

FCI
FONDS DER
CHEMISCHEN
INDUSTRIE



Themengebiet: Schule, Ausbildung, Bildung

Unterrichtsmaterial für
5. und 6. Klassen aller Schulformen

**Stoffe erforschen,
Naturwissenschaften entdecken**

VOM IMPULSEXPERIMENT ZUM FORSCHERAUFTRAG – EINE ANLEITUNG	4
Spannende Stoffe erforschen	4
Einstieg über Impulsexperimente mit Wow-Effekt	5
Ergänzungsexperiment und Forscherauftrag	6
Sicheres Experimentieren im Unterricht	6
Naturwissenschaften sprachsensibel unterrichten	7
BRÜCKEN BAUEN MIT FÄCHERÜBERGREIFENDEN BASISKONZEPTEN	8
BAUSTEIN 1: KUNSTSTOFFFOLIEN – UNGEWÖHNLICHE UND NÜTZLICHE EIGENSCHAFTEN	10
Impulsexperiment: Zappelfisch	12
Hypothesen bilden	12
Ein Experiment planen	13
Methodenkompetenz trainieren	13
Ergänzungsexperiment: Mit Biofolie stark verpackt	15
Nach Anleitung experimentieren	16
Forscherauftrag: An die Kekse, fertig, los!	17
Eine Testreihe starten	18
Eine Testreihe auswerten	19
BAUSTEIN 2: SCHAUMSCHLÄGEREI – STRUKTUR UND FUNKTION VON SCHÄUMEN	20
Impulsexperiment: Schaumschlägerei	22
Zielorientiert experimentieren	23
Materialorientiert experimentieren	23
Ergänzungsexperiment: Mit Badeschaum mollig warm?	25
Eine Messreihe durchführen und dokumentieren	26
Messfehler diskutieren	27
Forscherauftrag: Hartes Wasser oder weicher Schaum?	28
Ein Phänomen mittels Anleitung kennenlernen	28
Durch Wissenstransfer eine Analysemethode entwickeln	29

BAUSTEIN 3: WASSERPERLEN – ALGINATE IN DER MOLEKULARKÜCHE 30

Impulsexperiment: Wasserperlen	32
Genau beobachten und beschreiben	32
Zwischen Beobachtung und Erklärung unterscheiden	33
Ergänzungsexperiment: Mit Puddingpulver hell erleuchtet	34
Wichtige Labortechniken erlernen	35
Forscherauftrag: Süß und salzig	36
Mit vorgegebener Methode ein Produkt entwickeln und optimieren	37

BAUSTEIN 4: TINTENZAUBER – ROHSTOFFE UND REAKTIONEN VON FARBEN 38

Impulsexperiment: Tintenzauber	40
Eine eigene Forscherfrage entwickeln und mit einem Experiment beantworten	40
Ergänzungsexperiment: Tinte aus Tee	42
Eine historisch bedeutende Farbreaktion erkunden	43
Eine bekannte Reaktion mit neuem Ausgangsmaterial durchführen	43
Forscherauftrag: Geheimdienst Chemie	44
Wissen über chemische Reaktionen anwenden	45

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wurde im folgenden Text die männliche Sprachform gewählt. Sämtliche Personen- und Berufsbezeichnungen gelten gleichermaßen für beide Geschlechter.

Vom Impulsexperiment zum Forscherauftrag – eine Anleitung

Ziel des vorliegenden Unterrichtsmaterials ist es, über selbstständiges Experimentieren das Interesse von Schülern der Klassen 5 und 6 für Stoffe in ihrem Alltag zu wecken und sie für die Naturwissenschaften zu begeistern. Dazu wurden ungewöhnliche Experimente mit Alltagsbezug für diese Altersgruppe zusammengestellt. Ein kompetenzorientierter Zugang über die Erkundung naturwissenschaftlicher Phänomene eignet sich für alle Schulformen und legt die Grundlagen für den späteren Fachunterricht in Biologie, Chemie und Physik. Das Unterrichtsmaterial ist interdisziplinär angelegt und eignet sich für den in vielen Bundesländern üblichen Unterricht der Naturwissenschaften in den Klassen 5 und 6. Eine Übersicht exemplarischer Verknüpfungen mit Inhalten der Rahmenpläne findet sich am Anfang jedes Kapitels.

- Die meisten der dargestellten Experimente können in einem Klassenraum ohne fachraumspezifische Einrichtung durchgeführt werden. Die Ausstattung dazu wurde bewusst einfach gehalten.
- Lehrkräfte benötigen minimale Vorbereitungszeiten.
- Es werden fast ausschließlich Haushaltschemikalien verwendet, die kostengünstig und leicht erhältlich sind. Das relativ geringe Gefahrenpotenzial erlaubt es, die Schülerexperimente mit der gesamten Klasse durchzuführen.
- Die meisten Experimente können in einer Schuldoppelstunde durchgeführt werden. Sie sind vielfach erprobt und gelingen in der Regel problemlos.

Spannende Stoffe erforschen

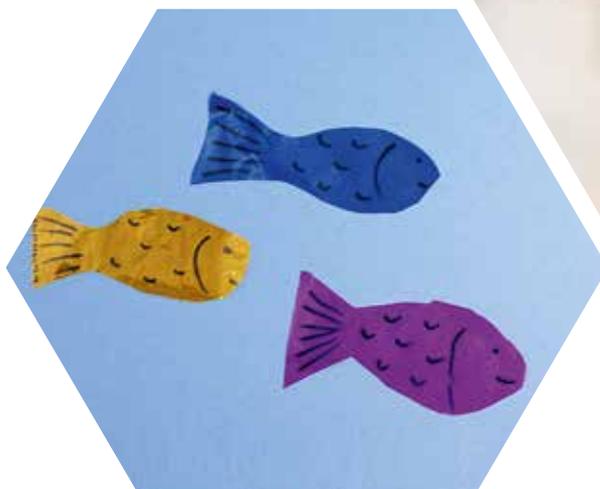
Die vorliegenden Materialien umfassen vier Bausteine mit jeweils drei Experimenten, die die Eigenschaften jeweils eines Stoffes aus unterschiedlichen Blickwinkeln beleuchten.

Im 1. Baustein **Kunststofffolien** befassen sich die Schüler mit den ungewöhnlichen und nützlichen Eigenschaften von **Kunststofffolien**. Sie experimentieren mit einem Folienfisch, der sich scheinbar von alleine bewegt (Zappelfisch) und stellen selbst eine Folie aus Stärke her.

Im 2. Baustein **Schaumschlägerei** erkunden die Schüler, wie **Schaum** aus Seife entsteht und welche dämmende und reinigende Wirkung dieser haben kann.

Im 3. Baustein **Wasserperlen** führen die Schüler faszinierende Experimente mit **Alginaten** durch. Sie extrahieren fluoreszierende Stoffe und schließen diese in die zunächst unsichtbaren Wasserkugeln ein. Abschließend kreieren sie einen leckeren und gesunden Cocktail.

Im 4. Baustein **Tintenzauber** stellen die Schüler eine **Tinte** nach einem historischen Rezept her und erfahren, dass es sich keinesfalls um Zauberei handelt, sondern um – zum Teil reversible – chemische Reaktionen, wenn Tinten ihre Farbe verlieren und wiedergewinnen.



HINWEIS

Ein Tagebuch der Stoffe führen

Um deutlich zu machen, dass alles, was uns umgibt, aus Stoffen besteht, und um inhaltliche Zusammenhänge zu schaffen, die über eine isolierte Behandlung des Themas hinausgeht, wird hier vorgeschlagen, die Schüler ein Forschertagebuch der Stoffe führen zu lassen.

Die Schüler erhalten dazu die Kopiervorlage 1 (KV 1 – Stofftagebuch), mit deren Hilfe sie beispielsweise ein DIN-A5-Heft anlegen, das kontinuierlich mit Informationen zu Stoffen gefüllt wird. Dies können Substanzen sein, mit denen sie experimentieren (siehe Hinweise in Tabellen zu Beginn jedes Bausteins) oder solche, die sie aus ihrem Alltag kennen. Die vorgegebenen Kategorien können geändert oder ergänzt werden. „Interessante Begriffe“ erlaubt Sprachförderung im Unterricht der Naturwissenschaften; Einträge unter „Was mich zu diesem Stoff interessiert“ ermöglichen es, spannende Zusatzaufgaben beispielsweise für leistungsstarke Schüler zu identifizieren. Als Vorbereitung sollte die Kennzeichnung von Gefahrstoffen nach GHS mit den Schülern besprochen werden. Hierzu finden sich Materialien in allen gängigen Schulbüchern und im Internet.

In den Bausteinen 2 und 4 experimentieren die Schüler mit Stoffen, die mit Gefahrenpiktogrammen gekennzeichnet sind: Handpflanzmittel und Eisensulfat. Spätestens vor dem Einsatz dieser Stoffe sollte die Bedeutung der Piktogramme thematisiert werden. Außerdem werden die Schüler zu Hause auf zahlreiche gekennzeichnete Produkte stoßen, die sie in ihrem Tagebuch der Stoffe eintragen können. Auch dann ist es wichtig, dass sie die Bedeutung der Piktogramme kennen.

Einstieg über Impulsexperimente mit Wow-Effekt

Herzstück jedes Bausteins ist das Impulsexperiment, das überraschende Effekte liefert und damit Interesse weckt, naturwissenschaftlichen Phänomenen auf den Grund zu gehen. Mit Arbeitsblättern, die beispielsweise Hypothesenbildung, Versuchsplanung und -protokollierung erleichtern, werden die Schüler kompetenzorientiert an naturwissenschaftliches Arbeiten herangeführt. Sie üben dabei, Anleitungen genau zu befolgen und offene Aufgaben zu bearbeiten. Teilweise werden Methoden wie die Darstellung von Messwerten in einer Tabelle vorgegeben; teilweise entscheiden die Schüler selbst, wie sie einzelne Aufgaben bearbeiten.



Impuls- experiment	→	Mit überraschenden Effekten Interesse wecken, naturwissenschaftlichen Phänomenen auf den Grund gehen.
Ergänzungs- experiment	→	Nach Anleitung Wissen erwerben und Kompetenzen vertiefen.
Forscher- auftrag	→	Mit offenen Aufgaben zum problemorientierten und forschenden Lernen hinführen.

Ergänzungsexperiment und Forscherauftrag

Zu jedem Impulsexperiment werden zwei weitere Experimentiereinheiten vorgeschlagen. Im Rahmen eines Ergänzungsexperiments arbeiten die Schüler weitgehend angeleitet; ein Forscherauftrag führt zum problemorientierten und forschenden Lernen hin. Alle Experimente sollten in Teams von zwei bis vier Schülern bearbeitet werden.

Die Bausteine bauen teilweise methodisch aufeinander auf. Es wird deshalb empfohlen, sie in der vorgeschlagenen Reihenfolge zu bearbeiten. Je nach der zur Verfügung stehenden Zeit können die Impulsexperimente mit den ergänzenden Experimenten oder ohne sie behandelt werden.

Sicheres Experimentieren im Unterricht

Alle im Folgenden beschriebenen Experimente können in einem Klassenraum durchgeführt werden. Ein Wasseranschluss im Raum ist von Vorteil. Lediglich bei drei Experimenten der Bausteine 2 und 4 ist eine Schutzausrüstung mit Brillen und Handschuhen notwendig. Entsprechende Hinweise finden sich bei der Beschreibung der Experimente.



Bevor die Schüler mit dem selbstständigen Experimentieren beginnen, müssen sie über Regeln zum sicheren Experimentieren eingewiesen werden. Quellen hierfür finden sich in allen modernen Lehrbüchern für den Unterricht der Naturwissenschaften. Die Schüler können die allgemeinen Experimentierregeln als Poster für den Klassenraum gestalten, das zum Beispiel folgenden Text umfasst:

- Keine Chemikalien in den Mund nehmen
- Beim Arbeiten mit Gefahrstoffen Schutzbrillen und Handschuhe tragen
- Genau zuhören
- Langsam gehen und nicht toben
- Gut im Team zusammenarbeiten
- Sorgfältig arbeiten und am Schluss aufräumen

Bei einzelnen Experimenten sollen die Ergebnisse verkostet werden. In diesem Fall ist im Klassenraum zu arbeiten, und es sind Alltagsgerätschaften zu verwenden, die noch keinen Einsatz im naturwissenschaftlichen Fachraum hatten.

Geben Sie den Kindern klar zu verstehen, wann das Verkosten beginnt, während der Phase des Experimentierens darf nichts gegessen werden. Auch muss auf hygienisch sauberes Arbeiten geachtet werden.

Für alle zwölf Experimente dieses Unterrichtsmaterials wurde eine **Gefährdungsbeurteilung**¹ durchgeführt und die Möglichkeit einer Substitution bei allen Experimenten mit Gefahrstoffen geprüft. Die identifizierten Gefahren und notwendigen Schutzmaßnahmen werden in diesem Material aufgeführt und sind mit diesem Symbol gekennzeichnet:



Bei den Gefährdungsbeurteilungen handelt es sich um Vorschläge der Autoren für den Unterricht in 5. und 6. Klassen. Diesen ist weder die Lerngruppe bekannt, noch haben sie Einsicht in die räumlichen Gegebenheiten der Schule. Die fachkundige Lehrkraft sollte daher die Gefährdungen im Einzelfall eigenverantwortlich prüfen und an die tatsächlichen Gegebenheiten anpassen.

¹Die Gefährdungsbeurteilungen können auf www.vci.de/fonds/nawi heruntergeladen werden.



Naturwissenschaften sprachsensibel unterrichten

Sprachsensibler Unterricht in den Naturwissenschaften bietet große Chancen, durch Schülerexperimente und damit verbundene Aufgaben gerade die Schüler zum Sprachlernen zu motivieren, die über andere Themen nicht oder nur viel schwerer erreicht werden. Zum anderen können sprachliche Hilfestellungen gewährleisten, dass Schüler mit geringer Sprachkompetenz nicht davon ausgeschlossen werden, sich mit spannenden Themen aus den Naturwissenschaften zu beschäftigen.

Die Arbeitsblätter dieses Unterrichtsmaterials wurden deshalb so gestaltet, dass sie sprachsensiblen Fachunterricht ermöglichen.

Bei den Arbeitsblättern kommen dazu unterschiedliche Methoden zum Einsatz. Diese reichen vom Lückentext über die Aufforderung, Laborgeräte und Versuchsanleitungen zu zeichnen, bis hin zu bebilderten Anleitungen, zu denen Texte verfasst werden sollen. Hierfür muss vor dem eigentlichen Experimentieren Zeit investiert werden. Idealerweise geschieht dies auch im Deutschunterricht. Und genau wie die Schüler beim Experimentieren im Team arbeiten sollen, soll dies auch bei den Aufgaben zur Sprachförderung geschehen, damit in diesem Bereich leistungsschwache Schüler von leistungsstarken profitieren.

Bei einigen Arbeitsblättern wurde bewusst darauf verzichtet, alle Arbeitsschritte nach dem sogenannten Forschungskreislauf (Forscherfrage, Vermutung, Material, Versuchsbeschreibung, Beobachtung, Erklärung) durch die Schüler dokumentieren zu lassen; stattdessen wurden die für das jeweilige Experiment wichtigsten Schritte für die Verschriftlichung ausgesucht. Außerdem steht eine Kopiervorlage für ein Protokoll (**Kopiervorlage 4**) zur Verfügung, das für jedes beliebige Experiment genutzt werden kann. Mit der **Kopiervorlage 5** (Protokoll-Checker) können Sie Ihren Schülern effiziente Rückmeldung zu deren Protokollen geben, indem Sie das Kodierungsmanual nutzen.

Der Forschungskreislauf

Indem die Schüler zu einem beobachteten Phänomen eine eigene Frage stellen und diese dann durch ein Experiment beantworten, arbeiten sie nach dem sogenannten Forschungskreislauf:



- Nach einer Beobachtung formulieren die Schüler dazu selbstständig eine Frage, die sie mit einem Experiment beantworten möchten.
- Sie vermuten, wie die Antwort lautet (Hypothese).
- Sie planen und führen das Experiment durch.
- Sie beobachten den Verlauf und das Ergebnis des Experiments.
- Sie werten die Ergebnisse aus.
- Sie präsentieren die Ergebnisse im Plenum.
- Daraus ergeben sich eventuell neue Fragen: Der Kreislauf schließt sich und beginnt erneut.

Brücken bauen mit fächerübergreifenden Basiskonzepten

Die Naturwissenschaften haben in jüngster Vergangenheit zunehmend Einzug in die Grundschulen gehalten; der Anteil an Themen aus Biologie, Chemie und Physik ist in den Lehrplänen des Sachunterrichts in Deutschland in den letzten Jahren deutlich gestiegen.²

Fächerübergreifender Unterricht der Naturwissenschaften in den Klassen 5 und 6 bietet die Chance, an die Erfahrungen der Grundschüler mit naturwissenschaftlichen Themen anzuknüpfen und den Fachunterricht in Biologie, Chemie und Physik vorzubereiten – in einer Entwicklungsphase der Schüler, in der diese sich immer noch mit großer Neugier und Begeisterung auf Themen aus den Naturwissenschaften einlassen.

Im Rahmen des vorliegenden Unterrichtsmaterials wird empfohlen, zur Vermittlung von Fachwissen fächerübergreifende Basiskonzepte einzusetzen, die für die Grundschule ausgesucht wurden³, aber auch für den naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht eingesetzt werden können.⁴ Es handelt sich um drei einfache Konzepte, die Schüler – mit etwas Übung – direkt dazu verwenden können, beobachtete Phänomene zu analysieren und dann altersgerechte Erklärungen zu finden. Die drei Basiskonzepte lauten:

2. Basiskonzept:

Mit Energie kann man etwas tun.

Konzept der Energie

1. Basiskonzept:

Auf der Welt geht nichts verloren.

Konzept der Erhaltung

²Gesellschaft Deutscher Chemiker e.V. (GDCh); *Bildung in Chemie stärken – Tutzingener Offensive der GDCh für die Jahrgangsstufen 5 & 6*, 2017

³R. Demuth, K. Rieck; *Schülervorstellungen aufgreifen – grundlegende Ideen entwickeln*; SINUS-Transfer Grundschule, 2005

⁴R. Demuth, K. Rieck; *Grundlegende Konzepte für den naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht*; *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule* 54 (4), S. 22-29, 2005

Schüler, die diese Basiskonzepte verinnerlicht haben, wissen beispielsweise, dass das Wachs einer brennenden Kerze nicht „verschwindet“, dass ein Windrad Energie braucht, um sich zu drehen, und dass Pflanzen nicht zufällig nach oben wachsen. Wer dies versteht, wird angeregt, den Verbleib des Kerzenwachses zu erkunden. Er kann erste Vorstellungen entwickeln, warum Wind genau wie Benzin oder Erdgas ein Energieträger ist. Und er kann mit einem Experiment testen, welches „Ding“ dafür verantwortlich ist, dass Pflanzen in die Höhe wachsen.

Auf diesem Weg erwerben Schüler nicht nur Fachwissen, sondern entwickeln auch fachspezifische Kompetenzen. So entsteht das Fundament für eine solide naturwissenschaftliche Grundbildung (Scientific Literacy), die Schritt für Schritt weiter ausgebaut werden kann.



BASISKONZEPTE

Mit Basiskonzepten Zusammenhänge schaffen

Im vorliegenden Material finden sich zu jedem Experiment Hinweise, wie drei einfache interdisziplinäre Basiskonzepte konkret zur Diskussion und Erklärung der dargestellten Themen herangezogen werden können. Um deren Einführung zu erleichtern, erhalten die Schüler die **Kopiervorlagen 2 und 3** (Die Spielregeln der Naturwissenschaften). Kopiervorlage 2 dient dazu, die Basiskonzepte kennenzulernen. Idealerweise sollte sie im Lauf der Bearbeitung des ersten Bausteins zum Einsatz kommen. So gewöhnen sich die Schüler frühzeitig daran, die Basiskonzepte zur Erklärung der durchgeführten Experimente heranzuziehen.

Auf **Kopiervorlage 3** protokollieren die Schüler fortlaufend Beispiele für die einzelnen Konzepte, die sich aus den durchgeführten Experimenten speisen. Bearbeiten sie mehrere Bausteine, entsteht zu jedem Konzept eine Sammlung von Phänomenen. Vor allem im Überblick bieten solche Aufzeichnungen die Chance auf ein fundiertes Verständnis und damit eine nachhaltige naturwissenschaftliche Bildung. Im besten Fall finden die Basiskonzepte Eingang in alltägliches Denken und Handeln.

Beide Kopiervorlagen können auch für andere naturwissenschaftliche Projekte genutzt bzw. im weiteren Verlauf des Unterrichts der Naturwissenschaften ergänzt werden. Empfehlenswert ist außerdem, ein von den Schülern gestaltetes Plakat mit den Basiskonzepten im Klassenraum aufzuhängen, auf dem Beispiele kontinuierlich ergänzt werden.

3. Basiskonzept:

Dinge beeinflussen sich gegenseitig.

Konzept der Wechselwirkung



Kunststofffolien – ungewöhnliche und nützliche Eigenschaften

Den Impuls für den Einstieg in den ersten Baustein zum Thema Kunststofffolien gibt eine naturwissenschaftliche Kuriosität: Ein Folienfisch liegt flach auf der Hand, rollt sich zusammen, streckt die Schwanzflosse in die Höhe oder springt gar von der Handfläche herunter. Seine Bewegungen sind so unerwartet wie unvorhersehbar. Dies macht den „Zappelfisch“ zu einem spannenden Forschungsobjekt für den Einstieg in die Hypothesenbildung.

Die Schüler entwickeln eigene Theorien für das Verhalten des Fisches, diskutieren sie mit ihren Klassenkameraden und versuchen, sie mit einfachen, selbst geplanten Experimenten zu belegen oder zu widerlegen.

Im Ergänzungsexperiment stellen die Schüler nach Anleitung selbst eine Kunststofffolie her. Auf Grundlage ihrer Erfahrungen aus den ersten beiden Experimenten bearbeiten sie abschließend einen Forscherauftrag, bei dem sie nach der optimalen Verpackung für frische Kekse suchen.

IMPULSEXPERIMENT

Kurzbeschreibung	Fachspezifische Kompetenzen	Anbindung an die Rahmenpläne	Stoffe
<p>Zappelfisch</p> <p>Die Schüler schneiden aus Zellophanfolie einen Fisch aus. Wenn sie diesen auf die flache Hand legen, fängt der Fisch an, sich zu bewegen. Durch einen Concept Cartoon werden sie angeregt, zu erforschen, warum das passiert.</p> <p>Zeitbedarf: 2 Termine (je 90 min)</p>	<p>Hypothesen bilden</p> <p>Einfaches Experiment planen und durchführen</p> <p>Protokoll verfassen</p>	<p>Versuchsprotokoll</p> <p>Kennzeichen des Lebendigen</p> <p>Eigenschaften der Haut</p> <p>Entstehung von Bewegung</p> <p>Gelenke und Muskeln</p> <p>Eigenschaften von Stoffen</p>	<p>Zellophanfolie</p>



Bezugsquellen für Folienfische z.B.:
<https://www.hagemann.de/chemie/hagemann-wunderfisch>
<http://www.wissenswertes.biz/wunderfisch.html>

ERGÄNZUNGSEXPERIMENT

Kurzbeschreibung	Fachspezifische Kompetenzen	Anbindung an die Rahmenpläne	Stoffe
<p>Mit Biofolie stark verpackt</p> <p>Die Schüler stellen eine durchsichtige Folie aus Stärke her und testen dabei den Einfluss des Weichmachers Glycerin. Die Folie kann nach Belieben gefärbt werden und eignet sich auch für Fensterbildercollagen (Kunstunterricht).</p> <p>Zeitbedarf: 2 Termine (je 90 min)</p>	Anleitung erfassen und bearbeiten	<p>Sicheres Experimentieren</p> <p>Müll trennen</p> <p>Materialien sortieren</p> <p>Eigenschaften und Umwandlung von Stoffen</p> <p>Mikroskopieren</p>	<p>Kartoffelstärke</p> <p>Glycerin</p> <p>Lebensmittelfarbe</p>

FORSCHERAUFTRAG

Kurzbeschreibung	Fachspezifische Kompetenzen	Anbindung an die Rahmenpläne	Stoffe
<p>An die Kekse, fertig, los!</p> <p>Die Schüler backen oder kaufen Kekse und testen, in welcher Verpackung diese möglichst lange frisch bleiben. Sie untersuchen dabei auch die Folie aus dem Impuls-experiment oder ihre selbst hergestellte Folie.</p> <p>Zeitbedarf: 2 Termine (je 90 min)</p>	<p>Variablen definieren</p> <p>Vergleichende Untersuchung planen und durchführen</p>	<p>Vergleichen und ordnen</p> <p>Vernetzen von Sachverhalten</p> <p>Messwerte darstellen</p> <p>Eigenschaften von Stoffen</p> <p>Stoffgruppen unterscheiden</p>	<p>Backzutaten (Mehl, Zucker, Backpulver, Schokolade)</p> <p>Verpackungen (Alu- oder Frischhaltefolie, Butterbrotpapier)</p>



Impulsexperiment Zappelfisch

Arbeitsblätter	Materialien	
1, 2 und 3	pro Schüler 1 Schere 1 Stück Zellophan-Folie* (10 cm x10 cm) <i>*Farbige Zellophan-Folie kann im Internet bestellt werden, Suchwort „Zellglas bunt“ oder „Zellophan Blätter bunt“</i>	pro Klasse 2 – 3 Haushaltsschwämme Zellophanfolie in unterschiedlichen Farben, andere durchsichtige Folien (z.B. Dokumentenhüllen) <i>Tipp: Im Handel sind kleine Beutel aus reinem Zellophan oder Einmachfolie erhältlich.</i>

Erster Unterrichtstermin

Die Schüler beginnen – ohne Einführung oder vorbereitende Erklärungen – direkt mit dem Impulsexperiment. Dazu erhält jeder Schüler ein Stück Zellophanfolie; zu dieser Zeit sollte nur eine Farbe verwendet werden. Die Schüler erhalten Scheren und den Auftrag:

- Schneidet einen Fisch aus der Folie.
- Legt den Fisch auf die flache Hand und beobachtet, was passiert.

Der Fisch beginnt, sich langsam zu bewegen; je nach Schneiderichtung der Folie rollt sich diese längs oder quer. Manchmal „springt“ der Fisch von der Hand.

Nach einer Phase des Ausprobierens werden die Beobachtungen im Plenum gesammelt, schriftlich festgehalten und diskutiert. Dabei sollte auf genaue Formulierungen geachtet werden. Erfahrungsgemäß ergibt sich dabei sehr schnell die Frage: Warum bewegt sich der Fisch?



Hypothesen bilden

Die Schüler erhalten das Arbeitsblatt mit einem Concept Cartoon (**Arbeitsblatt 1**), das zur Hypothesenbildung auffordert. Die Ergebnisse werden im Plenum gesammelt und diskutiert.

Danach werden Gruppen aus zwei bis vier Schülern gebildet, die je eine Hypothese gemeinsam bearbeiten. Dieser Prozess sollte so gesteuert werden, dass jede Gruppe eine Fragestellung wählt, die sich unter den gegebenen Bedingungen einfach untersuchen lässt. Die genaue Versuchsplanung obliegt den Schülern. Jetzt sollten Folien unterschiedlicher Farben zur Verfügung stehen, damit der Einfluss der Farbe untersucht werden kann.

Erfahrungsgemäß könnten die Schüler vermuten, dass der Fisch sich bewegt...

- ... wegen der Sonne.
- ... weil er durchsichtig ist.
- ... mit der Energie aus meinem Körper.
- ... wegen der Luft.

Die Schüler könnten diese Hypothesen untersuchen, indem sie

- das Verhalten des Fisches in einem künstlich beleuchteten oder dunklen Raum testen,
- dafür sorgen, dass der Fisch undurchsichtig ist,
- den Fisch auf anderen Oberflächen beobachten,
- einen Bereich schaffen mit möglichst wenig Luftbewegung.

Ein Experiment planen

Die erste Unterrichtseinheit endet mit der Planung des Experiments. Dazu erhalten die Schülergruppen das **Arbeitsblatt 2** für ein entsprechendes Protokoll. Das für das Experiment benötigte Material sollte sich im Klassenraum befinden, oder die Schüler bringen es für die folgende Unterrichtsstunde von zu Hause mit.

Da die Hände des Menschen warm und mehr oder weniger feucht sind, könnte man vermuten:

- Der Fisch braucht Feuchtigkeit, um sich zu bewegen.
- Der Fisch braucht Wärme, um sich zu bewegen.

Diese beiden Hypothesen sollten von mindestens je einer Schülergruppe untersucht werden. Dazu kann der Fisch zum Beispiel auf einen leicht (!) angefeuchteten Schwamm gelegt werden (a), über die Heizung oder an einen anderen warmen Ort (b).

Auch die Frage, ob sich ein Fisch auf einer anderen, durchsichtigen Folie bewegt, sollte nach Möglichkeit von einer Gruppe geklärt werden.

Eine wichtige Frage, die sich während der Diskussionen sicherlich stellen wird, lautet: Müsste ein Fisch, der sich bewegt, nicht lebendig sein? Um dies zu beantworten, bietet sich eine Recherche im Lehrbuch oder im Internet zum Thema „Kennzeichen des Lebens“ an.

HINWEIS

Die Mutter aller Folien

Zellophan besteht aus Zellulosehydrat. Es wird aus Holz hergestellt und ist deshalb kompostierbar. Der Name leitet sich von Zellulose und dem altgriechischen Begriff für durchsichtig (diaphanés) ab. Zellophan wurde 1908 in der Schweiz erfunden und war lange Zeit die einzige Verpackungsfolie. Erst nach dem Zweiten Weltkrieg wurden weitere Kunststofffolien entwickelt. Unbeschichtetes Zellophan ist weitgehend undurchlässig für Gase aber durchlässig für Wasserdampf, deshalb eignet es sich als Verpackungsmaterial für Back- und Süßwaren, Käse, Fleisch und andere Lebensmittel. Heute wird Zellophan oft auch mit anderen Kunststoffen beschichtet als Verbundkunststoff produziert. Es ist dann weder für Wasserdampf durchlässig noch kompostierbar.



Zweiter Unterrichtstermin

Methodenkompetenz trainieren

Spätestens zu Beginn des zweiten Termins schließen die Schülergruppen die Planung ihres Experiments ab, indem sie beginnen, das **Arbeitsblatt 2** auszufüllen. Alle dazu notwendigen Materialien müssen vorhanden sein. Dann führen die Schüler das Experiment durch und protokollieren es – einschließlich ihrer Beobachtungen und erster Erklärungsversuche auf der phänomenologischen Ebene. Die Ergebnisse werden im Plenum besprochen. Es ist wichtig, dass alle Experimente gebührend diskutiert werden, auch wenn der Erkenntnisgewinn bei dem einen oder anderen Versuch vielleicht gering ausfällt. Ausschlaggebend ist, dass die Schüler an dieser Stelle „Forscherkompetenzen“ üben und damit auf forschendes Lernen vorbereitet werden. Wichtiger als die Erarbeitung von Fachwissen ist deshalb das Trainieren von Methodenkompetenz:

- eine naturwissenschaftliche Fragestellung erfassen können und mögliche Antworten (Vermutungen, Hypothesen) klar formulieren können,
- ein einfaches Experiment inkl. Materialbedarf zum Testen einer Vermutung planen können,
- das Experiment durchführen, den Verlauf beobachten und protokollieren können,
- die Ergebnisse deuten und sich darüber im Klaren werden, ob das Experiment die Frage beantworten konnte,
- das Resultat im Plenum vorstellen und Fragen dazu beantworten können.

Insgesamt sollten die Schüler mit möglichst wenig Unterstützung am Ende der Diskussion zu folgenden Erkenntnissen kommen, die sie auch unter „Unsere Erklärung“ auf ihrem Protokoll ergänzen können:

1. Die benutzte Folie hat besondere Eigenschaften. Ein Fisch aus anderen Kunststofffolien bewegt sich nicht.
2. Der Fisch bewegt sich auf feuchten Oberflächen. Auf der Hand ist also die Feuchtigkeit entscheidend, nicht die Körperwärme.

Auf dem Protokoll kreuzen die Schüler abschließend an, ob ihre Vermutung richtig oder falsch war. An dieser Stelle sollte diskutiert werden, dass es kein „Fehler“ oder Versagen darstellt, Vermutungen aufzustellen, die sich als falsch erweisen. Vielmehr ist dies ein wichtiger Teil des Forschungsprozesses, ohne den es keine bahnbrechenden neuen Erkenntnisse gäbe. Wichtig ist es, aufzuzeigen, dass auch Vermutungen, die sich nicht bestätigen, zu neuen Forscherfragen führen.

HINWEIS

Die besonderen Eigenschaften des Zellophans sind verantwortlich dafür, dass sich der Fisch auf der flachen Hand bewegt. Der Kunststoff ist hygroskopisch, das heißt, er bindet Feuchtigkeit – beispielsweise in Form von Wasserdampf – aus der Umgebung. Liegt Zellophan auf der Hand, absorbiert zunächst die der Hand zugewandten Seite der Folie Feuchtigkeit aus der Haut und quillt auf. Folglich „biegt“ sich die Folie nach oben – der Fisch bewegt sich.

Die Schüler sollten spätestens am Ende dieser Unterrichtseinheit erfahren, dass der Kunststoff, aus dem ihr Fisch besteht, Zellophan heißt. Sie erhalten das Arbeitsblatt 3 mit einer Erklärung, warum sich der Zappelfisch auf der Hand bewegt und mit weiteren spannenden Hintergrundinformationen zu Kunststofffolien, aus denen inzwischen beispielsweise biegsame Solarzellen gefertigt werden.

BASISKONZEPTE

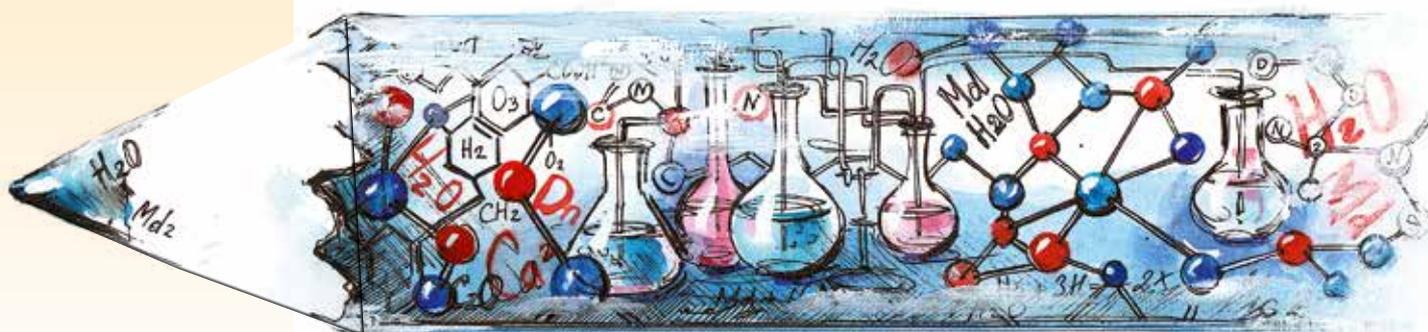
Zappelfisch

Solange die Schüler das Teilchenmodell noch nicht kennen, sollte sich die Erklärung, warum sich ein Fisch aus Zellophanfolie bewegt, nicht auf molekularer Ebene bewegen. Stattdessen kann folgendes Basiskonzept herangezogen werden:

Dinge beeinflussen sich gegenseitig

Die wichtigste Erkenntnis, die hiervon abgeleitet werden kann, lautet: Es handelt sich nicht um Zauberei,

wenn der Fisch sich bewegt oder wenn beliebige andere zunächst nicht erklärbare Effekte beobachtet werden. Es gibt immer eine Ursache, ein „Ding“, das ein anderes „Ding“ – wie den sich bewegenden Fisch – beeinflusst. Wer verinnerlicht hat, dass Basiskonzepte immer gelten, wird sich also auf die Suche machen, das „Ding“ zu finden, das den Fisch bewegt. Da nur eine Seite des Fisches Kontakt mit der feuchten Handfläche hat, beginnt sich der Fisch „unsymmetrisch“ zu verformen – und er bewegt sich.



Ergänzungsexperiment: Mit Biofolie stark verpackt

Arbeitsblatt	Materialien	
4	pro Gruppe (2–4 Schüler): 2 Bechergläser, 250 mL 1 Teigschaber oder 1 Teelöffel 1 Gefäß für Glycerin (beschriftet), darin 1 Pasteurpipette aus Kunststoff 10 mL Glycerin ($w = 50\%$) 2 Dokumentenhüllen ca. 1/2 Fläschchen flüssige oder eine halbe Packung feste Lebensmittelfarbe	pro Klasse 2–3 Waagen (max. 2000 g) 1 großer Topf 1 Heizplatte, (alternativ: 1 feuerfestes Gefäß, 1 Bunsenbrenner, 1 Dreifuß) 1 Schneebesen 1 Messbecher 250 g Kartoffelstärke Wasserfarben, Tinte

Erster Unterrichtstermin

Für dieses Ergänzungsexperiment stellen die Schüler nach Anleitung eine Folie aus Kartoffelstärke her. Zuvor kann der Begriff Biokunststoff eingeführt werden. Biokunststoffe werden entweder aus nachwachsenden Rohstoffen produziert, oder es handelt sich um Kunststoffe, die aus Erdöl hergestellt werden, aber kompostierbar sind. Die meisten Biokunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen sind ebenfalls kompostierbar. Biokunststoffe werden heute vor allem als Verpackungsmaterialien eingesetzt. Weit verbreitet sind beispielsweise aufgeschäumte Verpackungschips, Tragetaschen, die im Einzelhandel verwendet werden, oder Tüten, die zum Sammeln von Biomüll dienen.

Bevor die Schüler die Folie aus Stärke herstellen, werden sie aufgefordert, eine Versuchsbeschreibung zu verfassen (**Arbeitsblatt 4**). Sie nutzen dazu eine Abbildung und einen Lückentext mit Wortliste. Diese Beschreibung sollte im Plenum besprochen werden, bevor die Schüler anfangen zu experimentieren.

Zur Herstellung der Folie muss Kartoffelstärke mit Wasser aufgekocht werden. Aus Sicherheitsgründen kann dies die Lehrkraft übernehmen – eventuell mit Unterstützung von zwei bis drei Schülern. Pro Gruppe (zwei bis vier Schüler) werden etwa 120 Gramm Kartoffelstärke-Wasser-Mischung benötigt. Diese kann für alle Gruppen gleichzeitig zubereitet werden. Sie muss frisch hergestellt und sofort verwendet werden.

Entsprechend der Anzahl an Schülergruppen werden Kartoffelstärke und Wasser abgemessen (pro Gruppe 12 Gramm Kartoffelstärke und 120 Gramm Wasser) und unter Rühren in einem feuerfesten Gefäß über einem Bunsenbrenner oder in einem Topf auf einer Heizplatte zum Kochen gebracht. Sobald die zunächst weiße Mischung klar ist, kann sie weiterverarbeitet werden. Da Kartoffelstärke je nach Hersteller unterschiedliche Eigenschaften haben kann, sollte das Rezept vorab getestet werden. Soll die Konsistenz der Masse während der Zubereitung durch Zugabe von Wasser oder Stärke verändert werden, muss die Mischung nochmals aufgekocht werden.



BASISKONZEPTE

Mit Biofolie stark verpackt

Die Herstellung der Folie eignet sich unter anderem dazu, folgendes Basiskonzept zu illustrieren:

Mit Energie kann man etwas tun

Durch Erhitzen wird der Stärke-Wasser-Mischung Energie zugeführt. Dadurch wird aus einem weißen Pulver und Wasser eine durchsichtige Masse, aus der Folie hergestellt werden kann. Diese Veränderung ist für die Schüler offensichtlich. Ohne Energiezufuhr ist sie nicht möglich – die Schüler können dies leicht mit einem Experiment verifizieren. Dabei findet beim Erhitzen von Stärke in Wasser keine chemische Reaktion statt, sondern ein physikalischer Lösungsprozess.

Nach Anleitung experimentieren

Jede Schülergruppe erhält ca. 120 Gramm Stärkelösung in einem Becherglas und kann damit – im Rahmen des ersten und zweiten Forschungsauftrags (**Arbeitsblatt 4**) – vier verschiedene Folien herstellen: mit verschiedenen Mengen an Glycerin als Weichmacher, unterschiedlich gefärbt und verschieden dick. Mindestens eine Gruppe sollte testen, was geschieht, wenn kein Glycerin zugefügt wird. Zum Anfärben der Folie eignet sich Lebensmittelfarbe besonders gut. Die Schüler können aber auch Tinte oder Wasserfarben verwenden. Die Masse wird dann auf einer Dokumentenhülle mit einem Teigschaber oder mit einem Teelöffel glatt gestrichen – dabei kann die Schicht-

dicke variiert werden. Wichtig ist, dass die Schüler ihre „Rezepte“ genau dokumentieren und ihre Proben sorgfältig beschriften. Die Folien müssen dann mindestens zwei bis drei Tage trocknen, damit auch dickere Folien komplett durchtrocknen können.

Zweiter Unterrichtstermin

Laut drittem Forschungsauftrag (**Arbeitsblatt 4**) sollen die Eigenschaften der getrockneten Folien verglichen und im Plenum diskutiert werden. Zur genaueren Untersuchung der Folienstrukturen eignen sich Lupen oder Stereomikroskope. Generell werden die Schüler feststellen, dass ihre Folien auch nach dem Trocknen durchsichtig bleiben, Folien mit Glycerin biegsam und elastisch sind, aber relativ schnell reißen. Ohne Glycerin wird das Material vergleichsweise fest und brüchig. Auch mit bloßem Auge sind Luftpneinschlüsse zu erkennen. Die Folien lösen sich auch nach mehreren Tagen in Wasser kaum auf, quellen aber etwas auf. Sie können danach erneut getrocknet werden.

Auf dem entsprechenden **Arbeitsblatt 4** werden die Schüler aufgefordert, Vor- und Nachteile einer Einkaufstüte aus Kartoffelstärke zu diskutieren. Sie sollen außerdem kreative Ideen für den Einsatz ihrer selbst hergestellten Folie im Alltag entwickeln. Abschließend können aus den selbst gemachten Folien Formen und Figuren mit Scheren ausgeschnitten und mit wenig Wasser ans Fenster geklebt werden. Die Objekte lassen sich später leicht wieder entfernen.



Forscherauftrag: An die Kekse, fertig, los!

Arbeitsblatt	Materialien	
5	pro Gruppe (2–4 Schüler): 20 Kekse, selbst gebacken (siehe Rezept auf Arbeitsblatt) oder gekauft 2 Zellophanbeutel (oder Zellophanfolie)	pro Klasse: diverse Verpackungsmaterialien z. B. Dosen aus Kunststoff oder Metall Gläser mit Schraubdeckel Stoffbeutel sowie Butterbrotpapier unterschiedliche Folien wie Frischhalte- oder Alufolie Haushaltspapier

Erster Unterrichtstermin

Um an forschendes Lernen herangeführt zu werden, bearbeiten die Schüler folgenden Forscherauftrag:

Untersucht, wie Kekse verpackt sein sollten, damit sie lange knusprig bleiben.

Auch bei dieser Experimentiereinheit spielt Zellophanfolie, wie sie für das Impulsexperiment Zappelfisch verwendet wurde, eine besondere Rolle. Da sie im Gegensatz zu anderen gängigen Folien wasserdampfdurchlässig ist, werden darin verpackte Kekse schnell weich. Um dies zu erklären, können die Schüler an ihre Erfahrungen mit dem Impulsexperiment und die Informationen auf dem Arbeitsblatt 3 anknüpfen.

Es empfiehlt sich, die Schüler zunächst recherchieren zu lassen, welche Lebensmittelverpackungen es gibt, welche spezifischen Eigenschaften diese haben und welches Verpackungsmaterial sich für Kekse eignet. Hier kann unterschieden werden, ob Kekse kommerziell oder für den privaten Verbrauch verpackt werden. Generell sorgen Lebensmittelverpackungen unter anderem dafür, dass

- Lebensmittel lange haltbar bleiben und dabei ihr Aroma und ihre Konsistenz behalten,
- Lebensmittel hygienisch transportiert und gelagert werden können,
- Produkte leicht zu etikettieren sind.



HINWEIS

Lecker verpackt

Plätzchen werden häufig in Zellophanbeuteln verpackt. Weil das Material wasserdampfdurchlässig ist, bildet sich nach dem Verpacken frisch gebackener Plätzchen kein Kondenswasser im Beutel. Andererseits tritt mit der Zeit Wasserdampf ein, wodurch die Backwaren weich werden. Was bei vielen Plätzchen ein unerwünschter Effekt ist, wird bei Anisplätzchen, bekannt als „Springerle“, bewusst eingesetzt: Die nach dem Backen relativ harten Plätzchen werden in Zellophanbeuteln mit der Zeit weich und verzehrfähig.



Eine Testreihe starten

Kurz vor dem Experimentiertermin backen die Schüler zu Hause oder – falls vorhanden – in der Schulküche Kekse nach dem auf dem Arbeitsblatt vorgegebenen Rezept (Arbeitsblatt 5). Alternativ werden Butterkekse eingekauft. Jede Gruppe aus zwei bis vier Schülern benötigt ca. 20 Kekse und vier verschiedene Verpackungsmaterialien.

Geeignet sind unter anderem Butterbrotpapier, unterschiedliche Folien wie Frischhalte- oder Alufolie, Dosen aus Kunststoff oder Metall, Gläser mit Schraubdeckel, aber auch Haushaltspapier oder Stoffbeutel. In Anknüpfung an das Impulsexperiment Zappelfisch werden Zellophan-Beutel zur Verfügung gestellt. Auch die selbst hergestellte Stärkefolie aus dem Versuch „Mit Biofolie stark verpackt“ kann als Verpackungsmaterial getestet werden. Insgesamt sollte darauf geachtet werden, dass die Gruppen verschiedene Materialien testen. Nach Möglichkeit sollten die Schüler diese von zu Hause mitzubringen.

Die Schüler verpacken ihre Kekse mit den ausgewählten Materialien und dokumentieren ihr Vorgehen und später auch die Ergebnisse mit oder analog der **Kopiervorlage 4 – Protokoll**. Sie müssen darauf hingewiesen werden, hygienisch sauber zu arbeiten, weil die Kekse später verkostet werden sollen (s. Gefährdungsbeurteilung). Die verpackten Kekse werden dann etwa eine Woche gelagert.

Die größte Herausforderung für die Schüler besteht darin, eine systematische Untersuchung durchzuführen. Dazu sollte in der Planungsphase die Bedeutung und die Verwendung von einzelnen Variablen (Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Licht, ...) eingeführt werden. Außerdem sollte im Plenum diskutiert werden, dass die Testergebnisse nicht nur vom Verpackungsmaterial, sondern auch von der „Verpackungstechnik“ abhängen. Auch diese kann von den Schülern dokumentiert werden.



Zweiter Unterrichtstermin

Eine Testreihe auswerten

Nach etwa einer Woche werden die Kekse ausgepackt und analysiert. Die Schüler notieren ihre Beobachtungen in das begonnene Protokoll. Verglichen werden können beispielsweise Geschmack, Geruch und Konsistenz der Kekse sowie Aussehen und Beschaffenheit der Verpackung. Außerdem könnten die Schüler simulieren, wie sich Kekse und Verpackungsmaterial verhalten, wenn sie bei Regen oder unter Schütteln transportiert werden. Erfahrungsgemäß werden die Schüler dabei feststellen, dass es nicht einfach ist, klare Kriterien für die Beurteilung zu definieren und dass die meisten Beobachtungen subjektiv sind, die Ergebnisse also auch davon abhängen, wer sie ermittelt.

Mögliche Beobachtungen sind:

- Werden frisch gebackene Kekse in Folien (außer Zellophanfolie) verpackt, bildet sich Kondenswasser, die Kekse können dadurch weich werden und zerfallen.
- Zellophanfolie ist wasserdampfdurchlässig, es bildet sich deshalb kein Kondenswasser. Mit der Zeit dringt aber Wasserdampf von außen in die Tüten, was ebenfalls dazu führen kann, dass ursprünglich knusprige Kekse weich werden.
- Kekse können den Geschmack von Kunststofffolien annehmen. Dies wurde beispielsweise bei Brat-schläuchen beobachtet.
- Kekse, die mit luftdurchlässigen Materialien oder nicht sorgfältig verpackt wurden, werden weich.
- In Dosen aus Metall oder Kunststoff sowie Gläsern mit Schraubverschluss bleiben die Kekse knusprig.



Die Ergebnisse der Testreihen sollten im Plenum präsentiert und Vor- und Nachteile der einzelnen Materialien diskutiert werden. Zum Schluss kann die „beste/am besten geeignete Keksverpackung“ gekürt werden.

BASISKONZEPTE

An die Kekse, fertig, los!

Wie bei jedem naturwissenschaftlichen Phänomen können auch bei diesen Verpackungstests Bezüge zu allen drei Basiskonzepten hergestellt werden. Da die Schüler vor allem die Wechselwirkung zwischen den Keksen und deren Umgebung untersucht haben, erscheint folgender Bezug besonders deutlich:

Dinge beeinflussen sich gegenseitig

Dabei gilt es klarzustellen, dass die Schüler nur in Ausnahmefällen eine direkte Wechselwirkung zwischen Keksen und Verpackungsmaterial beobachtet haben. Vielmehr sorgt beispielsweise die Luftfeuchtigkeit – also Wasserdampf – dafür, dass die Kekse weich wurden.



Struktur und Funktion von Schäumen

Welcher Schaumberg ist der höchste, welcher hält am längsten? Ein Forscherwettbewerb gibt den Schülern den Impuls, sich intensiv und kreativ mit den Eigenschaften und der Struktur von Schäumen zu beschäftigen. In den beiden darauffolgenden Versuchen untersuchen sie die

dämmende Funktion von Seifenschaum und dessen Wechselwirkung mit Kalk im Leitungswasser. Im Ergänzungsexperiment erstellen sie hierbei eine Temperaturmessreihe. Bei diesem Experiment ist exaktes Arbeiten gefragt. Im abschließenden Forscherauftrag entwickeln die Schüler ein Testverfahren für die Härte von Wasser und messen diese über die Schaumbildung von Schmierseife.

IMPULSEXPERIMENT

Kurzbeschreibung	Fachspezifische Kompetenzen	Anbindung an die Rahmenpläne	Stoffe
<p>Schaumschlägerei</p> <p>Die Schüler stellen einen möglichst stabilen Schaumberg her und testen dazu unterschiedliche Schaumbildner und Methoden.</p> <p>Zeitbedarf: 1 Termin (90 min)</p>	<p>Zielorientiert und materialgesteuert experimentieren</p>	<p>Schätzen und messen</p> <p>Eigenschaften von Stoffen</p> <p>Gefahrstoffsymbole</p> <p>Mikroskopieren</p> <p>Reflexion und Brechung von Licht</p>	<p>Handpülmittel</p> <p>Handseife</p> <p>Fester Badezusatz</p>





ERGÄNZUNGSEXPERIMENT

Kurzbeschreibung	Fachspezifische Kompetenzen	Anbindung an die Rahmenpläne	Stoffe
<p>Mit Badeschaum mollig warm?</p> <p>Die Schüler erforschen die Dämmleistung von Schaum. Dafür messen sie die Temperatur von warmem Wasser mit und ohne Schaumdecke in Abhängigkeit von der Zeit.</p> <p>Zeitbedarf: 1 Termin (90 min)</p>	<p>Anleitung erfassen und bearbeiten</p> <p>Temperatur in Abhängigkeit der Zeit messen</p> <p>Tabelle und Diagramm erstellen</p>	<p>Messwerte in Tabellen und Diagrammen darstellen</p> <p>Schutz vor Wärme und Kälte bei Tieren</p> <p>Wärmeenergie, -leitung und -erhaltung</p>	<p>Verpackungschips (aus Styropor oder Stärke)</p> <p>Kunststoff</p> <p>Glas</p>

FORSCHERAUFTRAG

Kurzbeschreibung	Fachspezifische Kompetenzen	Anbindung an die Rahmenpläne	Stoffe
<p>Hartes Wasser oder weicher Schaum?</p> <p>Die Schüler vergleichen die relative Wasserhärte verschiedener Wasserproben mit Hilfe einer Schmierseifenlösung. Sie entwickeln eine vergleichende Untersuchung, warum Schmierseife heute im Haushalt kaum mehr verwendet wird.</p> <p>Zeitbedarf: 1 Termin (90 min)</p>	<p>Aus Anleitung vergleichendes Analyseverfahren entwickeln</p>	<p>Eigenschaften von Stoffen</p> <p>Stoffgemische</p> <p>Lösungen</p> <p>Konzentration</p>	<p>Schmierseife</p> <p>Kalk</p> <p>Leitungswasser</p> <p>Destilliertes Wasser</p> <p>Mineralwasser</p> <p>Kohlenstoffdioxid</p>

Impulsexperiment: Schaumschlägerei

Arbeitsblätter	Materialien	
6 und 7	pro Gruppe (2–4 Schüler): 1 Schutzbrille pro Schüler 1 Tablett als Arbeitsunterlage 1 Becherglas, 250 mL 1 Kunststoffschüssel (ca. 1,5 L) 2–3 kleine verschließbare Gefäße, 40 mL, z. B. Reagenzgläser mit Stopfen oder Rollrandschnappdeckelgläser 1 Teelöffel 4 Strohhalme, möglichst individuell verpackt 1 Haushaltsschwamm 1 Schneebesen	pro Klasse: 2 Flaschen Handpflmittel 2 Flaschen flüssige Handseife 2 feste Handseifen 2 Gefäße mit Zucker 2 Gefäße mit Salz mehrere Lupen optional: fester Badezusatz batteriebetriebene Milchaufschäumer

Jede Schülergruppe bekommt eine Materialsammlung inklusive eines Tablett, das als Arbeitsunterlage dient; auf einer Materialtheke stehen verschiedene Schaumbildner bereit. Jeder Schüler erhält außerdem ein Versuchsprotokoll (Arbeitsblatt 6) mit dem Forscherauftrag:

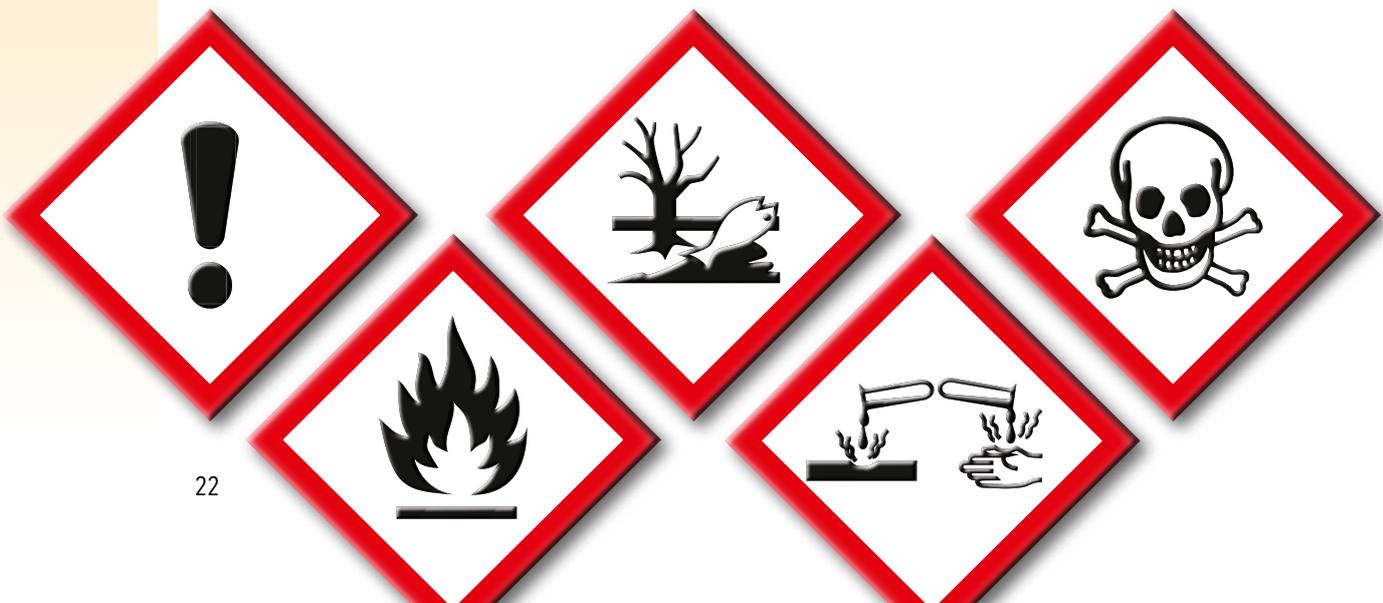
Stellt in einem Becherglas einen Schaumberg her. Er soll möglichst hoch und lange stabil sein.

Achtung! Da die Schüler mit Handpflmittel arbeiten (siehe GHS-Kennzeichnung auf der Verpackung), tragen sie während der gesamten Experimentierzeit Schutzbrillen (s. Gefährdungsbeurteilung). Dies sollte zum Anlass genommen werden, die Gefahrenpiktogramme nach GHS einzuführen. Gegebenenfalls sollten die Schüler darauf hingewiesen werden, dass sie die zur Verfügung gestellten Strohhalme nicht zum Trinken benutzen sollen, sondern damit Luft in Seifenlösung pusten können.

HINWEIS

Von der Seifenblase zum Schaum

Schaum ist eine lockere Masse gasgefüllter Blasen, die durch dünne Wände voneinander getrennt sind. Diese Wände sind entweder flüssig, zum Beispiel bei Badeschaum oder Meeresgisch, oder fest, wie bei Styropor oder Bimsstein. Flüssige Schäume lassen sich mit Wasser und einem Schaumbildner, etwa Seifen oder Waschmittel, herstellen. Dabei senken Tensidmoleküle die Oberflächenspannung des Wassers; wird Luft in die Seifenlösung eingebracht, entstehen Blasen. Je feiner die Luft in die Lösung blubbert, desto kleiner werden die Blasen, und desto stabiler wird der Schaum. Während große Seifenblasen schnell platzen, sind flüssige Schäume mit sehr kleinen Blasen über einen langen Zeitraum stabil. Zucker stabilisiert Schaum vor allem nach dem Trocknen. Wenn das Wasser verdunstet, kristallisiert der Zucker an den Wänden der Schaumblasen, und der Schaum wird fest.





Zielorientiert experimentieren

Bevor die Schüler anfangen zu experimentieren, halten sie ihre Ziele auf dem **Arbeitsblatt 6** fest. Dieses zielorientierte Vorgehen entspricht anwendungsbezogener Forschung: Zu einem vorgegebenen Ziel (Problem) werden Lösungswege entwickelt.

Vor Beginn des Experimentierens kann es sinnvoll sein, die zur Verfügung stehenden Materialien zu benennen, damit die Schüler später ihr Versuchsprotokoll selbstständig schreiben können. Schließlich sollten Regeln für sicheres, aber auch „kollegiales“ Forschen im Team besprochen werden. Material, das zur allgemeinen Verfügung auf der Materialtheke steht, muss beispielsweise nach Gebrauch zügig zurückgebracht werden, damit es von allen benutzt werden kann.

Die Schüler sollten zunächst möglichst mehrere Schaumbildner und Methoden zur Schaumproduktion ausprobieren. Die Methode, die die besten Ergebnisse liefert, wird dann auf dem Protokoll beschrieben.

Materialorientiert experimentieren

Der bearbeitete Forscherauftrag entspricht einem sogenannten Egg Race (vgl. Hinweis). Die Schüler lösen dabei eine Aufgabe selbstständig; es gibt mehrere Lösungen und folglich auch verschiedene Lösungswege. Gesteuert wird das Experiment über das zur Verfügung stehende Material. Dieses kann auch „sinnlose“ Geräte oder Substanzen umfassen – im vorliegenden Fall Salz. Erfahrungsgemäß sind Schüler hochmotiviert, Egg Races zu bearbeiten, da sie selbst Ideen und Strategien entwickeln können, was zu großen Erfolgserlebnissen führt.

HINWEIS

Egg Race – Wettkampf um die beste Lösung

Der Begriff „Egg Racing“ stammt aus England. Dort wurde in einer Fernsehsendung die Aufgabe gestellt: Bewegen Sie ein rohes Ei mit der kinetischen Energie eines Gummibandes maximal weit. Diese Aufgabe begeisterte viele Zuschauer, so dass noch viele weitere „Eierrennen“ folgten.

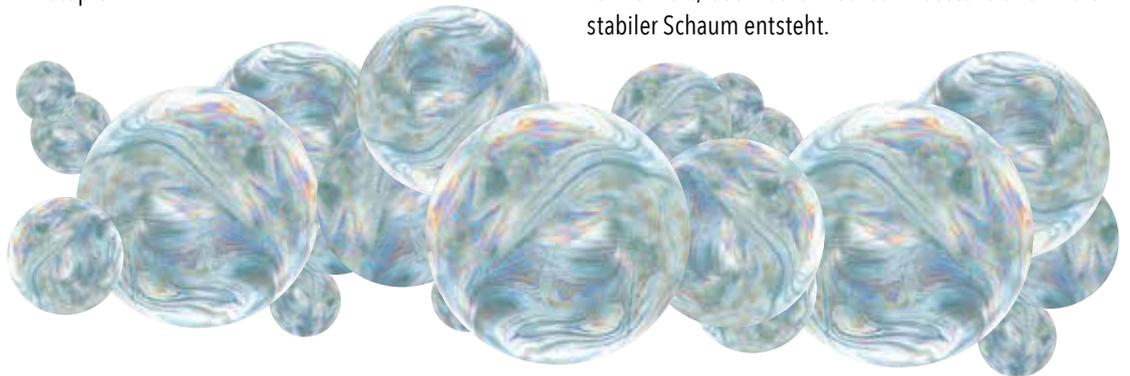
In der Didaktik wird der Begriff Egg Races für Aufgabenstellungen genutzt, die von mehreren Gruppen und mit Hilfe von vorgegebenen Rahmenbedingungen erfüllt werden müssen. Das Besondere dabei: Die Schüler dürfen ergebnisoffen arbeiten. Diese Freiheit zum Tüfteln kombiniert mit der Wettbewerbssituation wirkt motivierend. Hinzu kommt, dass die Schüler den naturwissenschaftlichen Erkenntnisweg selbst nachvollziehen und nicht nur Versuche nachahmen.

Die Schüler wählen zunächst einen Schaumbildner und mischen diesen mit Wasser. Erfahrungsgemäß widmen sie der Entscheidung, welchen Schaumbildner sie wählen und in welchem Verhältnis sie diesen mit Wasser mischen, wenig Aufmerksamkeit. Es kann daher sinnvoll sein, auf den Einfluss dieser Variablen hinzuweisen.

Folgende Methoden eignen sich zur Herstellung von Schaum mit der gegebenen Ausstattung:

- Rühren einer Seifenlösung mit dem Schneebesen: Ist der Schneebesen zu groß für ein Becherglas, kann dies nur in der Rührschüssel geschehen. Der Schaum muss dann in das Becherglas umgefüllt werden. Erfahrungsgemäß lässt sich mit dieser Methode nur wenig Schaum herstellen. Die Blasen sind relativ groß und instabil.

- Einblasen von Luft in eine Seifenlösung mit dem Strohhalm: Mit dieser Methode können sehr schnell hohe Schaumberge aus großen Blasen hergestellt werden, die aber nicht sehr stabil sind. Allerdings können große Schaumblasen durch vorheriges Lösen von Zucker im Seifenwasser stabilisiert werden.
- Pressen der Seifenlösung durch einen Schwamm: Dieser kann beispielsweise mit Seifenlösung getränkt und dann ausgedrückt werden. So entstehen relativ stabile Schäume mit kleinen Blasen. Außerdem können die Schüler ein Stück Schwamm in den unteren Teil des Strohhalmes stecken. Auch so entstehen feine Blasen und damit ein stabiler Schaum.
- Schütteln der Seifenlösung in einem geschlossenen Gefäß, zum Beispiel in einem Reagenzglas mit Stopfen.



Erfahrungsgemäß beginnen die Schüler während der Schaumproduktion ganz nebenbei, den Schaum beispielsweise mit einer Lupe genauer zu erforschen. Anstöße für vertiefende Beobachtungen geben folgende Leitfragen:

- Wie sieht Schaum zwischen zwei Glasscheiben aus, zum Beispiel zwischen zwei Petrischalen? Bei diesem sogenannten zweidimensionalen Schaum, der auch als Polyederschaum bezeichnet wird, lässt sich die Polyederstruktur der einzelnen Schaumzellen besonders gut erkennen.
- Welche Form haben große Blasen im Schaumverband? Auch in dreidimensionalen Strukturen lassen sich polyederförmige Zellen erkennen.
- Welche Farbe haben Seifenblasen? Es kommt zu schillernden Farbeffekten, die sich scheinbar auf der Oberfläche der Blasen hin und her bewegen.
- Wie lässt sich Schaum zeichnen? Hier können kreative Kunstwerke entstehen, bei denen die Schüler auch eine gute Beobachtungsgabe beweisen können.

Um die Bedeutung von Schäumen im Alltag und in der Natur zu illustrieren, können Beispiele für flüssige und feste Schäume gesammelt werden. Flüssige Schäume tauchen bei zahlreichen Waschvorgängen auf – wobei übermäßige Schaumproduktion oft unerwünscht ist, zum Beispiel in Wasch- oder Spülmaschinen. Auch Eischnee ist ein Schaum, den die Schüler vielleicht schon selbst hergestellt haben. Zu den festen Schäumen gehören Schaumstoff in Kissen oder Matratzen, Styropor in Fahrradhelmen oder zum Dämmen von Gebäuden. In der Natur vorkommende Schäume sind zum Beispiel Schaumnester von Insekten oder Gesteine wie Bimsstein. Vor allem Proben fester Schäume können eindrucksvoll mit einem Stereomikroskop betrachtet werden.

Die Schüler erhalten das **Arbeitsblatt 7**, das unter anderem erklärt, aus was ein Schaum besteht und wie ein stabiler Schaum entsteht.

BASISKONZEPTE

Schaumschlägerei

Bei diesem Impulsexperiment stellen die Schüler Schaum her. Sobald Dinge entstehen oder sich verändern, muss nach dem Basiskonzept

Mit Energie kann man etwas tun

Energie eine Rolle spielen. Auch die Produktion von Schaum gelingt folglich nur, wenn Energie zur Verfügung steht. Mit den Schülern kann diskutiert werden, wo diese Energie herkommt. Wird ein Schneebesen zur Schaumproduktion verwendet, wird Muskelenergie aufgewendet. Dies gilt auch, wenn Luft durch einen Strohhalm in die Seifenlösung gepustet wird. Nutzen die Schüler dagegen einen Milchaufschäumer, wird Batteriestrom eingesetzt. Hier kann folglich der Energiebegriff einführend diskutiert werden. Das Ergänzungsexperiment bietet darauf aufbauend die Möglichkeit, Energieübertragung und -erhaltung zu thematisieren.



Ergänzungsexperiment: Mit Badeschaum mollig warm?

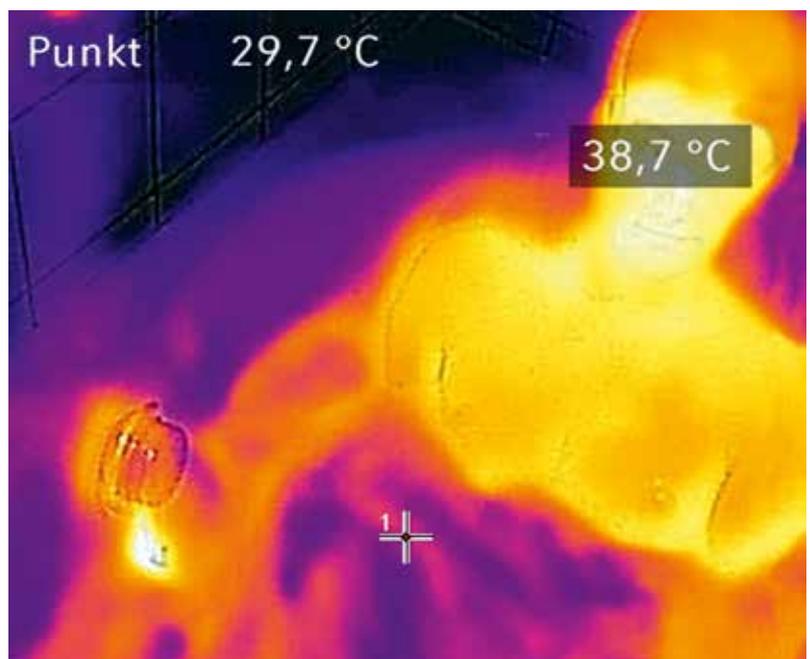
Arbeitsblatt	Materialien	
8	pro Gruppe (2-4 Schüler): 1 Schutzbrille pro Schüler 2 große Kunststoffschüsseln, ca. 3,5 L 2 kleine Kunststoffschüsseln, ca. 1,5 L Material zum Dämmen, zum Beispiel Verpackungschips aus Styropor 1-2 Thermometer 1 Esslöffel 1 Messkrug 1 Stoppuhr	pro Klasse: Material, um stabilen Schaum herzustellen (siehe Impulsexperiment) warmes Wasser (ca. 50 °C)

Badeschaum wirkt nicht nur reinigend, unter einem hohen Schaumberg bleibt das Badewasser auch länger mollig warm, wie die Aufnahme mit der IR-Kamera belegt.

Mit dem Ergänzungsexperiment untersuchen die Schüler die Dämmleistung von Seifenschaum mittels bebildeter Anleitung, führen dazu eine Messreihe der Temperatur in Abhängigkeit von der Zeit durch und üben deren Darstellung in Form einer Tabelle und eines Diagramms. Voraussetzung ist, dass die Schüler mit einem Thermometer umgehen und dieses ablesen können.

! Zur Vorbereitung des Experiments muss sich jede Schülergruppe für eine Methode entscheiden, die möglichst stabilen Seifenschaum liefert, und sicherstellen, dass alle benötigten Materialien vorhanden sind. Einfach und schnell lässt sich für dieses Experiment geeigneter Schaum mit Hilfe eines Milchaufschäumers herstellen. Auch hier müssen alle beim Impulsexperiment Schaumschlägerei beschriebenen Sicherheitsvorkehrungen beachtet werden (s. Gefährdungsbeurteilung).

Es empfiehlt sich, den Ablauf des gesamten Experiments zunächst mit allen Schülern zu besprechen und gegebenenfalls die Verwendung einer Tabelle und eines Diagramms – wie auf dem **Arbeitsblatt 8** dargestellt – zu erläutern.





Eine Messreihe durchführen und dokumentieren

Die Schüler bauen dann – wie auf dem **Arbeitsblatt 8** gezeigt – die Versuchsanordnung auf. Sie stellen mit warmem Wasser Schaum her, befüllen die kleinen Kunststoffschüsseln mit dem warmen Wasser und bedecken dann das Wasser in einer der beiden kleinen Schüsseln mit einer möglichst dicken Schicht aus Schaum. Dies muss zügig geschehen, da der Schaum und das warme Wasser in den kleinen Kunststoffschüsseln möglichst die gleiche Temperatur (ca. 50 °C) haben sollten. Ist der Schaum wesentlich kühler als das Wasser, führt deren Vermischung zur Abkühlung des Wassers, was den Effekt der Dämmung – der gemessen werden soll – ungünstig überlagert.

Nach Möglichkeit sollte jede Gruppe zwei Thermometer zur Verfügung haben. Beim Arbeiten mit nur einem Thermometer können Messfehler auftreten, die die Auswertung des Experiments erschweren. In Schritten von etwa fünf Minuten sollten Messwerte in beiden Schüsseln abgelesen werden. Starten die Schüler mit ca. 50 °C warmem Wasser, zeigen sich nach 30 bis 40 Minuten deutliche Temperaturunterschiede (2–4 °C) in den beiden Kunststoffschüsseln.

Aus der gemessenen Temperaturdifferenz lässt sich folgern, dass auch flüssige Schäume zum Dämmen geeignet sind.

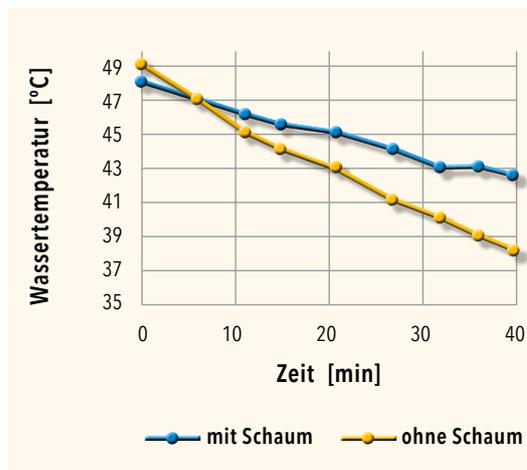
Zeit [min]	Wassertemperatur [°C] mit Schaum	Wassertemperatur [°C] ohne Schaum
0	48	49
6	47	47
11	46	45
15	46	44
21	45	43
27	44	41
32	43	40
36	43	39
40	43	38

HINWEIS

Ist Kälte übertragbar?

Als Wärme wird die Energie bezeichnet, die aufgrund von Temperaturunterschieden zwischen Stoffen übertragen wird. Kälte ist dagegen nur die Abwesenheit von Wärme, so wie Dunkelheit die Abwesenheit von Licht ist. Der Energieübergang erfolgt immer von warm nach kalt. Es wird also immer Wärme übertragen und niemals Kälte, wie umgangssprachlich oft behauptet wird.

Die Wärmeübertragung zwischen Stoffen erfolgt über **Wärmeleitung** (Bewegung der Moleküle), **Wärmestrahlung** (infrarote Strahlung) oder **Konvektion** (Strömung in Gasen oder Flüssigkeiten). Luftige, leichte Materialien mit großer Schichtdicke, wie Schaum, vermindern die Wärmeleitung durch ihre geringe Dichte und wirken daher dämmend.



Beispiel für zwei Temperaturmessreihen in einem Gefäß mit 50 °C warmem Wasser mit bzw. ohne Schaumschicht

Messfehler diskutieren

Die gemessenen Temperaturverläufe werden von Gruppe zu Gruppe variieren. Hier sollte eine qualitative Fehlerdiskussion im Plenum stattfinden, die zur Folge haben kann, dass sich einzelne Gruppen entschließen, den Versuch zu wiederholen. Gängige Fehlerquellen sind:

- Der Schaum wird mit kaltem Wasser hergestellt (s.o.) oder die Herstellung mit ursprünglich warmem Wasser dauert so lange, dass der Schaum wesentlich kälter ist als das Wasser in den kleinen Kunststoffschüsseln.
- Die Temperatur wird an jeweils unterschiedlichen Positionen in den Schüsseln gemessen.
- Die Schaumschicht löst sich vor Ende der Messzeit auf.
- Die Dämmungen durch den Schaum in den Schüsseln der Arbeitsgruppen waren unterschiedlich wirksam.

BASISKONZEPTE

Mit Badeschaum mollig warm?

Anhand dieses Experiments kann mit Schülern über Energieerhaltung gesprochen werden. Wenn die Temperatur des Wassers in den kleinen Schüsseln – mit oder ohne Schaumdecke – langsam sinkt, entweicht dem Wasser Energie. Diese geht nicht verloren, denn nach dem Basiskonzept

Auf der Welt geht nichts verloren

bleibt nicht nur Materie, sondern auch Energie erhalten. Mit dem vorgegebenen Versuchsaufbau lässt sich nur spekulieren, wo die Energie, die dem Wasser entweicht, hingelangt. Erfahrungsgemäß werden manche Schüler vermuten, dass Energie aus dem Wasser an die Umgebungsluft abgegeben wird. Diese Hypothese kann gegebenenfalls experimentell überprüft werden.



Forscherauftrag: Hartes Wasser oder weicher Schaum?

Arbeitsblatt	Materialien	
9	pro Gruppe (2–4 Schüler): 1 Becherglas, 250 mL 2 Pasteurpipetten aus Kunststoff 1 Reagenzglasständer 5 Reagenzgläser mit 5 Stopfen 500 mL Leitungswasser von zu Hause	pro Klasse: 1 L destilliertes Wasser 1 Flasche Schmierseife je 1 L Mineralwasser ohne Kohlensäure, mit wenig und viel Kalzium optional: Leitungswasser über Marmorkies, Wasser aus Tischwasserfilter

Im Rahmen des Forscherauftrags testen die Schüler zunächst, wie sich Schmierseife in Wasser mit und ohne Kalk verhält. Das hierbei gewonnene Wissen setzen sie ein, um den relativen Kalkgehalt einer weiteren Wasserprobe zu ermitteln. Vorab sollten die Schüler erfahren, was der Begriff Wasserhärte bedeutet, und verstehen, dass hartes – oder kalkhaltiges Wasser – einen hohen Kalziumionen-Gehalt aufweist. Dies ermöglicht Vergleiche zwischen Leitungs- und Mineralwasser mit unterschiedlichem Kalziumionen-Gehalt.

Ein Phänomen mittels Anleitung kennenlernen

Die Schüler erhalten eine Versuchsbeschreibung in Textform und als Grafik (**Arbeitsblatt 9**). Sie stellen zunächst eine Schmierseifenlösung her und versetzen diese mit Wasser mit unterschiedlichem Kalziumionen-Gehalt. Sie üben dabei den Umgang mit typischen Laborgeräten wie Reagenzgläsern und Pasteurpipetten. Sie müssen sorgfältig arbeiten, genau abmessen und umfüllen.

Je höher der Calciumionen-Gehalt der Wasserproben, desto mehr weißer Niederschlag flockt aus, wenn die Wasserproben zur Schmierseifen-Lösung gegeben werden, und desto weniger Schaum entsteht (siehe Abbildung).

Mit diesen Ergebnissen kann man erklären, warum sich Schmierseife für viele Anwendungen wie beispielsweise Wäschewaschen oder Geschirrspülen nicht eignet: Würde mit kalkhaltigem Wasser gewaschen, würde sich ein weißer Niederschlag bilden, der Wäsche oder Geschirr verschmutzt; außerdem verhindert Kalk die Schaumbildung, die hier als phänomenologischer Beweis für Waschleistung steht (vgl. Hinweis). Führen die Schüler die gleiche Testreihe mit moderner Handseife oder Spül-

mittel durch, stellen sie fest, dass sich damit – unabhängig vom Kalziumionen-Gehalt der Wasserproben – kein Niederschlag und vergleichsweise viel Schaum bildet.

Lediglich bei flüssigen oder festen Handseifen, die aus pflanzlichen Ölen hergestellt werden (vorwiegend Biohandseifen) ist ein feiner Niederschlag erkennbar. Im naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht können die Erklärungen zu diesem Experiment auf phänomenologischer Ebene bleiben.

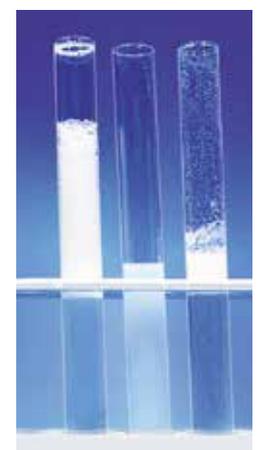
Vor dem Schütteln



Destilliertes
Wasser

Leitungswasser

Nach dem Schütteln



Stilles Mineralwasser
Kalziumionen: 485 mg/L

HINWEIS

Wäsche waschen mit Seife?

Schmierseife gehört zu den anionischen Tensiden und enthält Kaliumsalze von Fettsäuren mit einer Kettenlänge von 16 bis 18 Kohlenstoffatomen. In Anwesenheit von Kalziumionen fallen die Kalziumsalze dieser Fettsäuren aus und bilden einen weißen Niederschlag. Dieser lässt sich direkt nach dem Mischen der Seifenlösung mit der Wasserprobe beobachten: bei Leitungswasser als feiner weißer Niederschlag, bei stillem Mineralwasser mit vergleichsweise hohem Kalziumionen-Gehalt (485 mg/L) als weiße Flocken. Das Ausfällen der Kalziumsalze verhindert die Schaumbildung; weniger Schaum bedeutet weniger Waschleistung.

Durch Wissenstransfer eine Analysemethode entwickeln

Das erworbene Wissen – je mehr Kalk im Wasser, desto mehr Niederschlag bildet sich mit Schmierseifenlösung – wenden die Schüler anschließend an, um den relativen Kalkgehalt einer weiteren Wasserprobe zu bestimmen. Ziel ist es, dass sie über genaues Beobachten und Vergleichen ermitteln, ob diese Probe mehr, weniger oder genauso viel Kalk enthält wie eine oder mehrere Proben, die sie bereits verwendet haben.

Zur Bestimmung der absoluten Wasserhärte von Leitungswasserproben können Teststäbchen verwendet werden. Außerdem können die Schüler die Wasserhärte beim regionalen Wasserversorger erfragen.

BASISKONZEPTE

Hartes Wasser oder weicher Schaum?

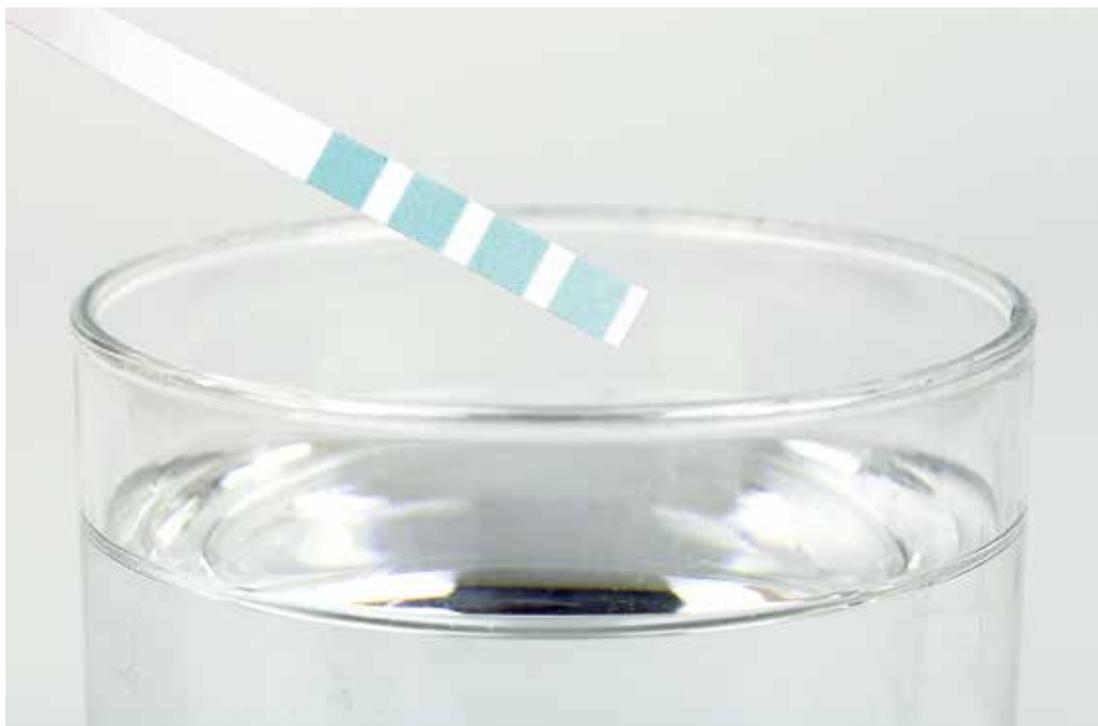
Bei der beobachteten Niederschlagsbildung handelt es sich um eine chemische Reaktion, die vereinfacht und qualitativ wie folgt dargestellt werden kann:

Kalziumionen aus den Wasserproben + Schmierseife = weißer Niederschlag

Dies illustriert das Basiskonzept

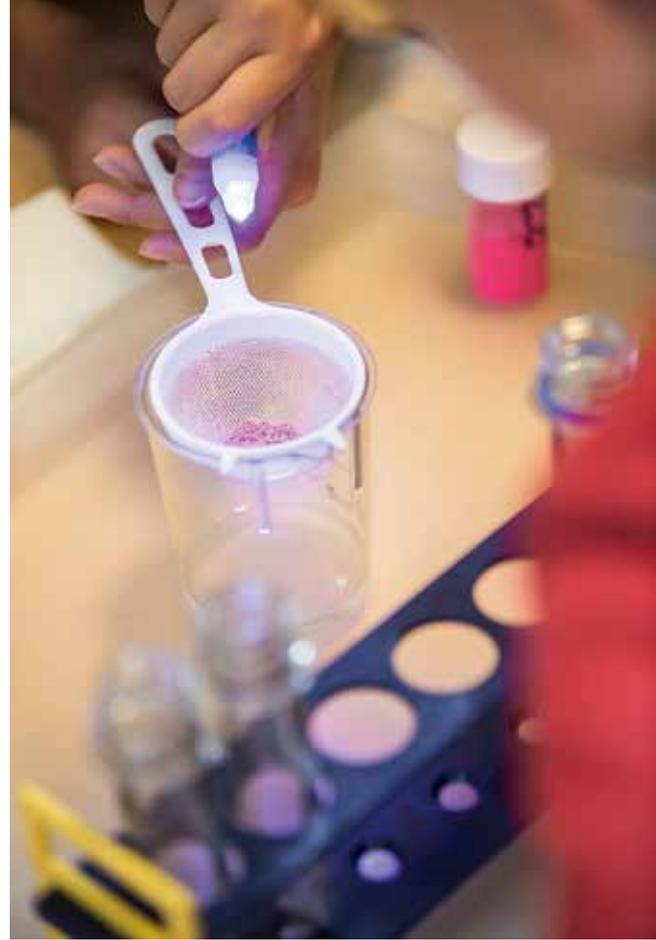
Dinge beeinflussen sich gegenseitig

Es können jetzt Beispiele für weitere chemische Reaktionen aus der unbelebten, aber auch aus der belebten Natur gesammelt werden.



Alginate in der Molekularküche

Zunächst scheint nichts zu geschehen, wenn die Schüler zwei farblose Lösungen in einem Becherglas vereinen. Umso größer ist die Überraschung, wenn sie dann transparente Kugeln aus der wässrigen Lösung fischen. Diese überraschende Entdeckung gibt den Schülern den Impuls, sich eingehender mit den Eigenschaften von Alginaten zu beschäftigen. Im Ergänzungsexperiment lernen sie dabei ein weiteres faszinierendes Phänomen eines Naturstoffs kennen: Sie nutzen die fluoreszierenden Eigenschaften eines Inhaltsstoffs im Vanillepudding, um leuchtende Wasserperlen herzustellen. Abgerundet wird der Baustein mit einem Forschungsauftrag, bei dem es einen leckeren und zugleich gesunden Cocktail auf Basis von Alginaten zu erfinden gilt.



IMPULSEXPHERIMENT

Kurzbeschreibung	Fachspezifische Kompetenzen	Anbindung an die Rahmenpläne	Stoffe
<p>Wasserperlen</p> <p>Die Schüler tropfen eine farblose Alginate- in eine ebenfalls farblose Kalziumlaktatlösung. Dabei bilden sich transparente Kugeln, deren Eigenschaften sie untersuchen</p> <p>Zeitbedarf: 1 Termin (90 min)</p>	<p>Genau beobachten und protokollieren</p> <p>Zwischen Beobachtung und Erklärung unterscheiden</p>	<p>Beobachten mit allen Sinnen</p> <p>Funktion Auge und Gehirn</p> <p>Aggregatzustände</p> <p>Eigenschaften und Umwandlung von Stoffen</p>	<p>Natriumalginate</p> <p>Kalziumlaktat</p> <p>Lebensmittelfarbe</p> <p>Wasser</p>



ERGÄNZUNGSEXPERIMENT

Kurzbeschreibung	Fachspezifische Kompetenzen	Anbindung an die Rahmenpläne	Stoffe
<p>Mit Puddingpulver hell erleuchtet</p> <p>Die Schüler extrahieren den Fluoreszenzfarbstoff Riboflavin aus Puddingpulver und stellen damit Alginatperlen her, die unter UV-Licht leuchten. Darüber hinaus testen sie weitere Farbstoffe.</p> <p>Zeitbedarf: 1 Termin (90 min)</p>	<p>Anleitungen erfassen und bearbeiten</p> <p>Grundlegende chemische Methoden üben (Extraktion, Filtration)</p>	<p>Lichtquellen und Lichtausbreitung</p> <p>Reflexion und Brechung von Licht</p> <p>Funktion des Auges</p> <p>Eigenschaften und Umwandlung von Stoffen</p> <p>Stoffgruppen unterscheiden</p>	<p>Puddingpulver</p> <p>Riboflavin</p> <p>Natriumalginat</p> <p>Kalziumlaktat</p>

FORSCHERAUFTRAG

Kurzbeschreibung	Fachspezifische Kompetenzen	Anbindung an die Rahmenpläne	Stoffe
<p>Süß und salzig</p> <p>Die Schüler kreieren einen Cocktail mit Alginatkugeln, der nicht nur gut schmeckt, sondern auch gesund ist.</p> <p>Zeitbedarf: 1 Termin (90 min)</p>	<p>Erworbene Fachkenntnisse anwenden</p> <p>Produkt mit vorgegebenen Eigenschaften entwickeln</p>	<p>Gesunde Ernährung</p> <p>Nährstoffe und Nahrungsergänzungstoffe</p> <p>Lebensmitteltechnologie</p>	<p>Natriumalginat</p> <p>Kalziumlaktat</p> <p>Zutaten des Cocktails</p>



Impulsexperiment: Wasserperlen

Arbeitsblätter	Materialien	
10 und 11	pro Gruppe (2–4 Schüler): 3 Bechergläser, 50 mL 1 Pasteurpipette aus Kunststoff 1 Teelöffel 1 Gefäß mit Leitungswasser 1 kleines Tablett oder Schale 1 kleines Sieb 1 Lupe ca. 50 mL Alginatlösung* ca. 100 mL Kalziumlaktatlösung*	pro Klasse: feste oder flüssige Lebensmittelfarben, Wasserfarbe, Tinte <i>* Natriumalginat und Kalziumlaktat können im Internet bestellt werden, Suche nach „Alginat und Kalziumlaktat für Molekularküche“</i>

Für dieses Experiment werden von der Lehrkraft – möglichst unter Mithilfe von zwei bis drei Schülern – zwei wässrige Lösungen am Vortag zubereitet. Die Gesamtmenge richtet sich nach Anzahl der Schülergruppen und kann wie folgt berechnet werden:

Alginatlösung pro Gruppe:

1 g Natriumalginat in 50 mL Wasser

Kalziumlaktatlösung pro Gruppe:

2 g Kalziumlaktat in 100 mL Wasser

Für die Alginatlösung wird festes Natriumalginat mit einem Schneebesen in Wasser eingerührt. Es bilden sich zunächst Klumpen, da die Oberfläche von einer Alginat-Sol-Schicht überzogen wird. Darum ist es sinnvoll, die Alginatlösung für die Experimente bereits einen Tag vorher herzustellen und über Nacht stehen zu lassen. Gelegentliches Umrühren beschleunigt den Lösungsprozess und lässt Luftblasen entweichen. Die Lösung kann im Kühlschrank mindestens eine Woche aufbewahrt werden. Das feste Kalziumlaktat löst sich leicht in Wasser.

Alginsäure ist ein Polysaccharid aus α -L-Guluronsäure und β -D-Mannuronsäure. Ihre Salze werden als Alginate bezeichnet. Während Alginsäure und Kalziumalginat sehr schlecht bzw. nicht wasserlöslich sind, lösen sich die Natrium-, Kalium- und Ammoniumsalze in Wasser.

Sobald Tropfen aus Natriumalginatlösung mit der Kalziumlaktatlösung in Kontakt kommen, sorgen die Kalziumionen dafür, dass sich ein Netzwerk aus Polymerketten bildet, in das Wassermoleküle eingelagert werden. So entsteht ein relativ stabiles Gel. Im naturwissen-

schaftlichen Anfangsunterricht kann die Gelbildung phänomenologisch beschrieben werden. Optional können Modelle verwendet werden.^{5,6}

Genau beobachten und beschreiben

Bevor die Schüler mit dem Experiment beginnen, werden sie aufgefordert, mit Hilfe von Textbausteinen eine Versuchsbeschreibung zu verfassen (Arbeitsblatt 10). Diese sollte im Plenum besprochen werden. Danach erhält jede Gruppe die auf dem Arbeitsblatt beschriebene Materialsammlung zur Herstellung von Alginatperlen. Ziel ist es, die Schüler mit einem Wow-Effekt zu überraschen: Zunächst scheint nichts zu geschehen. Wer aber sehr genau beobachtet, erkennt, dass sich in der Kalziumlaktatlösung farblose Kugeln bilden. Diese können die Schüler beispielsweise mit dem Sieb aus der Lösung fischen und dann untersuchen. Die Alginatkugeln dürfen dazu in die Hand genommen werden. Nach dem Experimentieren sollten sich die Schüler die Hände waschen.

Die Schüler werden aufgefordert, ihre Beobachtungen schriftlich festzuhalten. Dazu steht ein Lückentext zur Verfügung. Die Ergebnisse werden dann im Plenum besprochen. Folgende Veränderungen können beobachtet werden:

- Die Alginatlösung ist dickflüssig, die Kalziumlaktatlösung dünnflüssig wie Wasser. Beide sind durchsichtig und farblos.

⁵I. Deusing-Gottschalk, P. Mischnick, CHEMKON 2017, 24, 275.

⁶B. Risch, M. Iseke, CHEMKON 2010, 17, 111.



- Tropft man Alginat- in die Kalziumlaktatlösung, sind die Tropfen zunächst unsichtbar. Nach wenigen Sekunden bilden sich durchsichtige Kugeln, die man beispielsweise mit dem Sieb aus der Lösung herausholen kann.
- Die Kugeln haben eine elastische Haut, wodurch sie relativ stabil sind.
- Die Kugeln lassen sich leicht zerdrücken; im Inneren sind sie zunächst noch flüssig.
- Je länger die Kugeln in der Lösung bleiben, desto weiter verfestigen sie sich von außen nach innen.

Der Lückentext auf dem **Arbeitsblatt 10** kann beispielsweise so ergänzt werden: Die Tropfen sind farblos und unterschiedlich geformt. Sie sehen aus wie Perlen und Würmer. Wenn wir sie zerdrücken, läuft aus manchen Flüssigkeit heraus. Wenn wir durch sie hindurchschauen, stehen die Dinge auf dem Kopf.

Zwischen Beobachtung und Erklärung unterscheiden

Ziel ist hier unter anderem, dass die Schüler ganz genau beobachten und zwischen Beobachtung und Erklärung unterscheiden. Sie sollen deshalb zunächst ausschließlich Beobachtungen schildern. Erfahrungsgemäß werden die Schüler dabei zahlreiche inkorrekte Formulierungen wählen, zum Beispiel: „Die Tropfen verschwinden“ oder: „Sie lösen sich auf“. Diese müssen richtiggestellt werden.

Wenn genügend Zeit vorhanden ist, können die Schüler aus den beiden Ausgangslösungen weitere unterschiedlich geformte Gebilde herstellen, beispielsweise „Würmer“ oder größere Formen. Dabei verinnerlichen sie die einzelnen Arbeitsschritte des Experiments, die sie auch im Ergänzungsexperiment und beim Forscherauftrag anwenden können.

Wie sich Perlen aus Alginat bilden, erfahren die Schüler auf dem **Arbeitsblatt 11**, das außerdem schildert, wie Alginat aus Braunalgen gewonnen und beim Zahnarzt als Modelliermasse eingesetzt werden.

HINWEIS

Alginat – vielfältiger Rohstoff aus dem Meer

Alginsäure ist das strukturgebende Element der Zellen von Braunalgen. Um Alginat zu gewinnen, werden Braunalgen entweder direkt vom Meeresboden geerntet oder nach Stürmen am Strand gesammelt und getrocknet. Sie werden anschließend gewaschen, vermahlen, das Alginat wird extrahiert und gereinigt. Alginat werden in der Lebensmittelindustrie als Verdickungsmittel oder Emulgatoren genutzt, in der Medizin finden sie zum Beispiel Anwendung bei der Wundversorgung und als Abformmittel in der Kieferorthopädie. Schüler können die Aufgabe erhalten, Informationen zur Anwendung von Braunalgen und Alginaten zu recherchieren.

BASISKONZEPTE

Wasserperlen

Bei diesem Impulsexperiment können die Schüler direkte Bezüge zu zwei Basiskonzepten herstellen. Da die Alginatkugeln zum größten Teil aus Wasser bestehen und folglich fast den gleichen Brechungsindex wie Wasser haben, scheinen sie in der Kalziumlaktatlösung zu „verschwinden“. Nach dem Basiskonzept

Auf der Welt geht nichts verloren

ist das jedoch nicht möglich. Dies kann zum Anlass genommen werden, verschiedene optische Phänomene zu besprechen.

Prinzipiell könnte sich eine homogene Lösung bilden, wenn Alginat- in Kalziumlaktatlösung getropft wird – ein Vorgang, den die Schüler mit anderen Flüssigkeiten im Alltag häufig erleben. Dies kann an dieser Stelle anhand eines Experiments erkundet werden:

Beispielsweise tropfen die Schüler klares und zum Vergleich gefärbtes Salzwasser in Leitungswasser. Während sich hier homogene Lösungen bilden, verhält sich die Alginat- in der Kalziumlaktatlösung grundlegend anders. Es liegt deshalb nahe, dass die beiden farblosen Flüssigkeiten miteinander reagieren und deshalb die Kugeln entstehen. Dies entspricht dem Prinzip

Dinge beeinflussen sich gegenseitig

Der Begriff „chemische Reaktion“ kann hier eingeführt und besprochen werden. Wenn genügend Zeit zur Verfügung steht, können die Schüler einzelne Variablen untersuchen, die die Reaktion beeinflussen, etwa die Konzentration der beiden Lösungen oder die Temperatur. Sie könnten außerdem testen, ob der Kalziumgehalt von Milch ausreicht, um Alginatkugeln entstehen zu lassen.

Ergänzungsexperiment: Mit Puddingpulver hell erleuchtet

Arbeitsblatt	Materialien	
12	<p>pro Gruppe (2–4 Schüler): 2 Rollrandschnappdeckelgläser, 40 mL 1 Löffelspatel 1 Trichter mit Falten- oder Rundfilter 1 Messzylinder, 50 oder 100 mL</p> <p>auf einer Materialtheke pro Gruppe (2–4 Schüler): 1 UV-Lampe in einer Box 3 Bechergläser, 50 mL 1 kleines Sieb 1 Pasteurpipette aus Kunststoff 100 mL Kalziumlaktatlösung 50 mL Alginatlösung</p>	<p>pro Klasse: 4 Packungen Puddingpulver Vanille (nicht Sahne-Geschmack) mit Farbstoff Riboflavin Textmarker Wasserfarbe Tinte Lebensmittelfarbe</p>

Auch für dieses Experiment werden Alginat- und Kalziumlaktatlösungen eingesetzt, von denen vor allem die Alginatlösung am Vortag von der Lehrkraft – möglichst unter Mithilfe von zwei bis drei Schülern – zubereitet werden sollte. Folgende Mengen werden mindestens benötigt:

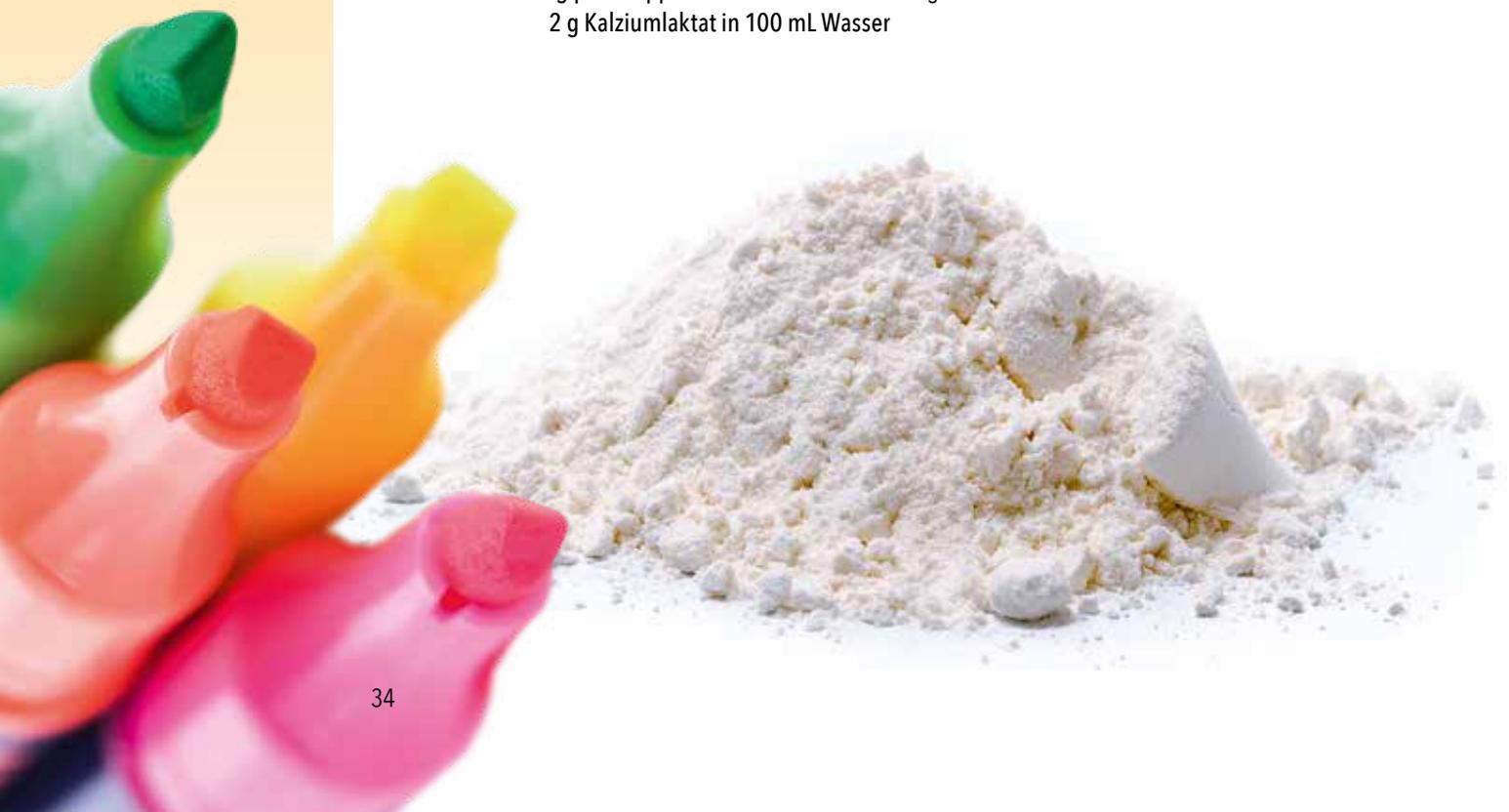
Alginatlösung pro Gruppe:

1 g Natriumalginat in 50 mL Wasser

Kalziumlaktatlösung pro Gruppe:

2 g Kalziumlaktat in 100 mL Wasser

Die für das Experiment erforderlichen UV-Lampen können sogenannte Geheimstifte mit einer kleinen UV-Lampe sein, die die Schüler selbstständig verwenden können. Die Schüler müssen zuvor auf die Gefahr hingewiesen werden, dass UV-Strahlen die Augen schädigen können (s. Gefährdungsbeurteilung). Darum wird als Blendschutz ein Karton vorbereitet: In den Deckel wird ein Sichtfenster geschnitten, in die Vorderseite eine Öffnung, durch die die Probe in den Karton geschoben wird. Damit kann die Fluoreszenz auch bei Tageslicht gut beobachtet werden.



Wichtige Labortechniken erlernen

Das Ergänzungsexperiment führen die Schüler nach Anleitung durch. Um den Einstieg in die schriftliche Versuchsanleitung zu erleichtern, werden sie zunächst aufgefordert, die benötigten Materialien in ihr Heft zu zeichnen. Dazu können die Materialien mit oder ohne Beschriftung zur Verfügung gestellt werden. Einerseits können Beschriftungskärtchen sprachlich schwachen Schülern eine große Hilfe sein. Andererseits können die Fachausdrücke leicht hergeleitet werden. Was beispielsweise ähnlich aussieht wie ein Löffel, ist ein Löffelspatel; das Gefäß mit einer Messkala ist ein Messzylinder, usw.

Nach Anleitung geben die Schüler dann Vanillepuddingpulver, das den Fluoreszenzfarbstoff Riboflavin enthält, in Wasser. Es empfiehlt sich, keinen Pudding mit Sahnegeschmack zu verwenden, da das enthaltene Sahnepulver die Lösung trübt. Riboflavin gehört zu den wasserlöslichen Vitaminen (70 mg/L bei 20 °C) und verbleibt nach dem Filtrieren im Filtrat, das leicht gelb gefärbt ist. Daraus stellen die Schüler Alginatperlen her. Diese werden in Wasser gegeben, wo sie unter normaler Beleuchtung schemenhaft als hellgelbe Punkte zu erkennen sind. Unter UV-Licht sind sie aufgrund des fluoreszierenden Riboflavins dagegen deutlich zu sehen.

Mit Textmarkern, die ebenfalls lösliche Fluoreszenz-Farbstoffe enthalten, können die Schüler weitere, leuchtende Alginatperlen herstellen. Die Farben der Marker lassen sich einfach in Wasser lösen, indem man den Stift in etwas Wasser hält. Mit solchen Lösungen werden dann die Alginat-Perlen hergestellt. Gibt man die Perlen in Wasser und beobachtet sie unter UV-Licht, scheinen sie zu schweben, da das Wasser nicht fluoresziert und daher scheinbar unsichtbar ist. Besonders beeindruckend lässt sich dies in einem abgedunkelten Raum oder in dem vorab präparierten Karton sehen.



Die Schüler werden außerdem aufgefordert, andere nicht fluoreszierende Farbstoffe zu verwenden, um Alginatperlen herzustellen. Dazu eignen sich alle wasserlöslichen Farbstoffe, zum Beispiel Tinte oder Lebensmittelfarben.

HINWEIS

Vom blauen Licht zur weißen Wäsche

Stellt man einen abgeschnittenen Zweig einer Rosskastanie in ein Glas mit Wasser und bestrahlt diesen mit einer UV-Lampe, so beobachtet man, dass die Lösung blau fluoresziert. Aus dem Zweig tritt die Cumarinverbindung Aesculin aus und löst sich im Wasser.

Die blaue Fluoreszenz von Cumarinen wurde von dem deutschen Chemiker Paul Krais im Jahr 1929 entdeckt: Er versetzte Wolle und Flachs mit Extrakten der Rosskastanie und erzielte eine deutliche optische Aufhellung. Das vom Aesculin abgeleitete 4-Methylumbelliferon war der erste industriell hergestellte Aufheller.

BASISKONZEPTE

Mit Puddingpulver hell erleuchtet

Bei diesem Experiment betrachten Schüler mit Riboflavin hergestellte Alginatperlen unter UV-Licht. Die vorher blassgelben Kugeln leuchten dabei deutlich, wenn man sie in einem abgedunkelten Raum betrachtet. Dies illustriert das Basiskonzept:

Mit Energie kann man etwas tun

Auf phänomenologischer Ebene ist den Schülern klar, dass die Lampe Energie liefert, die die Kugeln zum Leuchten bringt. Daran anknüpfend kann erörtert werden, was gegeben sein muss, damit wir Dinge sehen können. Außerdem können Begriffe wie Energiequelle oder Energiewandlung diskutiert werden.

Forscherauftrag: Süß und salzig

Arbeitsblatt	Materialien	
13	pro Gruppe (2-4 Schüler): 1 L Mineralwasser mit Kohlensäure	pro Klasse: 1 L Alginat- und 1 L Kalziumlaktatlösung für Alginatkugeln zum Verzehr Küchengeräte, z.B. Messer, Schneidebrett, Pürierstab, Löffel, Gläser oder durchsichtige Becher, dicke Strohhalme, möglichst einzeln verpackt. Zutaten für Cocktails, z.B. weiches Obst, das leicht püriert werden kann (Erdbeeren, Himbeeren, Blaubeeren, Mango, Banane), alternativ: fertige Smoothies aus dem Supermarkt, verschiedene Sorten Sirup. Süßungsmittel: Zucker, Stevia, Agavendicksaft, Honig. Frische Kräuter: Pfefferminze, Rosmarin, Lavendel.

Wie für die beiden vorangegangenen Experimente müssen auch für die Bearbeitung des Forscherauftrags Alginat- und Kalziumlaktatlösungen hergestellt werden. Da die hiermit hergestellten Alginatkugeln oder -würmer von den Schülern verzehrt werden, sollten in diesem Fall Küchengeräte verwendet werden.

Die zum Experimentieren benötigten Mengen an Lösungen hängen stark von der Zeit ab, die den Schülern zur Verfügung steht. Auch in diesem Fall empfiehlt es sich, vor allem die Alginatlösung am Vortag zuzubereiten – eventuell gemeinsam mit den Schülern. Empfehlenswert sind folgende Mindestmengen:

Alginatlösung pro Gruppe:
2 g Natriumalginat in 100 mL Wasser

Kalziumlaktatlösung pro Gruppe:
4 g Kalziumlaktat in 200 mL Wasser

HINWEIS

Kaviar, der nach Melone schmeckt

Die verschiedenen Salze der Alginsäure sind als Lebensmittelzusatzstoffe zugelassen. Am häufigsten wird das Natriumalginat (E401) als Emulgator, Gelier-, Überzugs- und Verdickungsmittel verwendet und ist ein beliebtes Hilfsmittel in der sogenannten molekularen Küche: Frucht- oder Gemüsesäfte werden mit Alginat versetzt und in Kalziumlaktatlösung getropft. So entsteht beispielsweise „Kaviar“, der nach Rote Bete schmeckt. Berühmt ist der sphärische Melonenkaviar des spanischen Kochs Ferran Adrià Acosta, einem der Mitbegründer der Molekularküche.



Mit vorgegebener Methode ein Produkt entwickeln und optimieren

Die Schüler erhalten den Forschungsauftrag, einen Cocktail zu erfinden, der nicht nur gut schmeckt, sondern auch möglichst gesund ist. Ein Bestandteil davon sind Perlen oder Würmer aus Alginat. Vorab sollte besprochen werden, welche Zutaten ein gesundes Getränk ausmachen. Dies sind vor allem frisches Obst, wenig Zucker und natürliche Aromen, zum Beispiel aus frischen Kräutern wie Minze. Alternativ lassen sich auch interessante und gesunde Getränke aus Gemüsesaft und Gewürzen herstellen. Das auf dem **Arbeitsblatt 13** vorgeschlagene Rezept soll Ideen dazu liefern. Jede Schülergruppe sollte aber ein individuelles Rezept erstellen und nach Möglichkeit die Zutaten zum Experimentiertermin von zu Hause mitbringen.

☐ Idealerweise findet dieser Termin in einer Schulküche statt; alternativ kann ein Klassenraum genutzt werden. In Fachräumen dürfen keine Lebensmittel verzehrt werden. Im Klassenraum muss darauf geachtet werden, dass mit den – möglicherweise von zu Hause mitgebrachten – Küchenutensilien hygienisch sauber gearbeitet wird (s. Gefährdungsbeurteilung). Vor Beginn des Arbeitens sollten die Tische mit Seifenlösung gereinigt und mit sauberen Tüchern trocken gerieben werden.

Bei der Herstellung der Alginatkugeln greifen die Schüler auf die Labortechniken zurück, die sie bei der Durchführung des Impuls- und des Ergänzungsexperiments geübt haben. Sie übertragen außerdem eine Versuchsvorschrift auf andere Ausgangsstoffe und entwickeln insgesamt ein Produkt, das vorgegebene Eigenschaften haben soll. Spannend kann es in diesem Zusammenhang auch sein, zunächst Alginatkugeln nur mit Wasser herzustellen und deren Geschmack zu testen.

BASISKONZEPTE

Süß und salzig

Bei diesem Forschungsauftrag liegt es nahe, in gleicher Weise auf die Basiskonzepte Bezug zu nehmen wie bei dem Impulsexperiment Wasserperlen. Zusätzlich kann im Zusammenhang mit Ernährungsthemen das Konzept

Mit Energie kann man etwas tun



Sobald die Schüler mit ihrem Cocktail zufrieden sind, bereiten sie dazu eine kurze Präsentation vor. Diese kann folgende Themen umfassen:

- die Zutaten des Cocktails und die Gründe für deren Auswahl,
- Besonderheiten bei der Herstellung,
- eine Analyse, warum der Cocktail gesünder ist als beispielsweise herkömmliche Limonade oder Cola-Getränke.

Die Schüler können außerdem den Einsatz von Alginaten als Lebensmittelzusatzstoffe recherchieren und die Vor- und Nachteile solcher Stoffe darstellen. Auch die Frage, ob und unter welchen Bedingungen sich das selbst kreierte Getränk kommerziell vermarkten ließe, kann diskutiert werden. Eventuell können dazu erste Tests auf einem Schulfest durchgeführt werden.

beleuchtet werden: Der menschliche Körper kann all seine Aufgaben nur erfüllen, wenn ihm dazu Energie über die Nahrung zugeführt wird. Die Schüler können beispielsweise recherchieren, wie hoch der Energiegehalt ihres Cocktails ist und welche Tätigkeiten sie mit dieser Energie leisten könnten.

Rohstoffe und Reaktionen von Farben

Was geschieht mit der blauen Farbe von Tinte in warmem Leitungswasser? Ist sie wirklich verschwunden? Nein, ein paar Spritzer Zitronensaft lassen sie wiedererscheinen. Auch in diesem Baustein gibt ein zunächst unerwartetes Phänomen den Schülern den Impuls, sich eingehender mit den chemischen Eigenschaften von Tinten zu beschäftigen.

Im Ergänzungsexperiment stellen sie durch die chemische Reaktion eines Inhaltsstoffs des grünen Tees und einem Eisensalz nach einem historischen Rezept Tinte her und befassen sich mit der spannenden Geschichte der Entwicklung von Tinten. Im abschließenden Forscherauftrag werden die Schüler selbst zu Erfindern. Sie wenden das in diesem und im vorangegangenen Baustein erworbene Wissen über chemische Reaktionen an, um eine eigene Geheimtinte zu entwickeln.



IMPULSEXPHERIMENT

Kurzbeschreibung	Fachspezifische Kompetenzen	Anbindung an die Rahmenpläne	Stoffe
<p>Tintenzauber</p> <p>Die Schüler tropfen königsblaue Tinte in warmes, möglichst kalkhaltiges Wasser. Nach wenigen Minuten ist die anfangs kräftig gefärbte Lösung nur noch blassblau oder farblos. Geben die Schüler nun Zitronensaft hinzu, wird die Lösung wieder dunkelblau.</p> <p>Zeitbedarf: 1 Termin (90 min)</p>	<p>Reaktion nach Anleitung kennenlernen</p> <p>Eigene Forscherfrage entwickeln und mit Experiment beantworten</p>	<p>Wasser als Lösungsmittel</p> <p>Umwandlung von Stoffen</p> <p>Chemische Reaktion</p> <p>Wasser als Reinstoff bzw. Gemisch</p> <p>Farbigkeit und Licht</p> <p>Reflexion</p>	<p>Blaue oder andere Tinte</p> <p>Zitronensaft</p> <p>Essig</p> <p>Natron</p> <p>Destilliertes Wasser</p>

ERGÄNZUNGSEXPERIMENT

Kurzbeschreibung	Fachspezifische Kompetenzen	Anbindung an die Rahmenpläne	Stoffe
<p>Tinte aus Tee</p> <p>Mit Hilfe einer Anleitung stellen die Schüler aus grünem Tee und einem Eisensalz Eisengallustinte her. Sie wiederholen das Experiment mit Bananenschalen statt Tee.</p> <p>Zeitbedarf: 1 Termin (90 min)</p>	<p>Anleitung erfassen und bearbeiten</p> <p>Bekannte Reaktion mit anderen Ausgangsmaterialien wiederholen</p>	<p>Inhaltsstoffe von Früchten und Blättern</p> <p>Stoffeigenschaften</p> <p>Isolation und Extraktion von Inhaltsstoffen</p> <p>Farbigkeit und Licht</p> <p>Absorption (die Farbe Schwarz)</p>	<p>Grüner Tee</p> <p>Eisensulfat</p> <p>Guarkernmehl</p> <p>Bananenschale</p> <p>Papier</p>

FORSCHERAUFTRAG

Kurzbeschreibung	Fachspezifische Kompetenzen	Anbindung an die Rahmenpläne	Stoffe
<p>Geheimdienst Chemie</p> <p>Die Schüler erhalten den Auftrag, eine Geheimtinte zu erfinden. Sie können dazu die Reaktionen nutzen, die sie durch das Impuls- und das Ergänzungsexperiment kennengelernt haben.</p> <p>Zeitbedarf: 1 Termin (90 min)</p>	<p>Mit bekannten chemischen Reaktionen eine Anwendung entwickeln</p>	<p>Sicheres Handeln beim Experimentieren</p> <p>Strukturiertes Planen eines Experiments</p> <p>Eine bekannte chemische Reaktion zum Nachweis anwenden</p>	<p>Apfel- oder Zwiebelsaft</p> <p>Zucker</p> <p>Andere Ausgangsstoffe für Geheimtinte</p>



Impulsexperiment: Tintenzauber

Arbeitsblätter	Materialien	
14 und 15, Kopiervorlage 4	pro Gruppe (2–4 Schüler): 2 Rollrandschnappdeckelgläser, 40 mL 1 Pasteurpipette aus Kunststoff 1 Patrone blaue Tinte (Königsblau) Zitronensaft oder Zitronensaftkonzentrat	pro Klasse: optional: Isolierkanne für warmes Wasser oder Wasserkocher (wenn kein Warm- wasseranschluss vorhanden) 1,5 L PET-Flasche, weitere Rollrandschnappdeckelgläser Pasteurpipetten aus Kunststoff Marmorkies oder saubere Muscheln (wenn das Wasser nicht kalkhaltig genug ist), weitere Tinten (z. B. Grün und Türkis) destilliertes Wasser, Essig, Natron, Salz Zucker

Mit diesem Baustein üben die Schüler problemorientiertes und forschendes Lernen besonders nachhaltig. Sie setzen sich dabei intensiv mit chemischen Reaktionen auseinander.

Eine eigene Forscherfrage entwickeln und mit einem Experiment beantworten

Wie bei den übrigen Impulsexperimenten beginnen die Schüler ohne inhaltliche Vorbereitung zu experimentieren. Jede Schülergruppe bekommt dazu ein Arbeitsblatt (Arbeitsblatt 14), auf das sie mit Hilfe von Textbausteinen eine kurze Versuchsanleitung schreiben. Diese sollte vor dem Experimentieren im Plenum besprochen werden. Für den Versuch benötigen die Schüler warmes Wasser. Der Versuch gelingt in der vorgegebenen Zeit allerdings nur, wenn das Leitungswasser relativ kalkhaltig ist. Steht nur kalkarmes Leitungswasser zur Verfügung, kann dieses leicht mit Kalk angereichert werden, indem man es über Nacht über Marmorkies oder saubere Muscheln stehen lässt. Alternativ kann Kalziumionen enthaltendes stilles Mineralwasser verwendet werden.

Die Schüler stellen nach Anleitung zwei identische Lösungen mit blauer Tinte her. Nach etwa fünf Minuten sind diese nur noch blassblau oder farblos; mit kaltem kalkarmem Wasser kann die Entfärbung mehrere Stunden dauern.

Die Schüler geben dann Zitronensaft in eines der beiden Gläser, worauf die Lösung wieder intensiv blau wird. Sie werden nach dieser Beobachtung aufgefordert, eine eigene Forscherfrage zu formulieren, um die Reaktion der Tinte genauer zu analysieren. Sie entwickeln also eine Hypothese, die sie anschließend per Experiment prüfen. Erfahrungsgemäß ist hierzu nur wenig zusätzliches Material nötig, das auf einer Materialtheke zur Verfügung gestellt werden kann.

Beispiele für Forscherfragen, die die Schüler formulieren und mit einem Experiment beantworten können, lauten:

- Verblasst die Tinte auch in kaltem Wasser? (Ja, die Reaktion verläuft aber sehr viel langsamer.)
- Gibt es andere Reagenzien, mit denen der blaue Farbstoff wieder sichtbar gemacht werden kann? (Ja, dies gelingt auch mit anderen Säuren wie Speiseessig.)
- Ist die Säure im Zitronensaft dafür verantwortlich, dass der blaue Farbstoff wieder sichtbar wird? (Ja, denn die Reaktion gelingt auch mit anderen Säuren, aber nicht mit Stoffen wie Zucker oder Salz.)
- Was passiert, wenn man eine Tinte mit anderer Farbe verwendet? (Auch andere Tinten zeigen Farbänderungen, die ganz unterschiedlich ausfallen können.)
- Was passiert, wenn man Farbe aus Filzstiften verwendet? (Die Reaktionen sind hier wenig vorhersehbar, da es sehr viele Rezepturen gibt.)
- Was passiert, wenn man destilliertes Wasser statt Leitungswasser verwendet? (Das Wasser entfärbt sich nicht.)
- Ist Kalk im Leitungswasser für die Entfärbung verantwortlich? (Ja, denn die Geschwindigkeit der Entfärbung ist proportional zum Kalkgehalt.)

Die Schüler stellen und beantworten eventuell auch Fragen, die nicht direkt mit den beobachteten Reaktionen zusammenhängen, zum Beispiel: Wie lange dauert es, bis sich die Tinte zu Beginn des Versuchs gleichmäßig im Wasser verteilt hat, wenn das Gefäß nicht geschüttelt wird?

Idealerweise werden zunächst alle Fragen im Plenum gesammelt und besprochen. So kann sichergestellt werden, dass die Gruppen möglichst viele verschiedene Fragestellungen bearbeiten. Die naheliegenden Fragen „Warum entfärbt sich die Tinte? und „Warum wird die blaue Farbe mit Zitronensaft wieder sichtbar?“ sind nur mit Fachwissen zu beantworten (s. Hinweis), können aber auf phänomenologischer Ebene diskutiert werden (s. Kasten Basiskonzepte).

Mit Hilfe der **Kopiervorlage 4** können die Schüler ihr Experiment dokumentieren. Diese Kopiervorlage kann prinzipiell auch für jedes andere Experiment verwendet werden.

HINWEIS

Blaue Tinte enthält in der Regel die Farbstoffe Methylblau oder Wasserblau. In leicht alkalischer Lösung werden diese farblos. Dies geschieht bereits in Leitungswasser – vorausgesetzt, das Wasser ist relativ kalkhaltig: Beim Erhitzen entsteht aus Hydrogencarbonat Carbonat, das alkalisch reagiert. Gibt man dann Säure hinzu, beispielsweise Zitronensäure mittels Zitronensaft, färbt sich die Lösung sofort wieder dunkelblau. Blaue Tinte lässt sich damit auch für weitere Experimente im Unterricht einsetzen.⁷

Auf dem **Arbeitsblatt 15** erfahren die Schüler, warum sich die blaue Tinte in warmem Wasser entfärbt hat, sowie Spannendes über die Historie von Tinten. Außerdem wird erklärt, was dafür verantwortlich ist, dass manche Tinten einfach wegradiert werden können.

BASISKONZEPTE

Tintenzauber

Bei diesem Impulsexperiment setzen sich die Schüler intensiv mit chemischen Reaktionen auseinander. Ein Farbstoff wird dabei zunächst farblos. Die Schüler werden behaupten: Der Farbstoff „verschwindet“. Mit Blick auf das Basiskonzept:

Auf der Welt geht nichts verloren

müssen sie zu dem Schluss kommen, dass dies nicht sein kann. Es handelt sich vielmehr um eine Farbveränderung zur „Farbe“ Farblos. Es ist sinnvoll, andere Beispiele aus dem Alltag zu Farbveränderungen zu sammeln; all dies sind Beispiele für chemische Reaktionen, die auf folgendes Basiskonzept zurückzuführen sind:

Dinge beeinflussen sich gegenseitig

Irgendetwas im Wasser beeinflusst die blaue Tinte, so dass diese farblos wird. Umgekehrt bewirkt der Zitronensaft, dass die farblose Tinte wieder blau wird. Hier kann der Begriff der chemischen Reaktion eingeführt werden, falls die Schüler diesen noch nicht kennen.

⁷Pöhls, C. und Busker, M. (2015), *Experimente mit blauer Tinte*. CHEMKON, 22: 138–141.

Ergänzungsexperiment: Tinte aus Tee

Arbeitsblatt	Materialien	
16	pro Gruppe (2–4 Schüler): 1 Schutzbrille pro Schüler 1 Paar Schutzhandschuhe pro Schüler 1 Becherglas, 250 mL 1 Becherglas, 50 mL 1 Pasteurpipette aus Kunststoff 1 Pinsel oder Wattestäbchen zum Schreiben 1 Beutel grüner Tee 5–10 Karteikarten DIN A5 oder DIN A6	pro Klasse: 1 Wasserkocher 1 Spatel 1 Feinwaage 10 g Eisen(II)-Sulfat-Heptahydrat 10 g Guarkernmehl 5 Bananenschalen

Im Rahmen dieses Ergänzungsexperiments stellen die Schüler nach Anleitung aus Eisen(II)-Sulfat Heptahydrat (Eisenvitriol) und Gallussäure aus grünem Tee Eisengallustinte her, eine bis ins 20. Jahrhundert gebräuchliche schwarze, dokumentenechte Tinte. Um sich vorab intensiv auf den Versuch vorzubereiten, werden sie aufgefordert, mit Hilfe des Texts auf **Arbeitsblatt 16** eine Versuchsanleitung zu zeichnen. Gegebenenfalls kann es nützlich sein, auf Beispiele für grafisch dargestellte Anleitungen im Schulbuch zu verweisen.

Da die Schüler mit Eisen(II)-Sulfat arbeiten, tragen sie während des gesamten Experiments Schutzbrillen und Handschuhe (s. Gefährdungsbeurteilung). Um Verbrühungen bei der Zubereitung des Tees zu vermeiden, sollte das kochende Wasser von der Lehrkraft direkt an den Arbeitsplätzen der Schüler über die Teebeutel gegossen werden, während das dazu verwendete

Becherglas sicher auf dem Tisch steht. Nach fünf Minuten ist das Wasser hinreichend abgekühlt und kann gefahrlos von den Schülern weiterverwendet werden.

HINWEIS

Tinte für die Ewigkeit?

Eisengallustinte trocknet schnell, ist nicht ohne Spuren zu entfernen und verblasst nicht unter der Einwirkung von Sonnenlicht. Sie war daher die wichtigste Tinte des Mittelalters bis in die Neuzeit. Mit ihr wurde 1776 die Unabhängigkeitserklärung der Vereinigten Staaten von Amerika verfasst ebenso wie der 1992 in Maastricht geschlossene Vertrag der Europäischen Union. Einige sehr alte Dokumente zeigen jedoch den sogenannten „Tintenfress“, denn die Tinte zerfällt teilweise in Schwefelsäure und freie Eisen(II)-Ionen. Beide Stoffe greifen die Zellulosefasern des Papiers an. Bekannt ist das Problem zum Beispiel von den Notenblättern von Johann Sebastian Bach.



Eine historisch bedeutende Farbreaktion erkunden

Zur Einführung kann das Thema Tinten im historischen Kontext behandelt werden. Die ersten Tinten wurden 3000 v. Chr. in Ägypten bzw. 2600 v. Chr. in China verwendet. Dabei handelte es sich um Rußtinten. Die erste Beschreibung der Eisengallustinte stammt aus dem 3. Jh. v. Chr. Ab Mitte des ersten Jh. n. Chr. wurde sie in Mitteleuropa zu einer der am häufigsten verwendeten Tinten. Die benötigte Gallussäure wurde aus Galläpfeln gewonnen, die dafür zerstoßen und gekocht wurden. Zugewasenes Gummi Arabicum diente als Bindemittel und verhinderte das Ausflocken der Tinte. Weil sich der schwarze Farbstoff vor allem nach dem Schreiben auf dem Papier bildete, wurde Methylblau zugewasert, das mit der Zeit verblasste. Das Geschriebene war damit zunächst blau oder blauschwarz und wurde mit der Zeit tiefschwarz.

Für das Ergänzungsexperiment wird grüner Tee in Beuteln verwendet. Dieser beinhaltet Gallussäure und Tannine (glykosidisch gebundene Gallussäure), die sich nach wenigen Minuten im heißen Wasser gelöst haben. Der grüne Tee kann auch durch schwarzen ersetzt werden. Allerdings enthält schwarzer Tee in der Regel wesentlich weniger Tannine als grüner.

Gallussäure bildet mit Eisen(II)-Ionen einen farblosen, wasserlöslichen Eisen(II)-gallat-Komplex. Nach dem Schreiben auf Papier entsteht durch Oxidation mit Luftsauerstoff der wasserunlösliche, tiefschwarze Eisen(III)-gallat-Komplex.

Dickt man die Tinte mit etwas Guarkernmehl an, kann sie besser mit einem Pinsel aufgetragen werden. Die Schüler sollten dabei dickeres Papier, zum Beispiel Karteikarten, verwenden, da normales Papier schnell durchweichen kann.

Eine bekannte Reaktion mit neuem Ausgangsmaterial durchführen

Nachdem die Schüler Eisengallustinte mit grünem Tee hergestellt und damit auf Papier geschrieben haben, erhalten sie den Forscherauftrag, Eisengallustinte mit Bananenschalen herzustellen, die ebenfalls Tannine enthalten. Dies gilt im Übrigen für weitere Naturprodukte, zum Beispiel für Holz und Rinde von Eichen, Birken und Kastanien, die Fruchthülle von Walnüssen sowie für Quitten und Weintrauben. Die Schüler übertragen eine Reaktion, die sie per Anleitung kennengelernt haben, auf ein weiteres Ausgangsmaterial. Wie dieses Experiment durchzuführen ist, wird nicht vorgegeben. Es liegt jedoch nahe, die Tannine aus einer Bananenschale genauso zu extrahieren wie aus Tee.

Die Schüler könnten beispielsweise so vorgehen:

- etwa die Hälfte einer Bananenschale mit einer Schere kleinschneiden,
- mit ca. 100 mL kochendem Wasser übergießen,
- nach ca. fünf Minuten die Schale aus der Lösung entfernen und diese dann analog zum grünen Tee weiterverarbeiten.

Auch mit Bananenschale entsteht tiefschwarze Tinte.

BASISKONZEPTE

Mit Tinte aus Tee ewig schwarz

Im Rahmen des Ergänzungsexperiments beschäftigen sich die Schüler weiter mit dem Thema chemische Reaktion, nach dem Basiskonzept:

Dinge beeinflussen sich gegenseitig

Das Konzept wird dadurch gefestigt, dass mit dem Forscherauftrag eines von zwei Ausgangsmaterialien ausgetauscht wird. Weil offensichtlich das gleiche Produkt, nämlich schwarze Tinte, entsteht, liegt nahe, dass grüner Tee und Bananenschalen identische Stoffe enthalten müssen, die mit dem Eisensalz zu einem schwarzen Produkt reagieren.

Forscherauftrag: Geheimdienst Chemie

Arbeitsblatt	Materialien	
17	pro Gruppe (2–4 Schüler): 1 Schutzbrille pro Schüler 1 Paar Schutzhandschuhe pro Schüler (Forscherauftrag 3) 1 Pinsel für Eisen(II)-Sulfat-Lösung 1 Pinsel für Zitronensaft 5–10 Karteikarten DIN A5 oder DIN A6	pro Klasse: Forscherauftrag 1: kleine Gefäße für die selbst hergestellte Tinte, Apfelsaft, Zucker, Zwiebel, Zitronensaft oder Zitronensaftkonzentrat Teelichter und Feuerzeug, feuerfeste Unterlage sowie Gefäß mit Wasser zum Löschen Forscherauftrag 2: UV-Lampe, Rollrandschnappdeckelgläser, Trichter, Messzylinder, Löffelspatel 1 Packung Puddingpulver, Vanille mit Riboflavin (nicht Sahnegeschmack), Filter Forscherauftrag 3: Bechergläser, Rollrandschnappdeckelgläser, Wasserkocher, optional: Isolierkanne für warmes Wasser Eisen(II)-Sulfat-Heptahydrat, Pasteurpipetten aus Kunststoff, blaue Tinte, Teebeutel mit grünem Tee, Zitronensaft oder Zitronensaftkonzentrat

Unter dem Motto „Geheimdienst Chemie“ erhalten die Schüler drei Forscheraufträge (Arbeitsblatt 17) zur Herstellung von Geheimtinten, die sie unabhängig voneinander bearbeiten können. Sie erhalten dazu keine Anleitungen, sondern jeweils unterschiedliche Tipps, mit welchen Ausgangsstoffen sie die Tinten herstellen können. Es empfiehlt sich in jedem Fall, mit den Tinten auf dickeres Papier zu schreiben, zum Beispiel auf Karteikarten.

In **Forscherauftrag 1** werden Flüssigkeiten als Geheimtinten beschrieben, die organische Verbindungen enthalten, die beim Erhitzen verkohlen und deshalb sichtbar werden. Dazu gehören Zitronensaft, Apfelsaft, Milch, Essig, Zuckerlösung oder Zwiebelsaft. Die Schüler erhalten keine Anleitung; die Herausforderung besteht darin, aus den gegebenen Informationen eine Versuchsvorschrift zu entwickeln, die eine brauchbare Geheimtinte liefert. Dies gilt für alle drei Forscheraufträge. Bei **Forscherauftrag 1** können die Schüler die auf dem Arbeitsblatt genannten Flüssigkeiten vergleichend testen. Diese sollten jeweils trocknen, bevor das Papier vorsichtig über dem Teelicht erhitzt wird.

 Zuvor sollten Feuerschutzmaßnahmen besprochen werden. Es empfiehlt sich beispielsweise, eine  Schüssel mit Wasser bereit zu stellen, falls ein Stück Papier Feuer fängt (s. Gefährdungsbeurteilung). Dieses kann dann in Wasser getaucht werden. Neben den aufgezählten Flüssigkeiten können die Schüler auch andere testen.

HINWEIS

Thermosensitive Tinte

Bereits 1975 entdeckte ein japanischer Wissenschaftler die Formel für einen Farbstoff, der auf Temperaturunterschiede reagiert. Die thermosensitive Tinte wurde unter anderem für die Gestaltung von Tassen genutzt, die ihre Farbe wechseln, sobald heißer Kaffee eingefüllt wird. Bei den Olympischen Spielen in Los Angeles wurde die Tinte für den Druck fälschungssicherer Eintrittstickets genutzt. Seit dem Jahr 2007 wird die Tinte für Stifte genutzt, deren Schriftbild sich mit einem normalen Radiergummi entfernen lässt. Beim Radieren erhitzt sich die Tinte bis auf über 60 °C und wird dadurch unsichtbar. Umgekehrt wird sie bei Temperaturen von unter –10 °C wieder sichtbar.

Wissen über chemische Reaktionen anwenden

Für den **Forscherauftrag 2** sollen die Schüler den Farbstoff Riboflavin, den sie für das Ergänzungsexperiment „Mit Puddingpulver hell erleuchtet“ des dritten Bausteins dieses Unterrichtsmaterials aus Puddingpulver extrahiert haben, als Tinte verwenden. Riboflavin fluoresziert unter UV-Licht und wird so sichtbar. Auch hier besteht die Aufgabe vor allem darin, ein Verfahren zu entwickeln, das eine wirkungsvolle Geheimtinte liefert. Dazu müssen die Schüler beispielsweise die Konzentration des Riboflavins optimieren. Der Stoff selbst ist schwach gelb gefärbt.

! Es müssen alle Sicherheitsvorkehrungen beachtet werden, die beim Ergänzungsexperiment „Mit Puddingpulver hell erleuchtet“ des dritten Bausteins beschrieben werden (s. Gefährdungsbeurteilung).

Für den **Forscherauftrag 3** sollen die Schüler die Farbreaktionen anwenden, die sie im Rahmen dieses Bausteins kennengelernt haben. Wie beim Impulsexperiment können sie eine farblos gewordene Lösung aus ursprünglich blauer Tinte herstellen, mit der sie auf Papier schreiben. Nach dem Trocknen wird die Tinte mit Zitronensaft wieder sichtbar gemacht. Dafür wird der Saft zum Beispiel mit Haushaltspapier oder einem Pinsel auf das Papier getupft. Die Tinte erscheint wieder blau.

Für eine Geheimtinte, die analog der Herstellung von Eisengallustinte funktioniert, schreiben die Schüler mit aufgebrühtem grünem Tee auf Papier. Nach dem Trocknen wird die Tinte mit einer Lösung aus Eisensulfat aktiviert. Die Lösung sollte mit einem Pinsel aufgetragen werden, der nur dafür verwendet wird. Die Schrift erscheint sofort schwarz. Schüler werden auch eine Eisen(II)-Sulfat-Lösung als Geheimtinte verwenden, die mit grünem Tee aktiviert wird. Allerdings sind die Ergebnisse weniger überzeugend wie umgekehrt: Die Schrift verschwimmt sehr stark.

! Auch bei diesem Forscherauftrag tragen die Schüler eine Schutzbrille und Handschuhe (s. Gefährdungsbeurteilung).

BASISKONZEPTE

Geheimdienst Chemie

Weil bei allen drei Forscheraufträgen unsichtbare Geheimtinten sichtbar gemacht werden, gilt:

Auf der Welt geht nichts verloren

Da die Schüler die Tinten selbst herstellen und damit schreiben, erleben sie direkt, dass unsichtbare Stoffe nicht „weg“ sind, sondern lediglich farblos. Durch chemische Reaktionen werden manche wieder sichtbar. Im Fall der Geheimtinte aus Riboflavin wird die Schrift durch Energiezufuhr sichtbar:

Mit Energie kann man etwas tun

Schließlich gilt für chemische Reaktionen, wie bereits weiter oben beschrieben:

Dinge beeinflussen sich gegenseitig

Damit können die Schüler bei diesen Forscheraufträgen direkte Bezüge zu allen drei Basiskonzepten herstellen.



Herausgeber

Fonds der Chemischen Industrie im Verband
der Chemischen Industrie e. V. (FCI)
Mainzer Landstraße 55
60329 Frankfurt am Main
www.vci.de/fonds
Tel.: +49 (0) 69 2556 0

Redaktion und Gesamtkoordination

Birgit Kullmann, FCI, Frankfurt

Autorinnen und methodisch-didaktisches Konzept

Dr. Ute Hänslér,
Marion Wagener,
Dr. Andrea Größ,
two4science, Darmstadt

Wissenschaftliche und fachdidaktische Beratung

Professor Dr. Bernd Ralle, TU Dortmund

Fachliche Beratung

Dr. Christiane Größ, Botschafterin Jugend forscht
Hessen, Dietzenbach
Mario Spies, Direktor der Grundschule Landkern

Bildnachweis

Adobe Stock: © Adam (S. 19), © Africa-Studio (S. 15),
© amadeusz (S. 6), © Comugnero-Silvana (S. 18),
© cromary (S. 9), © darknightsky (S. 34), © emuck
(S. 34), © ernsthermann (S. 5), © Francesca-Marvulli
(S. 42), © Franziska-Krause (S. 30), © Friedrich-Images
(S. 24), © gandolf (S. 36), © ghazii (S.12), © Hans-Jörg-
Nisch (S. 10), © lan-Dyball (S. 8), © Igor-Normann
(S. 19), © isaphotographie (S. 40), © jhk2303 (S. 18),
© Joachim (S. 33), © Jürgen-Fälchle (S. 9),
© Konstantin-Aksenov (S. 18), © Klaus-Eppele (S. 29),
© LIGHTFIELD STUDIOS (S. 37), © mrspopman (S. 39),
© natalylad (S. 21), © okalinichenko (S. 14),
© otionprem (S. 27), © ralko (S. 45), © sasel77 (S. 16),
© Syda Productions (Titelseite, S. 7, 13), © visdia (S. 8),
© visivasnc (S. 17), © Y's-harmony (S. 26), © 14ktgold
(S. 25); © Hagemann & Partner Bildungsmedien (S. 10);
© HessenChemie, Arne Landwehr (S.4, 5, 20, 23, 30,
35, 38); Panthermedia: © Mykola (S. 11); © Pixabay
(S. 22); Shutterstock: © Netfalls-Remy-Musser (S. 31);
© two4science (S. 4, 28)

Erstauflage 2019

26.000 Exemplare
Alle Rechte vorbehalten.

Das Unterrichtsmaterial ist über das Internet abrufbar
www.vci.de/fonds/Unterrichtsmaterialien

Gestaltung

mon idée, Marketing/Kommunikation,
Monika Nieth, Königstein
zündung GmbH Werbeagentur, Frankfurt am Main

Druck

Schmidt printmedien GmbH, Ginsheim-Gustavsburg

Klimaneutral gedruckt auf Papier aus nachhaltiger
Waldwirtschaft.

