benutzte Akkus gleich aufzuladen (Auch bei längerer Nichtbenutzung ist das Aufladen der Akkus sinnvoll.).

Materialien, die nicht wiederverwendbar sind, wie z. B. gebrauchte pH-Messstäbchen oder Filterpapier, sollten fachgerecht entsorgt werden.

Die Entsorgung der in diesem Experiment anfallenden Abfälle kann über den normalen Hausmüll bzw. den Ausguss erfolgen.

## C5 Welche Aufgaben hat die Haut? – Die Haut als Sinnesorgan

### 1 Wie reagiert die Haut auf Berührung?

#### 1.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Schleifpapier Körnung 60, 80, 100 und 120 (Falls dieser Versuch zum ersten Mal durchgeführt wird, müsst ihr aus großen Schleifpapierbögen mit einer Schere passende Blättchen von jeweils ca. 5x5 cm zuschneiden!)	4 Blättchen
ggf. Schere	1
Tuch oder Schal zum Verbinden der Augen	1

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

#### 1.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht. Gehe vorsichtig mit der Schere um!

#### 1.3 Versuchsdurchführung

- Verbinde der Versuchsperson die Augen.
  - Gib ihr zunächst die vier Schleifpapierblättchen in die Hände. Die Versuchsperson soll die Blättchen betasten und nach Körnung geordnet vor sich auf den Tisch legen (z. B. von links nach rechts/von fein nach grob).
  - Notiere, ob die Versuchsperson in der Lage war, die 4 Blättchen nach Körnung zu ordnen.
- 
- Abb. 1: Blindes Sortieren nach der gefühlten Korngröße des Schleifpapiers.
- Im zweiten Durchgang streichst du der Versuchsperson mit zwei verschiedenen Schleifpapierblättchen (Körnung 60 und 120) vorsichtig über bestimmte Hautpartien. Die Versuchsperson soll danach angeben, in welcher Reihenfolge die Papiere an der jeweiligen Stelle benutzt wurden (erst grob, dann fein oder anders herum).
  - Reiße zunächst kleine Stückchen von den Schleifpapierblättchen ab und streiche der Versuchsperson über die Lippe. (Aus hygienischen Gründen diese Stückchen dann nicht weiterverwenden, sondern wegwerfen!)
  - Streiche dann mit den großen Stücken der Schleifpapierblättchen über die folgenden Bereiche: Stirn, Hals, Fingerspitze, Handinnenfläche, Handrücken, Oberarminnenseite, Rücken.
  - Notiere, an welchen Körperpartien die Versuchsperson die unterschiedliche Körnung richtig gespürt hat und an welchen nicht.
  - Wiederhole den Versuch mit den Schleifpapieren Körnung 80 und 100.

## 1.4 Beobachtung

Fasse deine Beobachtungen schriftlich zusammen.

## 1.5 Auswertung

- a) Vergleiche die Ergebnisse deiner Versuchsperson mit denen anderer Versuchspersonen.
- b) Stelle Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen den Versuchspersonen fest.
- c) Stelle Hautareale, mit denen die Körnung besonders sicher unterschieden werden konnte, solchen gegenüber, die eher „unempfindlich“ waren.

## 1.6 Fragen

- a) Welche drei Hauptschichten bilden die Haut?
- b) Welche Strukturen in der Haut sind für die Wahrnehmung von Berührungsreizen zuständig?

## 2 Wie nimmt die Haut Kälte und Wärme wahr?

### 2.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Feuerzeug bzw. Streichhölzer	1
Filzstift, blau	1
Filzstift, rot	1
Nagel (Stahl, „Eisen“)	1
Schale	1
Teelicht	1
Kaltes Wasser, wenn möglich zusätzlich Eiswürfel	nach Bedarf

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

### 2.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht.

Bei diesem Experiment achte bitte auf folgende mögliche Gefahren:

- Sei vorsichtig beim Arbeiten mit Feuer, es besteht Verbrennungsgefahr und Brandgefahr.
- Achte darauf, dass der Nagel nicht zu heiß wird.

### 2.3 Versuchsdurchführung

- Zünde das Teelicht an.
- Halte den Nagel für ca. 3 Sekunden über der Spitze der Teelichtflamme. Achte darauf, dass der Nagel nicht zu heiß wird!
- Streiche nun die Spitze des Nagels unter leichtem Druck über den Handrücken der Versuchsperson. Wenn die Person an einigen Stellen ein starkes Wärmeempfinden spürt, soll sie dies sofort äußern. Markiere diese Stellen mit einem roten Punkt.
- Erhitze den Nagel immer wieder gleich lang (ca. 3 Sekunden), indem du ihn an die äußerste Spitze der Teelichtflamme hältst. Führe ihn systematisch in möglichst geringen Abständen über den gesamten Handrücken.
- Als nächstes fülle eine Schale mit (eis-)kaltem Wasser (evtl. zusätzlich mit Eiswürfeln). Halte den Nagel immer wieder für ca. 15 Sekunden in das kalte Wasser.
- Verfahre mit dem kalten Nagel genauso wie oben beschrieben für den erhitzten Nagel. Markiere Stellen mit besonderem Kälteempfinden mit einem blauen Punkt.



Abb. 2: Versuchsanordnung zur Bestimmung der Wärme- und Kälteempfindlichen Punkte.

**Hinweise:**

- Der zweite Durchgang kann wahlweise auch an der anderen Hand der Versuchsperson durchgeführt werden.
- Die Versuchsperson sollte während des Experiments möglichst nicht auf ihre Hand sehen, sondern die Augen schließen, um sich besser auf die Wärme- und Kälteempfindungen konzentrieren zu können.
- Es ist sinnvoll, wenn du mit einer Hand den Nagel führst und mit der anderen gleichzeitig den Stift. Dann kannst du die Stelle, an der die Versuchsperson einen Wärme- bzw. Kältepunkt spürt, sofort markieren. So brauchst du den Nagel nicht absetzen, sondern kannst ihn währenddessen langsam immer weiter ziehen.

**2.4 Beobachtung**

- Versuchsperson: Beschreibe deine Empfindungen während des Versuchs.
- Experimentator/-in: Sieh dir die Hand der Versuchsperson an. Notiere die Anzahl der roten Wärmepunkte und der blauen Kältepunkte.

**2.5 Auswertung**

- a) Vergleiche die Ergebnisse auf der Hand deiner Versuchsperson mit denen anderer Versuchspersonen.
- b) Erkläre die unterschiedliche Anzahl der blauen und roten Punkte.

**2.6 Fragen**

- a) Über welche verschiedenen Rezeptoren verfügt die Haut des Menschen?
- b) In welchen Hautschichten befinden sie sich jeweils?
- c) Welche Rezeptoren in der Haut sind für die Wahrnehmung von Temperaturreizen zuständig?

### 3 Wie unterscheidet die Haut Temperatur?

#### 3.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Digitalthermometer	1
Handtuch zum Abtrocknen der Hände	1
große Schüsseln zum Befüllen mit Wasser und Eintauchen der Hände	3
Uhr	1
Heißes Wasser von max. 45 °C	nach Bedarf
Kaltes Wasser, wenn möglich zusätzlich Eiswürfel	nach Bedarf

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

#### 3.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht. Achte darauf, dass das Wasser nicht zu heiß ist (40 °C bis maximal 45 °C). Benutze das Thermometer zur Kontrolle.

#### 3.3 Versuchsdurchführung

Normalerweise wirst du den Versuch mit einem Partner oder einer Partnerin machen, der bzw. die die Zeiten misst und mitschreibt, was du bei den Versuchen empfindest.

- Fülle die drei Schüsseln mit Wasser unterschiedlicher Temperatur (ca. 45 °C, ca. 25 °C und unter 10 °C) und stelle sie in einer Reihe auf den Tisch.
- Die Schüssel mit mittlerer Temperatur füllst du mit einer Mischung aus dem heißen und kalten Wasser (1:1).
- Alle Schüsseln sollen die gleiche Menge Wasser enthalten und so groß sein, dass sie nicht überlaufen, wenn du die Hand hineinlegst.
- Tauche deine linke Hand vollständig in die linke Schüssel mit dem heißen Wasser ein. Gleichzeitig tauchst du deine rechte Hand in die rechte Schüssel mit dem kalten Wasser.
- Nach ca. 1 Minute wechselst du mit beiden Händen gleichzeitig in die mittlere Schüssel mit dem Mischwasser.
- Belasse deine Hände für mindestens 2 Minuten im Mischwasser.
- Bestimme die Dauer der veränderten Temperaturempfindungen im Mischwasser für die linke und für die rechte Hand (in Sekunden).



Abb. 3: Versuchsanordnung mit drei Schüsseln Wasser unterschiedlicher Temperatur.

### 3.4 Beobachtung

Beschreibe deine Empfindungen beim Eintauchen der Hände in das Mischwasser.

### 3.5 Auswertung

- a) Erkläre die Vorgänge an den Thermosensoren in der Haut, die zu den widersprüchlichen Empfindungen beider Hände führen.
- b) Wie lange dauern die unterschiedlichen Empfindungen im Mischwasser an den beiden Händen an? Erkläre anschließend das Ergebnis.

### 3.6 Fragen

- a) Worüber geben die Kälte- und Wärmerezeptoren Auskunft?
- b) Warum hält das neue Temperaturempfinden der Hand, die aus dem warmen Wasser kommt, länger an als das der anderen Hand?

## C6 Haut und Hygiene – Warum waschen wir uns die Hände?

Ein typisches Einstiegsexperiment in das Thema Hygiene, aber auch in die Themen Lösungen und Emulsionen. Das jeweilige Thema kann durch das Experiment selbst nur angerissen werden. Die Lehrkraft wird dann entsprechend der Altersstufe den Stoff vertiefen.

### 1 Zentrale Fragestellung

Eigentlich gibt es zwei grundlegende Fragestellungen zum Thema Haut und Hygiene.

- Inwieweit ist die Haut Überträger von Krankheiten und was kann man dagegen tun?
- Wie schützt sich die Haut selbst gegen Infektionen?

Die Experimente zum Thema Haut und Hygiene verdeutlichen Nutzen und Risiken der Anwendung von Seife im Rahmen einer hygienischen Händereinigung.

Es wird im Telexperiment 1 deutlich, dass Tenside den Kontakt von Fremdkörpern zur Haut so verändern können, dass sie abwaschbar werden. Ein Vorgang, der beim Waschen mit Wasser alleine und ohne die Benutzung von Seife nicht in dem Ausmaß stattfinden kann. Das fachliche Verständnis der Funktion von Seife kann als Grundvoraussetzung für die Einsicht angesehen werden, dass es beispielsweise wichtig ist, nach dem Gang zur Toilette die Hände mit Seife, und nicht nur mit Wasser zu waschen.

Telexperiment 2 zeigt gewissermaßen „die Kehrseite der Medaille“. Der Säureschutzmantel der Haut sorgt dafür, dass pathogene Mikroorganismen auf der Haut „in Schach“ gehalten werden. Der pH-Wert der Haut spielt hierbei die entscheidende Rolle. Die Schülerinnen und Schüler erkennen in diesem Telexperiment durch die Messung von pH-Werten, dass sich der pH-Wert der Haut durch die Nutzung von Seife so verändern kann, dass die Schutzfunktion des Säureschutzmantels gestört ist.

### 2 Einordnung des Experiments in den Unterrichtszusammenhang

#### 2.1 Fachliche Grundlagen

Die Hände des Menschen sind einer der wichtigsten Übertragungsorte für Krankheitserreger. Etwa 20-mal pro Stunde greift sich der Mensch mit den Händen ins Gesicht. Meistens werden dabei die Schleimhäute des Mundraums, der Nase oder der Augen berührt. Dort können sich die Erreger in einem feucht-warmen Milieu vermehren und Krankheitssymptome auslösen. Der Reinigung der Hände mit dem Ziel der Reduzierung anhaftender Erreger kommt darum eine entscheidende Bedeutung zu. Dass beispielsweise das Händewaschen nach dem Toilettengang Standard ist, wird in Umfragen von nahezu allen Befragten bestätigt. Die Realität sieht jedoch anders aus. Nicht wenige verlassen ohne Händewaschen den Toilettenraum und geben somit Fäkalkeime oder Viren an die Umgebung weiter. Im „Leitfaden Naturwissenschaft, Technik und Werte“ der Siemens Stiftung werden sowohl eine Impulsfrage, als auch eine Dilemmageschichte vorgestellt, die das Händewaschen vertieft beleuchten und somit dazu beitragen, die Werte Gesundheitsbewusstsein und Verantwortungsübernahme anzusprechen.

Mit den beiden Telexperimenten sollen die Schülerinnen und Schüler für die Bedeutung einer intakten Haut sowie die Möglichkeiten ihrer effektiven Reinigung und Pflege sensibilisiert werden. Der Wasser-Fettfilm auf der Oberfläche der Haut hat eine wichtige Funktion. Zusammen mit sauren Substanzen aus Schweiß, Talg und Hornzellen schützt er die Haut vor dem Austrocknen und vor Krankheitserregern. Sie können sich in dieser Umgebung kaum vermehren. Dem natürlichen, schwach sauren pH-Wert der Haut von etwa 5,5 kommt dabei eine besondere Bedeutung zu. pH ist die Abkürzung für potentia hydrogenii und zeigt die Konzentration der Protonen in einer

wässrigen Lösung an. Je mehr Protonen in einer Lösung vorhanden sind, desto geringer ist der pH-Wert. Säuren haben daher einen pH-Wert von 0 – 7 und Basen im Bereich von 7 – 14. Durch falsche Hautpflege kann der pH-Wert in den basischen Bereich verschoben werden. Eine gründliche Reinigung der Haut mit herkömmlicher Seife hebt den pH-Wert für etwa 30 bis 180 Minuten auf ca. pH 9 an. In dieser Zeit ist die natürliche Abwehrfunktion der Haut gestört. Die Anfälligkeit für Austrocknung, Krankheitserreger und Reizstoffe ist erhöht. Erst nach Stunden hat die gesunde Haut durch ihre Fähigkeit zur Selbstregulation den pH-Wert wieder auf sein Anfangsniveau gebracht.

Flüssigkeiten und Substanzen, die sich mit Wasser gut mischen lassen, nennt man hydrophil. Sie sind gleichzeitig lipophob, da sie Fette und Öle abstoßen. Öle und Fette wiederum sind lipophile Flüssigkeiten. In ihnen löst sich Wasser nicht. Sie werden darum hydrophob genannt. Will man Öl, das in Wasser nicht löslich ist, im Wasser fein verteilen, also eine Emulsion herstellen, benötigt man Substanzen, die ein Durchmischen der beiden Flüssigkeiten ermöglichen. Solche Substanzen sind Tenside. Sie werden auch Emulgatoren genannt. Sie können die Spannung an der Grenzfläche zwischen Öl und Wasser so verringern, dass sich die beiden Stoffe vermischen.

Ursache für die Auswirkungen klassischer Seife sind die darin enthaltenen Inhaltsstoffe. Neben Duft-, Farb- und Konservierungsstoffen, Verdickungsmitteln und Wirkstoffzusätzen spielen die Tenside die entscheidende Rolle. Bei ihnen handelt es sich um waschaktive Substanzen, die die Oberflächenspannung des Wassers herabsetzen. Sie verfügen über ein wasserabweisendes (hydrophobes bzw. lipophiles) und ein wasserliebendes (hydrophiles bzw. lipophobes) Moleküle. Schmutzteilchen (v. a. fett- bzw. ölhaltige) werden beim Waschen mit Seife von den Tensiden regelrecht umzingelt.

Sie haften dann nicht mehr an der Haut, sondern können mit dem Wasser abgespült werden (Abbildung 1). Zusätzlich sorgt die Anlagerung von Tensiden vielfach für eine Inaktivierung der Mikroorganismen.

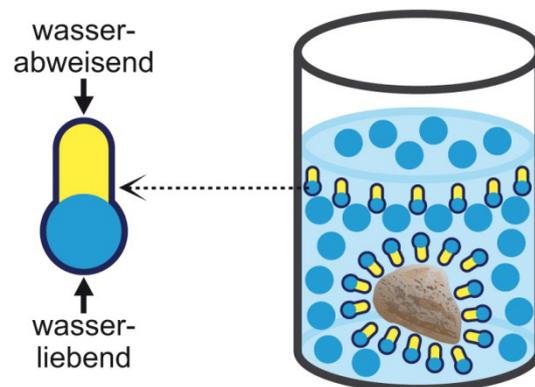


Abb. 1: Tensidmoleküle und ihre Wechselwirkung mit Schmutzteilchen.

## 2.2 Lehrplanrelevanz

Die in den Teilerperimenten gezeigten Phänomene sind für Schülerinnen und Schüler ab der Altersstufe 12 Jahre nachvollziehbar.

Wenn die Funktion hydrophiler/lipophober bzw. hydrophober/lipophiler Moleküle von Tensiden thematisiert werden und der pH-Wert bekannt sein soll, verfügen Schülerinnen und Schüler ab der Altersstufe 15 Jahre über die geeigneteren Grundlagen.

Für die Beschreibung der in den Teilerperimenten beobachtbaren Phänomene sollten die Schülerinnen und Schüler auf Grundlagenkenntnisse des Faches Chemie zurückgreifen können.

**Themen und Begriffe:** Emulgator, Emulsion, Fette und Öle, Händewaschen, hydrophil, hydrophob, Hygiene, Krankheitserreger, lipophil, lipophob, Oberflächenspannung, pH-Wert, Protonenkonzentration, Säureschutzmantel der Haut, Seife, Tensid

## 2.3 Kompetenzen

Die Schülerinnen und Schüler ...

- beobachten sichtbare Veränderungen der Flüssigkeiten im Reagenzglas.
- erklären das Zustandekommen der beobachteten Veränderungen.
- beschreiben auf der Grundlage ihrer Beobachtungen die Funktion von Seife bei der Händereinigung.
- messen mit pH-Messstäbchen den pH-Wert auf der Haut.
- vergleichen pH-Wert-Unterschiede und führen diese auf ihre Ursache zurück.
- beschreiben die Bedeutung des Säureschutzmantels der Haut.
- leiten aus den Beobachtungen mögliche Risiken einer übermäßigen Nutzung von Seife ab.

## 2.4 Das Experiment im Erklärungszusammenhang

### 2.4.1 Telexperiment 1: Was passiert beim Händewaschen?

Hier beobachten die Schülerinnen und Schüler, dass sich ein Öl-Wasser-Gemisch unterschiedlich verhält, je nachdem, ob ihm vor dem Schütteln ein Tensid zugefügt wird oder nicht. In der Öl-Wasser-Mischung entstehen beim Schütteln viele kleine Öltröpfchen, die sich wieder zu großen Tropfen vereinigen. Schließlich werden wieder zwei Schichten im Reagenzglas sichtbar: Die obere Schicht aus Öltröpfchen, die untere aus Wasser. Die untere Schicht erscheint klar und durchsichtig. Nach Hinzufügen des Spülmittels entsteht durch das anschließende Schütteln eine Emulsion. Sie erscheint milchig trüb. Kleinste Öltröpfchen bleiben im Wasser verteilt. Es handelt sich um eine Öl-in-Wasser-Emulsion (wie z. B. in Milch oder Körperlotion). Wasser-in-Öl-Emulsionen liegen beispielsweise bei Hautcremes oder Butter vor.

Die beschriebenen Phänomene sind wichtig, um die Funktion klassischer Seife im Rahmen der Körperpflege zu verstehen. Mikroorganismen (z. B. Bakterien) haften an der Haut. Die Tensidmoleküle der Seife umhüllen die Mikroorganismen, sodass diese anschließend mit Wasser fortgespült werden können.

### 2.4.2 Telexperiment 2: Der pH-Wert der Haut

Telexperiment 2 veranschaulicht die Bedeutung des pH-Werts der Haut. Der Säureschutzmantel der Haut sorgt dafür, dass bakterielle Krankheitserreger oder Hefepilze in seinem sauren Milieu nicht gedeihen können. Die Haut schützt dadurch den Körper vor pathogenen Mikroorganismen. Durch die unterschiedlichen pH-Werte der Haut, je nachdem, ob sie zuvor mit herkömmlicher Seife gereinigt wurde oder nicht, verstehen die Schülerinnen und Schüler die Auswirkungen von (übertriebenen) Hygienemaßnahmen. Sie bewirken genau das Gegenteil dessen, wozu sie vermutlich gedacht waren. Mit Seife wird der pH-Wert der Haut für einige Stunden bis auf einen Wert von etwa 9 angehoben. Die Schutzfunktion der Haut ist somit beeinträchtigt. Die nicht mit Seife gereinigte Haut weist in den meisten Körperregionen einen pH-Wert von etwa 5,5 auf. Hautschäden können durch (übertriebene) Anwendung von Seife entstehen, also durch die Anhebung des pH-Wertes. Dadurch kann die Haut durch Wasser in Kombination mit alkalischen Tensiden aufquellen. Darüber hinaus führen alkalische Tenside wie herkömmliche Seife zur Schädigung des Säureschutzmantels.

## 2.5 Durchführungsvarianten

Für die Durchführung beider Experimente eignet sich sowohl die Einzel- als auch die Zweierarbeit. Die Ergebnisse können in Anschluss an die zwei Teilerperimente in Kleingruppen analysiert oder auch im Plenum besprochen werden.

Zum Weiterforschen: Sofern eine Vertiefung von Inhalten zum Themengebiet Emulsionen, Lösungen, Cremes u. a. gewünscht ist, kann interessierten Gruppen die Herstellung einfacher Kosmetika angeboten werden.

## 3 Ergänzende Informationen zum Experiment

Zur Vorbereitung bzw. zur Vertiefung dieses Experiments finden Sie ergänzende Medien auf dem Medienportal der Siemens Stiftung: <https://medienportal.siemens-stiftung.org>

## 4 Hinweise zur Durchführung der Teilerperimente

### 4.1 Räumlichkeiten

Es sind keine besonderen Räumlichkeiten notwendig.

### 4.2 Zeitbedarf

	Durchführung und Auswertung
Teilerperiment 1	etwa 20 min
Teilerperiment 2	etwa 15 min

### 4.3 Sicherheitsaspekte

Die Versuche dürfen nur bei Anwesenheit und unter Aufsicht der Lehrkraft durchgeführt werden. Die Schülerinnen und Schüler sind darauf hinzuweisen, dass die bereitgestellten Materialien nur entsprechend den jeweiligen Anweisungen eingesetzt werden dürfen.

Bei diesen Experimenten achten Sie bitte auf folgende mögliche Gefahren und machen Sie auch Ihre Schülerinnen und Schüler darauf aufmerksam:

- Alle mitgelieferten Lebensmittel sind nicht zum Verzehr geeignet.
- Stellen Sie sicher, dass keine Schäden an wasserempfindlichen Materialien und Geräten entstehen können.

### 4.4 Benötigte Materialien

Für **eine** Schülergruppe werden folgende Materialien benötigt:

Material	Anzahl
Kernseife	1 für die ganze Klasse
Pflanzenclip (als Reagenzglasständer)	1
pH-Messstäbchen, Packung	1 für die ganze Klasse
Reagenzglas aus Glas	1
Reagenzglasstopfen	1
Speiseöl („Pflanzenöl“), Fläschchen	1 für die ganze Klasse
Spülmittel, Fläschchen	1 für die ganze Klasse
Wasser, am besten destilliertes Wasser; Leitungswasser ist notfalls geeignet, wenn sein pH-Wert ziemlich genau bei 7,0 liegt.	nach Bedarf



Abb. 2: Geräte bzw. Materialien für eine Schülergruppe, beispielhafte Abbildung

#### 4.5 Aufräumen, Entsorgen, Recyceln

Fast alle verwendeten Geräte und Materialien sind wiederverwendbar. Daher sollten sie nach Beendigung des jeweiligen Experiments ordentlich aufgeräumt werden. So stellen Sie sicher, dass Sie bzw. Ihre Kolleginnen und Kollegen beim nächsten Einsatz alles schnell wiederfinden.

Geräte, die beim Experimentieren verschmutzt wurden, wie z. B. Becher, Schalen, Löffel, Reagenzgläser, sollten vor dem Zurücklegen erst gereinigt werden. Sinnvollerweise lässt man dies die Schülerinnen und Schüler gleich nach Beendigung des Experiments erledigen.

Stellen Sie zudem sicher, dass die Geräte wieder für den nächsten Einsatz betriebsbereit sind.

Beispielsweise sind benutzte Akkus gleich aufzuladen (Auch bei längerer Nichtbenutzung ist das Aufladen der Akkus sinnvoll.).

Materialien, die nicht wiederverwendbar sind, wie z. B. gebrauchte pH-Messstäbchen oder Filterpapier, sollten fachgerecht entsorgt werden.

Die Entsorgung der in diesem Experiment anfallenden Abfälle kann über den normalen Hausmüll bzw. den Ausguss erfolgen.



## C6 Haut und Hygiene – Warum waschen wir uns die Hände?

### 1 Was passiert beim Händewaschen?

#### 1.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Reagenzglas aus Glas	1
Reagenzglasstopfen	1
Speiseöl („Pflanzenöl“), Fläschchen	1
Spülmittel, Fläschchen	1
Wasser	nach Bedarf

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

#### 1.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht.

Bei diesem Experiment achte bitte auf folgende mögliche Gefahren:

- Das Pflanzenöl ist nicht zum Verzehr geeignet.
- Spülmittel nicht ins Auge bringen. Falls es doch passiert, gleich mit viel klarem Wasser ausspülen!
- Am Arbeitsplatz dürfen keine wasserempfindlichen Materialien vorhanden sein.

#### 1.3 Versuchsdurchführung

- Fülle einige Tropfen Öl in das Reagenzglas.
- Gib anschließend so viel Wasser hinzu, dass das Reagenzglas etwa drei Zentimeter gefüllt ist.
- Verschließe das Reagenzglas mit dem Stopfen und schüttele kurz.
- Beobachte den Inhalt des Reagenzglases in den folgenden zwei Minuten.
- Gib anschließend ein bis zwei Tropfen des Spülmittels hinzu.
- Verschließe das Reagenzglas wieder mit dem Stopfen.
- Schüttele während 15 Sekunden ca. 4 – 5 Mal. Danach mache ca. 1 Minute Pause, damit der entstehende Schaum sich ein wenig zurückbildet.
- Beobachte während der Pause den Inhalt des Reagenzglases!
- Dann schüttele wieder während ca. 15 Sekunden das Reagenzglas 4 – 5 Mal und mache dann wieder 1 Minute Pause und beobachte den Inhalt des Reagenzglases erneut.
- Wiederhole dieses Vorgehen noch drei weitere Male.

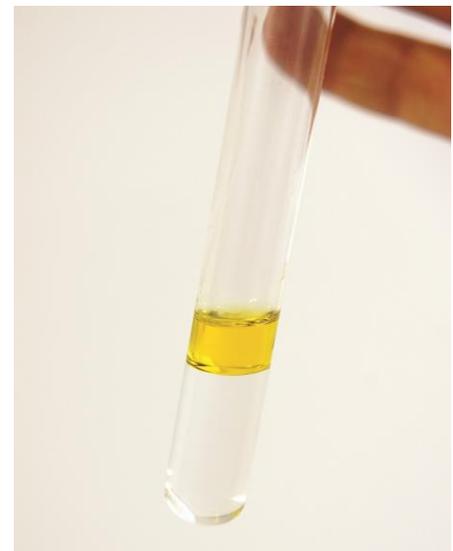


Abb. 1: Wasser mit Öl vor dem Schütteln.

## 1.4 Beobachtung

- Skizziere deine Beobachtungen nach jedem „Schütteldurchgang“ auf einem Blatt Papier. Berücksichtige dabei besonders die Darstellung der entstehenden Schicht(en) im Reagenzglas.
- Beschreibe das Aussehen der Flüssigkeiten jeweils vor und nach dem Schütteln.

## 1.5 Auswertung

- a) Beschreibe, wie viele Schichten du nach dem ersten Durchgang beobachten konntest bzw. nach dem zweiten Durchgang.
- b) Erkläre, woraus die jeweilige(n) Schicht(en), die du beobachten kannst, besteht/bestehen.
- c) Beschreibe, welche Veränderungen die Öl-Teilchen erfahren, nachdem sie zum zweiten Mal geschüttelt wurden.
- d) Erkläre die Veränderungen des Aussehens der Schicht(en) vom ersten zum zweiten Durchgang.
- e) Beschreibe ausgehend von deinen Beobachtungen bei diesem Versuch die Aufgabe der Seife beim Händewaschen.

## 1.6 Fragen

- a) Wodurch unterscheidet sich eine Lösung von einer Emulsion?
- b) Was ist der Unterschied zwischen einer Wasser-in-Öl-Emulsion und einer Öl-in-Wasser-Emulsion? Gib jeweils zwei Beispiele an.
- c) Warum reicht das Händewaschen mit Wasser z. B. nach dem Gang zur Toilette nicht aus, um die Haut an den Händen von Bakterien zu befreien?

## 2 Der pH-Wert der Haut

### 2.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Kernseife	1
pH-Messstäbchen pro Schüler	1
Wasser, wenn möglich destilliertes Wasser. Brauchbares Leitungswasser sollte nahezu den pH-Wert 7 haben.	nach Bedarf

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

### 2.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht.

Bei diesem Experiment achte bitte auf folgende mögliche Gefahren:

- Seife nicht ins Auge bringen. Falls es doch passiert, gleich mit viel klarem Wasser ausspülen!
- Am Arbeitsplatz dürfen keine wasserempfindlichen Materialien vorhanden sein.

### 2.3 Versuchsdurchführung

Gemessen wird der pH-Wert in der Ellenbeuge:

- Je ein Mitglied jeder Gruppe wäscht davor die Ellenbeuge gründlich mit Wasser und Seife. Die anderen messen in der ungewaschenen Ellenbeuge. (Falls keine vernünftige Waschmöglichkeit besteht, kann es sein, dass die Lehrkraft euch sagt, dass alle die ungewaschene Ellenbeuge messen).
- Tauche ein pH-Messstäbchen kurz in destilliertes Wasser und streife es am Gefäßrand ab.
- Halte das Messstäbchen direkt im Anschluss in deine Ellenbeuge und winkle den Arm an.
- Halte das Messstäbchen für 15 bis 20 Sekunden in dieser Position fest.

### 2.4 Beobachtung

Lies den pH-Wert durch Vergleich deines Stäbchens mit der Messskala der Messstäbchen-Verpackung ab. Warte mit dem Ablesen nicht zu lange, damit sich der pH-Wert an der Luft nicht verändert.

### 2.5 Auswertung

- a) Notiere und vergleiche die pH-Wert-Ergebnisse der gewaschenen und der ungewaschenen Ellenbeugen. Beschreibe die Unterschiede.
- b) Beschreibe und erkläre anhand der pH-Messwerte die Auswirkungen der Benutzung von Seife bei der Hautreinigung.

## 2.6 Fragen

- a) Erläutere, worüber der pH-Wert Auskunft gibt.
- b) Erkläre, warum der pH-Wert in der Ellenbeuge in der Regel vom pH-Wert 7 abweicht.
- c) Erläutere den Aufbau und die Funktion des „Säureschutzmantels der Haut“.
- d) Begründe, warum Seife der Haut schaden kann.
- e) Erkläre, warum Händewaschen mit Tensiden die Anzahl der Mikroben deutlich vermindert.
- f) Erläutere, warum manche Mikroben von Tensiden in der Vermehrung gebremst oder sogar vernichtet werden.