



EXPERIMENTE FÜR ANGEHENDE FORSCHER

FORSCHEN IN DER SCHULE

LIEBE LESERIN, LIEBER LESER

Baden-Württemberg ist ein kreatives Land – und wir wollen dazu beitragen, dass das so bleibt. Um die Zukunft unseres Landes nachhaltig und erfolgreich zu gestalten, sind Ideen, Innovationskraft und Kreativität gefragt. Die Baden-Württemberg Stiftung unterstützt Programme in den Bereichen Forschung, Bildung sowie Gesellschaft und Kultur. Unser Ziel ist es, die Gemeinschaft zu stärken, indem wir individuelle Chancen eröffnen und soziale Teilhabe ermöglichen. Wir möchten die Menschen dazu anregen, zu aktiven Gestaltern ihrer Zukunft zu werden.

Ein wichtiges Anliegen ist für uns die Nachwuchsförderung. Denn nur gut ausgebildete, motivierte Menschen können die notwendigen Herausforderungen annehmen, um langfristig den persönlichen Wohlstand und Erfolg zu sichern. Aus diesem Grund initiiert die Baden-Württemberg Stiftung Projekte, die Schülerinnen und Schüler für Wissenschaft und Technik begeistern und ihnen gute berufliche Perspektiven aufzeigen. Ein solches Programm ist *mikro makro mint*. Es unterstützt Schülergruppen beim Forschen und Experimentieren, setzt auf spielerische Neugier, auf die Faszination am praktischen Entdecken und auf das Erfolgserlebnis, Wissen nicht nur aufzunehmen, sondern auch anwenden zu können.

Wir werden das Programm fortführen und freuen uns in diesem Zusammenhang über die neue Kooperation mit der Ferry-Porsche-Stiftung.

Die praxisbezogenen Experimente in dieser Publikation ermöglichen einen einfachen Einstieg in das Forschen in der Schule. Aus jeder Antwort entstehen neue Fragen und Ideen, die Sie mit unserer Unterstützung in neuen Experimenten realisieren können.

Wir wünschen Ihnen beim Lesen dieser Publikation viel Spaß und bei der Umsetzung der Experimente viel Erfolg.



Christoph Dahl
Geschäftsführer der
Baden-Württemberg Stiftung



Birgit Pfitzenmaier
Abteilungsleiterin
Gesellschaft & Kultur

Christoph Dahl

Birgit Pfitzenmaier

Tobias Beck
Daniela Bernlöhr
Georg Däges
Manuel Vogel

FORSCHEN IN DER SCHULE

EXPERIMENTE FÜR ANGEHENDE FORSCHER

Ferry Porsche
STIFTUNG

Klett MINT

sfz[®]
schülerforschungszentrum
südwestfalen-lippe

**Baden-
Württemberg
Stiftung**
WIR STIFTEN ZUKUNFT



WARUM DIESES BUCH? 006

Was bietet dieses Buch?	006
Der Aufbau	
Zusätzliche Hilfen	
Grundlegende Gedanken vor dem Start	010
Zeitbedarf und Zeitraum	
Wie stellt man die Forscher-AG auf die Beine?	
Wohin mit dem Team?	
Ein paar weiterführende Gedanken:	
Die Rolle der Hartnäckigkeit	011

DEIN FORSCHER-EINSTIEG:

BAU DIE TIC-TAC-TASCHENLAMPE 012

Hinweise für Lehrende	012
Motivation – oder: Warum bauen wir eine Taschenlampe?	012
Wichtige Hinweise – bitte beachten	012
Methodisch-didaktische Hinweise	013
Dein Forscher-Einstieg:	
Bau die Tic-Tac-Taschenlampe	014

STICK-BOMBS 016

Hinweise für Lehrende	016
Überblick	016
Wichtige Hinweise – bitte beachten	016
Methodisch-didaktische Hinweise	016
Weiterführende Informationen	019
Wettbewerb zum Abschluss	019
Stick-Bombs 1 – der Aufbau	020
Stick-Bombs 2 – das Kobra-Labor	022
Stick-Bombs 3 – Stick-Bomb-Techniken	023

GESUCHT: DIE SUPERNUDEL 024

Hinweise für Lehrende	024
Überblick	024
Wichtige Hinweise – bitte beachten	024
Methodisch-didaktische Hinweise	024
Weiterführende Informationen	028
Herstellung von Nudelteig	
Viskosität der Soße	
Versuch zur Viskosität	
Wettbewerb zum Abschluss	029
Die Supernudel 1 – der Einstieg	030
Die Supernudel 2 – das Nudellabor	032
Die Supernudel 3 – preisverdächtig	034

GUMMIBÄRCHEN 035

Hinweise für Lehrende	035
Überblick	035
Wichtige Hinweise – bitte beachten	035
Methodisch-didaktische Hinweise	035
Weiterführende Informationen	038
Chemischer Aufbau von Gummibärchen	
Brummender Gummibär	
Chromatogramm und Chromatographie	
Wettbewerb zum Abschluss	038
Gummibärchen 1 – Gummibärchen im Test	039
Gummibärchen 2 – Gummibärchen für Profis	041
Gummibärchen 3 – das Gummibärchen-Labor	042
Untersuchung von künstlichen Farbstoffen in Gummibärchen	043
Untersuchung von natürlichen Farbstoffen in Gummibärchen	045

GUTE MUSIK, SELBST GEBAUTE BOXEN	046	Wettbewerb zum Abschluss	071
Hinweise für Lehrende	046	Seifenblasen 1 – ein kugelrunder Einstieg	072
Überblick	046	Seifenblasen 2 – für fortgeschrittene Blasenmacher	073
Wichtige Hinweise – bitte beachten	046	Seifenblasen 3 – Seifenblasenlabor	074
Methodisch-didaktische Hinweise	046		
Weiterführende Informationen	050	GESUCHT: DAS PERFEKTE BLASROHR	075
Der dynamische Lautsprecher		Hinweise für Lehrende	075
Erzeugung eines elektromagnetischen Feldes		Überblick	075
Wettbewerb zum Abschluss	050	Wichtige Hinweise – bitte beachten	075
Gute Musik, selbst gebaute Boxen 1 – die Konstruktion	051	Methodisch-didaktische Hinweise	075
Gute Musik, selbst gebaute Boxen 2 – kleines Akustiklabor	054	Weiterführende Informationen	078
Gute Musik, selbst gebaute Boxen 3 – großes Akustiklabor	055	Das Luftgewehr mit Federspeicher im Vergleich zum Blasrohr	
		Energie und Energieumwandlung	
		Wettbewerb zum Abschluss	078
VORSICHT HOCHSPANNUNG	056	Das perfekte Blasrohr 1 – die Konstruktion	079
Hinweise für Lehrende	056	Das perfekte Blasrohr 2 – das Blasrohr-Labor	081
Überblick	056	Das perfekte Blasrohr 3 – das Energie-Labor	082
Wichtige Hinweise – bitte beachten	056		
Methodisch-didaktische Hinweise	056	SAUBER ABGEPERLT	083
Weiterführende Informationen	061	Hinweise für Lehrende	083
Allgemeines zur Reibungselektrizität		Überblick	083
Wettbewerb zum Abschluss	061	Wichtige Hinweise – bitte beachten	083
Vorsicht Hochspannung 1 – Einstieg mit 6000 Volt	062	Methodisch-didaktische Hinweise	084
Vorsicht Hochspannung 2 – für Fortgeschrittene	064	Weiterführende Informationen	087
Vorsicht Hochspannung 3 – das Hochspannungslabor	066	Der Lotuseffekt	
		Wettbewerb zum Abschluss	087
SEIFENBLASEN	067	Sauber abgeperlt 1 – ein rußiger Einstieg	088
Hinweise für Lehrende	067	Sauber abgeperlt 2 – Lotus unter der Lupe	090
Überblick	067	Sauber abgeperlt 3 – das Lotus-Labor	092
Wichtige Hinweise – bitte beachten	067		
Methodisch-didaktische Hinweise	067	HINWEISE AUF LINKS UND QR-CODES	093
Weiterführende Informationen	071		
Aufbau von Seifenblasen			
Weshalb Seifenblasen platzen			
Oberflächenspannung			
Kugelform			

LIEBE FORSCHERINNEN, LIEBE FORSCHER,

die Welt der Naturwissenschaft und Technik ist unglaublich vielfältig und spannend. Daher hat es sich die Baden-Württemberg Stiftung mit ihrem Programm *mikro makro mint* zur Aufgabe gemacht, Jugendliche für die großen Fragen dieser faszinierenden Welt zu begeistern. *mikro makro mint* gibt jungen Forscherinnen und Forschern die Möglichkeit, eigene Forschungsfragen zu entwickeln und den Antworten mit spannenden Experimenten auf den Grund zu gehen.

mikro makro mint motiviert vielleicht auch junge Entdeckerinnen und Entdecker dazu, einmal große Forscherinnen und Forscher zu werden. Wer weiß, vielleicht ist *mikro makro mint* der Startpunkt für einen der nächsten Nobelpreisträger? Spielerisch die spannende Welt der Naturwissenschaften zu entdecken und zu erforschen ist das Ziel des seit Jahren sehr erfolgreichen Programms. Das Land Baden-Württemberg braucht Nachwuchsforscherinnen und -forscher, um den großen Herausforderungen der Zukunft wie Digitalisierung und Klimawandel begegnen zu können. Möglicherweise werden Fragen nach ressourcenschonenden Verfahren oder einer zukunftssicheren Energieversorgung ja schon mit einem der nächsten Experimente bei *mikro makro mint* beantwortet.

Mit ihrem außergewöhnlichen Förderprogramm leistet die Baden-Württemberg Stiftung einen wichtigen Beitrag zur MINT-Berufsorientierung. Durch dieses niederschwellige Angebot können großzügige Fördermittel abgerufen werden. Dafür danke ich der Baden-Württemberg Stiftung ganz herzlich.

Mein Dank gilt auch den unzähligen Mentorinnen und Mentoren, die in ihrer Freizeit die zahlreichen teilnehmenden Gruppen bei ihrer Forschungsarbeit begleiten. Liebe Forscherinnen und Forscher, ich wünsche euch und euren Mentorinnen und Mentoren viel Freude beim Experimentieren und Entdecken!

Es grüßt euch herzlich

Theresa Schopper
Ministerin für Kultus, Jugend und Sport, Baden-Württemberg



Theresa Schopper
Ministerin für Kultus,
Jugend und Sport,
Baden-Württemberg

A handwritten signature in blue ink that reads "Th. Schopper".

Theresa Schopper

JUNGE MENSCHEN STARK MACHEN

Kinder und Jugendliche liegen uns als Ferry-Porsche-Stiftung besonders am Herzen. Sie sind die Zukunft unserer Gesellschaft. Es ist unser Antrieb, ihnen sinnbildlich den Rücken zu stärken und ihnen das richtige Rüstzeug mitzugeben. Wir sind überzeugt, dass Bildung die Basis auf dem Weg in ein selbstbestimmtes Leben ist. Gemeinsam mit der Baden-Württemberg Stiftung möchten wir Schülerinnen und Schüler deshalb fürs Lernen, Forschen und Experimentieren begeistern. mikro makro mint fördert wichtige Zukunftskompetenzen wie Kreativität, Innovationskraft, Team- und Pioniergeist. Werte, die schon unserem Namensgeber Ferry Porsche sehr wichtig waren.

GEMEINSAM MEHR ERREICHEN

Mit der Baden-Württemberg Stiftung haben wir einen starken Partner gefunden. Gemeinsam können wir für die Gesellschaft mehr erreichen. Packen auch Sie mit an und zeigen Sie uns, wie viele spannende Ideen in unseren Schulen stecken. Als Team meistern wir die Herausforderungen der Zukunft – erfolgreich und nachhaltig.

Wir freuen uns darauf und wünschen viel Freude beim Forschen!



Dr. Sebastian Rudolph
Vorstandsvorsitzender der
Ferry-Porsche-Stiftung



Stefan Strohmeier
Leiter ideeller Bereich
Ferry-Porsche-Stiftung

Dr. Sebastian Rudolph

Stefan Strohmeier

WARUM DIESES BUCH?

Alle Kinder eint ein Drang: unbändige Neugier darauf, die Welt zu verstehen. Das Prinzip von Versuch, Irrtum und Verständnis und damit das Rüstzeug der Wissenschaft nutzen alle Kinder in den ersten Jahren ausgiebig und bis weit ins Grundschulalter hinein.

Als Lehrkräfte an weiterführenden Schulen haben wir allerdings beobachtet: Irgendwann geht dieser Drang, etwas durch eigenes Ausprobieren verstehen zu wollen, bei vielen Kindern und Jugendlichen verloren. Bei vielen wird in Physik, Biologie, Chemie und Technik die Lust zu lernen zum Zwang. Die Fachinhalte meistern zwar die meisten – auf der Strecke bleibt aber der Spaß dabei, die Geheimnisse der Welt zu verstehen.

In vielen Forscher-AGs, Tüftler-Clubs und Erfinder-Teams haben wir in den vergangenen Jahren ausprobiert, wie das geht: Jungen und Mädchen zwischen 10 und 15 Jahren Lust aufs Forschen und Erfinden zu machen. Herausgekommen ist ein buntes Sammelwerk an Ideen, Forschungseinstiegen, motivierenden Themen, herausfordernden Fragestellungen –

und dieses Buch!

Alle Projekte, die wir Ihnen in diesem Buch vorstellen, verbindet die Überzeugung, dass noch längst nicht alles verstanden ist. Ganz im Gegenteil: Ob optimale Nudelsoßen, rasend schnelle Stick-Bombs oder coole Blasrohre – die Welt ist voll von einfachen Phänomenen, über die man staunen und gleichzeitig auch als gestandener Wissenschaftler grübeln kann.

Wir haben die Erfahrung gemacht: Es ist eigentlich ziemlich leicht, Faszination für diese Phänomene an Jugendliche weiterzugeben. Das Geheimnis ist, die richtigen Fragen zu stellen, die immer einfach, manchmal skurril und manchmal schräg sind. Wer das als Lehrkraft tut, macht Kindern und Jugendlichen Lust

auf Forschung. Wenn diese Lust schließlich zu einem Bedürfnis wird, auch komplexe Dinge besser verstehen zu wollen, entsteht ein Antrieb, sein Talent zu entfalten und weiterzumachen – mit Forschung und Wissenschaft und hoffentlich viel mehr Spaß am Schulstoff.

Mit diesem Material bieten wir interessierten Lehrerinnen und Lehrern, aber auch Ehrenamtlichen, einen Einstieg in das spannende, projekthafte Forschen mit Jugendlichen an. Um nicht Gefahr zu laufen, mit drauflosforschenden Nachwuchswissenschaftlern im Chaos zu enden, haben wir aufgeschrieben, nach welcher Methode der Tüftleransatz gut funktioniert. Das können wir aus Erfahrung sagen: So macht der Start in das Forscherleben nicht nur den Schülerinnen und Schülern, sondern auch den Betreuenden Spaß.

WAS BIETET DIESES BUCH?

DER AUFBAU

Für Schülerinnen und Schüler ist dieses Buch eine Startrampe in das Forschen und Erfinden. Sie können die „Forscherblätter“ nutzen, um ihre Talente auf diesem Gebiet zu entdecken und zu entfalten. Und alle Betreuungspersonen erhalten eine Handreichung, wie man diese Rampe organisieren und gestalten kann, damit sie möglichst gut funktioniert – ohne dass die Forscherstunden Gefahr laufen, in willkürliches Spielen oder bloßes „Gepansche“ auszuarten.

HINWEIS

Wir verwenden hauptsächlich die Formulierungen „Lehrerinnen und Lehrer“ oder „Lehrkräfte“, da sich das freie Forschen meist im schulischen Kontext abspielt. Andere Betreuungspersonen sind damit gleichermaßen angesprochen.



Unser Antrieb ist es, Ihnen als Lehrkraft mit diesem Buch eine Methodik an die Hand zu geben und gleichzeitig eine Ideensammlung bereitzustellen, wie man Jugendlichen Lust macht auf die Wissenschaft. Mit ausführlichen **Hinweisen für Lehrende**, Handreichungen, Checklisten und vor allem mit den **Praxistipps** unserer Erfahrungen wollen wir Sie ermutigen, das Experiment „Tüftlerclub“ an Ihrer Schule selbst zu starten.

Einstieg. Es gibt sicher ganz unterschiedliche Möglichkeiten, eine Forschergruppe mit Kindern und Jugendlichen zu bilden. Wir setzen in der Einstiegsstufe (das kann Klasse 5 bis 7 sein) auf eine gemeinsame Startaktion. Sehr bewährt hat sich der gemeinsame Bau einer Tic-Tac-Taschenlampe. Sie ist nicht nur ein Geschenk mit Coolness-Faktor an die Kinder, sondern gleichzeitig auch ein Einstieg in einfaches handwerkliches Arbeiten sowie ein Identifikationssymbol für das Thema MINT und für die ganze Gruppe. Mit diesem unkonventionellen Einstieg in eine Forschergruppe beginnt dieses Buch auf Seite 12.

Projekte. Im Anschluss daran finden Sie acht Projektthemen, die Sie frei auswählen können und die an keinerlei Reihenfolge gebunden sind. Aufgebaut sind

diese Themen immer gleich: Nach ausführlichen Hinweisen für Lehrende folgen drei sogenannte „Labors“ oder „Forscherblätter“ mit einheitlicher Struktur. Diese Forscherblätter sind die eigentlichen Arbeitsunterlagen für die jungen Forschergruppen.

Das erste Labor (Forscherblatt) eines Themas bietet einen recht ausführlich strukturierten Einstieg, der in einer Doppelstunde bearbeitet und von vielen Gruppen auch gleichzeitig durchgeführt werden kann. Auf diese Weise können Sie mit einem einfachen Ansatz in ein Forschungsthema starten, ohne gleich großes Chaos in Ihrer neuen Forschergruppe zu riskieren. Die Hinweise für Lehrende zu Beginn des jeweiligen Projektes geben Ihnen einen Überblick über die nötige Vorbereitung, die Durchführung und die möglichen Stolpersteine und bieten viele optisch hervorgehobene Praxistipps.

Das zweite Labor oder Forscherblatt umfasst stets eine Fragensammlung für die jungen Forscher. Wir haben ganz bewusst eine große Vielfalt von spannenden Forschungsfragen gesammelt. Natürlich können Sie hier als Lehrkraft selbst eine Frage auswählen, die Sie dann mit Ihren Gruppen bearbeiten. Motivierender für die Schülerinnen und Schüler ist es jedoch, wenn

sich die einzelnen Gruppen hier nach ihren Interessen und Neigungen jene Fragen aussuchen, mit denen sie sich beschäftigen wollen. Unsere Erfahrung zeigt: Die Interessen der Kinder sind unglaublich vielfältig. Um die unterschiedlichen Talente zu bedienen, ist eine Offenheit nötig, die die Kreativität herausfordert. Wir können Ihnen aber versichern: Alle Versuche in den zweiten Labors sind praktikabel und führen nicht ins Chaos. Ein paar mögliche Ergebnisse sowie fachliche Hintergrundinfos und Anreize zum Weiterforschen finden Sie in den Hinweisen für Lehrende.

Der Zeitaufwand für die Forschungsfragen ist sehr unterschiedlich. Manche Fragen lassen sich sicherlich in einer Doppelstunde abhandeln. Das ist aber aus unserer Sicht eigentlich nicht sinnvoll! An das reguläre Schema aus „Klingeln-Unterricht-Klingeln“ soll hier bewusst die eigenständige Beschäftigung der Schülerinnen und Schüler mit dem Thema treten. Unserer Erfahrung nach kann sich die Bearbeitung einer Forschungsfrage aus dem zweiten Labor häufig über mehrere Wochen hinziehen. Und manchmal mündet sie in richtige, abgeschlossene Forschungsprojekte, mit eigenen Versuchsaufbauten, neuen Fragestellungen und tollen zusätzlichen Ideen.

Das dritte Labor oder Forscherblatt eines jeweiligen Themas öffnet dann den Horizont für weitere Forschungen. Hier stehen viele Ideen, was man mit dem Ansatz sonst noch machen und erforschen könnte. In diesem Labor wurden nicht mehr alle Versuchsideen selbst durchgeführt, sondern wir entlassen Sie und Ihre jungen Tüftler bewusst in die Forschungsfreiheit. Nur Mut, betreten Sie Neuland. Hier wird Forschen mit Schülerinnen und Schülern richtig spannend!

ZUSÄTZLICHE HILFEN

Weiterführende Links und zusätzliche Materialien, die Betreuerinnen und Betreuer das Leben noch leichter machen, finden Sie auf den Seiten 93 f. hinter den QR-Codes. Dort stehen auch alle relevanten Gefährdungsbeurteilungen (GBU) und Betriebsanweisungen (BA).

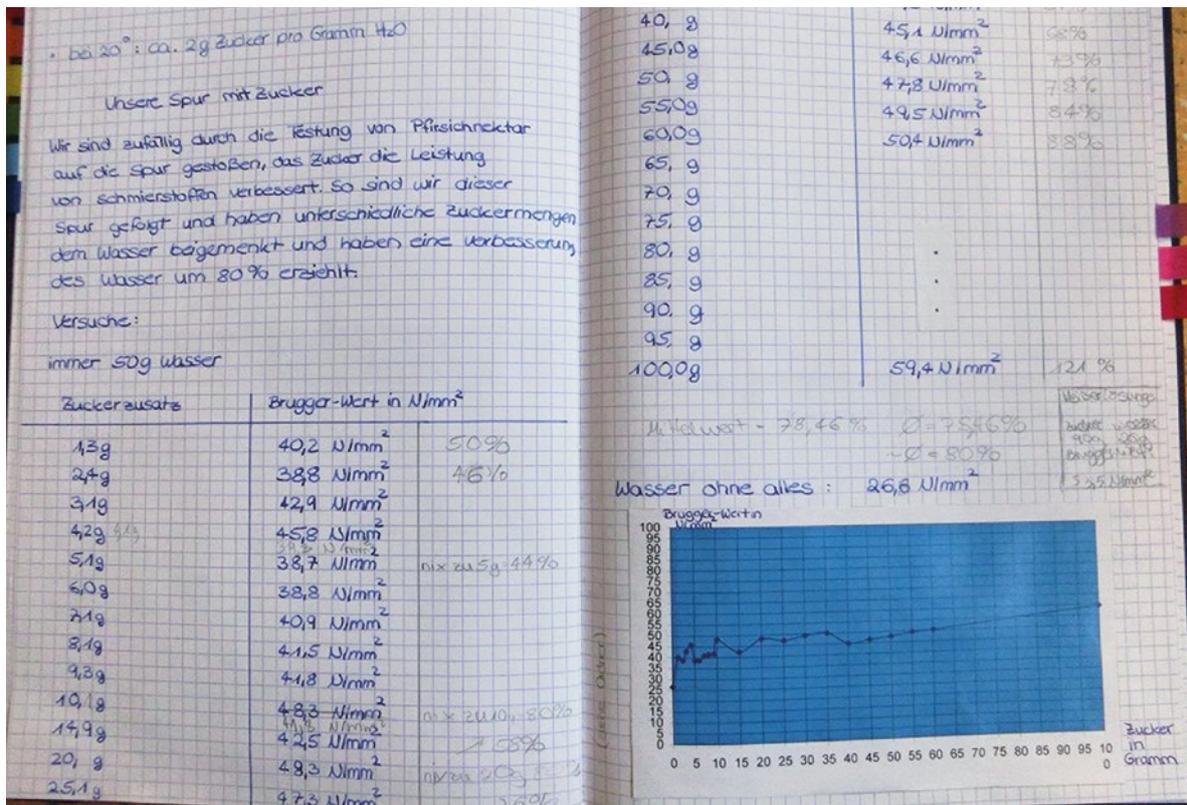
Die Gedöns-Kiste. Einfacher wird die Arbeit für ein Forscher-Team, wenn es über eine Kiste verfügt, in der immer wieder benutzte Materialien stets griffbereit bereitliegen. In diese „Gedöns-Kiste“ gehören nach unserer Erfahrung folgende alltägliche Forscherkleinigkeiten:



„Gedöns-Kiste“

	Frischhaltefolie, Alufolie
	Schere
	Klebstoffe (Tesa, Klebestifte, Kreppband, Panzerband, Heißkleber ...)
	diverse Schnüre, Draht
	Schraubenzieher, Zange, Hammer
	Messbecher
	Spatel, Holzstäbchen, Glasstab
	wasserfester Folienstift, Bleistifte
	Multimeter, Kabel
	Thermometer (analog und digital)
	Taschenrechner
	Heißklebepistole
	Plastikkammern (stärkere Wäschekammern aus dem Baumarkt)
	Haushaltsgummis
	einige Schutzbrillen
	ein paar Haargummis (für lange Haare, z.B. beim Arbeiten mit Akkuschraubern)

Sinnvoll ist es außerdem, in einem Raum zu starten, der über einen Zugang zu grundlegenden Werkzeugen (Säge, Hammer, Bohrmaschine ...) verfügt. Wenn das nicht geht, sollte ein Werkzeugkoffer samt Akkuschrauber vorhanden sein. Als betreuende Person



Laborbuch

sollten Sie auch Zugang zu den naturwissenschaftlichen Sammlungen einer Schule haben, um Reagenzgläser, Stativmaterial, Stopfen u.Ä. besorgen zu können.

Checklisten. Jedes Forscherblatt beginnt mit einer ausführlichen Checkliste, in der alle benötigten Materialien aufgelistet sind. Sie sollten zusammen mit den Gruppen rechtzeitig vor Forschungsbeginn diese Checklisten durchgehen, um evtl. fehlendes Material besorgen zu können.

Das Laborbuch. Es ist unsere Erfahrung: Ein Laborbuch bringt für die Schülerinnen und Schüler die Struktur in ihre Forschungsarbeit. Dieses „Buch“ ist im besten Fall wirklich gebunden und hebt sich somit schon durch seine Erscheinung von einem Schulheft ab. Wenn es möglich ist, statten Sie die Gruppen beim Start in ihre Forscherkarriere mit diesem Buch aus. Sponsoren für derartige „Investitionen“ (ca. vier Euro pro Buch) lassen sich unserer Erfahrung nach finden. Sonst reicht aber auch ein kariertes Schulheft. Wichtig ist, dass es keine Loseblattsammlung wird.

In ein Laborbuch gehört alles, was man an Forschungen durchführte und an neuen Ideen sammelte. Ein

wichtiger Satz, mit dem die jungen Forscher den Sinn dieser Mehrarbeit verstehen: „Führe dein Laborbuch so, dass du in drei Monaten noch weißt, was du an diesem Tag getan hast und es deiner Betreuungsperson erklären kannst“. Das Laborbuch wird über die Wochen eines Forschungsprojekts zum „Gedächtnis der Gruppe“ und hilft auch den Betreuenden bei vielen verschiedenen Projekten, den Überblick über die Arbeit der Gruppen zu behalten.

Als praktikabel und sinnvoll hat sich ein Laborbuch pro Gruppe herausgestellt. Um nicht einem Gruppenmitglied die ganze Dokumentationsarbeit zuzuschieben, ist es sinnvoll, dass ein Laborbuch reihum geführt wird, das heißt: Jeder ist einmal an der Reihe.

PRAXISTIPP

Suchen Sie einen Platz für die Laborbücher und bieten Sie den Schülerinnen und Schülern an, dass alle Laborbücher dort sicher verstaut werden können. Dann ist die Gruppe immer arbeitsfähig, auch wenn die „Protokollführerin“ oder der „Protokollführer“ einmal fehlen sollte.

Wichtig ist die Erkenntnis, dass die Forscher das Laborbuch nicht für die Lehrkraft, sondern für sich bzw. ihr Projekt führen. Daraus ergeben sich übrigens die unterschiedlichsten Ansätze. Manche Gruppen leben dafür, ihr Laborbuch möglichst druckbar – mit perfekten Darstellungen und Verzierungen – zu führen. Für andere ist es wirklich nur Mittel zum Zweck, in dem lediglich das Nötigste notiert wird. Lassen Sie es zu, dass die Kinder ihren Laborbuch-Weg finden – sofern damit die Tätigkeit für Forschende und Betreuende langfristig nachvollziehbar bleibt.

Wettbewerbe. Schön ist es, ein Projekt mit einem Wettbewerb abzuschließen. Wir schlagen am Ende eines jeden Themas Wettbewerbsideen vor, mit denen man entweder die gemeinsame Beschäftigung mit einem Forschungsthema beenden kann oder die als „Egg-Race“ an Projekttagen, Schulfesten etc. durchgeführt werden können.

Besonders motivierend sind natürlich Teilnahmen mit den Forschungsideen an Schülerwettbewerben wie „Jugend forscht“ oder „Schüler experimentieren“. Für alle Projekte, die den hohen Anspruch dieser externen Wettbewerbe noch nicht erfüllen, kann ein interner Wettbewerb eine gute Alternative sein.

GRUNDLEGENDE GEDANKEN VOR DEM START

ZEITBEDARF UND ZEITRAUM

Vor dem Start einer Forscher-AG an der Schule ist es sinnvoll, sich über den grundlegenden Ablauf Gedanken zu machen. Als „Zeitfenster“ wählen Sie am besten einen Bereich, in dem sowohl Sie als auch Ihre Schülerinnen und Schüler 90 Minuten Zeit haben. Kurze Mittagspausen eignen sich vielleicht zum Weiterarbeiten an den Projekten, sie sind aber sicher nicht für den Start geeignet. Als gut hat sich der Freitagnachmittag erwiesen – hier starten auch überwiegend die Aktivitäten der Schülerforschungszentren.

Aber auch kreative Zeitmodelle sind möglich – alle zwei Wochen zwei Doppelstunden haben den Vorteil, dass man wirklich einmal an der Sache dranbleiben kann. Sie werden sehen: Die Zeit vergeht für Sie und Ihre Forscherteams wie im Flug.

Wir wollen ehrlich sein: Ein Forscherteam wird für Sie als Lehrkraft Zeit kosten. Vermutlich wird es mehr Zeit beanspruchen, als Sie über AG-Stunden von Ihrer Schule erhalten. Es gibt allerdings Möglichkeiten der Entlastung. Zum Beispiel funktionieren auch Forscherteams, die zumindest an manchen Tagen von Jugendbegleiterinnen und -begleitern angeleitet werden. Manchmal helfen auch Eltern oder Ehrenamtliche aus einem Förderverein mit. Sie werden sehen: Eine lebendige Gruppe bekommt Unterstützung von vielen Seiten.

WIE STELLT MAN DIE FORSCHER-AG AUF DIE BEINE?

Die Werbung für die Forscher-AG läuft irgendwann einmal über Mund-zu-Mund. Bis es so weit ist, hat sich die direkte Ansprache guter, interessierter Schülerinnen und Schüler bzw. eine Info-Veranstaltung als sinnvoll erwiesen. Hier stellt man die Arbeitsweise auf begeisternde Weise vor und kann Antworten auf Fragen geben. Das Argument: „Hier geht es um echte Forschung und Entwicklung, bei der ihr eure Ideen selbst umsetzen könnt“, reizt erfahrungsgemäß einige. Wichtig ist es, die Gruppengröße von Beginn an zu begrenzen. Optimale Größen für Forscher-AGs sind sechs bis zehn Schüler zu Beginn. Die Maximalgröße wird nach unserer Erfahrung mit 16 Schülern erreicht. Gibt es mehr Interessenten, sollte man auf alle Fälle Betreuungsteams bilden.

Für den Anfang ist es sehr sinnvoll, nach dem gemeinsamen Bau der Tic-Tac-Taschenlampe nur mit einem der acht Themen und einige Doppelstunden lang gemeinsam zu starten. Sie werden aber sehen: Danach fächert sich das Interesse der Schülerinnen und Schüler auf. Wenn sich dann eine Gruppe für ein neues Forschungsthema entscheidet und andere Schülerinnen und Schüler lieber vertiefend das bisherige Thema untersuchen möchten, spricht nichts gegen diese Entwicklung.

WOHIN MIT DEM TEAM?

Ein geeigneter Platz für eine Forscher-AG sind normalerweise die NwT-Räume einer Schule. Mit der „Gedöns-Kiste“ lassen sich erste Gehversuche des Forscherteams auch in ganz normalen Klassenzimmern machen. Unserer Erfahrung nach gibt es dem Team

einen enormen Schub, wenn es einen Platz für seine Projekte hat. Einfache, günstige, durchsichtige Plastikboxen zum Beispiel aus dem Baumarkt oder einem Möbeldiscounter sind perfekt. Sie lassen sich stapeln und nach einer Woche wieder hervorholen. Wenn Sie dann noch einen Schrank organisieren, in dem die Boxen verstaut werden, umso besser.

EIN PAAR WEITERFÜHRENDE GEDANKEN: DIE ROLLE DER HARTNÄCKIGKEIT

Was in einer Forscher-AG ein Schlüssel zum Erfolg ist, wird in vielen Fächern der Schule oft vorausgesetzt – aber eigentlich nie wirklich gelehrt und gelernt. Es ist die Fähigkeit, an einem Thema dranzubleiben, sich durchzubeißen und über Phasen hinwegzukommen, die auch mal keinen Spaß machen.

Aber wie entsteht Hartnäckigkeit, wenn sie nicht von außen durch Noten und abfragbare Leistungen verordnet wird?

Ein Forscher-Club an einer Schule kann die Antwort sein. Es ist unserer Erfahrung nach eine Mischung aus Freiheit und Anleitung, die die Schülerinnen und Schüler dazu bringt, dranzubleiben. Aus diesem Grund unterbreiten wir nicht nur ein Angebot von vielfältigen Fragen und rufen zur bedingungslosen Selbstständigkeit auf, sondern betten diese Anregung zu freiem Denken und eigenständigem Arbeiten in eine Struktur ein, die den Kindern hilft, das Dranbleiben zu lernen.

Da ist zum einen die Struktur der Labore und Forscherblätter selbst, ihre vielfältige Thematik sowie die aufsteigende Schwierigkeit und Freiheit. Jeder findet etwas Interessantes und kann einfach mal etwas ausprobieren – dies unterscheidet sich doch von dem, was man an der Schule sonst so macht. Es ist eben ein „Kann“ und nicht ein „Muss“.

Daneben gibt es die Struktur der Arbeitsabläufe, die mit dem Start in die AGs verbunden ist. Wer freiwillig in die Tüftler-Clubs kommt und die kreative Atmosphäre genießen will, die dort herrscht, muss sich auch an bestimmte Vorgaben halten. Das Laborbuch ist zum Beispiel ein wichtiges Instrument, die Verpflichtung zur Ordnung ein zweites. Auch das „Innehalten“ und Nachdenken vor dem Start in eine neue Experimentierphase gehört dazu. Aus diesem Grund finden Sie immer wieder den Satz „Was möchtest du untersu-

chen?“. Unsere Erfahrung ist: Wer seine Jungforscher dazu bringt, diese Frage zu jeder Zeit des Versuchs beantworten zu können, erzeugt neben der Hartnäckigkeit auch noch Zielstrebigkeit.

Eine weitere Vorgabe ist, dass Projekte, die einmal angefangen wurden, nicht beim nächsten Mal wieder zur Seite gelegt werden dürfen. Als Grundregel einzuführen, dass man sein Projekt eine bestimmte Zeit (je nach Alter: drei Wochen bis drei Monate) verfolgen muss, bevor man ein neues anfangen darf, hat sich als sinnvoll erwiesen.

Ein bestimmter „Forschertyp“ kann in jedem Tüftler-Club zu finden sein: Schülerinnen und Schüler, die scheinbar wenig Resultate liefern, weil sie vor sich hin „wurschteln“. Was bringt sie dazu, sich die Nachmittage an der Schule um die Ohren zu schlagen und scheinbar immer nur auf der Stelle zu treten? Eine Antwort auf diese Frage geben Schülerinnen oder Schüler, die erst nach Jahren ihr Projekt gefunden haben, bei dem sie zünden und plötzlich über sich hinauswachsen. Hier war es sicher nicht zuletzt die Atmosphäre, die sie immer miterlebten und die sie veranlasste, dranzubleiben.

Diese Stimmung in der Gruppe können Sie als Lehrkraft durch viele Dinge fördern, durch die Wertschätzung der Arbeit, die Würdigung der Erfolge, das Zutrauen, Schüler Dinge entscheiden zu lassen, durch Zuspruch bei Misserfolg und das gleichzeitige Einfordern von Leistung. All das ergibt eine positive Grundeinstellung, die für viele Schülerinnen und Schüler anziehend wirkt und unserer Erfahrung nach ein wichtiger Schlüssel dafür ist, ob Lernende hartnäckig bleiben oder entnervt aufgeben.

Ein bewährter rhetorischer Kniff ist übrigens, auf die Phrase „du musst“ zu verzichten und sie durch das Wort „einfach“ zu ersetzen. Anstatt „Jetzt musst du die Temperatur messen“ klingt ein „Miss doch einfach mal die Temperatur“ viel positiver und weniger schulisch.

Wichtig ist es, den Kindern das Gefühl zu geben, dass dieses Forschungsprojekt wirklich ihre ganz eigene Arbeit ist. Dies ist der große Unterschied zum regulären Unterricht. Dafür gibt es keine Noten, aber Wertschätzung und Erfolg. Sie werden sehen: Das bringt einen voran, macht Spaß und erweitert Horizonte – bei Forschenden und Betreuenden gleichermaßen.

DEIN FORSCHER-EINSTIEG: BAU DIE TIC-TAC-TASCHENLAMPE HINWEISE FÜR LEHRENDE

MOTIVATION – ODER: WARUM BAUEN WIR EINE TASCHENLAMPE?

„Geld lässt sich beschaffen, Dinge kann man kaufen, Menschen muss man gewinnen.“ Dieses Zitat, frei nach dem Topmanager Hans Christian von Rohr, formuliert treffend die Situation in vielen Forscher- und Technik-AGs: Die finanziellen Mittel sind vorhanden – die Kunst besteht für die Lehrkraft darin, Schülerinnen und Schüler (im Folgenden immer SuS) für die Forscher-AG zu finden, zu begeistern und sie über Durststrecken hinweg motivierend zu begleiten. Wir verlangen in der AG viel von den SuS: Sie kommen in ihrer Freizeit in die Schule, arbeiten zu Hause weiter, verzichten vielleicht auf Sport oder andere interessante AGs. Wir können die SuS nicht „überreden“, an der AG teilzunehmen, wir müssen sie gewinnen. Und wie kann man dies besser als mit einem Geschenk?

Die Tic-Tac-Taschenlampe ist nicht bloß ein Geschenk im Sinne einer Gabe. Wir schenken den SuS ...

... einen Gegenstand,

- ▶ der nicht „sinnfrei“ ist, sondern verwendet werden kann,
- ▶ den man nicht kaufen kann (Alleinstellungsmerkmal der AG-Mitglieder),
- ▶ der viele SuS über Jahre begleitet,

... die Erfahrung,

- ▶ dass Löten und der Umgang mit elektronischen Bauteilen gar nicht so schwierig sind,
- ▶ selber etwas gefertigt zu haben, das man auch gut gebrauchen kann,
- ▶ dass Durchhalten sich lohnt, falls das Löten nicht auf Anhieb gelingt,

... und ein Stück Selbstvertrauen und Stolz im Sinne von „ich kann das“.

Wir haben die Erfahrung gemacht, dass die Tic-Tac-Taschenlampe einen gewaltigen Motivationsschub leistet, der gerade am Anfang wichtig ist. Es entsteht zudem eine positive emotionale Bindung an die Technik-AG, weil die Aussage „ich mache hier etwas für mich“ im wahrsten Sinne des Wortes in die Tat umgesetzt wird. Wir können den Einstieg über die Tic-Tac-Taschenlampe wärmstens empfehlen.

WICHTIGE HINWEISE – BITTE BEACHTEN

HINWEISE ZUM LÖTEN

Die Temperatur des heißen LötKolbens liegt bei über 300 °C. Bei unsachgemäßer Handhabung besteht Verbrennungsgefahr! Deshalb müssen eine Gefährdungsbeurteilung (GBU) sowie eine Betriebsanweisung (BA) erstellt werden (siehe Vorlagen; Link/QR-Code auf Seite 93). Wir schlagen vor, die Sicherheitshinweise zum Löten (siehe CD) an die SuS auszuteilen und mit ihnen zu besprechen.

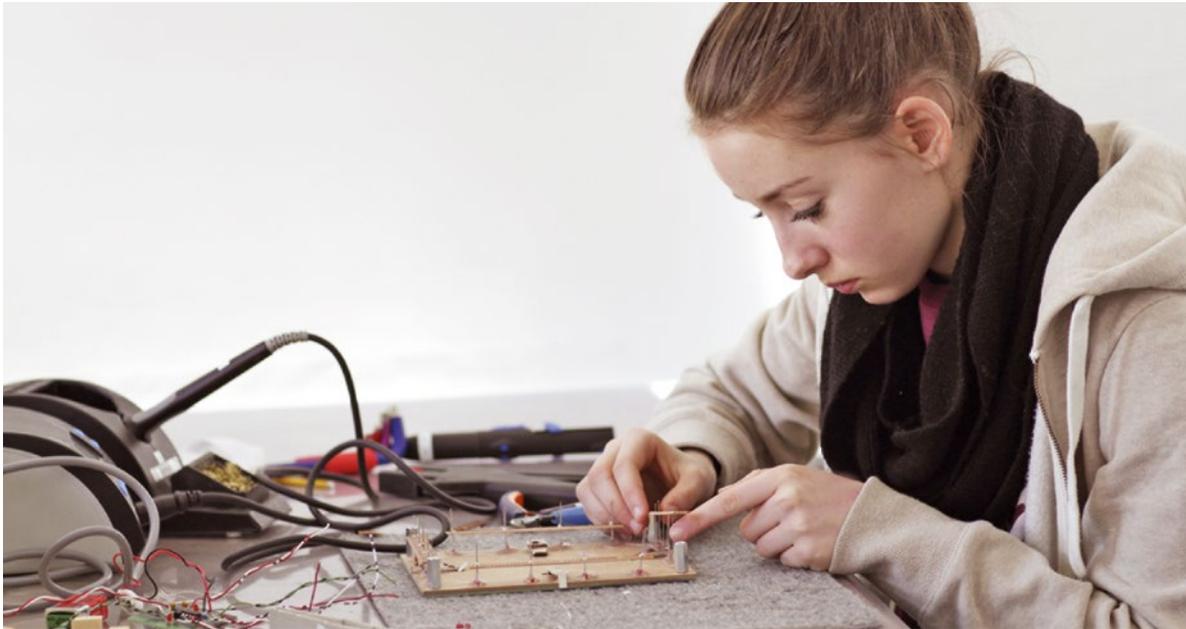
Die SuS sollten sich beim Löten nicht gegenseitig helfen, indem einer die Bauteile hält, während der andere lötet. Die Verletzungsgefahr ist zu groß. Gut geeignet ist eine sogenannte „dritte Hand“ oder ein Platinenhalter.

LINKS

Bezugsquellen finden Sie unter www.sfz-bw.de/forschen-in-der-schule.

UMGANG MIT DEM TEPPICHMESSER

Teppichmesser sind sehr scharf. Die SuS müssen es mit großem Respekt, aber ohne Angst benutzen. Wir empfehlen, dass die Lehrkraft exemplarisch die Arbeits-



schritte zeigt und deutlich macht, wie Unfälle vermieden werden können (BA und GBU; Link/QR-Code auf Seite 93).

Wichtig ist, dass der Deckel, an dem geschnitten wird, in der Box steckt. So lässt er sich gut halten und die Finger sind weit weg von der Messerklinge (siehe Abb. 1 auf Seite 14).

UMGANG MIT DER BOHRMASCHINE

Sie darf nur von SuS bedient werden, die eine gründliche Einweisung erhalten haben („Bohrmaschinenführerschein“). Zu beachten ist die Tätigkeitsbeschränkung nach den Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht (RiSU). Details stehen in der GBU und der BA (siehe QR-Code auf Seite 93).

METHODISCH-DIDAKTISCHE HINWEISE

Das Forscherblatt dient als ausführliche Bauanleitung und enthält alle benötigten Materialien und Werkzeuge. Der Aufbau wird schrittweise erklärt und der Nachbau mit Detailfotos erleichtert. Es werden keine elektronischen Kenntnisse vorausgesetzt. Die Reihenfolge, in der die Bauteile aneinandergelötet werden, spielt keine Rolle. Lediglich bei der LED muss auf die richtige Polung geachtet werden.

MATERIAL UND WERKZEUGE FÜR DEN INDIVIDUELLEN GEBRAUCH

Siehe Forscherblatt, mögliche Bezugsquellen finden Sie unter www.sfz-bw.de/forschen-in-der-schule.

ALLGEMEINE HINWEISE

- ▶ Bei der Verwendung anderer Schalter als den empfohlenen ist es sinnvoll, auf das Einbaumaß 19 mm × 13 mm zu achten.
- ▶ Auch bei LED-Cliphalterungen gibt es unterschiedliche Maße. Der in der Bestellliste angegebene fasst eine 5-mm-LED und passt in ein 6,5-mm-Bohrloch.
- ▶ Wir raten ab von Versuchen, die Taschenlampe ohne Löten zu bauen. Das Risiko durch Wackelkontakte ist zu groß.

WERKZEUGE UND MASCHINEN, DIE GEMEINSAM GENUTZT WERDEN KÖNNEN

- ▶ Bohrmaschine mit 6,5-mm-Bohrer
- ▶ Pro Tisch ein Lötspitzenreiniger (Bezugsquellen unter www.sfz-bw.de/forschen-in-der-schule)
- ▶ Abisolierzange (nicht unbedingt nötig, aber von Vorteil)

ZEITBEDARF

Im Allgemeinen kann keine oder nur geringe Löt Erfahrung vorausgesetzt werden. Es empfiehlt sich, kleinschrittig vorzugehen und nicht zu viele Arbeitsschritte auf einmal zu erklären. Bei Anfängern muss eine Doppelstunde eingeplant werden.

DEIN FORSCHER-EINSTIEG: BAU DIE TIC-TAC-TASCHENLAMPE

Forscher-Checkliste	
Material	Werkzeug
große Tic-Tac-Box (49 g)	Teppichmesser (Vorsicht scharf)
Wippenschalter	Bohrer (6,5 mm)
9-V-Batterie	LötKolben
Batterieclip	Ständer mit Schwamm, Lötzinn, Unterlage
weiße LED	Abisolierzange
Montagering für die LED	Seitenschneider
Widerstand (330 Ω)	„dritte Hand“ oder Platinenhalter
isolierter Draht (ca. 5 cm)	

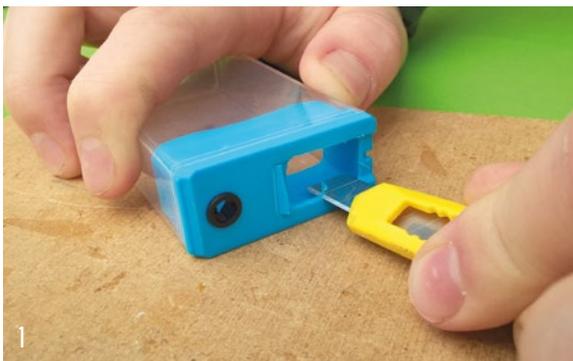
Fehlt noch etwas? Besprich es mit deiner Lehrkraft.



Fertige Tic-Tac-Taschenlampe

VORBEREITEN DER TIC-TAC-BOX

In den Deckel wird ein 6,5-mm-Loch für den LED-Montagering gebohrt. Der Montageclip wird von außen eingedrückt, bis er hörbar einklickt. Der Verschlussclip der Tic-Tac-Box wird abgeschnitten und die Öffnung mit dem Teppichmesser vorsichtig so erweitert, dass der Schalter hineinpasst (Abb. 1). Drücke ihn noch nicht fest hinein, er muss erst noch verlötet werden.



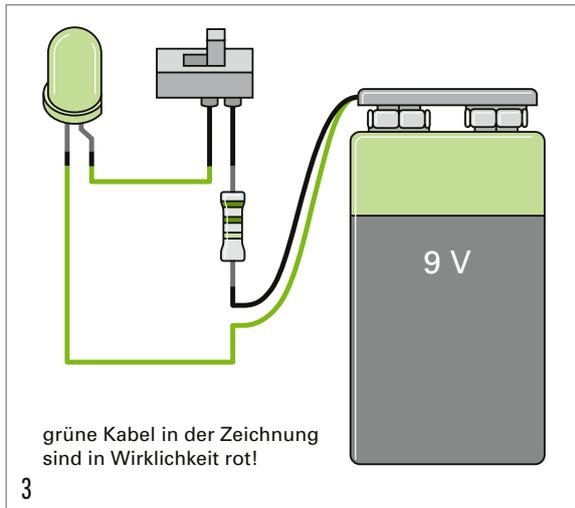
LÖTARBEITEN

Alle Bauteile werden in Serie gelötet, d.h. in einer Reihe hintereinander (Abb. 2 und 3). Die Reihenfolge ist egal, lediglich auf die richtige Polung der LED musst du achten. Lass sie dir von deiner Lehrkraft erklären. Tipp: Kürze die Beinchen von LED und Widerstand auf

ca. 5 mm und isoliere bei den Drähten nur ca. 3 mm ab. Löte sorgfältig, die Fehlersuche kostet Nerven und Zeit. Der fertig zusammengelötete Aufbau kann (ohne Batterie) von außen durch die Clipöffnung in den Deckel geschoben werden. Die LED wird von innen in den Montageclip geschoben, bis sie hörbar einrastet. Der Schalter sollte in der Verschlussöffnung sicher und fest sitzen. Jetzt musst du nur noch die Batterie anschließen und nach einem ersten Test alles in die Box stecken. Fertig ist deine neue Forscher-Taschenlampe. Viel Spaß!

Achtung: Die LED ist sehr hell. Niemals direkt hineinschauen.





Fertige Schaltung

ALLGEMEINE HINWEISE

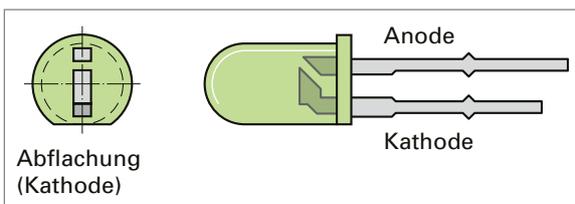
Du solltest die beiden Arbeitsbereiche Lötarbeiten und Vorbereiten der Tic-Tac-Box nicht vermischen. Also: erst alles vorbereiten und bohren, dann löten und einbauen.

Die Box kann sicherer gehalten werden als der Deckel alleine. Daher solltest du den Deckel fest auf die Box stecken, während du mit dem Teppichmesser oder dem Bohrer an ihm arbeitest (Abb. 1).

POLUNG DER LED

Der Minuspol der Batterie (schwarzes Anschlusskabel am Batterieclip) muss mit der Kathode verbunden werden, für die es drei wichtige Erkennungsmerkmale gibt:

- ▶ Abflachung des schmalen Ringes
- ▶ kürzeres Beinchen
- ▶ größeres Metallteil innerhalb der LED



ERGÄNZUNGSMÖGLICHKEITEN

LEDS MIT ANDEREN FARBEN

Wenn du Experimente mit farbigem Licht machen möchtest, kannst du farbige LEDs einbauen. Dabei solltest du zwei Dinge beachten:

- ▶ Nur klare LEDs sind hell genug für Farbexperimente, gefärbte LEDs eignen sich nicht.
- ▶ Der 330-Ω-Vorwiderstand schützt alle LEDs vor einer Zerstörung durch zu große Stromstärke.

INTERESSANTE VERSUCHE MIT FARBIGEM LICHT

Mit drei Forscher-Taschenlampen in den Farben Rot, Grün und Blau kannst du Experimente zu farbigem Licht durchführen. Schau dir beispielsweise an, welche Farben die Schatten haben, wenn du einen Gegenstand mit den drei Lampen gleichzeitig anstrahlst.

Bei der Erzeugung farbiger Schatten benötigt man diffuses Licht. Das kannst du leicht erreichen, indem du Butterbrotpapier über die LEDs klebst.

ELEKTRONISCHE ERWEITERUNGEN

In der Box ist Platz für weitere elektronische Bauteile. Der Schalter kann zum Beispiel ersetzt werden durch einen Reed-Kontakt, der mit einem Magneten ausgelöst werden kann. Mit einem Wechselschalter und einer Duo-LED kann die Taschenlampe als zweifarbige Signallampe genutzt werden.



STICK-BOMBS

HINWEISE FÜR LEHRENDE

ÜBERBLICK

Die Versuchsreihe „Stick-Bombs“ besteht aus drei Arbeitsblättern („Forscherblättern“). Vor den Forschungsaufgaben steht der Aufbau einer einfachen Stick-Bomb („Bombe“ aus Holzspateln), mit der man spielerisch in das Thema einsteigen kann. Das Forscherblatt „Stick-Bomb-Techniken“ sollte erst nach dem Kobra-Labor bearbeitet werden.

STICK-BOMBS 1 – DER AUFBAU

Hier geht es um den Bau einer ersten, einfachen Stick-Bomb-Variante, die aufgrund ihrer Bewegung beim Auslösen als Kobra-Welle bezeichnet wird. Die Schülerinnen und Schüler (im Folgenden immer SuS) sollen dabei den Aufbau einer Stick-Bomb und die Vorgänge bei deren Auslösen kennenlernen. Man benötigt hierfür nur eine glatte Arbeitsfläche und eine entsprechende Anzahl an Holzspateln.

STICK-BOMBS 2 – DAS KOBRA-LABOR

Hier geht es darum, erste Untersuchungen an Stick-Bombs durchzuführen. Dabei werden exemplarisch an der Kobra-Welle physikalische Parameter erforscht mit dem Ziel, aufgrund von „Einstellungen“, die die SuS am Legemuster vornehmen können, das Verhalten der Stick-Bomb vorhersagen zu können. Voraussichtlich werden sich die einzelnen Gruppen unterschiedlichen Fragestellungen zuwenden und diese bearbeiten.

STICK-BOMBS 3 – STICK-BOMB-TECHNIKEN

Bei diesem Forscherblatt werden weitere Legetechniken untersucht, die sich nach dem Auslösen der Stick-Bomb in ihrer Bewegung von der bis dahin erforschten Kobra-Welle unterscheiden. An diesen Legetechniken können einerseits die Untersuchungen aus Forscherblatt 2 erneut aufgegriffen werden, andererseits können die SuS Konstruktionen aus verschiedenen Legetechniken verbinden und testen.

PRAXISTIPPS

Es gibt mehrere, unterschiedliche Arten von Holzspateln und nicht alle funktionieren als Stick-Bomb gleich gut. Auf jeden Fall brauchbar sind zum Einstieg Holzspatel der Abmessungen 150 mm x 18 mm.

Sie werden schnell feststellen, dass eine Tischlänge nur unzureichend Platz für den Aufbau einer Stick-Bomb bietet. Sollten Sie an Ihrer Schule die Möglichkeit haben, nutzen Sie bzw. Ihre SuS den Boden in langen Fluren oder in der Aula.

Mit einem „Halter“ versehen, lassen sich Stick-Bombs leicht transportieren und zum Beispiel durch das Schulhaus tragen.

Auch kann man diese an Ort und Stelle zusammensetzen, also aus zwei kurzen Sequenzen eine lange Stick-Bomb bauen.

WICHTIGE HINWEISE – BITTE BEACHTEN

Eine Stick-Bomb kann beim Bau aus Ungeschicklichkeit auch versehentlich auslösen. Da je nach Legetechnik die Holzspatel mit hoher Intensität nach oben schnippen, sollte sowohl beim Bau als auch beim Starten der Stick-Bomb zur Vermeidung von Augenschäden immer eine Schutzbrille getragen werden.

METHODISCH-DIDAKTISCHE HINWEISE

STICK-BOMBS 1 – DER AUFBAU

Die Einstiegsstunde sollte stärker strukturiert sein als die anderen. Die Bauanleitung gibt einen klaren Konstruktionsweg für die erste Stick-Bomb, die Kobra-Welle, vor. Dabei werden die einzelnen Arbeitsschritte erklärt und auf Bildern dargestellt. Sinnvoll ist, dass während der Konstruktion alle etwa im gleichen Tempo voran-



kommen. Es schließt sich eine spielerische Übungsphase an, in der die SuS den Auslösevorgang und das Bewegungsmuster der Kobra-Welle kennenlernen. Sollte die Zeit es erlauben, können die SuS gerne den Aufbau wiederholen und erneut die Stick-Bomb starten. Dies bildet die Grundlage für die anschließenden Untersuchungen, die nach Möglichkeit immer unter gleichen Bedingungen durchgeführt werden sollen.

PRAXISTIPPS

Es empfiehlt sich, dass Sie selbst vorab die Kobra-Welle einmal bauen, um den SuS ggf. am Anfang des Legemusters gezielt helfen zu können.

Sollte keine helfende Hand zur Verfügung stehen, kann als Absicherung gegen ein ungewolltes Auslösen der Stick-Bomb das Legemuster mit Gewichten (mindestens 500 g) beschwert werden.

MATERIALIEN

Die Forscher-Checkliste des Forscherblatts enthält die für jede Gruppe benötigten Materialien.

Legen Sie alle Materialien auf einem Tisch bereit, sodass sich die einzelnen Gruppen ihre Sachen selber holen können. Grundregel: Jeder bringt die Sachen dorthin zurück, wo er sie geholt hat.

PRAXISTIPP

Die Holzspatel sind beim Kauf nicht farbig. Um den Einstieg in das Legemuster zu erleichtern, können Sie für jede Gruppe jeweils die ersten Holzspatel mit Wasserfarben anfärben. Dann können die SuS das Legemuster einfacher 1:1 übertragen.

ZEITBEDARF

Dieses Forscherblatt ist für eine Doppelstunde konzipiert. Die SuS sollten auf jeden Fall wissen, wann sie mit dem Aufräumen und Säubern der Arbeitsplätze beginnen müssen.

PRAXISTIPP

Es kann beim Legen oder Auslösen der Stick-Bomb zu Rissen oder Brüchen an den Holzspateln kommen. Lassen Sie diese defekten, nicht mehr verwendbaren Spatel gleich beim Aufräumen von den SuS aussortieren.

Damit bis zur nächsten Forschungsstunde kein Unfug mit den Holzspateln betrieben wird, deponieren Sie diese in einem Karton, der beschriftet und in einem Schrank verstaut wird.

STICK-BOMBS 2 – DAS KOBRA-LABOR

Mit der eingeführten Kobra-Welle können die SuS nun eigene Untersuchungen zu physikalischen Parametern anstellen, die das Verhalten der Stick-Bomb nach dem Auslösen beeinflussen oder diese in ihrer Bewegung charakterisieren. Dabei ist es bei den Versuchen sinnvoll, experimentelle Untersuchungen an der Kobra-Welle mehrfach durchzuführen und aus den Ergebnissen einen Durchschnittswert zu ermitteln, da diese im Einzelfall auch von der Geschicklichkeit der SuS im Aufbau der Stick-Bomb abhängen können. Die im Forscherblatt genannten Fragen dienen zur Anregung. Sie müssen nicht alle bearbeitet werden, auch die Reihenfolge können die Gruppenmitglieder selbst festlegen. Es ist ebenfalls in Ordnung, wenn Gruppen

andere Untersuchungen anstellen wollen. Wir halten es für wichtig, hier die Eigenständigkeit zu fördern und zu unterstützen.

PRAXISTIPP

Verdeutlichen Sie den SuS, wie wichtig insbesondere bei der Ermittlung von Durchschnittswerten eine sorgfältige Laborbuchführung ist.

Sollte sich eine Gruppe an einer Frage „festbeißen“, wägen Sie ab, ob Sie das zulassen oder den SuS empfehlen, zu einem – vielleicht auch offenen – Abschluss zu kommen und sich einer neuen Frage zuzuwenden.

MATERIALIEN

Die benötigten Materialien sind in der Forscher-Checkliste des Forscherblattes aufgezählt. Wir empfehlen, dass Sie alle Materialien auf einem Tisch bereitlegen, sodass sich die einzelnen Gruppen ihre Sachen selber holen können. Grundregel: Jeder bringt die Sachen dorthin zurück, wo er sie geholt hat.

ZEITBEDARF

Die Gruppen werden einige Doppelstunden mit diesem Forscherblatt beschäftigt sein.

MÖGLICHE ERGEBNISSE DER EXPERIMENTIERPHASE

Es gehört zum Forschen dazu, dass man Zusammenhänge herstellt und Begründungen sucht. Insbesondere die mehrfache Untersuchung physikalischer Parameter kann bei verschiedenen Gruppen unterschiedlich lange dauern. Manche Gruppen geben sich mit einer groben Näherung als Lösung zufrieden. Andere entwickeln akribisch Verfahren, um zu erreichen, dass die Messmethode tatsächlich und wiederholbar mit gleichen Ergebnissen unter identischen Bedingungen das misst, was gemessen werden soll. Es ist dabei aber stets gewünscht, dass die SuS bei ihren Untersuchungen Vermutungen über Zusammenhänge aufstellen und diese sinnvoll begründen, auch wenn eine vollständige Argumentation nicht immer auf Schülerniveau erfolgen kann. Die Untersuchungen der SuS können folgende Ergebnisse bzw. Zusammenhänge ergeben.

Die Bezeichnung Kobra-Welle deutet bereits auf die Bewegungsart der Stick-Bomb hin. Dabei kann diese bis zu 30 km/h – also etwa acht Meter pro Sekunde – schnell sein. Dies hängt natürlich von verschiedenen

Parametern ab. Zwei Einflussfaktoren sind

- ▶ der Winkel zwischen den Spateln an den Stellen, wo diese sich überlappen, und
- ▶ die Größe der Spatel, sodass die Geschwindigkeit auch von Spatelbreiten und -längen abhängt.

PRAXISTIPPS

Eine ausgelöste Stick-Bomb bewegt sich unglaublich schnell. Zur Auswertung der Versuche und natürlich zur Dokumentation empfiehlt es sich, eine Handykamera oder eine Digitalkamera zu nutzen. Die Videos können darüber hinaus auch mit einer entsprechenden Software bearbeitet werden, um zum Beispiel eine Zeitlupenaufnahme zu generieren.

Für geeignete Beobachtungen zur Bewegung und Geschwindigkeit benötigt man einen räumlich längeren Versuchsaufbau. Zum Messen der Geschwindigkeit kann zum Beispiel eine einfache Digitalkamera in Verbindung mit einem Meterstab genutzt werden, um die zurückgelegte Strecke pro Sekunde zu bestimmen.

Die Energie der Stick-Bomb entsteht aus der Legetechnik, bei der die Holzspatel unter Spannung ineinander verwoben werden. Dünne Spatel lassen sich leichter verflechten als dicke, sodass unterschiedlich viel Energie in den jeweiligen Stick-Bombs gespeichert ist. Bei Entspannung durch Starten der Stick-Bomb wird diese Energie unter anderem als Bewegungsenergie wieder frei. Bei einer Energiemessung, zum Beispiel mithilfe von Gewichten, erhält man pro Spatel einen Joule-Wert im einstelligen Promillebereich. Nutzt man für das Legemuster statt einem immer zwei Spatel übereinander, so muss man beim Verflechten zwar stärker spannen, dieses Plus an gespeicherter Energie geht aber beim Auslösen der Stick-Bomb nicht zwangsläufig in eine höhere Geschwindigkeit über. Vielmehr scheinen sich die Holzspatel während ihrer Entspannung und der daraus resultierenden Energiefreisetzung gegenseitig negativ zu beeinflussen. Ein Phänomen, welches noch nicht untersucht ist!

STICK-BOMBS 3 – STICK-BOMB-TECHNIKEN

Bei diesem Forscherblatt sollen sich die SuS mit weiteren Legetechniken für Stick-Bombs auseinandersetzen und die charakteristischen Bewegungsformen kennenlernen. Hierbei geht es auch um die Analyse der Zusammenhänge zwischen Legetechnik und daraus resultierenden Bewegungen. Ebenfalls sollen

die Untersuchungen aus dem Kobra-Labor wieder aufgegriffen und Ergebnisse nach Möglichkeit verallgemeinert werden. Schwächere Gruppen können bei der mehr oder weniger phänomenologischen Beschreibung von Zusammenhängen bleiben, stärkere Gruppen können Theorien aufstellen und Thesen überprüfen.

Auch für eine erfahrene Lehrkraft ist es in diesem Stadium nichts Ungewöhnliches, nicht sofort alle Schülerfragen beantworten zu können. Sie und Ihre SuS betreten einen Bereich, in dem man nicht mehr „alles wissen“ kann. Hier entstehen Neugierde und der Drang zum Forschen – genau das, was wir erreichen wollen.

LINKS

Englischsprachige Beschreibungen für alternative Legetechniken finden Sie unter marbles-curation.s3.amazonaws.com/instructions/052313_Stick_Bombs_Instructions.pdf

MATERIALIEN

Die zur Bearbeitung des Kobra-Labors benötigten Materialien stellen die Grundlage für die neuen Forschungsaufträge dar. Darüber hinaus können Ihre SuS natürlich auch auf weitere Werkstoffe, zum Beispiel zur Konstruktion von Messständen o.Ä., angewiesen sein. Sie sollten mindestens eine Woche vorher mit den Gruppen absprechen, ob weitere Materialien gebraucht werden, um diese entsprechend besorgen zu können.

PRAXISTIPP

Es ist möglich, dass auch elektrische Geräte mit Netzstecker eingesetzt werden müssen. Beachten Sie dann die Richtlinien für Sicherheit im Unterricht.

WETTBEWERB ZUM ABSCHLUSS

Am Ende der Einheit „Stick-Bombs“ kann ein Wettbewerb stattfinden. Wir schlagen Folgendes vor:
Stellen Sie jeweils 500 Stück verschiedener Spatelsorten zur Verfügung und legen Sie eine ausreichende Frist und Wegstrecke zum Bau fest. Die Geschwindigkeitsmessung können Sie mithilfe

WEITERFÜHRENDE INFORMATIONEN

Zur Bestimmung der Energie bieten sich zwei Verfahren an:

- ▶ Man bestimmt die Flughöhe der Spatel. Es handelt sich dann in gewisser Näherung um einen senkrechten Wurf, dessen potenzielle Lageenergie berechnet werden kann. Zu berücksichtigen für die Gesamtenergie der Kobra bleibt dann noch die Gesamtanzahl der Spatel, die genutzt werden, also die Summe der einzelnen Lageenergien.
- ▶ Man legt verschiedene Gewichte auf die Stick-Bomb. Werden diese beim Auslösen gerade noch angehoben, so kann man über das Gewicht die frei werdende Energie bestimmen. Aber Achtung: leichte Gewichte (kleiner als 100 g) werden eventuell durch die frei werdende Energie durch den Raum geschleudert.

SENKRECHTER WURF UND POTENZIELLE LAGEENERGIE E_{pot}

Ein fallender Körper wird bekanntlich von der Erde angezogen und dabei mit $9,81 \text{ m/s}^2$ beschleunigt. Bei einem Fall aus zehn Metern erreicht der Körper eine höhere Geschwindigkeit und damit eine höhere Bewegungsenergie als bei einem Fall aus geringerer Höhe. Somit hat ein Körper in Abhängigkeit von seiner Höhenlage eine Lageenergie, die in Bewegungsenergie umgewandelt werden kann.

Wird nun ein Holzspatel oder ein Gewicht, welches auf einer Stick-Bomb platziert ist, durch das Auslösen der Stick-Bomb senkrecht nach oben geworfen, so verändert sich die Lageenergie des Holzspatels bzw. des Gewichts. Kann man die maximale Höhe bestimmen, lässt sich diese Energie als potenzielle Energie E_{pot} berechnen. Es gilt: $E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$, wobei m die Masse des Körpers in Kilogramm, g die Erdbeschleunigung von $9,81 \text{ m/s}^2$ und h die maximale Höhe des Körpers sind. Als Einheit erhält man Joule in $(\text{kg} \cdot \text{m}^2)/\text{s}^2$.

einer Kamera durchführen. Die Aufgabe an die SuS lautet:

WER ENTWICKELT DIE BESTE STICK-BOMB?

Dir stehen verschiedene Holzspatelsorten zur Verfügung. Nimm dir 500 Stück und baue in der vorgegebenen Zeit eine Stick-Bomb, die sich möglichst schnell bewegt. Eine Geschwindigkeitsmessung entscheidet über den Sieg.

STICK-BOMBS 1 – DER AUFBAU

Forscher-Checkliste	
	glatte Arbeitsfläche
	200 Holzspatel
	Schutzbrillen

Schon einmal gesehen: die Kobra-Welle oder das Square-Weave („Quadrat-Gewebe“)? Beides sind besondere Legetechniken bei den Stick-Bombs („Holzspatel-Kettenreaktionen“). Ob diese schneller sind als du auf deinem Fahrrad?

VORBEREITUNGEN

Besprich in deiner Gruppe die einzelnen Aufbauschritte und hole erst dann das Material in den Mengen, die ihr tatsächlich benötigt. Erst wenn alles am Arbeitsplatz ist, solltet ihr mit der Konstruktion beginnen. Da eine Stick-Bomb bereits aus Versehen beim Aufbau starten kann, müssen alle in der Gruppe Schutzbrillen tragen.

ERSTER EINTRAG INS LABORBUCH

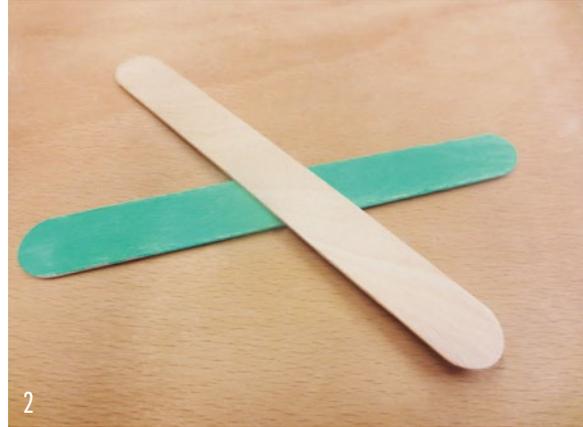
- ▶ Name des Forscherblattes, Datum
- ▶ Mitglieder der Gruppe mit Aufgabenzuordnung (Protokoll? Zeitmanager?)

AUFBAU DER KOBRA-WELLE



1

- ▶ Lege einen Spatel auf einen glatten Untergrund. Dieser wird der „Halter“.



2

- ▶ Lege einen zweiten Spatel diagonal über den ersten. Es entsteht ein Kreuz.



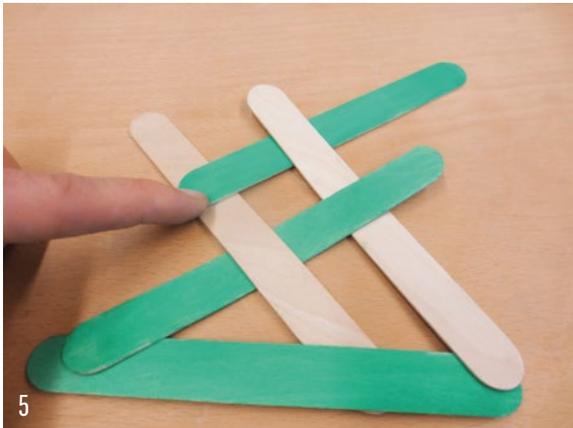
3

- ▶ Der dritte Spatel wird über den zweiten und unter den ersten geklemmt. Es entsteht ein „V“ mit dem ersten Spatel.



4

- ▶ Der vierte Spatel wird über den dritten und unter den ersten Spatel geklemmt. Er liegt parallel zum zweiten Spatel.



- Der nächste Spatel wird unter den vierten und über den zweiten Spatel geklemmt. Er liegt parallel zum dritten Spatel.



- Dieses Flechtmuster kannst du beliebig lange fortsetzen.



- Sobald du fertig bist, kannst du einen „Halter“ am Ende der Kette einbauen. Er muss genauso wie

der erste Spatel angebracht sein: auf dem vor- und dem drittletzten Spatel aufliegend und unter den letzten Spatel der Kette geklemmt.

Lege ein Flechtmuster, welches mindestens zwei Meter lang ist. Ziehst du nun an einem Ende den Halter weg, kannst du die Kobra beim Losspringen beobachten. Wichtig: Vergiss nicht beim Flechten die Spatel gut festzuhalten! Ansonsten schießt deine Kobra während des Bauens los.

AUCH DAS GEHÖRT INS LABORBUCH

- Beschreibe in eigenen Worten den Aufbau der Kobra-Welle.
- Fertige dazu eine Skizze an.

Sollte die Zeit reichen, kannst du die Kobra erneut aufbauen und ein zweites Mal starten. Vielleicht schaffst du es, sie länger zu bauen, in Kurven zu legen oder Treppenstufen „hinaufklettern“ zu lassen.

STICK-BOMBS 2 – DAS KOBRA-LABOR

Forscher-Checkliste	
	glatte Arbeitsfläche
	verschiedene Holzspatelsorten
	Schutzbrillen
	evtl. Kamera

Du hast eventuell bei deinen ersten Tests gemerkt, dass die Kobra mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten und Höhen durch den Raum schnell. Als echter Forscher kannst du nun herausfinden, welche Faktoren darauf Einfluss haben und wie Material und Aufbau der Kobra-Welle optimiert werden können. Sprich dich mit deiner Gruppe ab, welche der genannten Fragen ihr in welcher Reihenfolge bearbeiten wollt. Eure Lehrkraft wird euch darüber informieren, wie viel Zeit ihr für eure Forschungen habt.

VORBEREITUNGEN

Ihr werdet verschiedene Messungen durchführen. Es ist sinnvoll, die Aufgaben vorab zu verteilen:

- ▶ Denkt an den „Ersten Eintrag ins Laborbuch“.
- ▶ Wer kann sorgfältig Protokoll schreiben?
- ▶ Wer ist geschickt im Aufbau der Kobra-Welle?
- ▶ Wer kann gute Skizzen von den Konstruktions- und Forschungsergebnissen zeichnen?
- ▶ Mit welcher Forscherfrage will die Gruppe beginnen?

UNTERSUCHUNGEN

Bearbeite die folgenden Fragen rund um die Kobra-Welle:

- ▶ Welche Bewegung macht deine Kobra?
- ▶ Welche Geschwindigkeit erreicht die Kobra? Ist sie tatsächlich schneller als du auf deinem Fahrrad?
- ▶ Welchen Einfluss hat der Winkel zwischen den überlappenden Spateln auf die Geschwindigkeit der Kobra?
- ▶ Hängt die Geschwindigkeit von der Spatelbreite und -länge ab?
- ▶ Woher kommt die Energie der Kobra?
- ▶ Wie kannst du diese Energie messen?
- ▶ Wie stark kannst du eigentlich den Holzspatel belasten?
- ▶ Stimmt es, dass die Kobra schneller wird, wenn statt einem Holzspatel immer zwei Holzspatel übereinandergelegt werden?

DAS GEHÖRT INS LABORBUCH

- ▶ Name des Forscherblattes, Datum
- ▶ Mitglieder der Gruppe mit Aufgabenzuordnung
- ▶ Welche Fragen hast du (heute) bearbeitet?
- ▶ Bei Messungen: Trage alle gemessenen Werte mit Einheiten in übersichtliche Tabellen ein.
- ▶ Welche Ergebnisse hast du herausgefunden? Formuliere sie in Sätzen.
- ▶ Vermutest du schon Zusammenhänge?
- ▶ Konntest du Fragen nicht beantworten? Nenne den Grund.
- ▶ Was willst du in der nächsten Stunde untersuchen?
- ▶ Ist dazu zusätzliches Material notwendig? (Lehrkraft informieren!)

STICK-BOMBS 3 – STICK-BOMB-TECHNIKEN

Forscher-Checkliste	
	glatte Arbeitsfläche
	verschiedene Holzspatelsorten
	Schutzbrillen
	evtl. Kamera

Jetzt wirst du zum wahren Stick-Bomb-Experten. Du hast schon herausgefunden, welche Faktoren die Geschwindigkeit und den Energieinhalt der Kobra-Welle beeinflussen. Nun geht es darum, andere Legetechniken auszuprobieren und deine Ergebnisse an diesen zu überprüfen.

Im Internet findest du viele Anleitungen für unterschiedliche Techniken zum Bau von Stick-Bombs: Square-Weave, X-Bomb-Weave, Compass-Weave oder Zigzag-Weave. (Übrigens: Weave heißt Geflecht, Gewebe, Gewirk auf Englisch.) Mit noch mehr Holzspateln kannst du beliebig viele nachbauen.

UNTERSUCHUNGEN FÜR SPEZIALISTEN

- ▶ Wie unterscheiden sich die anderen Legetechniken in ihrer Reaktion im Vergleich zur Kobra-Welle? Was ist jeweils das Besondere?
- ▶ Findest du einen Zusammenhang zwischen den Legetechniken einer Stick-Bomb und ihren Besonderheiten in der Reaktion?
- ▶ Analysiere mit den Forschungsfragen aus dem Kobra-Labor die anderen Stick-Bombs.
- ▶ Wie kann man bei einem Square-Weave Kreuzungen legen, an denen eine Reaktion ankommt und weitergegeben wird?
- ▶ Konstruiere Kreuzungen auch bei den anderen Legetechniken.

EINEN FORSCHERPREIS GIBT ES NUR MIT LABORBUCH!

Du wirst viel ausprobieren und kannst nur mit einem sorgfältig geführten Laborbuch den Überblick behalten. Hier zwei Tipps:

- ▶ Ein Gruppenmitglied wird bestimmt, das während der Versuche Notizen macht und die Messergebnisse aufschreibt.
- ▶ Ein anderes Gruppenmitglied achtet darauf, dass nach abgeschlossenen Versuchen die Notizen und Ergebnisse im Laborbuch vollständig sind.

Die Laborbuchhinweise aus den vorigen Versuchsreihen gelten auch hier.



GESUCHT: DIE SUPERNUDEL

HINWEISE FÜR LEHRENDE

ÜBERBLICK

Die Versuchsreihe „Gesucht: die Supernudel“ besteht aus drei Arbeitsblättern („Forscherblättern“), die nicht zwingend nacheinander bearbeitet werden müssen.

DIE SUPERNUDEL 1 – DER EINSTIEG

Los geht es mit dem Kochen von Nudeln und der Zubereitung einer einfachen Soße aus Tomatenmark und Wasser. Die Forscherfragen beziehen sich auf die gekochte Nudel, die angerührte Soße und schließlich auf die Soßenmenge, die an einer Nudel hängen bleibt. Großer Wert wird auf das Führen des Laborbuches gelegt.

DIE SUPERNUDEL 2 – DAS NUDELLABOR

Hier geht es bei der Frage, wie viel Soße an einer Nudel hängen bleibt, um den Aspekt der Oberfläche. Es werden Spaghetti und Spirelli-Nudeln untersucht. Bei diesem und beim nächsten Arbeitsblatt ist zu erwarten, dass sich die einzelnen Gruppen unterschiedlichen Fragen zuwenden und diese individuell bearbeiten.

DIE SUPERNUDEL 3 – PREISVERDÄCHTIG

Bei diesem Arbeitsblatt sollen die Schülerinnen und Schüler (im Folgenden immer SuS) Nudelteige selber herstellen. Es wird untersucht, welchen Einfluss deren Zusammensetzung und Viskosität auf die Fähigkeit haben, Soße zu halten.

WICHTIGE HINWEISE – BITTE BEACHTEN

In Laborräumen darf nicht gegessen und getrunken werden. Dies gilt auch, wenn die SuS für die Untersuchung von Lebensmitteln Töpfe und Zutaten von zu Hause mitbringen. Im Normalfall müssen die zubereiteten Speisen daher leider weggeworfen werden.

PRAXISTIPP

Vielleicht ist es möglich, dieses Forschungsprojekt in die Schulküche oder in ein normales Klassenzimmer zu verlegen. Hier darf gegessen werden.

METHODISCH-DIDAKTISCHE HINWEISE

VORSCHLAG FÜR EINEN EINSTIEG

„Stell dir vor, du kochst für deine Freundinnen und Freunde und nach dem Essen fragen sie dich erstaunt, warum bei dir die Nudeln so gut schmecken. Sie werden noch mehr staunen, wenn du ihnen erzählst, dass du das wissenschaftlich herausgefunden hast.“

DIE SUPERNUDEL 1 – DER EINSTIEG

Die Einstiegsstunde sollte stärker strukturiert sein als die anderen. Da man nicht voraussetzen kann, dass alle SuS wissen, wie man Nudeln kocht, wird dies kleinschrittig im Arbeitsblatt erklärt. Es ist in dieser Stunde sinnvoll, dass alle etwa in gleichem Tempo die vorgegebenen Aufgaben erledigen. Für diese Doppelstunde reicht es aus, wenn die SuS Methoden lernen: Nudeln kochen, Nudeln und Soße beschreiben, Gewichtsunterschiede messen.

PRAXISTIPP

Die SuS arbeiten mit Sachen und Geräten, die in jeder Küche zu finden sind. Weisen Sie unbedingt klar und deutlich auf die Gefahren von heißem Wasser und Elektrizität hin. Der Boden kann rutschig werden durch heruntergefallene Lebensmittel. Daher müssen diese sofort entfernt werden.



MATERIALIEN

Die Forscher-Checklisten der Arbeitsblätter enthalten die für jede Gruppe benötigten Materialien. Aus unserer Erfahrung geben wir Ihnen darüber hinaus folgende Empfehlungen.

Stellen Sie zwei Nudelsorten ungekocht bereit. Legen Sie die Packungen mit dazu, damit die SuS sich über die Kochzeit informieren können. Vermeiden Sie Spaghetti und Spirelli, weil diese im zweiten Arbeitsblatt verwendet werden. Pro Gruppe reichen 100 g Nudeln einer Sorte aus. Wählen Sie die bereitgestellten Mengen so, dass beide Nudelarten innerhalb der Klasse verwendet werden müssen.

Legen Sie alle Materialien auf einem Tisch bereit, sodass sich die einzelnen Gruppen ihre Sachen selber holen können. Grundregel: Jeder bringt die Sachen dorthin zurück, wo er sie geholt hat.

Legen Sie auch verschiedene Utensilien aus, die gebraucht werden könnten: Schnüre, Wäscheklammern, Pinzetten, Messbecher ... Wir empfehlen, immer eine „Gedönskiste“ (siehe Seite 8) zur Verfügung zu stellen.

PRAXISTIPP

Falls in Ihrer Schule nicht genügend Töpfe, Nudelsiebe und Topflappen vorhanden sind, klären Sie mit den SuS einige Tage vorher, wer was mitbringen kann. Jede Gruppe muss versorgt sein.

ZEITBEDARF

Dieses Arbeitsblatt ist für eine Doppelstunde konzipiert. Die SuS sollten auf jeden Fall wissen, zu welcher Uhrzeit sie mit dem Putzen und Aufräumen beginnen müssen!

- ▶ Nudeln kochen: ca. 40 Minuten (incl. kurzer Einführung durch die Lehrkraft, Materialbeschaffung und Kochen)
- ▶ Experimentierphase und Führen des Laborbuches: ca. 30 Minuten
- ▶ Evtl. Essen, Putzen und Aufräumen: ca. 20 Minuten

PRAXISTIPP

Bestimmen Sie eine Schülerin oder einen Schüler, die oder der an die Aufräumzeit erinnert.

MÖGLICHE ELEMENTE DER EXPERIMENTIERPHASE

Das Zubereiten von Nudeln und Soße ist ein wesentlicher Bestandteil dieser Einheit. Daher ist es sinnvoll, auch die Eigenschaften der gekochten Nudeln und der angerührten Soße ins Laborbuch aufzunehmen. Wenn eine Verkostung nicht möglich ist, sind folgende Untersuchungen denkbar:

- ▶ Sind die Nudeln fest oder weich?
- ▶ Beginnen sie bereits sich aufzulösen?
- ▶ Sind sie im Innern noch mehlig?
- ▶ Sind sie elastisch?
- ▶ Glänzen sie oder sind sie matt?

- ▶ Wie hat sich das Gewicht der Nudeln durch das Kochen geändert?
- ▶ Ist die Soße zu wässrig oder zu fest?
- ▶ Wann ist die Soße „gerade richtig“? (Anmerkung: Auch wenn es sich um einen subjektiven Eindruck handelt, kann dieser doch exakt „wissenschaftlich“ beschrieben werden.)
- ▶ Man kann eine Nudel in die Soße hineinstecken und wieder herausziehen, man kann die Soße über eine Nudel gießen, man kann einige Nudeln mit Soße auf eine Gabel nehmen und jeweils durch eine Gewichtsmessung herausfinden, wie viel Gramm Soße an den Nudeln hängt.
- ▶ Wird eine Nudel rundherum gleichmäßig von der Soße bedeckt? An welchen Stellen bleibt mehr Soße haften?
- ▶ Wie wird die Soßenmenge eingeschätzt?

PRAXISTIPP

Wichtig ist bei diesen Experimenten, dass die SuS dazu angeleitet werden, exakte Beobachtungen zu machen und diese im Laborbuch auch festzuhalten.

DIE SUPERNUDEL 2 – DAS NUDELLABOR

Die im Arbeitsblatt genannten Fragen dienen zur Anregung. Sie müssen nicht alle bearbeitet werden; auch die Reihenfolge können die Gruppenmitglieder selbst festlegen. Es ist ebenfalls in Ordnung, wenn Gruppen andere Untersuchungen anstellen wollen. Wir halten es für wichtig, hier die Eigenständigkeit zu fördern und zu unterstützen. Verdeutlichen Sie den SuS sehr bestimmt und klar, wie wichtig in diesem Fall eine sorgfältige Laborbuchführung ist.

Sollte sich eine Gruppe an einer Frage „festbeißen“, wägen Sie ab, ob Sie das zulassen oder den SuS empfehlen, zu einem – vielleicht auch offenen – Abschluss zu kommen und sich einer neuen Frage zuzuwenden.

PRAXISTIPP

Weil das Kochen viel Zeit beansprucht, können Sie die SuS darauf hinweisen, für die folgenden Stunden bereits gekochte Nudeln mitzubringen.

MATERIALIEN

Die benötigten Materialien sind in der Forscher-Checkliste des Arbeitsblattes aufgezählt. Wir empfehlen, dass Sie den SuS zeigen, wo die einzelnen Materialien in den Schränken zu finden sind. Dann kann sich jede Gruppe nehmen, was sie braucht, und alles am Ende wieder wegräumen. Auch eine Gedöns-Kiste (siehe Seite 8) ist sinnvoll.

Die Lupe dient zum Betrachten der Nudeloberfläche. Es ist sehr schön, wenn ein Binokular zur Verfügung steht und die SuS ihre Beobachtungen möglichst genau in ihr Laborbuch zeichnen.

ZEITBEDARF

Die Gruppen werden einige Doppelstunden mit diesem Blatt beschäftigt sein. Sinn der Beschäftigung ist die Vertiefung der Forschungsarbeiten an Fragen, die die SuS interessieren.

PRAXISTIPP

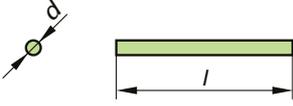
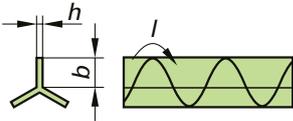
Schnellere Forschergruppen können sinnvoll beschäftigt werden, indem sie zum Weiterdenken und zu neuen Experimenten angeregt werden. Auch eine schönere Darstellung der Ergebnisse im Laborbuch ist für manche Gruppen reizvoll. Wichtig ist, dass man als Lehrkraft auf die Frage „Was kann ich noch machen?“ schnell und ruhig eine Antwort liefern kann.

MÖGLICHE ERGEBNISSE DER EXPERIMENTIERPHASE

Es gehört zum Forschen dazu, dass man Zusammenhänge herstellt und Begründungen sucht. Vermutlich wird es so sein, dass die Aussage „Die Nudelsorte xy hält pro Gramm die meiste Soße, weil ...“ nicht eindeutig beantwortet werden kann. Zu viele Faktoren haben einen Einfluss und eine vollständige Argumentation kann nicht auf Schülerniveau erfolgen. Es ist aber gewünscht, dass die SuS Vermutungen über Zusammenhänge aufstellen. Wichtig ist, dass die Vermutungen sinnvoll begründet werden.

Im Laufe der Versuchsreihe wird immer deutlicher, dass die Größe der Oberfläche einen wichtigen Einfluss auf die gehaltene Soßenmenge haben wird. Vielleicht kommen SuS auf diesen Zusammenhang. Sonst weisen Sie darauf hin, dass man die Soßenmenge auf das Gewicht oder auf die Oberfläche beziehen kann.

Die Berechnung der Oberfläche könnte nach dem Beispiel auf der folgenden Seite (oben) erfolgen.

Nudelsorte 1	Messung	Berechnung
Combino Spaghetti 	Gewicht: 0,1 g Länge l : 30 mm Durchmesser d : 2 mm	$Umfang = d \cdot \pi = 2 \text{ mm} \cdot 3,14 = 6,28 \text{ mm}$ $Mantelfläche = U \cdot l = 6,28 \text{ mm} \cdot 30 \text{ mm} = 188,4 \text{ mm}^2$ $Schnittfläche = (2 \text{ mm} / 2)^2 \cdot 3,14 = 3,14 \text{ mm}^2$ $Oberfläche = \text{Mantelfläche} + 2 \cdot \text{Schnittfläche}$ $= 188,4 \text{ mm}^2 + 2 \cdot 3,14 \text{ mm}^2 = 195 \text{ mm}^2$ $Oberfläche \text{ pro Gramm} = 195 \text{ mm}^2 / 0,1 \text{ g} = 1950 \text{ mm}^2/\text{g}$
Nudelsorte 2	Messung	Berechnung
Combino Fusilli 	Gewicht: 2,0 g Länge l : 48 mm Breite b : 5,3 mm Höhe h : 1,7 mm	$Umfang \text{ (Sternfläche)} = 6 \cdot b + 3 \cdot h$ $= 6 \cdot 5,3 \text{ mm} + 3 \cdot 1,7 \text{ mm} = 37 \text{ mm}$ $Oberfläche = U \cdot l = 37 \text{ mm} \cdot 48 \text{ mm} = 1776 \text{ mm}^2$ $Oberfläche \text{ pro Gramm} = 1715 \text{ mm}^2 / 1,2 \text{ g} = 888 \text{ mm}^2/\text{g}$

Quelle: Florian Hölz, Schüler experimentieren, 2015

In den Versuchsreihen von Florian Hölz hat sich herausgestellt, dass die Menge der aufgenommenen Soße in erste Linie von der Form und weniger von der Oberfläche abhängt. Er machte keine Aussagen zur Auswirkung des Eigehtaltes. Ihre SuS können zu anderen Ergebnissen kommen!

LINK

Einen guten Einstieg in die „Nudelforschung“ bietet folgende Quelle:
www.welt.de/print-welt/article698879/Raue-Oberflaeche-harter-Kern-die-perfekte-Pasta.html

DIE SUPERNUDEL 3 – PREISVERDÄCHTIG

Dieses Arbeitsblatt kann auf sehr unterschiedliche Weise bearbeitet werden. Alle SuS werden Freude bei der Teigherstellung haben. Schwächere Gruppen bleiben bei der mehr oder weniger phänomenologischen Beschreibung von Zusammenhängen, stärkere Gruppen können Theorien aufstellen und Thesen überprüfen.

Auch für eine erfahrene Lehrkraft ist es in diesem Stadium nichts Ungewöhnliches, nicht sofort alle Schülerfragen beantworten zu können. Sie und Ihre SuS betreten einen Bereich, in dem man nicht mehr „alles wissen“ kann. Hier entstehen Neugierde und der Drang zum Forschen – genau das, was wir erreichen wollen.

Wichtig ist die Systematisierung der Messungen. Aussagen über Eigehalte zum Beispiel lassen sich nur dann machen, wenn standardisierte Bedingungen vorliegen, nach denen der Teig untersucht wird. Auch ein „Kontrollversuch“, mit dem neue Ansätze verglichen werden, kann wichtig sein. An dieser Stelle wird den SuS oft die Herausforderung klar, valide Versuchsumgebungen zu schaffen. Neben den Zutaten spielt beispielsweise auch die Trocknungszeit eine Rolle für die Haltefähigkeit von Soße.

MATERIALIEN

Sie sollten sich einige Tage vorher informieren, welche Teigarten es gibt, und möglichst viele der benötigten Zutaten besorgen.

Eine Nudelmaschine ist von Vorteil, um eine gleichmäßige Konsistenz und vergleichbare Teigstärken zu erzielen.

PRAXISTIPP

Besprechen Sie einige Tage vorher mit den SuS, wer eine Nudelmaschine oder ein Nudelholz mitbringen kann. Jede Gruppe muss versorgt sein. Es gibt aufrollbare Auflagen, die ein sauberes und hygienisches Arbeiten auch auf normalen Tischen ermöglichen.

ZEITBEDARF

Je nach Art der Umsetzung wird diese Phase unterschiedlich lang dauern. Wegen des Aufwands der Teig-

herstellung muss mehr Zeit als nur eine Doppelstunde eingeplant werden. Als Gruppe in einem Klassenverband lässt sich an einem Termin jeweils höchstens ein (vorher abgesprochener) Parameter untersuchen. In freien Forschungsphasen, in denen verschiedene Gruppen unterschiedliche Dinge untersuchen, können auch mehrere Fragen gleichzeitig behandelt werden.

WEITERFÜHRENDE INFORMATIONEN

HERSTELLUNG VON NUDELTEIG

Für die Nudelherstellung gibt es zwei Verfahren: das Pressverfahren, bei dem der Nudelteig durch eine Form, die sogenannte Pressmatrize (Extruder), gepresst wird, und das Walzverfahren. Dabei wird der Nudelteig durch Walzen transportiert, bis er die gewünschte Stärke erreicht hat. So arbeiten auch Nudelmaschinen.

Um die Oberflächenbeschaffenheit der Nudeln zu beeinflussen, können die Pressformen bzw. Walzen unterschiedlich beschichtet sein. Ist die Oberfläche mit Teflon beschichtet, erhalten die Nudeln eine glatte Oberfläche, während bei einer Buntmetallbeschichtung (Bronze, Kupfer oder Messing) der Nudelteig aufgeraut wird.

Auch beim anschließenden Trocknen gibt es Unterschiede. Durch ein schnelles Trocknen bei 90 °C bis 100 °C erhalten die Nudeln eine gelbe Färbung. Auf der Oberfläche geliert dabei die Stärke, wodurch die Soßenhaftung verringert werden soll. Werden die Nudeln langsam und schonend bei 50 °C bis 60 °C getrocknet, erhalten sie eine helle, weißliche Färbung. Die Oberfläche bleibt rau und sollte dadurch die Soße besser aufnehmen.

Nudelteig lässt sich auf unterschiedliche Weise zubereiten. In Italien gelten für die Herstellung der Nudeln bestimmte Normen. Nudeln dürfen hier nur aus feinem Hartweizengrieß und Wasser hergestellt werden. Eiernudeln dürfen ebenfalls nur aus Hartweizengrieß sowie mindestens vier Eiern pro Kilo hergestellt werden (mit einem Gewicht von höchstens 200 g/kg).

VISKOSITÄT DER SOSSE

Für gute und interessierte SuS ist die Begegnung mit dem Begriff „Viskosität“ spannend, weil sich unter der Zähflüssigkeit jeder etwas vorstellen kann. Hier wird mit der dynamischen Viskosität η gearbeitet, die theoretisch von vielen Faktoren abhängt. Unter sonst gleichen Versuchsbedingungen besitzt aber jede flüssige Substanz einen spezifischen konstanten Faktor („Viskositätskonstante“), der in $\text{Pa} \cdot \text{s}$ (Pascalsekunde) angegeben wird. Über diesen Faktor, der die Zähflüssigkeit beschreibt, lassen sich unterschiedliche Flüssigkeiten recht einfach miteinander vergleichen.

Beispiele:

Substanz (bei 20 °C, wenn ohne Angaben)	η in $\text{mPa} \cdot \text{s}$
Wasser	1,0
Wasser (25 °C)	0,891
Glycerin	1480
Asphalt	$\sim 10^5$
Blut (37 °C)	4 bis 25
Traubensaft	2 bis 5
Olivienöl	$\sim 10^2$
Honig	$\sim 10^4$
Kaffeesahne	~ 10

Öl ist also etwa 100-mal zähflüssiger als Wasser und Honig noch einmal 100-mal zähflüssiger als Öl.

VERSUCH ZUR VISKOSITÄT

Dieser Versuch lässt sich auch in Forscher-AGs durchführen. Man braucht dazu gleiche Versuchsbedingungen und kann dann im Vergleich verschiedener Flüssigkeiten halbquantitative Ergebnisse erhalten in Form von „sehr viel größer“, „deutlich kleiner“ oder „in etwa gleich groß“.

Dazu benötigt man einen Drehteller, einen Kraftmesser, ein Becherglas sowie einen Akkuschauber und eine auf einen Stab montierte Dose (oder irgendeinen anderen beliebigen Zylinder).

Das Becherglas mit der zu bestimmenden Flüssigkeit steht bei der Messung auf dem Drehteller. Der Stab mit der Dose wird in den Akkuschauber eingespannt und so befestigt, dass die Dose in die Flüssigkeit taucht. Wenn der Akkuschauber angeschaltet wird und der



Versuch zur Viskosität

Zylinder im Becherglas rotiert, dreht sich aufgrund der Viskosität der Flüssigkeit das Becherglas mit. Mit dem Kraftmesser am Drehteller kann man nun messen, wie stark dieser Effekt ist. Je mehr der Kraftmesser anzeigt, umso größer ist die Viskositätskonstante. Eine zehnfache Kraft bedeutet (in etwa) eine zehnfache Viskosität.



Auf diese Weise lassen sich leicht verschiedene zähflüssige Substanzen direkt miteinander vergleichen.

LINKS

www.techniklexikon.net/d/viskositaeet/viskositaeet.htm

WETTBEWERB ZUM ABSCHLUSS

Am Ende der Einheit „Die Supernudel“ kann ein Wettbewerb stattfinden. Wir schlagen Folgendes vor:

WER IST DER BESTE NUDEL-FORSCHER?

1. Entwirf aus einem beliebigen essbaren Teig eine Supernudel, die maximal 5 cm lang ist

und die pro Gramm Nudelteig am meisten Soße hält. Gewinnen kann man nur mit einer „wissenschaftlichen“ Erklärung, warum der eigene Teig so gut sein soll!

2. „Das NUDEL-Gericht!“ – eine Jury präsentiert fünf verschiedene Nudeln. Welches wird die beste Nudel sein? Ein „wissenschaftlicher“ Test entscheidet über den Sieg.

DIE SUPERNUDEL 1 – DER EINSTIEG

Forscher-Checkliste	
	ein großer Topf für die Nudeln, ein kleiner Topf für die Soße
	Salz
	eine Nudelsorte nach freier Wahl
	Soßenzutaten (Tomatenmark oder Bratensoße zum Anrühren und Wasser)
	Waage
	Nudelsieb
	Stoppuhr
	elektrische Herdplatte
	2 Topflappen
	Alufolie zum Schutz des Tisches
	Kochlöffel oder Glasstab zum Umrühren
	Fehlt noch etwas? Besprich es mit deiner Lehrkraft.

Wann ist für dich eine Nudel eine „Supernudel“? Das soll nun in einer Forschergruppe untersucht werden.

VORBEREITUNGEN

Sprich dich mit deiner Gruppe ab, welche Nudelsorte ihr untersuchen wollt.

Zuerst sollte das Wasser aufgesetzt werden, weil das Kochen der Nudeln einige Zeit braucht. In der Zwi-

ERSTER EINTRAG INS LABORBUCH

- ▶ Name des Forscherblattes, Datum
- ▶ Mitglieder der Gruppe mit Aufgabenzuordnung (Protokoll? Zeitmanager?)
- ▶ Welche Forscherfrage wollt ihr beantworten? Ein Plan in Stichworten hilft!

Auch alle weiteren Versuche müssen im Laborbuch protokolliert werden.

AUCH DAS GEHÖRT INS LABORBUCH

- ▶ Welche Nudelsorte habt ihr gewählt?
- ▶ Welche Menge Nudeln gebt ihr in welche Menge Wasser?
- ▶ Wie lange haben die Nudeln gekocht?
- ▶ In welchem Mengenverhältnis wurden die Zutaten für die Soße angerührt?

schenzeit kannst du die restlichen Materialien aus der Forscher-Checkliste besorgen, die Soße anrühren und das Laborbuch führen.

KOCHREZEPT NUDELN UND SOSSE

ACHTUNG

Falls der Unterricht in einem naturwissenschaftlichen Fachraum stattfindet, darf nichts gegessen oder getrunken werden. Auch ein Probieren, ob die Nudeln gar sind, ist verboten.

- ▶ Ein bis zwei Liter Wasser in einen großen Topf füllen und etwas Salz dazugeben. Auf einer Herdplatte zum Kochen bringen.

ACHTUNG

Heißes Wasser und Wasserdampf sind gefährlich. Gehe vorsichtig damit um und achte darauf, dass immer eine Person aus deiner Gruppe bei dem Topf mit heißem Wasser aufpasst.

- ▶ Gib die Nudeln vorsichtig ins kochende Wasser und stelle die Herdplatte auf mittlere Hitze so ein, dass das Wasser gerade noch blubbert. Rühre die Nudeln kräftig durch, damit sie nicht zusammenkleben. Informiere dich, wie lange die Nudeln kochen sollen, und rühre auch zwischendurch immer wieder um.
- ▶ Du kannst jetzt schon Topflappen bereitlegen und das Nudelsieb in die Spüle stellen.
- ▶ **Während die Nudeln kochen, kannst du die Soße zubereiten:** Verrühre Tomatenmark mit Wasser zu einer dickflüssigen Soße oder rühre die Bratensoße mit Wasser an. Notiere die verwendeten Mengen. Ein Erwärmen der Soße ist nicht unbedingt notwendig.
- ▶ Gieße die Nudeln mit dem Nudelwasser nach Ablauf der Kochzeit vorsichtig in das Sieb. Spüle die Nudeln kurz mit kaltem Wasser ab und stelle sie mit dem Nudelsieb in den Topf, damit sie abtropfen können. Fertig. Gieße die Soße noch **nicht** über die Nudeln!

JETZT KANN DAS FORSCHEN BEGINNEN

ERSTER FORSCHUNGSSCHRITT: NUDELN UND SOSSE GETRENNT UNTERSUCHEN

Wenn du die Nudeln und die Soßen aller Gruppen betrachtest, wirst du Gemeinsamkeiten und Unterschiede feststellen. Überlege gemeinsam mit deinen Gruppenmitgliedern,

- ▶ wie ihr die Nudeln am besten beschreiben könnt (als Hilfe einige Stichworte: fest, glänzend, elastisch, innen mehlig, klebrig, schwer, wässrig, krümelig),
- ▶ welche Untersuchungen ihr noch machen könnt,
- ▶ welche Messverfahren ihr anwenden möchtet.

Übrigens: Es empfiehlt sich, jede Messung mehrmals zu machen, um Messfehler auszuschließen.

Tipp: Mittelwerte bilden.

DAS GEHÖRT INS LABORBUCH

Du musst die Ergebnisse eurer Überlegungen notieren. Beginne am einfachsten mit der Beschreibung der Nudeln:

- ▶ Nach welchen Kriterien sollen die Nudeln untersucht werden?
- ▶ Wie kann man die gekochten Nudeln beschreiben?
- ▶ Gibt es in den anderen Gruppen ähnliche oder ganz andere Ergebnisse?

Als Antwort kannst du beschreibende Sätze, Skizzen mit Erläuterungen oder Tabellenwerte wählen.

- ▶ Ergänze dein Laborbuch mit den Untersuchungen der Soße. Orientiere dich an den oben genannten Fragen.

ZWEITER FORSCHUNGSSCHRITT: NUDELN MIT SOSSE UNTERSUCHEN

Endlich kommen Nudeln und Soße zusammen. Gehe behutsam vor und schütte nicht gleich die ganze Soße über alle Nudeln. Diskutiert auch hier in der Gruppe, was ihr untersuchen wollt und vor allem: wie ihr die Soße auf die Nudel bringt. Man kann Nudeln mit Soße zum Beispiel überschütten, Nudeln mit Soße bestreichen oder sie in Soße eintauchen. Wenn du Nudeln mit Soße wiegen möchtest, benutze immer ein Schälchen oder Alufolie zum Drunterlegen.

DAS GEHÖRT INS LABORBUCH

- ▶ Welche Untersuchungen an den Nudeln mit Soße wurden durchgeführt?
- ▶ Welche Nudelsorte wurde untersucht?
- ▶ Welche Soße wurde benutzt?
- ▶ Wie sehen die Ergebnisse aus?



UND ZUM SCHLUSS

- ▶ Falls ihr etwas essen dürft: Guten Appetit.
- ▶ Vergleiche die unterschiedlichen Ergebnisse der einzelnen Gruppen miteinander.
- ▶ Zum Schluss wird aufgeräumt und alles gesäubert, auch die Tische und der Boden.

DIE SUPERNUDEL 2 – DAS NUDELLABOR

Forscher-Checkliste	
	Spaghetti und Spirelli
	Thermometer
	Waage
	Lineal
	Messschieber (Schieblehre)
	Lupe (evtl. Binokular)
	Außerdem brauchst du natürlich wieder die Dinge zum Kochen und Testen vom vorigen Forscherblatt (Die Supernudel 1 - der Einstieg)

Als echter Forscher kannst du noch genauer herausfinden, was eine Nudel zur Supernudel macht. Sprich dich mit deiner Gruppe ab, welche der genannten Fragen ihr in welcher Reihenfolge bearbeiten wollt. Vielleicht interessiert dich eine andere Fragestellung zur Nudel und du möchtest in dieser Richtung arbeiten. Eure Lehrkraft wird euch informieren, wie viel Zeit ihr für eure Forschungen habt.

VORBEREITUNGEN

Ihr werdet zahlreiche Messungen durchführen. Es ist sinnvoll, die Aufgaben vorab zu verteilen:

- ▶ Denkt an den „Ersten Eintrag ins Laborbuch“.
- ▶ Wer ist mit Protokollschreiben an der Reihe?
- ▶ Wer kann geschickt mit den Materialien umgehen?
- ▶ Wer kann Messwerte exakt ablesen und klar diktieren?
- ▶ Mit welcher Forscherfrage will die Gruppe beginnen?

ALLGEMEINE UNTERSUCHUNGEN

Nun geht es los! Bearbeite die folgenden Fragen für beide Nudelarten in beliebiger Reihenfolge.

- ▶ Hält eine doppelt so schwere Nudel die doppelte Soßenmenge?
- ▶ Halten zwei Nudeln die doppelte Soßenmenge?
- ▶ Bleibt mehr Soße an der Nudel hängen, wenn die Soße wässrig oder dickflüssig ist? Gibt es eine optimale Soßenkonsistenz?
- ▶ Bleibt mehr Soße an der Nudel hängen, wenn die Soße heiß oder kalt ist? Gibt es eine optimale Soßentemperatur?
- ▶ Falls du die Nudeln essen darfst: Gilt die Regel „Je mehr Soße, desto leckerer“? Kommt ihr alle zum gleichen Ergebnis?
- ▶ Gibt es eine optimale Soßenmenge?

FÜR SPAGHETTI-FANS

- ▶ Ist es für die aufgenommene Soßenmenge egal, ob eine Spaghetti langgestreckt ist oder zusammengerollt?
- ▶ Wie viele Spaghetti nimmst du beim normalen Essen auf die Gabel? Wie viel Soße ist mit dabei?
- ▶ Zum Weiterforschen: Wie unterscheiden sich Spaghetti verschiedener Hersteller?

FÜR SPIRALNUDEL-FANS

- ▶ Wie hängen der Abstand der Wicklungen und die Soßenmenge zusammen? Gibt es eine optimale Spiralenhöhe?
- ▶ Gibt es einen Zusammenhang zwischen Soßenmenge und Durchmesser der Spirelli?
- ▶ Es gibt Spirelli, deren Oberfläche geriffelt ist. Welche Rolle spielt diese Struktur?

UNTERSUCHUNGEN FÜR SPEZIALISTEN

- ▶ Welche Rolle spielt eigentlich das Ende einer Nudel? (Macht es einen Unterschied, ob man 10 cm, 15 cm oder 20 cm vom Ende einer Spaghettinudel untersucht?)
Tipp: Hier ist ein Schaubild sinnvoll; die Soßenmenge auf der y-Achse, die Nudellänge auf der x-Achse abtragen.
- ▶ Behauptung: Aufgerollt schmecken Spaghetti noch besser. Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Menge der Soße und der Anzahl der Spaghetti in einem „Nest“?
- ▶ Was meinst du: Hält eine doppelt so dicke Spaghetti auch doppelt so viel Soße?
Tipp: Hier könntest du eine Theorie aufstellen. Eine ideale Spaghettinudel hat ja die Form eines Zylinders.



DAS GEHÖRT INS LABORBUCH

- ▶ Name des Forscherblattes, Datum
- ▶ Mitglieder der Gruppe mit Aufgabenzuordnung
- ▶ Welche Nudelsorte hast du (heute) untersucht?
- ▶ Welche Fragen hast du (heute) bearbeitet?
- ▶ Bei Messungen: Trage alle gemessenen Werte mit Einheiten in übersichtliche Tabellen ein.
- ▶ Welche Ergebnisse hast du herausgefunden? Formuliere sie in Sätzen.
- ▶ Vermutest du schon Zusammenhänge?
- ▶ Konntest du Fragen nicht beantworten? Nenne den Grund.
- ▶ Was willst du in der nächsten Stunde untersuchen?



DIE SUPERNUDEL 3 – PREISVERDÄCHTIG

Forscher-Checkliste	
Zutaten für den Teig (Hartweizengrieß/Mehl, evtl. Eier, Salz, Wasser)	
Schüssel, saubere Arbeitsfläche	
Nudelholz Tipp: Eine Nudelmaschine ist von Vorteil, um vergleichbare Teigstärken zu erzielen.	
Stoppuhr zur Bestimmung des Fließverhaltens	
Messschieber (Schieblehre)	
Lupe (evtl. Mikroskop)	
Thermometer	
Lineal	
Messer zum Zuschneiden der Nudeln	
Außerdem brauchst du natürlich wieder die Dinge zum Kochen und Testen vom ersten Forscherblatt (Die Supernudel 1 - der Einstieg)	

Jetzt wirst du zum wahren Nudlexperten. Du hast schon gesehen, dass es Nudeln gibt, an denen die Soße besser haftet als an anderen. Das kann auch an den Zutaten und der Herstellungsart des Teiges liegen. Stelle deinen eigenen Supernudelteig her.

NUDELTEIG HERSTELLEN

- ▶ Informiere dich über unterschiedliche Nudelteigarten.
- ▶ Sprich dich mit der Gruppe ab, welchen Teig ihr herstellen wollt.
- ▶ Achte beim Zubereiten auf Sauberkeit – insbesondere, wenn du die Nudeln essen willst.
- ▶ Mit welcher Forscherfrage will die Gruppe beginnen? – Und los geht's!

NUDELTEIG UNTERSUCHEN

- ▶ Welche Rolle spielen die Teigzutaten bei der „Soßenhaltefähigkeit“? Verändere verschiedene Einzelheiten („Parameter“) des Teigs und miss ihren Einfluss (z.B. Wassergehalt, Grieß- bzw. Mehlsorte, mit Ei/ohne Ei ...).
- ▶ Welche Rolle spielt die Form der Nudel? Entwirf aus deinem Nudelteig eigene Formen und teste, wie sie die Soße halten.
- ▶ Wie bindet eigentlich Soße an die Nudel? Untersuche dazu einen Tropfen Soße auf einer Nudeloberfläche unter dem Mikroskop und entwickle eine Theorie, was der Grund für die Bindung zwischen Nudel und Soße sein könnte.
- ▶ Entwickle ein Verfahren zum Testen des Soßenfließverhaltens auf Nudelteig und teste verschiedene Teigsorten.
- ▶ Welche Rolle spielt das Salz? Untersuche die Abhängigkeit des Salzgehaltes in Soße und Nudeln von der „gehaltenen“ Soßenmenge.
- ▶ Welche Rolle spielt ein Riffelmuster? Kannst du die Soßenmenge bei unterschiedlich vielen Riffeln theoretisch vorhersagen?

EINEN FORSCHERPREIS GIBT ES NUR MIT LABORBUCH!

Du wirst viel ausprobieren und kannst nur mit einem sorgfältig geführten Laborbuch den Überblick behalten.

Hier zwei Tipps:

- ▶ Ein Gruppenmitglied wird bestimmt, das während der Versuche Notizen macht und die Messergebnisse aufschreibt.
- ▶ Ein anderes Gruppenmitglied achtet darauf, dass nach abgeschlossenen Teilversuchen die Notizen und Ergebnisse im Laborbuch vollständig sind.

Die Laborbuchhinweise aus den vorigen Versuchsreihen gelten auch hier.

GUMMIBÄRCHEN

HINWEISE FÜR LEHRENDE

ÜBERBLICK

Die Versuchsreihe „Gummibärchen“ besteht aus drei Arbeitsblättern („Forscherblättern“), die nicht zwingend nacheinander bearbeitet werden müssen.

GUMMIBÄRCHEN I – GUMMIBÄRCHEN IM TEST

Gummibärchen kann man auf vielfältige Weise untersuchen. Das erste Arbeitsblatt beschränkt sich auf das Verhalten von Gummibärchen in verschiedenen „Lösungsmitteln“ und bei verschiedenen Temperaturen. Wichtig ist dabei, dass die genauen Beobachtungen ausführlich im Laborbuch protokolliert werden.

GUMMIBÄRCHEN II – GUMMIBÄRCHEN FÜR PROFIS

Hier stehen den jungen Forschern viele verschiedene Fragen zur Auswahl. Die Schülerinnen und Schüler (im Folgenden immer SuS) können selbst entscheiden, in welcher Reihenfolge sie sich der Untersuchung von z. B. Leitfähigkeit, Klebkraft oder dem Verdauen von Gummibärchen widmen.

GUMMIBÄRCHEN III – DAS GUMMIBÄRCHEN-LABOR

Hier werden verschiedene Gummibärchen selbst hergestellt. Das Verkosten gehört natürlich dazu.

Zur Untersuchung der Farbstoffe in Gummibärchen gibt es zwei zusätzliche Arbeitsblätter ab Seite 43.

WICHTIGE HINWEISE – BITTE BEACHTEN

In Laborräumen darf nicht gegessen und getrunken werden. Dies gilt auch, wenn für die Untersuchung von Lebensmitteln Töpfe, Geschirr und frische Zutaten von zu Hause mitgebracht werden. Im Normalfall müssen daher die Lebensmittel anschließend leider weggeworfen werden.

PRAXISTIPP

Vielleicht ist es möglich, die Gummibärchen in der Schulküche oder einem normalen Klassenzimmer herzustellen. Hier darf genascht und probiert werden.

Vorsicht! Beim Arbeiten mit Chemikalien muss im Vorfeld eine Gefährdungsbeurteilung (GBU) erstellt werden. Für die vorgeschlagenen Versuche finden Sie Vorlagen unter dem Link/QR-Code auf Seite 93 f.

METHODISCH-DIDAKTISCHE HINWEISE

GUMMIBÄRCHEN I – GUMMIBÄRCHEN IM TEST

Vorsicht! Die SuS müssen unbedingt in die Bedienung des Bunsenbrenners eingewiesen werden. Sie müssen bei allen Versuchen mit Brenner und Chemikalien eine Schutzbrille tragen und die Haare zusammenbinden.

Die Einstiegsstunde sollte stärker strukturiert sein als die folgenden Stunden. Es werden in dieser Doppelstunde nur zwei Eigenschaften von Gummibärchen untersucht:

- ▶ das Verhalten in verschiedenen Flüssigkeiten (Versuch 1) und
- ▶ das Verhalten bei verschiedenen Temperaturen (Versuch 2).

Die SuS sollten am Ende der Doppelstunde die Beobachtungen beider Versuche in ihrem Laborbuch festgehalten haben.

Unser Vorschlag für den zeitlichen Ablauf: Die SuS beginnen mit Versuch 1, der Untersuchung der Gummibärchen in verschiedenen Flüssigkeiten. Nachdem



sie die Gummibärchen in die verschiedenen Lösungen gegeben haben, dauert es einige Zeit, bis man etwas beobachten kann. In dieser Zeit können die SuS Versuch 2, die Untersuchung der Gummibärchen bei unterschiedlichen Temperaturen, durchführen. Anschließend werten sie Versuch 1 aus, indem sie die Veränderungen der Gummibärchen in den Flüssigkeiten protokollieren.

PRAXISTIPP

Bei Versuch 1 lassen sich die Veränderungen der Gummibärchen durch die Dokumentation mit einer (Handy-)Kamera vergleichen. Die SuS müssen die Fotos ausdrucken können und ins Laborbuch einkleben.

MATERIALIEN

Die Forscher-Checklisten der Arbeitsblätter enthalten die für jede Gruppe benötigten Materialien. In der Liste ist gekennzeichnet, welche Materialien für Versuch 1 und Versuch 2 benötigt werden.

Aus unserer Erfahrung geben wir Ihnen darüber hinaus folgende Empfehlungen.

Legen Sie alle Materialien auf einem Tisch bereit, sodass sich die einzelnen Gruppen ihre Sachen selber holen können. Grundregel: Jeder bringt die Sachen dorthin zurück, wo er sie geholt hat.

Vorsicht! Unbedingt darauf achten, dass die SuS nicht am gleichen Tisch mit entflammaren Flüssigkeiten wie Alkohol und Benzin sowie mit dem Brenner arbeiten.

PRAXISTIPP

Feuerfeste Unterlagen und Kartuschenbrenner mit Alufolie überziehen, um die klebrigen Reste der Gummibärchen einfacher entfernen zu können. Bunsenbrenner zum Schutz vor Verunreinigungen schräg in ein Stativ einspannen.

Gummibärchenreste an der Tiegelzange können durch vollständiges Verbrennen in der Flamme entfernt werden.

ZEITBEDARF

Dieses Arbeitsblatt ist für eine Doppelstunde konzipiert. Damit dies funktioniert, empfehlen wir nur ca. fünf verschiedene Lösungsmittel zu testen. Wenn der Umgang mit dem Brenner nicht bekannt und geübt ist, muss eine ausführliche Einführung erfolgen und es sollten zwei Doppelstunden eingeplant werden.

Die SuS sollten auf jeden Fall 20 Minuten vor Unterrichtsende mit dem Putzen und Aufräumen beginnen.

Achtung! Benzin und andere organische Lösungsmittel dürfen nicht über den Ausguss entsorgt werden, sondern müssen getrennt gesammelt und in der Chemieabteilung in den dafür vorgesehenen Abfallbehälter gegeben werden.

PRAXISTIPP

Bestimmen Sie eine Schülerin oder einen Schüler, die oder der an die Aufräumzeit erinnert.

MÖGLICHE ERGEBNISSE

Bei Versuch 1 ist zu erwarten, dass die Gummibärchen in wässrigen Lösungen aufquellen. Je nach verwendeten Farbstoffen kann es zu einer Entfärbung der Gummibärchen vor allem in unpolaren Lösungsmitteln (wie z. B. Benzin oder Öl) kommen. Bei Versuch 2 werden die Gummibärchen beim Erwärmen zuerst weich und verkohlen oder verbrennen dann bei stärkerer Hitze.

GUMMIBÄRCHEN II – GUMMIBÄRCHEN FÜR PROFIS

Dieses Forscherblatt bietet den SuS weitere Anregungen, mit Gummibärchen zu experimentieren. Die Forscherfragen müssen dabei nicht alle beantwortet werden und auch die Reihenfolge können die Gruppen selbst festlegen. Es ist ebenfalls denkbar, dass sich Gruppen eigene Fragestellungen überlegen und diese

untersuchen wollen. Wir halten es für wichtig, hier die Eigenständigkeit zu fördern und zu unterstützen. Weisen Sie bei neuen Versuchen die SuS auf mögliche Sicherheitsrisiken hin und erstellen Sie gegebenenfalls eine GBU.

Sollte sich eine Gruppe an einer Frage „festbeißen“, wägen Sie ab, ob Sie das zulassen oder den SuS empfehlen, zu einem – vielleicht auch offenen – Abschluss zu kommen und sich einer neuen Frage zuzuwenden. Da in diesem Abschnitt sehr viele verschiedene Fragestellungen bearbeitet werden können, ist es besonders wichtig, dass die einzelnen Gruppen ihre Ergebnisse selbstständig, sauber und ausführlich im Laborbuch dokumentieren.

MATERIALIEN

Es ist sinnvoll, am Ende der Stunde die weitere Planung mit den SuS zu besprechen. Dann ist die Bereitstellung der passenden Materialien einfacher. Viele Kleinigkeiten werden von den SuS immer wieder nachgefragt und benötigt. Wir empfehlen, immer eine Kiste mit diesen Materialien zur Verfügung zu stellen (die sogenannte Gedönskiste – siehe Seite 8).

PRAXISTIPPS

Enzyme für die Verdauungsexperimente gibt es normalerweise im Kühlschrank der Biosammlung.

MÖGLICHE ERGEBNISSE DER EXPERIMENTIERPHASE

Die Leitfähigkeit von Gummibärchen ist gering, variiert jedoch zwischen den Sorten beträchtlich. Sie lässt sich z.B. durch Salzlösungen oder Säuren deutlich erhöhen.

Für die Klebstoffuntersuchungen sollten sich die SuS im Vorfeld auf ein vergleichbares Messverfahren einigen.

Das Zusammenkleben der Gummibärchen in der Tüte wird durch einen Überzug mit Bienenwachs o.Ä. verhindert.

GUMMIBÄRCHEN III – DAS GUMMIBÄRCHEN-LABOR

Hier geht es vor allem um die Herstellung von Gummibärchen. Da es im Internet viele Rezeptideen gibt und das Ausprobieren verschiedener Rezepte das Spannende ist, wollen wir an dieser Stelle kein Rezept vorgeben.

PRAXISTIPP

Damit die Herstellung der Gummibärchen gelingt, sollten die Rezepte in der Woche davor herausgesucht werden. Besprechen Sie mit den SuS, wer welche Zutaten mitbringen wird.

Achtung! Gummibärchen dürfen nur dann verkostet werden, wenn sie in einer Küche oder einem Klassenzimmer mit Lebensmittelmaterialien hergestellt wurden.

Für überraschende Ergebnisse sorgen viele verschiedene Farb- und Aromastoffe. Bestellen kann man diese beispielsweise im Internet.

PRAXISTIPP

Die Gummibärchen gelingen gut, wenn sie in Silikonförmchen oder Eiswürfelrahmen gegossen werden. Das häufig beschriebene Verfahren, die Gummibärchenmasse in Mehlabdrücke zu gießen, ergibt kein schönes Ergebnis an der Oberfläche der Gummibärchen, da die warme Gelatinemasse mit dem Klebereiweiß des Mehls reagiert.

UNTERSUCHUNG VON FARBSTOFFEN IN GUMMIBÄRCHEN

Bei der Untersuchung von Farbstoffen in Gummibärchen muss man zwischen künstlichen und natürlichen Farbstoffen unterscheiden. Künstliche Farbstoffe sind meist gut wasserlöslich, natürliche hingegen unpolar und wasserunlöslich. Auf der Packung kann man die Farbstoffe anhand der Zutatenliste (E-Nummern) erkennen.

Der Nachweis der Farbstoffe erfolgt nach unterschiedlichen Anleitungen.

PRAXISTIPP

Zur Isolation von künstlichen Farbstoffen aus Gummibärchen werden entfettete Wollfäden verwendet. Diese lassen sich durch Aceton einfach selbst herstellen, aber auch – ebenso wie das Testfarbstoffgemisch – käuflich erwerben.

LINKS

Anleitungen zum Selbermachen, Hinweise zu veganen Gummibärchen, Bezugsquellen für Farb- und Aromastoffe finden Sie unter www.sfz-bw.de/forschen-in-der-schule

WEITERFÜHRENDE INFORMATIONEN

CHEMISCHER AUFBAU VON GUMMIBÄRCHEN

Gummibärchen bestehen aus einer Mischung aus Zucker, Zitronensäure und Gelatine. Für die gummiartigen Eigenschaften ist die Gelatine verantwortlich. Sie ist ein geschmacksneutrales tierisches Eiweiß (Polypeptid), das aus dem Bindegewebe von Tieren gewonnen wird.

Gelatine quillt in Wasser und löst sich dann beim Erwärmen (ab ca. 50 °C) auf. Sie ist das einzige Hydrokolloid, bei dem die gelierte Lösung beim Erwärmen wieder flüssig wird. Dieser temperaturabhängige Gel-/Sol-Übergang ist reversibel und z. B. auch verantwortlich dafür, dass Gummibärchen im Mund schmelzen (und nicht kleben wie z. B. Stärkeprodukte). Da Gelatine temperaturempfindlich ist, zersetzt sie sich bei längerem Erwärmen über 80 °C, verliert ihr Geliervermögen und wird zunehmend klebriger. Noch stärkeres Erhitzen führt zu einer vollständigen Zerstörung der chemischen Bindungen, das Gummibärchen verbrennt. Für Vegetarier sind Agar-Agar, Pektin oder Alginat Alternativen zu Gelatine.

Quelle: www.chemie.de/lexikon/Gelatine.html



Chromatographie

BRUMMENDER GUMMIBÄR

Ein toller Show-Versuch ist die Reaktion von Gummibärchen mit geschmolzenem Kaliumchlorat.

Vorsicht! Dieser Versuch ist nur für Chemiker geeignet. Wenn keine Chemielehrkraft zur Stelle ist, finden Sie einen Film von diesem Versuch unter: www.youtube.com/watch?v=yymQsXte_Z8

CHROMATOGRAMM UND CHROMATOGRAPHIE

Mithilfe der Chromatographie lassen sich Gemische trennen. Durch die unterschiedliche Polarität der Farbstoffe lösen sich diese unterschiedlich gut im Lösungsmittel und breiten sich daher verschieden weit auf der Chromatographiefolie aus. Das Ergebnis ist ein Chromatogramm.

Bei natürlichen Farbstoffen arbeitet man mit einer Cellulose-DC-Folie. Bei künstlichen Farbstoffen wird eine Kieselgel-DC-Folie benutzt (DC = Dünnschicht-Chromatographie).

PRAXISTIPP

Auf den Seiten 43 ff. befinden sich zwei zusätzliche Forscherblätter zur Untersuchung von natürlichen bzw. künstlichen Farbstoffen in Gummibärchen.

WETTBEWERB ZUM ABSCHLUSS

Zum Abschluss der Einheit „Gummibärchen“ kann ein interner Wettbewerb stattfinden. Wir schlagen Folgendes vor:

- ▶ Stelle aus den Zutaten Gelatine, Wasser und Zucker mit beliebigen Farb- und Aromastoffen das leckerste Gummibärchen her.
- ▶ Stelle aus beliebig vielen Zutaten ein möglichst großes und festes Gummibärchen her.

GUMMIBÄRCHEN 1 – GUMMIBÄRCHEN IM TEST

Forscher-Checkliste	
	verschiedene handelsübliche Gummibärchen
	Speiseöl, Cola, Sprudel, Essig, Spiritus, Waschbenzin ... als Lösungsmittel (Versuch 1)
	kleine Bechergläser o.Ä. (1)
	Waage (1)
	Lineal (1)
	Stoppuhr (1)
	Glasstäbe (1)
	Pinzette (1)
	Gasbrenner (Versuch 2)
	Tiegelzange (2)
	feuerfeste Unterlage (2)
	Alufolie (2)
	Digitalthermometer (Messbereich bis mind. 200°C) (2)

Welche Eigenschaften haben Gummibärchen, außer dass sie gut schmecken?

Da fällt dir sicher vieles ein, was man an Gummibärchen untersuchen kann. Zum Einstieg haben wir hier zwei spannende Forscheraufgaben für dich.

- ▶ Versuch 1: Wie verhalten sich Gummibärchen in verschiedenen Flüssigkeiten?
- ▶ Versuch 2: Wie verhalten sich Gummibärchen bei unterschiedlichen Temperaturen?

VORBEREITUNGEN

Da der erste Versuch einige Zeit stehen muss, bis man etwas beobachten kann, solltest du diesen zuerst ansetzen. Stelle alle Materialien für Versuch 1 bereit.

Achtung! In Fachräumen darf weder gegessen noch getrunken werden. Es dürfen also leider auch keine Gummibärchen genascht werden!

ERSTER EINTRAG INS LABORBUCH

- ▶ Name des Forscherblattes, Datum
- ▶ Mitglieder der Gruppe mit Aufgabenzuordnung (Protokoll? Zeitmanager?)
- ▶ Welche Gummibärensorte soll untersucht werden?
- ▶ In welche Flüssigkeiten werden die Gummibärchen eingelegt?
- ▶ Erstelle eine Tabelle für die Versuchsergebnisse.

Um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, musst du immer die gleiche Gummibärensorte verwenden.

DURCHFÜHRUNG VERSUCH 1

- ▶ Vermess und wiege die Gummibärchen vor Versuchsbeginn und notiere die Werte ins Laborbuch.
- ▶ Gib in jedes Becherglas ein Gummibärchen.
- ▶ Übergieße jedes Gummibärchen mit der jeweiligen Flüssigkeit, sodass es vollständig davon bedeckt ist.
- ▶ Um die Veränderungen besser nachvollziehen zu können, fotografiere die Gummibärchen mit einer (Handy-)Kamera.
- ▶ Stoppe nun die Zeit. Die Versuchsanordnung sollte mindestens 30 Minuten stehenbleiben.

Jetzt kannst du mit Versuch 2 beginnen.

Achtung! Wenn du brennbare Flüssigkeiten (z.B. Alkohol oder Waschbenzin) verwendet hast, musst du die Vorratsflaschen sofort schließen, wegräumen und die Ansätze zur Seite stellen. Die Dämpfe können sich sonst entzünden!

Bei Versuchen mit dem Brenner musst du unbedingt eine Schutzbrille tragen und die Haare zusammenbinden!

DURCHFÜHRUNG VERSUCH 2

- ▶ Lege zuerst einige Gummibärchen in den Kühlschrank und ins Gefrierfach.
- ▶ Bedecke die feuerfeste Unterlage mit Alufolie, damit du diese nachher leichter reinigen kannst.
- ▶ Nimm ein Gummibärchen mit der Tiegelzange und halte es vorsichtig einige Zentimeter neben die Brennerflamme.
- ▶ Bestimme die Temperatur in diesem Bereich.
- ▶ Lass das Gummibärchen gut abkühlen und untersuche die Veränderungen.
- ▶ Erhitze zum Schluss das Gummibärchen direkt in der Brennerflamme.
- ▶ Hole die Gummibärchen aus dem Kühl-/Gefrierfach und untersuche die Veränderungen ebenfalls.

BEOBSACHTUNGEN UND AUSWERTUNGEN

Zur Auswertung von Versuch 1 fotografiere die Gummibärchen nochmals. Danach entnimmst du sie mit der Pinzette aus der Flüssigkeit und vermischt und wiegst sie erneut.

AUCH DAS GEHÖRT INS LABORBUCH

- ▶ Notiere deine Beobachtungen zu Versuch 2. Damit es übersichtlicher wird, stelle die Ergebnisse in einer Tabelle dar.
- ▶ Notiere ebenfalls die Ergebnisse von Versuch 1.
- ▶ Drucke die Fotos aus und klebe sie zu den Ergebnissen von Versuch 1.

Wenn du mit beiden Versuchen fertig bist, räume alle Materialien wieder auf und putze deinen Arbeitsplatz.

Achtung! Frage die Lehrkraft, wie die Flüssigkeiten entsorgt werden.

ZUM SCHLUSS

- ▶ Welche Aussagen kannst du nun über die Eigenschaften von Gummibärchen machen?
- ▶ Welche weiteren Eigenschaften möchtest du noch untersuchen?
- ▶ Wie verhalten sich andere Gummibärchen unter diesen Bedingungen?



Gummibärchen messen



Gummibärchen in Lösungsmittel

GUMMIBÄRCHEN 2 – GUMMIBÄRCHEN FÜR PROFIS

Forscher-Checkliste	
	verschiedene handelsübliche Gummibärchen
	Verdauungsenzyme (Pepsin, Trypsin, Amylase ...)
	Kraftmesser
	Gewichte
	Schnur, Bindfaden ...
	UV-Lampe
	Multimeter

Als echter Forscher kannst du jetzt alle möglichen Eigenschaften von Gummibärchen testen und versuchen, Erklärungen für diese Eigenschaften zu finden. Lies dir die Forscherfragen durch und überlege zusammen mit deinen Gruppenmitgliedern, was zuerst untersucht werden soll. Eure Lehrkraft wird euch darüber informieren, wie viel Zeit ihr für eure Forschungen habt. Gebt der Lehrerin bzw. dem Lehrer rechtzeitig Bescheid, wenn Materialien besorgt werden müssen.

UNTERSUCHUNGEN

- ▶ Wie stabil sind Gummibärchen eigentlich?
- ▶ Leuchten Gummibärchen in UV-Licht?
- ▶ Wie sind die elastischen Eigenschaften von Gummibärchen?
- ▶ Wie ist die optimale Aufbewahrung von Gummibärchen?
- ▶ Wie kriegt man alte Gummibärchen wieder frisch?
- ▶ Wie gut leiten Gummibärchen elektrischen Strom?
- ▶ Wie kann man die elektrische Leitfähigkeit von Gummibärchen erhöhen?

FÜR KLEBE-PROFIS

- ▶ Wie gut eignen sich Gummibärchen als Klebstoff?
- ▶ Wie gut ist die Klebewirkung von Gummibärchen auf verschiedenen Oberflächen?
- ▶ Wie kannst du die Klebekraft der Gummibärchen beeinflussen?
- ▶ Warum kleben Gummibärchen nicht in der Tüte zusammen?

FÜR BIOLOGEN

- ▶ Wie kann man Gummibärchen außerhalb eines Schülers verdauen? Ernster gefragt: Was passiert im Magen/Darm? Kann man das mit Enzymen nachbilden?

FÜR TÜFTLER

- ▶ Versuche auf einer Grundfläche von 5 cm x 5 cm einen möglichst hohen Gummibärchenturm zu bauen. (Zusammenkleben ist erlaubt.)

FÜR MATHEMATIKER

- ▶ Der Gummibärchen-Würfel: Fallen Gummibärchen immer auf die Füße, landen sie auf dem Rücken oder auf dem Bauch?

DAS GEHÖRT INS LABORBUCH

- ▶ Name des Forscherblattes, Datum
- ▶ Mitglieder der Gruppe mit Aufgabenzuordnung
- ▶ Welche Fragen hast du (heute) bearbeitet?
- ▶ Bei Messungen: Trage alle gemessenen Werte mit Einheiten in übersichtliche Tabellen ein.
- ▶ Welche Ergebnisse hast du herausgefunden? Formuliere sie in Sätzen.
- ▶ Vermutest du schon Zusammenhänge?
- ▶ Konntest du Fragen nicht beantworten? Nenne den Grund.
- ▶ Was willst du in der nächsten Stunde untersuchen?
- ▶ Ist dazu zusätzliches Material notwendig? (Lehrkraft informieren!)

Ab hier ist dein Forschergeist gefragt – mach weiter, erfinde eigene Fragen und gehe ihnen auf den Grund.

GUMMIBÄRCHEN 3 – DAS GUMMIBÄRCHEN-LABOR

Forscher-Checkliste	
	Zutaten für Gummibärchen je nach Rezept:
	Gelatine
	Zucker
	Zitronensäure, lebensmittelecht (aus der Apotheke)
	Farb- und Aromastoffe
	Fruchtsäfte, Honig, Sirup ...
	vegane Geliermittel, z.B. Alginat
	Süßstoffe
	Topf
	Heizplatte
	Löffel
	Silikonformen o.Ä.

GUMMIBÄRCHEN HERSTELLEN

Achtung! Du darfst die selbst hergestellten Gummibärchen nur dann kosten, wenn du in einer Küche oder einem Klassenzimmer arbeitest. Verwende keine Laborgeräte, sondern nur Kochgeschirr.

Jetzt geht es ans Selbermachen: Suche im Internet nach verschiedenen Rezepten zur Herstellung eigener Gummibärchen.

- ▶ Vergleiche die verschiedenen Rezepte und leite aus deinen Erfahrungen die beste Rezeptur ab.
- ▶ Wie kann man vegane Gummibärchen herstellen?
- ▶ Versuche auch Weingummis, Joghurtgums, gefüllte Gummibärchen, saure Gummibärchen ... herzustellen.
- ▶ Stelle Gummibärchen ohne Zucker her und untersuche die elastischen Eigenschaften dieser Gummibärchen. Fallen dir Einsatzmöglichkeiten für solche Gummibärchen ein?

CHEMISCHE UNTERSUCHUNG VON GUMMIBÄRCHEN

Untersuche, mit welchen Farbstoffen Gummibärchen angefärbt sind. Die Anleitung erhältst du von deiner Lehrerin oder deinem Lehrer.

Ab hier ist dein Forschergeist gefragt – mach weiter, überlege eigene Fragen und gehe ihnen auf den Grund.

EINEN FORSCHERPREIS GIBT ES NUR MIT LABORBUCH!

Du wirst viel ausprobieren und kannst nur mit einem sorgfältig geführten Laborbuch den Überblick behalten. Hier zwei Tipps:

- ▶ Ein Gruppenmitglied wird bestimmt, das während der Untersuchungen Notizen macht und die Ergebnisse aufschreibt.
- ▶ Ein anderes Gruppenmitglied achtet darauf, dass nach abgeschlossenen Untersuchungen die Notizen und Ergebnisse im Laborbuch vollständig sind.

Die Laborbuchhinweise aus den vorigen Versuchsreihen gelten auch hier.



UNTERSUCHUNG VON KÜNSTLICHEN FARBSTOFFEN IN GUMMIBÄRCHEN

Forscher-Checkliste	
	Gummibärchen (mit künstlichen Farbstoffen)
	demineralisiertes Wasser
	Weinsäure
	Ammoniaklösung (w = 5 %)
	Laufmittel aus Methanol, Natriumcitratlösung und Ammoniaklösung
	entfettete Wollfäden (Aceton)
	Testfarbstoffe
	Waage
	Föhn
	Pinzette
	Glasstäbe
	Spatel
	Tiegelzange
	kleine Reagenzgläser
	Gasbrenner
	Dreibein mit Ceranplatte
	Bechergläser 250 ml
	Messzylinder 50 ml
	Trennkammern
	Schnappdeckelgläschen
	pH-Papier
	Mikropipetten
	Siedesteinchen
	Kieselgel-DC-Folien (Polygram)

Viele Nahrungsmittel sind mit Lebensmittelfarben angefärbt, damit sie ansprechender oder appetitanregender wirken.

Überprüfe anhand der Zutatenliste (E-Nummern), ob die Gummibärchen künstliche oder natürliche Farbstoffe enthalten.

DURCHFÜHRUNG

ISOLIERUNG DER FARBSTOFFE

- ▶ Schneide ca. 5 cm lange Wollfäden ab und lege sie einige Minuten in Aceton. Nimm die Wollfäden dann mit einer Pinzette heraus und lasse sie trocknen.
- ▶ Gib 10 g Gummibärchen in ein Becherglas (250 ml). Füge etwa 50 ml demineralisiertes Wasser sowie eine Spatelspitze Weinsäure zu. Prüfe mit pH-Papier auf den sauren Charakter der Lösung.
- ▶ Erhitze bis zum Sieden und rühre dabei ständig mit dem Glasstab um, bis sich die Gummibärchen aufgelöst haben.
- ▶ Gib zwei Siedesteinchen sowie einen entfetteten Wollfaden zu. Rühre unter weiterem Erhitzen so lange um, bis nahezu der gesamte Farbstoff auf den Wollfaden aufgezogen ist.
- ▶ Nimm den Wollfaden mit einer Pinzette heraus und spüle ihn mehrfach unter fließendem Wasser, um ihn von Zucker- und Eiweißresten zu befreien.
- ▶ Gib den gründlich gereinigten Wollfaden in ein sauberes Becherglas (250 ml) und füge 30 ml Ammoniaklösung (w = 5 %) zu.
- ▶ Erhitze bis zum Sieden und rühre so lange um, bis der Farbstoff fast vollständig in Lösung gegangen ist.
- ▶ Nimm den entfärbten Wollfaden mit einer Pinzette heraus und dampfe die Farbstofflösung zunächst auf etwa 3 ml – 5 ml ein. Gieße dann um in ein kleines Reagenzglas und dampfe vorsichtig weiter bis auf ca. 1 ml ein. Verwende ein Siedesteinchen!
- ▶ Lass die Lösung abkühlen und gib sie zur sicheren Aufbewahrung in ein Schnappdeckelgläschen. Sie kann im Kühlschrank über mehrere Tage aufbewahrt werden.

TRENNUNG UND IDENTIFIZIERUNG DER FARBSTOFFE

- ▶ Ziehe mit Bleistift vorsichtig auf der beschichteten Seite am unteren Ende der DC-Folie ca. 1 cm vom Rand entfernt eine Linie, ohne die Beschichtung zu zerstören.
- ▶ Tupfe vorsichtig mit einer Mikropipette den Farbstoff aus dem Gummibärchen und ein Gemisch der Testfarbstoffe auf einem markierten Punkt auf der Linie auf.
- ▶ Trockne die Farbstoffpunkte mit einem Föhn.

Die Lehrkraft setzt das Laufmittel an:

Natriumcitratlösung (w = 2,5%) : Ammoniaklösung (w = 5%) : Methanol = 100 : 25 : 13

- ▶ Fülle von diesem Laufmittel etwa 10 ml in deine Trennkammer, verschließe sie und schüttle kräftig, um eine gute Dampfsättigung zu erreichen.
- ▶ Stelle die DC-Folie in die Trennkammer. Die Farbstoffpunkte dürfen nicht ins Laufmittel eintauchen. (Vorsicht, die Trennkammer darf nun nicht mehr bewegt werden!)
- ▶ Nimm das Chromatogramm nach etwa 15 Minuten Entwicklungszeit heraus und trockne es mit dem Föhn.
- ▶ Schätze durch Vergleich mit den Farbstoffen des Testfarbstoffgemischs ab, um welche Farbstoffe es sich in den Gummibärchen handeln könnte.



Chromatographie

UNTERSUCHUNG VON NATÜRLICHEN FARBSTOFFEN IN GUMMIBÄRCHEN

Forscher-Checkliste	
	Essigsäureethylester
	Laufmittel aus Petrolbenzin 100 °C-140 °C, 2-Propanol und Wasser
	Schütteltrichter
	Heizplatte
	Trichter
	Messzylinder 10 ml
	Cellulose-DC-Folie (Polygram)
	Mikropipetten
	Föhn
	Trennkammer
	Papiertücher

Natürliche Farbstoffe sind häufig wasserunlöslich. Daher musst du die Farbstoffe erst mit einem Lösungsmittel aus den Gummibärchen herauslösen.

DURCHFÜHRUNG

- ▶ Gib drei Gummibärchen in ca. 20 ml Wasser und erwärme auf ca. 60 °C, bis sich die Gummibärchen gelöst haben.
- ▶ Überführe die Gummibärchen-Lösung in einen Schütteltrichter und gib 10 ml Essigsäureethylester dazu. Schüttle kräftig durch.
- ▶ Wenn es sich bei den Farbstoffen um natürliche, wasserunlösliche Farbstoffe handelt, sammelt sich der Farbstoff in der Essigsäureethylester-Phase. Sollte dies nicht der Fall sein, musst du die Anleitung für künstliche Farbstoffe verwenden.
- ▶ Trenne die Essigsäureethylester-Phase ab. Wenn die Lösung nur sehr schwach gefärbt ist, kannst du sie vorsichtig erwärmen, sodass ein Teil des

Lösungsmittels verdampft. Dies sollte im Abzug und mit einer Heizplatte (ohne offene Flamme) durchgeführt werden, da die Dämpfe entzündlich sind.

- ▶ Tauche eine Mikropipette in die Farbstofflösung ein; die Lösung steigt von selbst 1 cm - 2 cm nach oben. Streife eventuell anhaftende Tropfen mit einem Papiertuch ab.
- ▶ Trage die Farbstofflösung nun bandenförmig, etwa 1,5 cm oberhalb des unteren Randes, auf die Cellulose-DC-Folie auf.
- ▶ Trockne die aufgetragene Farbstoffbande mit dem Föhn. Wiederhole das Auftragen und Trocknen mindestens dreimal.
- ▶ Die Lehrkraft setzt das Laufmittel an:
Petrolbenzin (100 °C-140 °C) : 2-Propanol : Wasser = 100 : 10 : 0,5
- ▶ Gib 10 ml Laufmittel in die Trennkammer, verschließe und schüttle kurz, damit sich Dampfsättigung einstellt.
- ▶ Stelle nun die DC-Folie in die Trennkammer. Nach 12 min - 14 min ist die Trennung beendet. Nimm die DC-Folie heraus und trockne sie mit dem Föhn. Du hast ein Chromatogramm erhalten.

AUSWERTUNG

Um den Farbstoff zu identifizieren, kannst du beim Chromatogramm ähnliche, natürliche Farbstoffe (z. B. aus Karotten, Roten Beten, Blättern ...) mit auftragen. Steigen diese gleich weit nach oben und haben sie die gleiche Farbe, kannst du ziemlich sicher sein, dass es sich um den gleichen Farbstoff handelt.

GUTE MUSIK, SELBST GEBAUTE BOXEN

HINWEISE FÜR LEHRENDE

ÜBERBLICK

Die Versuchsreihe „Gute Musik, selbst gebaute Boxen“ besteht aus drei Arbeitsblättern („Forscherblättern“). Die Konstruktion der Lautsprecherbox steht dabei vor den Forschungsaufgaben. Das große Akustiklabor sollte erst nach dem kleinen Akustiklabor bearbeitet werden.

GUTE MUSIK, SELBST GEBAUTE BOXEN 1 – DIE KONSTRUKTION

Hier geht es um den Bau eines ersten, einfachen Lautsprechers. Dabei lernen die Schülerinnen und Schüler (im Folgenden immer SuS) wesentliche Elemente im Aufbau einer Box, wie Membran, Spule und Magnet, kennen. Es werden zur Konstruktion einfach zu bearbeitende Materialien eingesetzt, sodass keine elektrischen Werkzeuge mit Netzstecker notwendig sind (und damit ein gewisses Gefahrenpotenzial entfällt).

GUTE MUSIK, SELBST GEBAUTE BOXEN 2 – KLEINES AKUSTIKLABOR

Hier werden erste Untersuchungen an der selbst gebauten Lautsprecherbox durchgeführt. Die Bedeutung der einzelnen Bauteile wird näher erarbeitet und es werden Forschungsaufträge zur Leistungs- und Klangsteigerung gestellt. Es ist zu erwarten, dass sich die einzelnen Gruppen unterschiedlichen Fragestellungen zuwenden und diese individuell bearbeiten.

GUTE MUSIK, SELBST GEBAUTE BOXEN 3 – GROSSES AKUSTIKLABOR

Bei diesem Forscherblatt sollen die SuS eigene Lautsprecherboxen aus verschiedenen Materialien konstruieren. Hier sind der Kreativität in der Untersuchung von Materialien und Formen keine Grenzen gesetzt.

WICHTIGE HINWEISE – BITTE BEACHTEN

Beim Einsatz von Werkzeugen müssen die Richtlinien für Sicherheit im Unterricht beachtet werden. Je nach Altersstufe und Vorerfahrungen kann das Arbeiten nur unter Aufsicht bzw. Teilaufsicht erfolgen. Achten Sie insbesondere beim Löten auf eine gute Belüftung.

Die Temperatur des heißen Lötkolbens liegt bei über 300 °C. Bei unsachgemäßer Handhabung besteht Verbrennungsgefahr! Deshalb müssen eine Gefährdungsbeurteilung (GBU) sowie eine Betriebsanweisung (BA) erstellt werden. Wir schlagen vor, die Sicherheitshinweise zum Löten an die SuS auszuteilen und mit ihnen zu besprechen.

GBU, BA und Sicherheitshinweise zum Löten siehe Link/QR-Code auf Seite 93 f.



METHODISCH-DIDAKTISCHE HINWEISE

GUTE MUSIK, SELBST GEBAUTE BOXEN 1 – DIE KONSTRUKTION

Die Bauanleitung gibt einen klaren Konstruktionsweg vor. Die einzelnen Arbeitsschritte werden erklärt und die Ergebnisse auf Abbildungen dargestellt, an denen sich die SuS orientieren können. Es ist bei der Konstruktion sinnvoll, dass alle etwa im gleichen Tempo vorankommen. Abhängig von den Fertigkeiten der SuS kann das saubere Aufwickeln der Spule unterschiedlich viel Zeit beanspruchen.

PRAXISTIPP

Aus Gründen der Zeitersparnis können Sie das Aufwickeln der Spule und die Vorbereitung der nachfolgenden Konstruktionsschritte auch auf die Gruppenmitglieder aufteilen.

PRAXISTIPP

Es empfiehlt sich, dass Sie die Lautsprecherbox vorab selbst bauen, um auf die Stellen, an denen wirklich sauber gearbeitet werden muss (Spulenwicklung, Einstellung der Stabhöhe für den Magneten, Abisolierung und Anschluss der Klinkenstecker) vorbereitet zu sein.

MATERIALIEN

Die Forscher-Checkliste des Arbeitsblattes enthält die für jede Gruppe benötigten Materialien und Werkzeuge. Aus unserer Erfahrung geben wir Ihnen darüber hinaus folgende Empfehlungen.

Auch wenn der Akkuschauber von jeder Gruppe nur einmalig genutzt wird, überprüfen Sie vorher den Ladezustand und laden Sie den Akkuschauber ggf. auf.

LINKS

Mögliche Bezugsquellen für Materialien, wie zum Beispiel Kupferlackdraht oder zylindrische Magnete, finden Sie unter dem Link www.sfz-bw.de/forschen-in-der-schule. Bitte achten Sie bei Ihrer Planung auf die unterschiedlichen Lieferzeiten.

Legen Sie alle Materialien auf einem Tisch bereit, sodass sich die einzelnen Gruppen ihre Sachen selber holen können. Grundregel: Jeder bringt die Werkzeuge dorthin zurück, wo er sie geholt hat.

PRAXISTIPPS

Beim Aufwickeln der Spule sollten Sie unbedingt darauf achten, dass tatsächlich keine Knicke entstehen. Am besten legen die SuS die gesamte Drahtlänge in einem Gang aus, einer hält das Ende fest und ein zweiter wickelt unter Zug auf.

Das erfolgreiche Abisolieren des Kupferlackdrahtes, zum Beispiel mit Schmirgelpapier, kann nachträglich mit einer Widerstandsmessung überprüft werden. Eine Spule sollte im fertigen Zustand einen Widerstand von 5 Ω bis 6 Ω haben.

Wenn es möglich ist, sollten die Klinkenstecker angelötet werden (statt sie mit Lüsterklemmen zu verschrauben).

ZEITBEDARF

Dieses Arbeitsblatt ist aufgrund des Zeitaufwands für die Spulenwicklung für zwei Doppelstunden konzipiert. Die SuS sollten auf jeden Fall wissen, zu welcher Uhrzeit sie mit dem Aufräumen und Säubern der Arbeitsplätze beginnen müssen. Insbesondere muss für den Zeitraum zwischen den beiden Doppelstunden ein geeigneter Aufbewahrungsort für die Lautsprecherteile gefunden werden.

PRAXISTIPP

Suchen Sie zur Lagerung der Bauteile zwischen den beiden Doppelstunden einen freien Schrankplatz in einem Klassenraum oder Fachraum. Organisieren Sie für jede Gruppe einen eigenen Karton oder eine eigene beschriftbare Box zur Aufbewahrung der Bauteile.

NACH ABSCHLUSS DER KONSTRUKTIONSPHASE

Die Konstruktion einer Lautsprecherbox ist das Ziel dieser Einheit. Daher ist es sinnvoll, diese nach erfolgter Konstruktion zu testen. Hierfür reicht die Leistung eines handelsüblichen Mobiltelefons, welches über einen Kopfhöreranschluss verfügt, an dem Sie den Klinkenstecker anschließen können. Die SuS werden feststellen, dass die Lautstärke nicht sehr hoch ist. An dieser Stelle kann man direkt zum Forscherblatt 2 überleiten oder alternativ einen kleinen Verstärker im Selbstbausatz, den man mit einer 9-V-Blockbatterie betreiben kann, zusammenlöten.

LINKS

Mögliche Bezugsquellen für einen solchen Selbstbausatz, an dem der Aufbau eines Verstärkers und die Funktionsweise der Bauteile gut zu erkennen sind, finden Sie unter dem Link www.sfz-bw.de/forschen-in-der-schule.

Sollte wider Erwarten trotz voller Leistung des Mobiltelefons bzw. MP3-Players kein akustisches Signal aus dem Lautsprecher wahrnehmbar sein, gibt es im Allgemeinen nur zwei mögliche Fehlerquellen:

- ▶ Überprüfen Sie als Erstes, ob der Kupferlackdraht vor dem Anschluss an den Klinkenstecker wirklich vollständig abisoliert wurde.
- ▶ Zweitens kann eine unsaubere Wicklung der Spule (Knicke oder zu große Abstände zwischen den Windungen) die Ursache sein. Hier hilft leider nur das Wickeln einer neuen Spule.

PRAXISTIPP

Bevor Sie eine neue Spule wickeln lassen, überprüfen Sie genau, ob es evtl. noch andere Ursachen für das Nichtfunktionieren geben kann.

GUTE MUSIK, SELBST GEBAUTE BOXEN 2 – KLEINES AKUSTIKLABOR

Mit der selbst gebauten Lautsprecherbox können die SuS eigene Untersuchungen im Bereich der Akustik durchführen. Es steht Ihnen als Lehrkraft frei, ob Sie vorher noch den bereits angesprochenen Bausatz für einen Verstärker zusammenbauen lassen, um die Leistung der Lautsprecherboxen zu steigern.

Die im Forscherblatt genannten Fragen dienen zur Anregung. Sie müssen nicht alle bearbeitet werden, auch die Reihenfolge können die Gruppenmitglieder selbst festlegen. Es ist ebenfalls in Ordnung, wenn Gruppen andere Untersuchungen anstellen wollen.

Wir halten es für wichtig, hier die Eigenständigkeit zu fördern und zu unterstützen.

PRAXISTIPP

Verdeutlichen Sie den SuS, wie wichtig insbesondere beim freien Forschen eine sorgfältige Laborbuchführung ist.

Sollte sich eine Gruppe an einer Frage „festbeißen“, wägen Sie ab, ob Sie das zulassen oder den SuS empfehlen, zu einem – vielleicht auch offenen – Abschluss zu kommen und sich einer neuen Frage zuzuwenden.

MATERIALIEN

Die benötigten Materialien sind in der Forscher-Checkliste des Arbeitsblattes aufgelistet. Wir empfehlen, dass Sie alle Materialien auf einem Tisch bereitlegen, sodass sich die einzelnen Gruppen ihre Sachen selber holen können. Grundregel: Jeder bringt die Werkzeuge dorthin zurück, wo er sie geholt hat.

Benötigte Materialien können auch im Internet bestellt werden. Bitte achten Sie bei Ihrer Planung auf die unterschiedlichen Lieferzeiten.

ZEITBEDARF

Die Gruppen werden mehrere Doppelstunden mit diesem Forscherblatt beschäftigt sein.

MÖGLICHE ERGEBNISSE DER EXPERIMENTIERPHASE

Es gehört zum Forschen dazu, dass man Zusammenhänge herstellt und Begründungen sucht. Insbesondere die Entwicklung von Verbesserungsmöglichkeiten kann bei verschiedenen Gruppen unterschiedlich

lange dauern. Manche Gruppen geben sich mit der ersten gefundenen Lösung zufrieden, andere entwickeln akribisch Verfahren, um unterschiedliche Verbesserungsideen in ihrer Wirkung in irgendeiner Art und Weise messbar zu machen.

Die Beschäftigung mit den Forscherblättern macht folgende Faktoren für die Beeinflussung der Leistung einer Lautsprecherbox deutlich:

- ▶ Mit der Anzahl der Wicklungen erhöhen sich gleichzeitig die Induktivität und der Widerstand der Spule. Entsprechend ergeben Spulen mit wenigen Wicklungen aufgrund des geringen Magnetfeldes und Spulen mit vielen Wicklungen aufgrund des hohen Widerstandes eine geringe Lautstärke. Es gilt also, den besten Kompromiss aus Magnetfeldstärke und Widerstand zu finden.
- ▶ Die Membran versetzt die Luft in Schwingungen. Diese Schwingungen werden vom menschlichen Ohr wahrgenommen, man hört Töne. Auch bei der Membran gilt es, einen Kompromiss zu finden: Je härter das Material, desto besser werden die Schwingungen übertragen. Das führt aber im Hochtonbereich zu sehr unsauberen Klängen. Als Kompromiss gut geeignet scheint Kunststoff.

Um die Membran in ausreichende Schwingungen zu versetzen, ist das Zusammenspiel zwischen Spule und Magnet, also die Stärke des Magnetfeldes und der Abstand zwischen beiden Komponenten, entscheidend. Hier kann es je nach Wicklung der Spule zu unterschiedlichen Ergebnissen zwischen den Gruppen kommen.

Die SuS könnten beispielsweise versuchen, die Spule so zu wickeln und passgenau, aber beweglich, um den Magneten herum zu platzieren, dass der Abstand zwischen beiden optimal ist.

Die Untersuchung des Zusammenspiels zwischen Spule und Magnet ist besonders spannend, wenn man auch die Art des Magneten variiert.

PRAXISTIPP

Um Verbesserungen messbar zu machen, kann ein Smartphone eingesetzt werden. Zum Beispiel bietet die kostenlose App „Spaichinger Schallpegelmesser“ (für Android und iOS) die Möglichkeit, Schalldruck und Schallpegel zu messen und das Spektrum anzeigen zu lassen.

GUTE MUSIK, SELBST GEBAUTE BOXEN 3 – GROSSES AKUSTIKLABOR

Dieses Forscherblatt enthält mit der Untersuchung von Hornlautsprechern einen festgelegten und mit dem Bau von Lautsprecherboxen aus verschiedenen Materialien einen freien Entwicklungs- und Forschungsauftrag. Dadurch kann dieses Forscherblatt auf sehr unterschiedliche Art und Weise bearbeitet werden. Schwächere Gruppen können sich beim Bau einer Lautsprecherbox zuerst mit gängigen Werkstoffen – z. B. Holz – auseinandersetzen. Für stärkere Gruppen bietet es die Möglichkeit, auch ungewöhnliche Materialien zu untersuchen.

Beispiele für den Einsatz von Hornlautsprechern sind Megafone oder Anlagen zur Durchsage auf Bahnhöfen.

PRAXISTIPP

Sie können die Frage stellen, warum ausgerechnet Hornlautsprecher als Ansagelautsprecher auf Bahnhöfen eingesetzt werden.

Auch für eine erfahrene Lehrkraft ist es in diesem Stadium nichts Ungewöhnliches, nicht sofort alle Schülerfragen beantworten zu können. Sie und Ihre SuS betreten einen Bereich, in dem man nicht mehr „alles wissen“ kann. Hier entstehen Neugierde und der Drang zum Forschen – genau das, was wir erreichen wollen.

MATERIALIEN

Sie sollten mindestens eine Woche vorher mit Ihren Gruppen absprechen, welche Materialien untersucht bzw. zum Bau der Lautsprecherbox genutzt werden sollen, um diese mit ausreichend Vorlauf besorgen zu können.

PRAXISTIPP

Es ist möglich, dass auch elektrische Werkzeuge mit Netzstecker eingesetzt werden müssen. Beachten Sie dann die Richtlinien für Sicherheit im Unterricht.

WEITERFÜHRENDE INFORMATIONEN

DER DYNAMISCHE LAUTSPRECHER

Dynamische Lautsprecher basieren auf dem elektrodynamischen Prinzip, also auf der magnetischen Wirkung einer stromdurchflossenen Spule. Die elektrische Energie wird in akustische Signale umgewandelt. Es gibt – je nach Einsatzgebiet und Anforderungen – sehr unterschiedliche Bauformen. Die Membranen dynamischer Lautsprecher verfügen über ein sehr gutes Schwingungsverhalten. In unserer Konstruktion umschließt dafür eine frei bewegliche Spule, die mit der Membran verbunden ist, den Dauermagneten. Fließt ein elektrischer Strom durch die Spule, wird ein Magnetfeld erzeugt, welches mit dem Magnetfeld des Dauermagneten interagiert: Es kommt in Abhängigkeit von der Stromstärke zu Abstoßungen und Anziehungen unterschiedlicher Ausprägungen, was die Membran in Schwingungen versetzt.

LINKS

zu anschaulichen Videos und Grafiken über die Funktionsweise eines dynamischen Lautsprechers finden Sie unter www.sfz-bw.de/forschen-in-der-schule.

ERZEUGUNG EINES ELEKTROMAGNETISCHEN FELDES

Die Stärke eines Magnetfeldes, genannt Induktivität, ergibt sich aus der Anzahl der Windungen der Spule und den Abmessungen. Durch die Wicklung des Drahtes kommt es zu einer magnetischen Verkettung der einzelnen Windungen untereinander, wodurch die Induktivität steigt. Verdoppelt man die Anzahl der Windungen einer Spule, so gilt physikalisch sogar eine Vervierfachung der Stärke des Magnetfeldes. Dabei hat die Spule, analog zum gewöhnlichen Magneten, bei Gleichstromfluss einen Nord- und einen Südpol. Bei der Herstellung der Spule kann sowohl mit als auch gegen den Uhrzeigersinn gewickelt werden. Dies ist der entscheidende Faktor für die Polung. Schaut man auf ein Spulenende und fließt der Strom vom Plus- zum Minuspol im Uhrzeigersinn durch die Spule, so entsteht an diesem Ende ein magnetischer Südpol. Entsprechend entsteht bei einem Spulenende mit Gleichstromfluss entgegen dem Uhrzeigersinn ein magnetischer Nordpol. Zur Identifizierung kann auch die Rechte-Hand-Regel dienen: Werden die Windungen der Spule mit der rechten Hand so umfasst, dass die Finger entlang der Windungen jeweils den Stromfluss vom Plus- zum Minuspol zeigen, dann deutet der Daumen auf den magnetischen Nordpol der Spule.

WETTBEWERB ZUM ABSCHLUSS

Am Ende der Einheit „Gute Musik, selbst gebaute Boxen“ kann ein Wettbewerb stattfinden. Wir schlagen Folgendes vor:
Stellen Sie verschiedene Materialien und Werkzeuge zur Verfügung und legen Sie eine angemessene Frist fest. Die Aufgabe an die SuS lautet:

WER KONSTRUIERT DIE BESTEN BOXEN?

Entwickle und baue eine Lautsprecherbox aus beliebigen Materialien. Eine Jury lauscht der Klangqualität und der Lautstärke. Ein „wissenschaftlicher“ Test entscheidet über den Sieg – welche wird die beste Box sein?

GUTE MUSIK, SELBST GEBAUTE BOXEN 1 – DIE KONSTRUKTION

Forscher-Checkliste	
	10-Liter-Eimer
	altes T-Shirt
	Schere
	dickes Papier (ca. 40 cm × 40 cm), z. B. Packpapier
	Klebeband
	Flüssigkleber
	20m Kupferlackdraht, Durchmesser 0,2mm
	zylindrischer Magnet, Durchmesser max. 10mm, Höhe max. 10mm
	Gewindestange M10
	zwei Schraubenmuttern M10
	zwei Unterlegscheiben M10
	Bohrer, Durchmesser 10mm
	3,5-mm-Klinkenstecker
	Akkuschrauber
	Lüsterklemme für zwei Anschlüsse oder LötKolben mit Lötzinn
	Schmirgelpapier
	evtl. Metallsäge

Die Signale aus deinem Musikplayer oder Handy sind elektrisch. Was passiert eigentlich, damit du diese elektrischen Signale als Musik hörst?

VORBEREITUNGEN

Besprich in deiner Gruppe die einzelnen Konstruktionsschritte und hole dann erst das tatsächlich benötigte Material. Erst wenn alles am Arbeitsplatz ist, beginnt die Gruppe mit der Konstruktion.

ERSTER EINTRAG INS LABORBUCH

- ▶ Name des Forscherblattes, Datum
- ▶ Mitglieder der Gruppe mit Aufgabenzuordnung (Protokoll? Zeitmanager?)

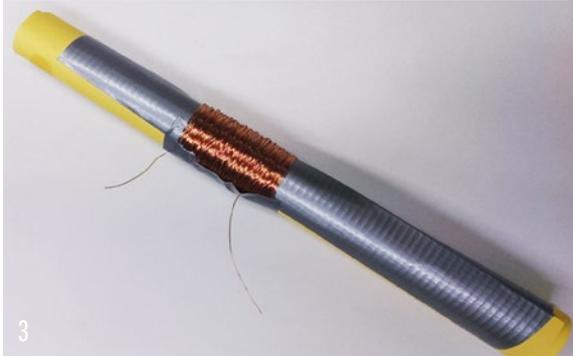
DIE KONSTRUKTION DER LAUTSPRECHERBOX



- ▶ Bohre mit dem Akkuschrauber und dem Bohrer ein Loch mittig in den Boden des Eimers.
- ▶ Stelle den Eimer auf das Papier und ziehe einen Kreis um den Eimer. Markiere den Mittelpunkt.

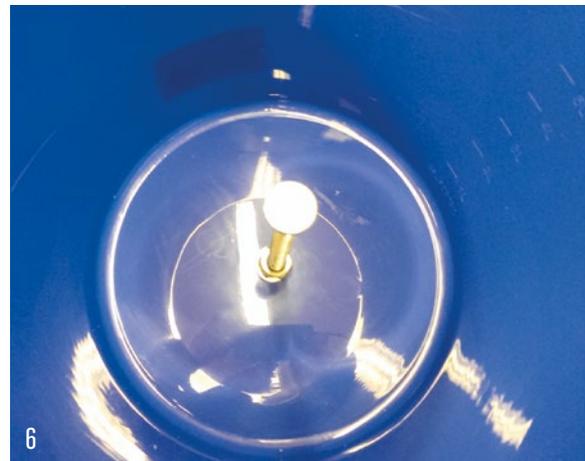
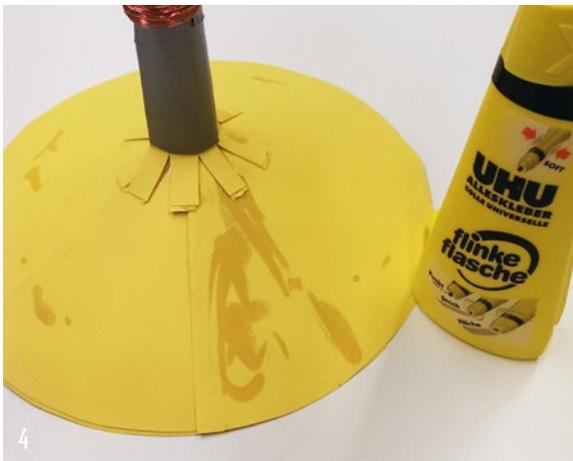


- ▶ Schneide von außen zur Mitte des Kreises, um ihn zu einem Kegel falten zu können. Wenn du diesen mit Kleber fixierst, hast du bereits deine Lautsprechermembran.



- ▶ Schneide ein Quadrat mit einer Kantenlänge von 10 cm aus dem Papier und forme es zu einer Rolle, die einen Durchmesser von mindestens 1,5 cm und höchstens 2,5 cm hat. Damit die Rolle hält, kannst du sie mit Klebeband fixieren. Um die Rolle wickelst du den Kupferlackdraht so, dass am Anfang und am Ende 20 cm Drahtlänge für den späteren Anschluss des Klinkensteckers übrig bleiben. Wichtig: immer gleichmäßig in einer Richtung wickeln und den Draht nie knicken! Schon ist deine Spule fertig.

- ▶ Damit deine Membran am Eimer beweglich befestigt werden kann, schneidest du aus dem T-Shirt einen großen Kreis mit einem Loch in der Mitte aus. An diesem Kreis klebst du die Membran fest.



- ▶ Die Spule muss nun mit der Membran verbunden werden. Schneide in ein Ende der Rolle kleine Flügel, die du mittig an die Rückseite der Membran klebst.

- ▶ Stecke die Gewindestange durch das Loch im Eimer, lege den Magneten auf das Stangenende im Eimer. Befestige die Stange mit den Muttern so, dass beim Einsetzen der Membran in den Eimer der Magnet genau in der Mitte der Spule liegt. Das äußere Ende der Gewindestange kannst du passend absägen.



7

Fertige Lautsprecherbox

- ▶ Entferne mit dem Schmirgelpapier gründlich den Lack von den Enden des Kupferdrahtes (abisolieren), da sonst kein Stromfluss möglich ist.
- ▶ Verbinde mithilfe der Lüsterklemme den Klinkenstecker mit den abisolierten Spulendrähten. Dabei müssen beide Adern des Klinkensteckers mit einem Ende der Spule und die Isolierdrähte des Steckers mit dem anderen Ende der Spule verbunden werden. Noch stabiler wird das Ganze, wenn du löten darfst.
- ▶ Setze die Membran so in den Eimer, dass sich die Spule um den Magneten herum befindet. Verschließe alles mit Klebeband so, dass der Stoff glatt gezogen wird und das Anschlusskabel aus der Lautsprecherbox heraushängt. Jetzt kannst du die Lautsprecherbox mit einem Musikplayer testen!

AUCH DAS GEHÖRT INS LABORBUCH

- ▶ Beschreibe in eigenen Worten den Aufbau der Lautsprecherbox.
- ▶ Fertige eine Aufbauskizze im Querschnitt der Box an.

GUTE MUSIK, SELBST GEBAUTE BOXEN 2 – KLEINES AKUSTIKLABOR

Forscher-Checkliste	
	dickes Papier, z.B. Packpapier
	mehrere alte T-Shirts
	Klebeband, Flüssigkleber
	Schere
	Schmirgelpapier
	Kupferlackdraht, Durchmesser 0,2 mm
	unterschiedliche zylindrische Magnete, Durchmesser max. 10 mm, Höhe max. 10 mm
	Außerdem brauchst du natürlich die Lautsprecherbox vom vorigen Forscherblatt.

Du hast sicher gemerkt, dass die Lautstärke deines Lautsprechers noch nicht sehr hoch ist. Das lässt sich ändern! Als echter Forscher kannst du nun herausfinden, welche Funktion die einzelnen Bauteile deiner Lautsprecherbox zur Umwandlung elektrischer in akustische Signale haben. Sprich dich mit deiner Gruppe ab, welche der genannten Fragen ihr in welcher Reihenfolge bearbeiten wollt. Eure Lehrkraft wird euch darüber informieren, wie viel Zeit ihr für eure Forschungen habt.

VORBEREITUNGEN

Ihr werdet verschiedene Konstruktionsschritte erneut durchführen. Es ist sinnvoll, die Aufgaben vorab zu verteilen:

Denkt an den „Ersten Eintrag ins Laborbuch“.

- ▶ Wer kann sorgfältig Protokoll schreiben?
- ▶ Wer kann gute Skizzen von den Konstruktions- und Forschungsergebnissen zeichnen?
- ▶ Wer ist besonders geschickt und kann die Feinarbeiten durchführen?
- ▶ Mit welcher Forscherfrage will die Gruppe beginnen?

UNTERSUCHUNGEN

Bearbeite die folgenden Fragen zur Erforschung der Funktion und Optimierung einer Lautsprecherbox:

- ▶ Welche Rolle spielt die Anzahl der Wicklungen bei der Spule? Experimentiere mit verschiedenen Kupferdrahtlängen.
- ▶ Hast du schon einmal Musik „gefühlt“? Wenn du die Membran deiner Lautsprecherbox beim Musikhören mit den Fingerspitzen leicht berührst, kannst du Musik fühlen. Stelle eine Hypothese auf: Wozu braucht man die Membran?
- ▶ Finde heraus: Gibt es andere Materialien, die sich für eine Membran besser eignen, sodass du die Musik deutlicher fühlst oder besser hörst?
- ▶ Wie verhalten sich Spule und Magnet zueinander? Entwickle Verbesserungen.

DAS GEHÖRT INS LABORBUCH

- ▶ Name des Forscherblattes, Datum
- ▶ Mitglieder der Gruppe mit Aufgabenzuordnung
- ▶ Welche Fragen hast du (heute) bearbeitet?
- ▶ Bei Messungen: Trage alle gemessenen Werte mit Einheiten in übersichtliche Tabellen ein.
- ▶ Welche Ergebnisse hast du herausgefunden? Formuliere sie in Sätzen.
- ▶ Vermutest du schon Zusammenhänge?
- ▶ Konntest du Fragen nicht beantworten? Nenne den Grund.
- ▶ Was willst du in der nächsten Stunde untersuchen?
- ▶ Ist dazu zusätzliches Material notwendig? (Lehrkraft informieren!)

GUTE MUSIK, SELBST GEBAUTE BOXEN 3 – GROSSES AKUSTIKLABOR

Forscher-Checkliste	
	unterschiedliche Materialien zum Bau einer Lautsprecherbox, z.B. verschiedene Holzarten
	Werkzeuge je nach ausgewähltem Material, z.B. Säge
	Fehlt noch etwas? Besprich es mit deiner Lehrkraft.
	Außerdem brauchst du natürlich die Lautsprecherbox vom ersten Forscherblatt.

Jetzt wirst du zum wahren Lautsprecherexperten. Du hast schon herausgefunden, welche Funktionen die einzelnen Bauteile einer Lautsprecherbox haben und diese selbst optimiert. Nun geht es darum, den perfekten Klangkörper zu finden.

- ▶ Baue eine oder mehrere Lautsprecherboxen aus anderen Materialien, zum Beispiel Holz. Welchen Einfluss hat das Material auf den Klang?
- ▶ Das Horn gilt als sehr lautes Blasinstrument. Untersuche, wie du mit einer solchen Form deinem Lautsprecher bei gleicher Leistung noch mehr Lautstärke entlocken kannst.

EINEN FORSCHERPREIS GIBT ES NUR MIT LABORBUCH!

Du wirst viel ausprobieren und kannst nur mit einem sorgfältig geführten Laborbuch den Überblick behalten. Hier zwei Tipps:

- ▶ Ein Gruppenmitglied wird bestimmt, das während der Versuche Notizen macht und die Messergebnisse aufschreibt.
- ▶ Ein anderes Gruppenmitglied achtet darauf, dass nach abgeschlossenen Versuchen die Notizen und Ergebnisse im Laborbuch vollständig sind.

Die Laborbuchhinweise aus den vorigen Versuchsreihen gelten auch hier.



Waldhorn

VORSICHT HOCHSPANNUNG

HINWEISE FÜR LEHRENDE

ÜBERBLICK

Die Versuchsreihe „Vorsicht Hochspannung“ besteht aus drei Arbeitsblättern („Forscherblättern“), die nicht zwingend alle bearbeitet werden müssen.

VORSICHT HOCHSPANNUNG 1 – EINSTIEG MIT 6000 VOLT

Hier geht es um Reibungselektrizität. An welchen Gegenständen/Materialien muss man Luftballons reiben, um Reibungselektrizität zu erzeugen? Wie kann man einen Ballon entladen? Es werden sehr einfache Messmethoden gezeigt, damit die Schülerinnen und Schüler (im Folgenden immer SuS) erste Aussagen machen können.

VORSICHT HOCHSPANNUNG 2 – FÜR FORTGESCHRITTENE

In diesem Forscherblatt geht es um den Bau eines einfachen, aber wirkungsvollen elektronischen Nachweisgerätes (E-Feldsensor). Die Aufladung wird näher untersucht. Welchen Einfluss hat die Art des Reibens? Ist Reibungselektrizität mit anderen Materialien bzw. Gegenständen möglich?

VORSICHT HOCHSPANNUNG 3 – DAS HOCHSPANNUNGLABOR

Dieses Forscherblatt beinhaltet ungewöhnliche Fragestellungen, mit denen die SuS elektrostatische Aufladungen noch tiefer gehend untersuchen. Sie können mit einem „Schwebelabor“ experimentieren.

WICHTIGE HINWEISE – BITTE BEACHTEN

Obwohl mit sehr hohen Spannungen gearbeitet wird, sind die Versuche ungefährlich. Die beteiligten Stromstärken und Energien sind sehr klein. Auf den Einsatz eines Bandgenerators mit Versuchen, bei denen „einem Haare zu Berge stehen“, sollte unbedingt verzichtet werden, weil hier Gefährdungen nicht ausgeschlossen werden können.

METHODISCH-DIDAKTISCHE HINWEISE

VORSICHT HOCHSPANNUNG 1 – EINSTIEG MIT 6000 VOLT

Sie können davon ausgehen, dass die meisten SuS den typischen Versuch kennen: einen Luftballon an den Haaren reiben und irgendwo hinhängen. Im Prinzip geht es in der gesamten ersten Doppelstunde um Reibungselektrizität mit Luftballons. Es macht einfach Spaß, herauszufinden, wie man Ballons elektrisch aufladen und dann überall hinhängen kann. Dabei ist es durchaus in Ordnung, wenn kurzzeitig die Atmosphäre eines Kindergeburtstags herrscht. Sie sollten aber mit freundlicher Ernsthaftigkeit darauf achten, dass die SuS wieder zum Forschen zurückkehren. Unserer Erfahrung nach helfen hier zwei Aspekte, auf die Sie Wert legen sollten:

- ▶ eine saubere Protokollierung der Versuche,
- ▶ die Verwendung einer geeigneten Messmethode.

Bei letzterem können Sie den SuS die Wahl lassen; Vorschläge enthalten die Fotos auf dem Arbeitsblatt.

PRAXISTIPPS

Die elektrostatischen Kräfte nehmen bei kurzen Distanzen enorm zu. Es ist kaum möglich, einen geladenen Ballon so über ein Papierblatt zu halten, dass es in der Schwebelage bleibt, ohne den Ballon zu berühren und dann an ihm zu kleben. Wir haben gute Erfahrungen damit gemacht, den Ballon sehr langsam an das Blatt heranzuführen und zu beobachten, ab welcher Entfernung eine Kraftwirkung wahrnehmbar ist. Sollten Luftströmungen die Blätter in Bewegung bringen, empfiehlt es sich, sie kleiner zu schneiden. Der Luftballon kann entladen werden, indem man ihn unter einen Wasserstrahl hält. Wenn man den Ballon mit Papierhandtüchern vorsichtig abtupft, bleibt er nahezu ungeladen.

MATERIALIEN

Die Forscher-Checkliste des Arbeitsblattes enthält die für jede Gruppe benötigten Materialien und Werkzeuge. Legen Sie alle Materialien auf einem Tisch bereit, sodass sich die einzelnen Gruppen ihre Sachen selber holen können. Grundregel: Jeder bringt die Werkzeuge dorthin zurück, wo er sie geholt hat.

PRAXISTIPP

Legen Sie auf einem Tisch mehrere Stoffe und Tücher aus, mit denen die SuS die Luftballons reiben können: Wolle, Baumwolle, Synthetik, Fleece, Seide ...

ZEITBEDARF

Dieses Forscherblatt ist für eine Doppelstunde konzipiert. Die SuS sollten auf jeden Fall wissen, zu welcher Uhrzeit sie mit dem Aufräumen und Säubern der Arbeitsplätze beginnen müssen.

PRAXISTIPP

Nach unserer Erfahrung kommen an dieser Stelle noch keine Fragen über die physikalischen Ursachen der Reibungselektrizität. Die SuS sind völlig zufrieden mit dem Erleben und Beschreiben der Phänomene. Die Lehrkraft sollte keine Fragen provozieren (und selbst beantworten), die die SuS noch nicht haben.

VORSICHT HOCHSPANNUNG 2 – FÜR FORTGESCHRITTENE

Für exaktere Untersuchungen sind die Messmethoden des ersten Forscherblattes zu ungenau. Wir empfehlen deshalb den Bau einer einfachen elektronischen Schaltung für Messzwecke. Wenn Sie den „E-Feldsensor“ als Einstieg in diese Unterrichtseinheit gemeinsam mit den SuS aufbauen, steht er für alle weiteren Versuche zur Verfügung. Elektronische Kenntnisse sind hilfreich, aber nicht notwendig. Unserer Erfahrung nach sind die SuS zufrieden, wenn man ihnen das Prinzip der Schaltung erklären kann, ohne zu stark in Details zu gehen.

PRAXISTIPP

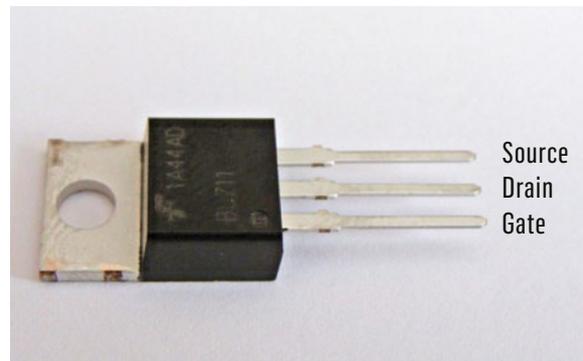
Es genügt ein E-Feldsensor je Gruppe. Wenn mehr Material zur Verfügung steht, können auch mehrere E-Feldsensoren gebaut werden.

MESSGERÄT FÜR ELEKTRISCHE FELDER (E-FELDSENSOR)

Die **Materialliste** steht in der Forscher-Checkliste des Arbeitsblattes. Die Widerstände kann man auch ohne Kenntnis des Farbcodes an einzelnen Ringen gut unterscheiden.

Unter den 5 oder 6 Ringen sind

- ▶ zwei orangene Ringe: $330\ \Omega$
- ▶ ein orangener Ring: $10\ \text{k}\Omega$
- ▶ ein blauer Ring: $10\ \text{M}\Omega$

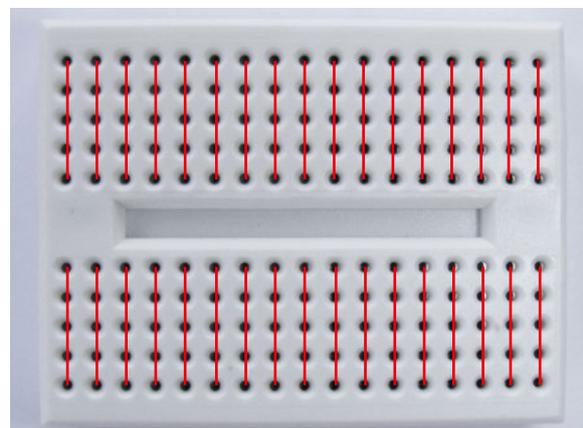


Feldeffekttransistor

Der Feldeffekttransistor BUZ11 hat drei Anschlüsse:

- ▶ Source (S, „Elektronenquelle“, wird über den $330\text{-}\Omega$ -Widerstand mit dem Minuspol der Batterie verbunden)
- ▶ Drain (D, „Elektronensenke“, wird über die LED mit dem Pluspol der Batterie verbunden)
- ▶ Gate (G, „Tor“, wird mit der Antenne verbunden)

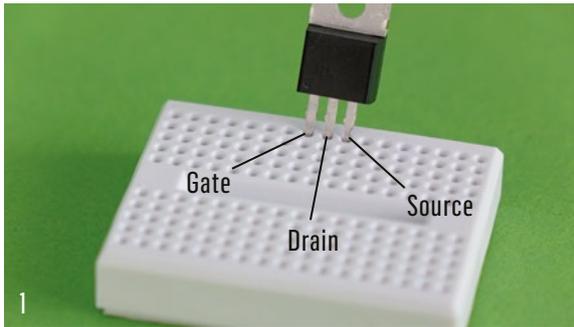
Das Steckbrett ermöglicht es, Schaltungen ohne Löten aufzubauen. Es sind immer fünf Öffnungen miteinander verbunden.



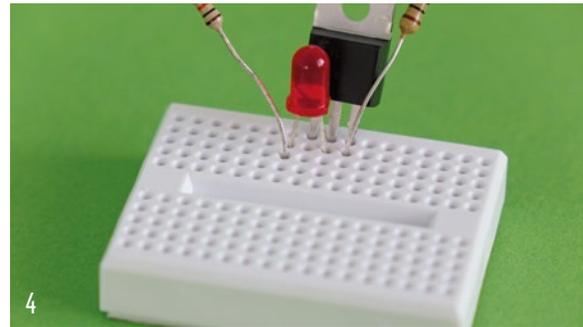
Steckbrett

Der Aufbau gelingt am schnellsten und es entstehen die wenigsten Fehler, wenn Sie einzelne Schritte durchführen und die SuS diese nachbauen. Gehen Sie erst zum nächsten Schritt, wenn alle SuS so weit sind. Es ist effektiver, wenn die SuS sehen, was Sie tun, als wenn sie sich am Schaltbild orientieren.

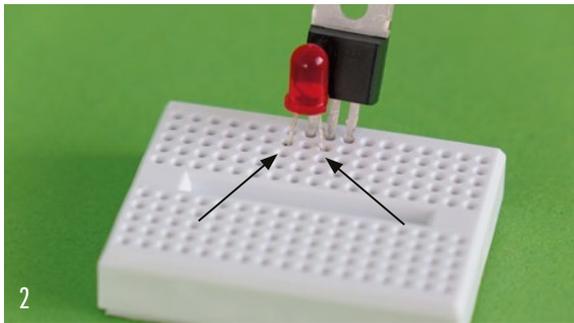
Die Bilderserie zeigt eine mögliche Vorgehensweise.



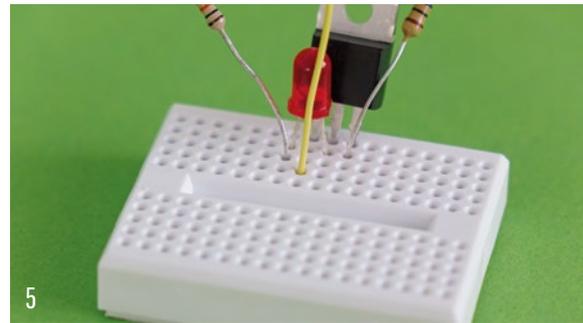
- BUZ11 einstecken



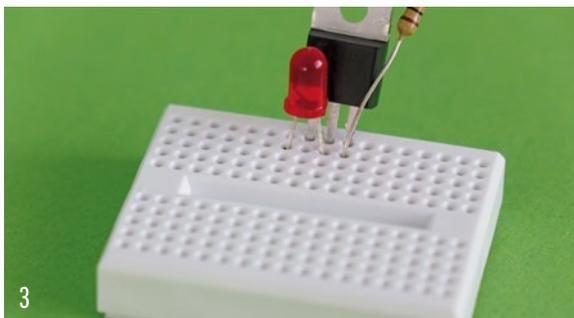
- 10-kΩ-Widerstand bei der LED einstecken



- LED einstecken und dafür die „Beinchen“ etwas auseinanderbiegen (positiven Anschluss beim Drain-Anschluss, negativen Anschluss neben (!) dem Gate-Anschluss einstecken)



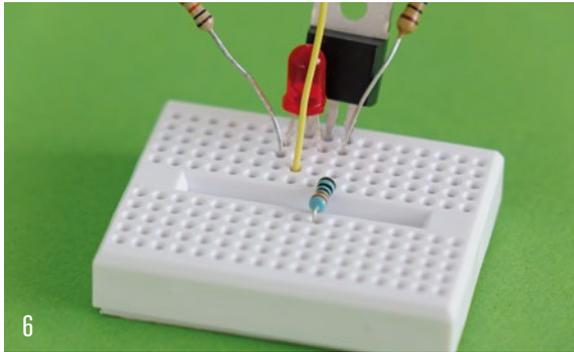
- Draht absolieren und als Antenne beim Gate-Anschluss einstecken



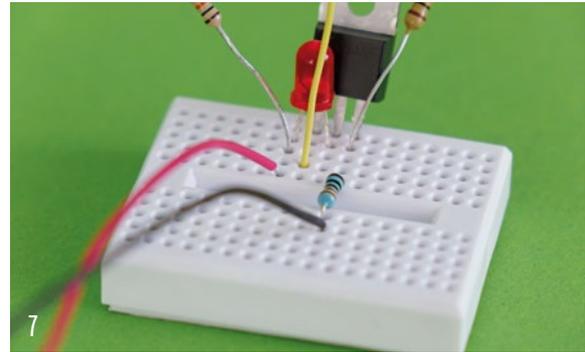
- 10-MΩ-Widerstand beim Source-Anschluss einstecken

PRAXISTIPP

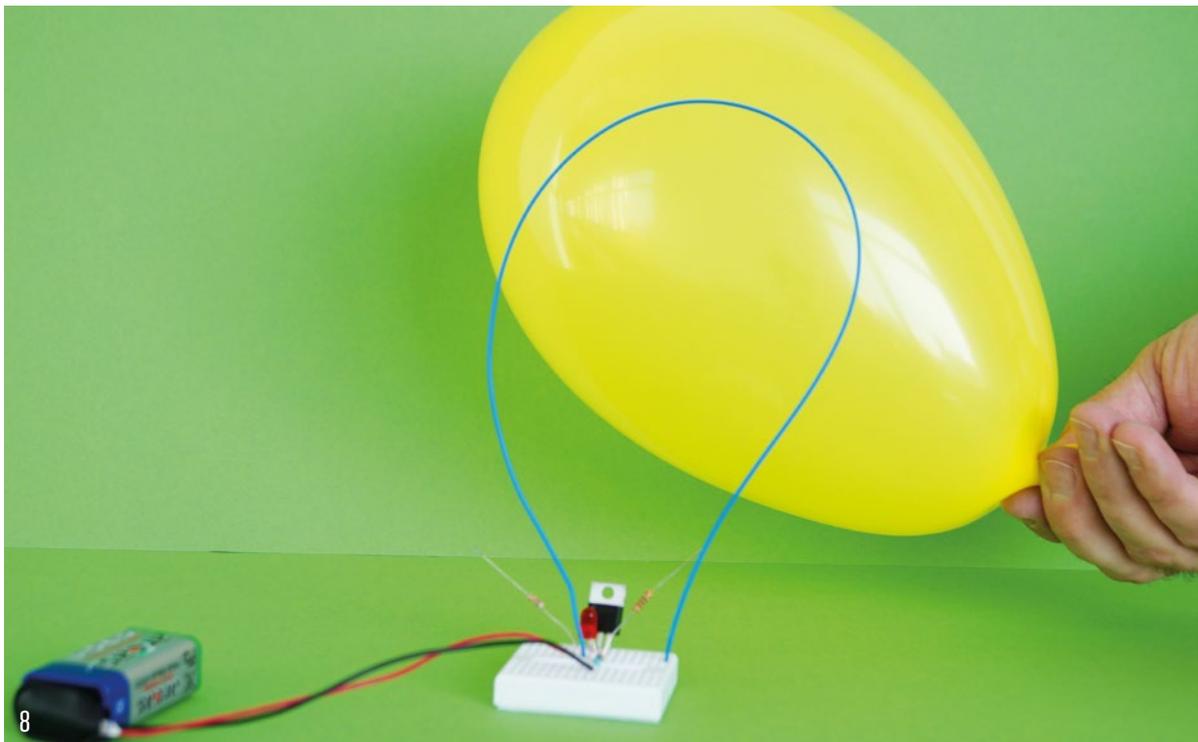
Wir haben gute Erfahrungen mit einer mind. 20 cm langen Antenne gemacht, deren freies Ende in einen freien Platz des Steckbrettes gesteckt wird. Es kam seltener zu Ladungsübersprüngen und wenn man das freie Ende 2 cm lang absoliert, muss man es nicht herausziehen, um wieder eine mittlere Helligkeit einzustellen.



- ▶ 330-Ω-Widerstand bei Source-Anschluss einstecken, 2. Anschluss auf der anderen Seite des Steckbrettes einstecken



- ▶ Batterieanschlüsse einstecken: Plus-Anschluss (rot) beim 10-kΩ-Widerstand, Minus-Anschluss (schwarz) beim 330-Ω-Widerstand



- ▶ E-Feldsensor mit Ballon

Funktionsweise. Mit dem Gate steuert man den Stromfluss von Drain zu Source. Liegt am Gate eine positive Spannung an, so ist „das Tor geöffnet“, es fließt ein Strom, die LED leuchtet. Liegt eine negative Spannung an, so ist „das Tor geschlossen“, es fließt kein Strom, die LED ist aus. Dieser Transistortyp (MOSFET) ist so empfindlich, dass die Helligkeit der LED schon beeinflusst wird, wenn ein positiv bzw. negativ geladener Körper in der Nähe der Antenne ist, ohne sie zu berühren.

Zu Beginn einer Messung ist es sinnvoll, die LED auf eine mittlere Helligkeit einzustellen. Das gelingt, indem man mit einem Finger auf den blanken Teil der Antenne drückt, während ein Finger der anderen Hand vorsichtig einen der beiden Widerstände berührt. Eine Berührung mit dem $10\text{-k}\Omega$ -Widerstand steigert die Helligkeit, eine Berührung mit dem $10\text{-M}\Omega$ -Widerstand verringert sie (siehe Video unter dem Link/QR-Code auf Seite 93 f.).

MESSUNGEN MIT DEM E-FELDSENSOR

Reibt man zwei Kunststoffgegenstände aneinander, so laden sie sich im Allgemeinen unterschiedlich (positiv/negativ) auf. Dieser Effekt ist manchmal ziemlich schwach und nur mithilfe des E-Feldsensors zu erkennen.

PRAXISTIPP

Die Empfindlichkeit des Sensors kann deutlich gesteigert werden, indem man die beiden Gegenstände von zwei Seiten an den Sensor heranführt und abwechselnd den einen und dann den anderen näher an den Sensor bringt. Abhängig von den Ladungen leuchtet dann die LED heller oder dunkler (siehe Video unter dem Link/QR-Code auf Seite 93 f.).

Einige Ergebnisse bei Messungen mit dem E-Feldsensor:

- ▶ Alle Kunststoffe, die an Haaren gerieben werden, laden sich negativ auf (LED wird dunkler). Die Haare laden sich dabei positiv auf.
- ▶ Eine Tic-Tac-Box lädt sich positiv auf, wenn man sie an Kopierfolie reibt, diese lädt sich negativ auf.
- ▶ Bei der Annäherung eines stark geladenen Körpers an den Sensor ist ein Knacken zu hören. Dabei sind Ladungen vom Körper zum Antennendraht des Sensors übergesprungen (oder umgekehrt) und die LED ist danach entweder aus oder an. Daran

erkennt man, dass die Isolierung des Drahtes bei einigen Tausend Volt durchlässig wird. Danach kann man versuchen, den Draht mit einer extrem hohen „Gegenspannung“ aufzuladen, sodass die LED wieder eine mittlere Helligkeit annimmt, oder man muss sie manuell in diesen Zustand versetzen.

- ▶ **Interessant:** Reibt man zwei gleiche Luftballons aneinander, so lädt sich einer negativ, der andere (an der geriebenen Stelle!) positiv auf. (Wir haben noch nicht untersucht, wovon das abhängt.)

VERSUCHE MIT DER GLIMMLAMPE

Für diese Versuche braucht man fast vollkommene Dunkelheit. Halten Sie eine Glimmlampe an der Metallkappe auf einer Seite mit den Fingern fest und nähern Sie die andere Seite vorsichtig dem geladenen Gegenstand. Die Glimmlampe leuchtet kurz auf, bevor Sie den Gegenstand berühren. Das aufleuchtende Ende war dabei dem negativ geladenen Körper zugewandt. Der Versuch ist vollkommen schmerzlos.

ZEITBEDARF

Die Gruppen werden einige Doppelstunden mit diesem Forscherblatt beschäftigt sein. Rechnen Sie mindestens eine Schulstunde für den Bau und das Ausprobieren des E-Feldsensors. Dann erst beginnt die Auseinandersetzung mit den Forscherfragen.

VORSICHT HOCHSPANNUNG 3 – DAS HOCHSPANNUNGLABOR

Beim freien Experimentieren im „Hochspannungslabor“ ergeben sich Fragen, die Sie vielleicht zum Staunen bringen. Hier öffnet sich ein weites Feld, das sich gut für Wettbewerbe eignet. Die vorgegebenen Fragen sollen als Anregung zum wirklich freien Forschen dienen.

Auch für eine erfahrene Lehrkraft ist es in diesem Stadium nichts Ungewöhnliches, nicht sofort alle Schülerfragen beantworten zu können. Sie und Ihre SuS betreten einen Bereich, in dem man nicht mehr „alles wissen“ kann. Hier entstehen Neugierde und der Drang zum Forschen – genau das, was wir erreichen wollen.

Die Forscherfrage „Kann man die Ladungsmenge messen, die ein Ballon trägt?“ bewegt sich auf dem Niveau „Kursstufe Physik“.

Wir erhielten folgende Ergebnisse:

- ▶ Mit Wasser gefüllte Ballons luden sich schwächer auf, je mehr Wasser enthalten war.
- ▶ Geladene, mit wenig Wasser gefüllte Ballons „verloren“ ihre Ladung durch Schütteln.
- ▶ Durch Anhauchen wurde die Ladung der Ballons erkennbar schwächer.

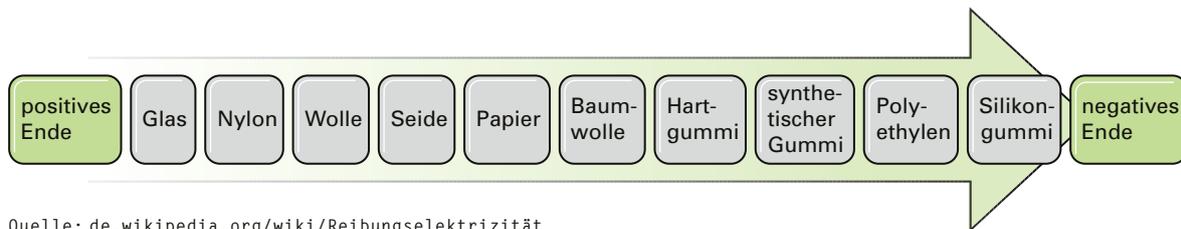
MATERIALIEN

Die Forscher-Checkliste auf dem Arbeitsblatt enthält eine Auswahl möglicher Materialien. Sie sollten mindestens eine Woche vorher mit den Gruppen absprechen, welche Materialien untersucht werden sollen, um diese entsprechend besorgen zu können.

WEITERFÜHRENDE INFORMATIONEN

ALLGEMEINES ZUR REIBUNGSELEKTRIZITÄT

Die äußeren Elektronen sind nicht sehr fest an die Atome gebunden und können durch Reiben von einem zum anderen Körper übertragen werden. Dabei lädt sich derjenige Körper positiv auf, der Elektronen abgibt, der andere wird negativ, weil er Elektronen aufnimmt. Eine exakte Erklärung dieses Vorganges gelingt erst mit der modernen Festkörperphysik (Stichworte „Austrittsarbeit“ und „Fermi-Niveau“). Welche Materialien leichter Elektronen aufnehmen bzw. abgeben, kann man an der reibungselektrischen Spannungsreihe erkennen. Je näher ein Stoff am positiven Ende steht, desto leichter lädt er sich positiv auf:



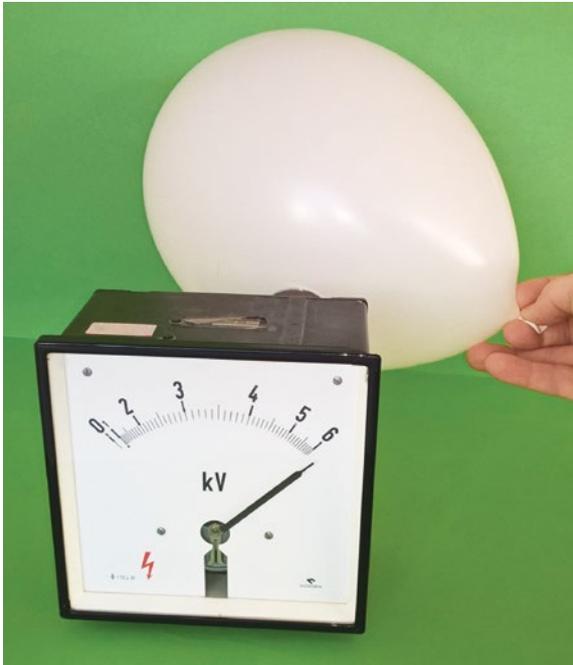
Quelle: de.wikipedia.org/wiki/Reibungselektrizitat

WETTBEWERB ZUM ABSCHLUSS

Am Ende der Einheit „Vorsicht Hochspannung“ kann ein Wettbewerb stattfinden. Wir schlagen Folgendes vor:

- ▶ Nutze deine Forschungen: Wer kann seinen Ballon mit 1x Reiben am stärksten aufladen?
- ▶ Falte einen Papierstern und bringe ihn auf einem Zahnstocher ins Gleichgewicht. Wer kann ihn mit elektrischen Kräften am schnellsten drehen?
- ▶ Wer kann die Helligkeit der LED des E-Feld-sensors aus der größten Entfernung beeinflussen?
- ▶ Bei wem blitzt die Glimmlampe am hellsten?
- ▶ Zum Schwebelabor: Wer kann eine Papiertüte mit „magischen Kräften“ am besten durch einen von der Jury aufgezeichneten Parcours leiten, ohne sie zu berühren?

VORSICHT HOCHSPANNUNG 1 – EINSTIEG MIT 6000 VOLT



Das Foto beweist es: Luftballons können mit einigen Tausend Volt geladen sein. Hier kannst du das Geheimnis der Reibungselektrizität erforschen.

Forscher-Checkliste	
	mehrere gleiche sowie unterschiedliche Luftballons
	einige Blätter normales sowie festeres Papier
	Klebeband
	Schere
	Tücher aus unterschiedlichen Materialien

VORBEREITUNGEN

Besprich in deiner Gruppe die einzelnen Forschungsschritte und hole dann erst das tatsächlich benötigte Material. Erst wenn alles vorhanden ist, beginnt die Gruppe mit der Arbeit.

ERSTER EINTRAG INS LABORBUCH

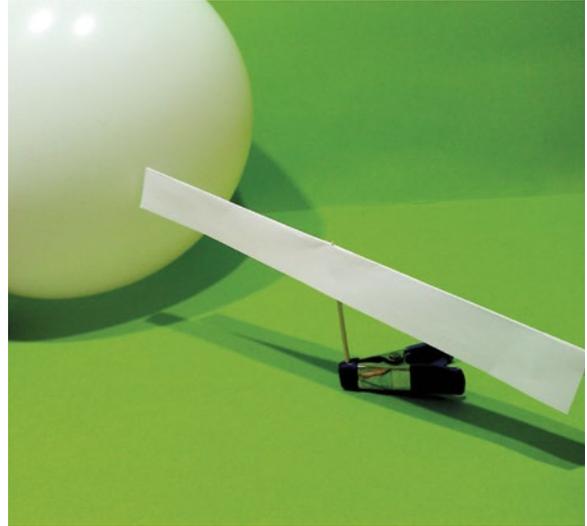
- ▶ Name des Forscherblattes, Datum
- ▶ Mitglieder der Gruppe mit Aufgabenzuordnung (Protokoll? Zeitmanager?)
- ▶ Mit welcher Forscherfrage will die Gruppe beginnen?
- ▶ Wie soll die Forscherfrage beantwortet werden? Ein Plan in Stichworten hilft!
- ▶ Auch alle weiteren Versuche müssen im Laborbuch protokolliert werden.

UNTERSUCHUNGEN

- ▶ Welche Versuche zu geladenen Luftballons kennst du schon? Zeigt sie euch gegenseitig und vergiss nicht, sie zu protokollieren.
- ▶ Mit welchen Materialien kann man Luftballons besonders gut aufladen, mit welchen weniger gut, welche haben überhaupt keine Wirkung? Die Fotos zeigen einige Möglichkeiten, wie man die Stärke der Aufladung messen kann. Vielleicht kennst du noch andere, probiere sie aus.
- ▶ Kann man große Ballons stärker aufladen als kleine?
- ▶ Macht es einen Unterschied, ob ein Ballon ganz oder nur halb aufgeblasen ist?
- ▶ Spielt die Form des Ballons eine Rolle?
- ▶ Wird die Reibungselektrizität immer stärker, je länger man reibt?
- ▶ Macht es einen Unterschied, ob man langsam oder schnell bzw. leicht oder fest reibt?
- ▶ Kann man den Ballon wieder entladen?



Ballon und anhaftendes Papierblatt



Ballon an Papierkarussell



Ballon haftet an einem vertikalen Blatt Papier



Ballon mit Glimmlampe

DAS GEHÖRT ALS ZUSAMMENFASSUNG INS LABORBUCH

- ▶ Welches war das interessanteste Ergebnis dieser Forschungseinheit?
- ▶ Welches war das wichtigste Ergebnis?
- ▶ Blieben Fragen offen, die beim nächsten Mal untersucht werden sollen?
- ▶ Ist dazu zusätzliches Material notwendig? (Lehrkraft informieren!)

VORSICHT HOCHSPANNUNG 2 – FÜR FORTGESCHRITTENE

Forscher-Checkliste	
	mehrere gleiche sowie unterschiedliche Luftballons
	weitere Kunststoffgegenstände (z.B. Tic-Tac-Box)
	Folien (Kopierfolien, OH-Projektorfolie)
	Tücher aus unterschiedlichen Materialien
	wenn möglich: Glimmlampe (aus der Physiksammlung)
	Bauteile für die elektronische Schaltung: Widerstände 330 Ω , 10 k Ω , 10 M Ω
	Transistor BUZ11
	rote LED
	9-V-Batterie mit Anschlussclip
	20 cm - 30 cm isolierter Draht als „Antenne“
	Steckbrett

AUFBAU DES E-FELDSSENSORS

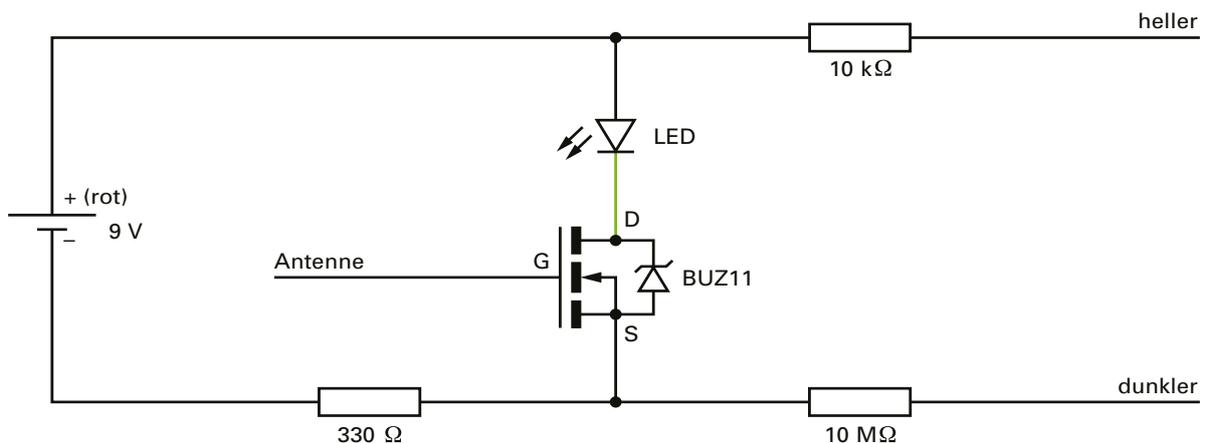
Die Wirkung von Reibungselektrizität soll nun mit einem E-Feldsensor genauer untersucht werden. Baue die elektronische Schaltung (siehe Abb.) gemeinsam mit deiner Lehrkraft auf.

VORBEREITUNGEN

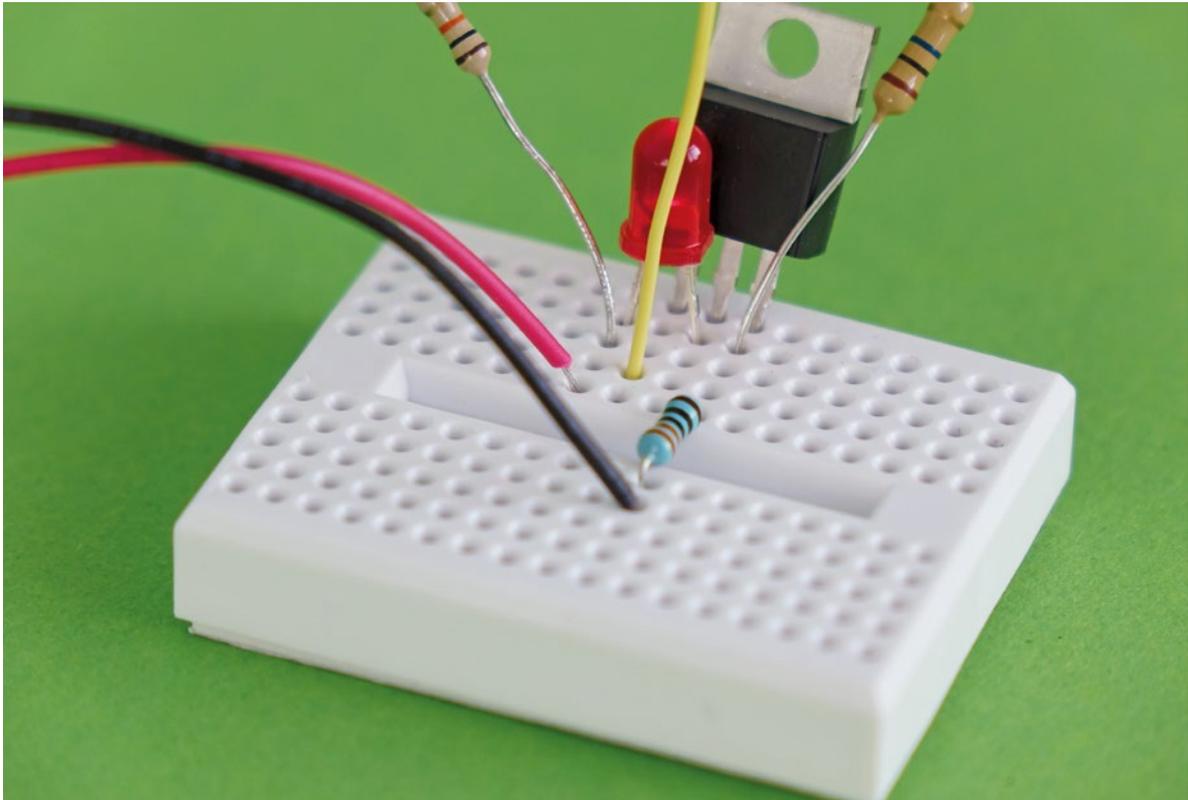
Die LED muss auf eine mittlere Helligkeit eingestellt werden. Das gelingt, indem du mit einem Finger auf den blanken Teil der Antenne drückst, während ein Finger deiner anderen Hand vorsichtig einen der beiden Widerstände berührt. Eine Berührung mit dem 10-k Ω -Widerstand (hat einen orangen Ring) steigert die Helligkeit, eine Berührung mit dem 10-M Ω -Widerstand (hat einen blauen Ring) verringert sie. Wenn du nun einen negativ geladenen Körper in die Nähe der Antenne bringst, wird die LED dunkler, bei einem positiv geladenen heller. Bei einem stark geladenen Körper setzt diese Wirkung schon mit einigen Dezimetern Abstand ein, andere musst du bis auf wenige Zentimeter nähern. Mit dem E-Feldsensor kannst du also die Stärke und das Vorzeichen der Ladung erkennen, die ein Körper trägt.

DAS GEHÖRT INS LABORBUCH

- ▶ Name des Forscherblattes, Datum
- ▶ Mitglieder der Gruppe mit Aufgabenzuordnung (Protokoll? Zeitmanager?)
- ▶ Mit welcher Forscherfrage will die Gruppe beginnen?
- ▶ Wie soll die Forscherfrage beantwortet werden? Ein Plan in Stichworten hilft!



Schaltbild des fertig aufgebauten E-Feldsensors



fertig aufgebauter E-Feldsensor

UNTERSUCHUNGEN

- ▶ Welches Vorzeichen hat die Ladung des Ballons, wenn man ihn an den Haaren reibt?
- ▶ Erhält man eine andere Ladung, wenn man den Ballon an anderen Materialien reibt?
- ▶ Wie effektiv sind unterschiedlich behandelte Haare oder Stoffe bei der Erzeugung von Reibungselektrizität?
- ▶ Was passiert, wenn man zwei Ballons aneinander reibt?
- ▶ Was passiert, wenn man andere Kunststoffe aneinander reibt? (Ballons, Tic-Tac-Boxen, Folien)
- ▶ Hörst du ein Knacken oder leuchtet die Glühlampe bei der Annäherung auf? Das waren überspringende Ladungen. Dabei sind mit einem kleinen Blitz Ladungen durch die Luft geflossen, was du am Knacken (oder bei völliger Dunkelheit auch an dem kleinen Blitz) erkennen kannst. Schätze aus dem Abstand, bei dem die Ladungen überspringen, die Spannung ab. (Faustregel: pro übersprungenem mm in Luft beträgt die Spannung etwa 3000 V)

DAS GEHÖRT ALS ZUSAMMENFASSUNG INS LABORBUCH

- ▶ Bei Messungen: Trage alle gemessenen Werte mit Einheiten in übersichtliche Tabellen ein.
- ▶ Welche Ergebnisse hast du herausgefunden? Formuliere sie in Sätzen.
- ▶ Konntest du Fragen nicht beantworten? Nenne den Grund.
- ▶ Was willst du in der nächsten Stunde untersuchen?
- ▶ Ist dazu zusätzliches Material notwendig? (Lehrkraft informieren!)

VORSICHT HOCHSPANNUNG 3 – DAS HOCHSPANNUNGSLABOR

Forscher-Checkliste	
	alle bislang benutzten Materialien
	dünne Müllbeutel (keine „stabilen“ Müllbeutel, keine „gelben Säcke“)
	PE-Rohr (Plastik-Abflussrohr aus dem Baumarkt)
	Haushaltstücher aus Papier
	weitere Gegenstände und Materialien nach Wahl

Hier kannst du dich zum Hochspannungsexperten entwickeln. Erforsche mit ganz unterschiedlichen Materialkombinationen das weite Feld der Reibungselektrizität.

UNTERSUCHUNGEN

- ▶ Fülle einen Ballon mit wenig Wasser und wiederhole einige Versuche. Stellst du Unterschiede fest?
- ▶ Schüttelt man einen geladenen, mit etwas Wasser gefüllten Ballon, „verliert“ er seine Ladung. Untersuche dieses Phänomen.
- ▶ Welchen Einfluss hat die Luftfeuchtigkeit auf die Versuche? Durch Anhauchen der untersuchten Bereiche kann die Luftfeuchtigkeit erhöht werden.
- ▶ Kann man die Ladungsmenge messen, die ein Ballon trägt?

EINEN FORSCHERPREIS GIBT ES NUR MIT LABORBUCH!

Du wirst viel ausprobieren und kannst nur mit einem sorgfältig geführten Laborbuch den Überblick behalten. Hier drei Tipps:

- ▶ Ein Gruppenmitglied wird bestimmt, das während der Versuche Notizen macht und die Messergebnisse aufschreibt.
- ▶ Ein anderes Gruppenmitglied achtet darauf, dass nach abgeschlossenen Versuchen die Notizen und Ergebnisse im Laborbuch vollständig sind.
- ▶ Werden Informationen aus dem Internet übernommen, muss man die Quelle genau angeben.

Die Laborbuchhinweise aus den vorigen Versuchsreihen gelten auch hier.

DAS SCHWEBELABOR

Schneide einen Streifen aus einem Müllbeutel heraus und lege ihn auf den Tisch. Reibe ihn kräftig mit einem Haushaltstuch aus Papier (oder Papierhandtuch), bis du merkst, dass der Streifen auf dem Tisch „festklebt“. Reibe ein PE-Rohr oder einen Luftballon mit demselben Tuch. Wirf nun den Müllbeutelstreifen mit einem Ruck hoch in die Luft. Du kannst ihn über dem PE-Rohr schweben lassen! Untersuche dieses Phänomen.

Im Internet finden sich zahlreiche weitere Anregungen für spannende Experimente.

SEIFENBLASEN

HINWEISE FÜR LEHRENDE

ÜBERBLICK

Die Versuchsreihe „Seifenblasen“ besteht aus drei Arbeitsblättern („Forscherblättern“), die nicht zwingend nacheinander bearbeitet werden müssen.

SEIFENBLASEN 1 – EIN KUGELRUNDER EINSTIEG

Hier geht es um die verschiedenen Möglichkeiten, Seifenblasen zu erzeugen und verschiedene Seifenlösungen zu vergleichen. Außerdem sollen sich die Schülerinnen und Schüler (im Folgenden immer SuS) mit der Frage befassen, wie man das Gewicht einer Seifenblase bestimmen kann.

SEIFENBLASEN 2 – FÜR FORTGESCHRITTENE BLASENMACHER

Auf diesem Forscherblatt gibt es viele unterschiedliche Fragestellungen und Anregungen für Experimente mit Seifenblasen. Der Schwerpunkt liegt auf der Durchführung genauer Messungen.

SEIFENBLASEN 3 – DAS SEIFENBLASENLABOR

Die auf den ersten beiden Forscherblättern gewonnenen Erkenntnisse über Seifenblasen können nun an selbst hergestellten Seifenblasenlösungen überprüft werden. Tüftler erhalten die Aufgabe, eine Seifenblasenmaschine zu bauen.

WICHTIGE HINWEISE – BITTE BEACHTEN

Wenn viele SuS gleichzeitig mit Seifenblasenlösung hantieren, kann der Boden sehr schnell rutschig werden. Am Ende der Stunde muss der Boden wieder trockengewischt werden.

Wir empfehlen, ausreichend Haushaltspapier bzw. Papierhandtücher zur Verfügung zu stellen. Auch ein Satz nasser Lappen und Bodenwischtücher sind sinnvoll.

METHODISCH-DIDAKTISCHE HINWEISE

SEIFENBLASEN 1 – EIN KUGELRUNDER EINSTIEG

Die Einstiegsstunde sollte stärker strukturiert sein als die anderen. Da alle SuS sicher schon oft mit Seifenblasen „gespielt“ haben, können sie sofort mit den Experimenten beginnen. Wichtig ist, dass die SuS genau beobachten lernen. Das Ziel der ersten Stunde ist, alle Fragestellungen zu bearbeiten. Besonderer Wert sollte auf das Führen des Laborbuchs gelegt werden.

PRAXISTIPP

Geben Sie folgenden Hinweis zum Führen des Laborbuchs: „Führe das Laborbuch so, dass ein krankes Gruppenmitglied ohne deine Hilfe weiß, was du letzte Stunde gemacht hast. Dazu musst du notieren, was du ausprobiert hast, was gut und was schlecht funktioniert hat.“

Anregend für die SuS ist es, mit vielen verschiedenen Seifenblasen und Pustern zu experimentieren. Natürlich wird dabei auch gespielt; das Ziel, reproduzier- und messbare Ergebnisse zu erhalten, lenkt erfahrungsgemäß die Spielfreude in sinnvolle wissenschaftliche Bahnen. Irgendwann erkennt jede Gruppe, dass Willkür nicht wirklich gute Resultate zeigt.

Bei der Massenbestimmung wird viel ausprobiert. Seifenblasen einzeln oder in Gruppen auf Oberflächen zu befestigen ist recht beliebt. Es gibt aber auch Gruppen, die sich aus einem „Schwarm“ immer etwa gleich große Blasen aussuchen, gezielt „einfangen“ und platzen lassen.



Gewichtsbestimmung von Seifenblasen

Eine andere praktikable Methode, das Gewicht einer Seifenblase zu bestimmen, ist das Wiegen des Pusters mit Seifenlösung vor und nach dem Pusten. Zu diskutieren ist in beiden Fällen, dass das Gewicht der Luft im Innern der Blase kaum ins Gewicht fällt. Clevere SuS erkennen zwar, dass der Druck im Innern höher sein muss als außerhalb – aber der kann nicht riesig sein, sonst würden die Blasen ja sofort platzen.

PRAXISTIPP

Das Gewicht der Blasen hängt von der Größe und der benutzten Seifenlösung ab und liegt in der Größenordnung einiger Milligramm. Je mehr Seifenblasen erzeugt und zur Mittelwertbestimmung genutzt werden, desto weniger Fehler entstehen durch wegfliegende Tröpfchen oder Messungenauigkeiten.

Bei der Bestimmung der Lebensdauer von Seifenblasen dürfen diese nicht an irgendwelche Gegenstände stoßen. Daher ist es bei diesem Versuch wichtig, dass es absolut windstill ist und die SuS viel Platz haben.

MATERIALIEN

Die Forscher-Checklisten der Arbeitsblätter enthalten die für jede Gruppe benötigten Materialien. Aus unserer Erfahrung heraus geben wir Ihnen folgende Empfehlung:

Die Waagen für die Gewichtsbestimmung von Seifenblasen sollten optimalerweise eine Genauigkeit von 0,01g besitzen. Diese Waagen gibt es für weniger als 50 Euro. Sie müssen nicht eichfähig sein – das spart Geld.

Legen Sie alle Materialien auf einem Tisch bereit, sodass sich die einzelnen Gruppen ihre Sachen selber holen können. Grundregel: Jeder bringt die Sachen dorthin zurück, wo er sie geholt hat.

ZEITBEDARF

Dieses Arbeitsblatt ist für eine Doppelstunde konzipiert. Die SuS sollten auf jeden Fall wissen, zu welcher Uhrzeit sie mit dem Putzen und Aufräumen beginnen müssen.

PRAXISTIPP

Bestimmen Sie eine Schülerin oder einen Schüler, die oder der an die Aufräumzeit erinnert.

MÖGLICHE ERGEBNISSE DER EXPERIMENTIERPHASE

Besonders große Seifenblasen erhält man, wenn man langsam pustet. Bei manchen Pustern ist es hilfreich, auch schräg von unten zu blasen.

Viele Seifenblasen kann man erzeugen, indem man zügig, aber mit einem gleichbleibenden Luftstrom bläst.

PRAXISTIPP

Hier haben die SuS schon erfolgreich einen Föhn eingesetzt. Mit diesem lässt sich auch der Zusammenhang zur Temperatur der Luft untersuchen (im zweiten Forscherblatt).

Eine durchschnittliche Seifenblase mit einem Durchmesser von 4 cm hat ein Volumen von ca. 33 cm³ und wiegt im Schnitt einige wenige Milligramm. Die Lebensdauer von Seifenblasen ist völlig unterschiedlich und hängt sehr stark von den äußeren Bedingungen ab.

PRAXISTIPP

Die Lebensdauer einer Seifenblase lässt sich nicht berechnen. Diese Aussage ist für interessierte SuS sehr motivierend – das ist echte Forschung.

SEIFENBLASEN 2 – FÜR FORT- GESCHRITTENE BLASENMACHER

Im zweiten Teil werden die Forscherfragen anspruchsvoller. Es geht nun über das reine Beobachten und Beschreiben hinaus. Hier sollen die SuS Messungen an ihren Seifenblasen-Experimenten durchführen und verschiedene Parameter variieren. Es ist wichtig, den SuS klarzumachen, dass immer nur ein Parameter verändert werden darf, um dessen Auswirkung auf das Ergebnis beurteilen zu können.

Die im Arbeitsblatt genannten Fragen dienen für die Forschergruppen als Anregung und müssen nicht alle bearbeitet werden; auch die Reihenfolge können die Gruppenmitglieder selbst festlegen. Es ist ebenfalls in Ordnung, wenn die Gruppen andere Untersuchungen anstellen wollen. Wir halten es für wichtig, hier die Eigenständigkeit zu fördern und zu unterstützen.

Sollte sich eine Gruppe an einer Fragestellung „festbeißen“, wägen Sie ab, ob Sie das zulassen oder den SuS empfehlen, zu einem – vielleicht auch offenen – Abschluss zu kommen und sich einer neuen Frage zuzuwenden.

Da in diesem Abschnitt sehr viele verschiedene Fragestellungen bearbeitet werden können, ist es besonders wichtig, dass die einzelnen Gruppen ihre Ergebnisse selbstständig, sauber und ausführlich im Laborbuch dokumentieren.

PRAXISTIPP

Anhand der hoffentlich gut geführten Laborbücher können Sie sich leicht einen Überblick über den Stand der Arbeiten in den einzelnen Gruppen verschaffen und so das weitere Vorgehen mit der Gruppe planen.

Sehr gute SuS können beim Gewicht-Größen-Zusammenhang mit der Formel für das Volumen einer Hohlkugel arbeiten. Das Volumen (und damit auch die Masse) wächst bei gleichbleibender Schichtdicke mit r^3 (d. h. eine doppelt so große Seifenblase benötigt die achtfache Menge an Seifenlauge). Dies lässt sich experimentell testen und nachrechnen mit $V_{\text{Kugel}} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3$.

PRAXISTIPP

Die Größe einer Blase lässt sich gut mit Handykameras messen (Maßstab mitfilmen).

Bei der Farbigkeit von Seifenblasen gibt es die Theorie, dass die Seifenhaut während des „Lebens“ der Seifenblasen immer dünner wird und deshalb bei der Blase immer eine unterschiedliche Farbe vorherrscht. Auch das lässt sich testen.

PRAXISTIPP

Untersuchungen zur Farbigkeit lassen sich sehr gut auf einem Tisch durchführen, den man mit Seifenlauge benetzt. Auf dieser Oberfläche können Seifenblasen „überleben“ und lassen sich somit beobachten.

MATERIALIEN

Die benötigten Materialien sind in der Checkliste des Arbeitsblattes aufgezählt. Wir empfehlen, dass Sie den SuS zeigen, wo die einzelnen Materialien in den Schränken zu finden sind. Dann kann sich jede Gruppe nehmen, was sie braucht, und alles am Ende wieder wegräumen. Dies gilt natürlich nicht für Chemikalien.

PRAXISTIPP

Stellen Sie mehrere unterschiedliche Seifenlösungen zur Auswahl bereit. Auch verschiedene Pusterformen gibt es zu kaufen.

SEIFENBLASEN 3 – DAS SEIFENBLASENLABOR

Für Chemiker: Herstellung eigener Seifenblasenlösungen und deren Optimierung

Für Bastler: Herstellung einer Seifenblasen-Blasmaschine

Im Internet findet man sehr viele unterschiedliche Seifenblasenrezepte. Das aufgeführte Rezept wurde von uns getestet; es funktioniert sehr gut. Ein Austesten verschiedener Rezepte kann natürlich auch sehr spannend sein. Ein gutes Rezept für die Herstellung dauerhafter Seifenblasen haben wir bisher nicht finden können. Diese Fragestellung ist in der Praxis folglich nicht erprobt – und somit ein echtes Forschungsziel.

Nach unserer Erfahrung ist es schwierig, eigene Puster herzustellen, die ähnlich gut wie gekaufte (oder sogar besser) funktionieren. Hier haben die Hersteller Optimierungsarbeit geleistet. Der Vergleich zweier unterschiedlicher Puster mit gleicher Seifenlösung dagegen ist aufschlussreich.



Stabile Seifenblasen (Hagemann Bildungsmedien)

Bei der Seifenblasenmaschine ist Kreativität gefragt – hier kann nach Herzenslust geschraubt, gesägt und gebaut werden. Es gab auch schon Maschinen, die mit Elektromotoren gesteuert wurden. Wer will und kann, automatisiert das Ganze noch mit einem Mikrocontroller.

PRAXISTIPP

Es ist möglich, dass auch elektrische Geräte mit Netzstecker eingesetzt werden müssen. Beachten Sie dann die Richtlinien für Sicherheit im Unterricht.

DAUERHAFTE SEIFENBLASEN

Es gibt auch „dauerhafte Seifenblasen“ (zum Beispiel Playtastic oder Pustefix stubbles). Sie faszinieren die SuS erfahrungsgemäß, weil sie dem Alltagsgefühl im Umgang mit Blasen als dem Symbol für Vergänglichkeit vollständig widersprechen. Weil sie nicht platzen, sondern an Luft aushärten, kann man mit ihnen viel leichter experimentieren als mit den flüchtigen Blasen aus reiner Seifenhaut. Mit den dauerhaften Blasen lassen sich auch alle Forschungsfragen der vorangegangenen Forscherblätter anpacken. Davon ausgehend lassen sich aber auch flüchtige und dauerhafte Blasen im Vergleich untersuchen. Wie unterscheiden sie sich beispielsweise von ihren „platzenden Kollegen“ (Gewicht, Größe, Farben, Dicke der Seifenschicht ...)?

WEITERFÜHRENDE INFORMATIONEN

AUFBAU VON SEIFENBLASEN

Seifenblasen bestehen aus einem dünnen (dipolaren) Wasserfilm, an dem sich innen und außen Seifenmoleküle anlagern mit einer dem Wasser zugewandten polaren, hydrophilen Carboxylat-Gruppe und einem dem Wasser abgewandten unpolaren, hydrophoben Alkylrest. Der Aufbau ähnelt dem von Biomembranen, jedoch befindet sich bei Seifenblasen das Wasser innerhalb der Membran, nicht außerhalb.

WESHALB SEIFENBLASEN PLATZEN

Eine Seifenblase entsteht, wenn sich ein dünner Wasserfilm mit Seifenmolekülen vermischt. Beim Aufblasen entsteht eine Kugelform. Infolge des gravitationsbedingten Auslaufens (Drainage) der zwischen den Seifenfilmoberflächen befindlichen Flüssigkeit dünnt eine Seifenblase in ihrem oberen Teil zunehmend aus. Man kann das beobachten, wenn man eine Seifenlamelle in eine Tassenöffnung zieht und dann senkrecht hält. Zudem erfolgt im Laufe des Auslaufprozesses eine Anreicherung von seifenfilmstabilisierenden Tensidmolekülen im unteren Bereich der Seifenblase, sodass deren obere Region infolge des relativen Mangels von an die Oberfläche adsorbierten Tensidmolekülen zusätzlich destabilisiert wird. Tatsächlich platzen die meisten Seifenblasen im oberen Teil. Das Verdunsten kann man behindern, indem man die Seifenblase in ein Einmachglas „sperrt“. Dadurch verlängert sich die Lebensdauer der Blase erheblich.

Die Schichtdicke der Seifenblase lässt sich auch beobachten: Spiegelt die Oberfläche in bunten Interferenzfarben, ist die Schichtdicke vergleichbar mit der Wellenlänge des Lichts. Bei abnehmender Schichtdicke wird die Seifenhaut zunächst farblos und zum Schluss dunkel.

ÖBERFLÄCHENSÖANNUNG

Die Erzeugung von Seifenblasen ist möglich, da die Oberfläche einer Flüssigkeit – in diesem Falle des Wassers – eine Oberflächenspannung besitzt, die zu einem elastischen Verhalten der Oberfläche führt. Häufig wird angenommen, dass die Seife nötig ist, um die Oberflächenspannung des Wassers zu vergrößern. Das Gegenteil ist jedoch der Fall: Die Oberflächenspannung des Seifenwassers ist nur etwa ein Drittel so groß wie die des Wassers. Blasen mit reinem Wasser zu machen ist so schwierig, weil die Oberflächenspannung zu hoch ist, wodurch die Blase sofort zerplatzt. Zusätzlich verlangsamt die Seife die Verdunstung, sodass die Blasen länger halten. Der Luftdruck in einer Seifenblase ist höher als der Druck außerhalb.

KUGELFORM

Die Oberflächenspannung ist ebenfalls der Grund für die kugelförmige Gestalt der Seifenblasen. Durch Minimierung der Oberfläche zwingt sie die Blase in diese Form, da von allen möglichen Formen zu einem gegebenen Volumen die Kugel die kleinste Oberfläche aufweist. Ohne äußere Kräfte (insbesondere Schwerkraft in Kombination mit Luftreibung) würden alle Blasen ideale Kugelform besitzen. Aufgrund ihres geringen Eigengewichts kommen Seifenblasen diesem Ideal in der Realität sehr nahe.

Quelle: www.chemie.de/lexikon/Seifenblase

WETTBEWERB ZUM ABSCHLUSS

Zum Abschluss der Einheit „Seifenblasen“ kann ein interner Wettbewerb stattfinden. Wir schlagen Folgendes vor:

- ▶ Entwickle aus beliebig vielen Zutaten eine Seifenblasenmischung, mit der man möglichst große (oder viele) Seifenblasen herstellen kann. Der Test läuft mit einem Puster deiner Wahl und einem Kaltluftföhn.
- ▶ Entwickle einen Puster, mit dem man mit nur 1x Eintauchen möglichst viele Seifenblasen machen kann.
- ▶ Kann man mit zwei Tischtennisschlägern Seifenblasen-Tennis spielen? Entwickle eine Seifenblasenmischung, mit der man Tennis spielen kann, und fordere deine Mitforscher zum Match heraus.

SEIFENBLASEN 1 – EIN KUGELRUNDER EINSTIEG

Forscher-Checkliste	
	verschiedene Seifenblasenmischungen
	Waage
	Stoppuhr

Seifenblasen sind geheimnisvoll schillernde Gebilde. Erforsche die Rätsel der bunten Luftkugeln. Zuerst die notwendigen Einträge ins Laborbuch und schon kann es losgehen.

ERSTER EINTRAG INS LABORBUCH

- ▶ Name des Forscherblattes, Datum
- ▶ Mitglieder der Gruppe mit Aufgabenzuordnung (Protokoll? Zeitmanager?)
- ▶ Welche Seifenblasenmischungen sollen untersucht werden?

UNTERSUCHUNGEN

- ▶ Wie musst du pusten, um mit 1× Atemholen möglichst große Seifenblasen zu erzeugen?
- ▶ Wie musst du pusten, um mit 1× Atemholen möglichst viele Seifenblasen zu erzeugen?
- ▶ Vergleiche zwei unterschiedliche Seifenlösungen – welche Unterschiede gibt es bei den entstehenden Blasen?
- ▶ Wie lange „lebt“ eine Seifenblase im Schnitt? Gibt es Unterschiede bei den verschiedenen Produkten?
- ▶ Wie kannst du das Gewicht einer Seifenblase messen?

AUCH DAS GEHÖRT INS LABORBUCH

- ▶ Beschreibe das genaue Vorgehen bei den Versuchen.
- ▶ Fasse die Beobachtungen mit einigen Sätzen zusammen, z. B. „Je stärker man pustet, umso ...“
- ▶ Was willst du in der nächsten Stunde untersuchen?



SEIFENBLASEN 2 – FÜR FORTGESCHRITTENE BLASENMACHER

Forscher-Checkliste	
	Zucker, Stärke, Spülmittel, Handseife, Shampoo ...
	verschiedene Seifenblasenmischungen
	verschiedene Puster
	Waage
	Stoppuhr
	kleine Schälchen für die Seifenlösung
	Thermometer
	Föhn/Ventilator
	Digitalkamera oder Handykamera

Als echter Forscher kannst du jetzt alle möglichen Versuche mit Seifenblasen durchführen und versuchen, Erklärungen für deine Beobachtungen zu finden. Lies dir die Forscherfragen durch und überlege zusammen mit deinen Gruppenmitgliedern, was ihr zuerst untersuchen wollt. Eure Lehrkraft wird euch darüber informieren, wie viel Zeit ihr für eure Forschungen habt. Gebt der Lehrerin bzw. dem Lehrer rechtzeitig Bescheid, wenn Materialien besorgt werden müssen.

UNTERSUCHUNGEN

- ▶ Vergleiche zwei unterschiedlich große Puster. Ändert sich dadurch die Anzahl oder die Größe der Seifenblasen?
- ▶ Wie kann man die Größe einer Blase auf geschickte Weise genau messen? (Tipp: Handykamera)
- ▶ Ist eine doppelt so große Blase eigentlich doppelt so schwer?
- ▶ Lässt sich die Lebensdauer durch Zugabe von irgendwelchen Stoffen (Zucker, Stärke ...) verbessern?

- ▶ Wie lange braucht eine Blase, bis sie am Boden ist? (Nur bei Windstille untersuchen!)
- ▶ Sinken eigentlich große oder kleine Blasen schneller zu Boden?
- ▶ Wie ändert sich die Lebensdauer, wenn man mit kalter oder warmer Luft pustet?
- ▶ Seifenblasen ändern die Farbe beim Fliegen – wie unterscheiden sich zwei verschiedene Seifenlösungen?
- ▶ Gibt es einen Zusammenhang zwischen dem Luftstrom und der Größe und/oder Anzahl der Blasen?
- ▶ Gibt es einen optimalen „Pusteablauf“, um besonders große Blasen zu erhalten?

Zum Knobeln:

- ▶ Kannst du die Schichtdicke einer Blase bestimmen? (Tipp: vielleicht über das Gewicht?)

Ab hier ist dein Forschergeist gefragt – mach weiter, stelle eigene Fragen und gehe ihnen auf den Grund.

DAS GEHÖRT INS LABORBUCH

- ▶ Name des Forscherblattes, Datum
- ▶ Mitglieder der Gruppe mit Aufgabenzuordnung
- ▶ Welche Fragen hast du (heute) bearbeitet?
- ▶ Bei Messungen: Trage alle gemessenen Werte mit Einheiten in übersichtlichen Tabellen ein.
- ▶ Welche Ergebnisse hast du herausgefunden? Formuliere sie in Sätzen.
- ▶ Vermutest du schon Zusammenhänge?
- ▶ Konntest du Fragen nicht beantworten? Nenne den Grund.
- ▶ Was willst du in der nächsten Stunde untersuchen?
- ▶ Ist dazu zusätzliches Material notwendig? (Lehrkraft informieren!)

SEIFENBLASEN 3 – SEIFENBLASENLABOR

Forscher-Checkliste	
	Spülmittel
	Maissirup
	destilliertes Wasser
	Zucker, Stärke, Spülmittel, Handseife, Shampoo ...
	dauerhafte Seifenblasen (fertiges Produkt)
	verschiedene Seifenblasenmischungen
	verschiedene Puster
	Waage
	Stoppuhr
	kleine Schälchen für die Seifenlösung
	Thermometer
	Föhn/Ventilator

SEIFENBLASEN HERSTELLEN

Ein gutes Rezept zur Herstellung von Seifenblasen ist folgendes:

- ▶ 300 ml destilliertes Wasser
- ▶ 90 ml Spülmittel
- ▶ 40 ml Maissirup

UNTERSUCHUNGEN

FÜR CHEMIKER

Vergleiche die selbst hergestellten Seifenblasen mit den bisherigen Forschungsergebnissen:

- ▶ Wie unterscheiden sich die Blasen, wenn die Rezeptur verändert wird (anderes Wasser, andere Spülmittel, anderer Sirup)?
- ▶ Probiere weitere Seifenblasenrezepte aus.
- ▶ Welche Inhaltsstoffe sind entscheidend für große oder lange haltbare Seifenblasen?

Wenn du eine optimale Seifenlösung gefunden hast, versuche verschiedene Puster herzustellen und diese auszutesten.

FÜR TÜFTLER UND BASTLER

Konstruiere und baue eine Seifenblasen-Blasmaschine.

DAUERHAFTE SEIFENBLASEN

Es gibt auch „dauerhafte Seifenblasen“ zu kaufen.

- ▶ Wie unterscheiden sich die dauerhaften Seifenblasen von ihren platzenden Kollegen (Gewicht, Größe, Farben, Dicke der Seifenschicht ...)?
- ▶ Versuche, selbst Seifenblasen herzustellen, die eine längere Haltbarkeit besitzen.

Ab hier ist dein Forschergeist gefragt – mach weiter, stelle eigene Fragen und gehe ihnen auf den Grund.

EINEN FORSCHERPREIS GIBT ES NUR MIT LABORBUCH!

Du wirst viel ausprobieren und kannst nur mit einem sorgfältig geführten Laborbuch den Überblick behalten. Hier drei Tipps:

- ▶ Ein Gruppenmitglied wird bestimmt, das während der Untersuchungen Notizen macht und die Messergebnisse aufschreibt.
- ▶ Ein anderes Gruppenmitglied achtet darauf, dass nach abgeschlossenen Untersuchungen die Notizen und Ergebnisse im Laborbuch vollständig sind.
- ▶ Werden Informationen aus dem Internet übernommen, muss man die Quelle genau angeben.

Die Laborbuchhinweise aus den vorigen Versuchsreihen gelten auch hier.



GESUCHT: DAS PERFEKTE BLASROHR

HINWEISE FÜR LEHRENDE

ÜBERBLICK

Die Versuchsreihe „Gesucht: das perfekte Blasrohr“ besteht aus drei Arbeitsblättern („Forscherblättern“). Vor den Forschungsaufgaben steht die Konstruktion einer besonderen Blasrohrvariante. Das Energie-Labor sollte erst nach dem Blasrohr-Labor bearbeitet werden.

DAS PERFEKTE BLASROHR 1 – DIE KONSTRUKTION

Hier geht es um den Bau einer Blasrohrvariante, die mechanisch funktioniert, also ohne dass man selbst blasen muss. Die Schülerinnen und Schüler (im Folgenden immer SuS) sollen dadurch die Funktionsweise eines mechanischen Blasrohres kennenlernen und insbesondere den Umgang damit üben. Es werden zur Konstruktion einfach zu bearbeitende Materialien eingesetzt, sodass keine elektrischen Geräte mit Netzstecker notwendig sind.

DAS PERFEKTE BLASROHR 2 – DAS BLASROHR-LABOR

Hier werden erste Untersuchungen am selbst gebauten mechanischen Blasrohr durchgeführt. Diese können auch an einem gewöhnlichen Blasrohr erfolgen, das mechanische bietet jedoch den Vorteil, dass die Versuchsbedingungen nach der Übungsphase annähernd gleich bleiben und es „hygienischer“ ist. Die Bedeutung der einzelnen Bauteile und Materialien wird näher erarbeitet und es werden Forschungsaufträge zum Finden optimaler Parameter gestellt. Es ist zu erwarten, dass sich die einzelnen Gruppen unterschiedlichen Fragestellungen zuwenden und diese individuell bearbeiten.

DAS PERFEKTE BLASROHR 3 – DAS ENERGIE-LABOR

Bei diesem Forscherblatt können die SuS einerseits physikalische Untersuchungen mit unterschiedlichen, kreativen Untersuchungsansätzen an ihrem Blasrohr durchführen. Andererseits sind auch Untersuchungen von Materialien und Bauarten möglich.

WICHTIGE HINWEISE – BITTE BEACHTEN

Beim Einsatz von Werkzeugen müssen die Richtlinien für Sicherheit im Unterricht beachtet werden. Je nach Altersstufe und Vorerfahrungen kann das Arbeiten nur unter Aufsicht bzw. Teilaufsicht erfolgen.

Allerdings ist gerade diese Versuchsreihe ohne gefährliche Werkzeuge durchzuführen. Die Gefahr kann allenfalls vom Blasrohr selbst ausgehen! Weisen Sie deshalb alle SuS ausdrücklich darauf hin, dass beim Gebrauch der Blasrohre niemals ins Gesicht von Lebewesen gezielt werden darf.

METHODISCH-DIDAKTISCHE HINWEISE

DAS PERFEKTE BLASROHR 1 – DIE KONSTRUKTION

Die Bauanleitung gibt einen Konstruktionsweg für das mechanische Blasrohr vor. Die einzelnen Arbeitsschritte werden erklärt und die Ergebnisse auf Abbildungen dargestellt, an denen sich die SuS orientieren können. Das Prinzip des Blasrohres beruht auf Luftdruck, der mit der großen Kugel im Stabilo-Blasrohr aufgebaut wird. Es ist damit vergleichbar dem Funktionsprinzip eines Luftgewehrs mit Federspeicher.

PRAXISTIPP

Es empfiehlt sich, dass Sie das Blasrohr aus dem Stabilo vorab selbst bauen, um den SuS beim Absägen gezielt helfen zu können und um selbst damit zu üben.

In der Konstruktionsphase ist es sinnvoll, dass alle etwa im gleichen Tempo vorankommen. Anschließend folgt die Übungsphase, in der der Umgang mit

dem mechanischen Blasrohr verbessert wird. Dies bildet die Grundlage für die später folgenden Untersuchungen, die nach Möglichkeit immer unter gleichen Bedingungen durchgeführt werden sollen.

MATERIALIEN

Die Forscher-Checkliste des Arbeitsblattes enthält die für jede Gruppe benötigten Materialien und Werkzeuge. Aus unserer Erfahrung geben wir Ihnen darüber hinaus folgende Empfehlungen.

Überprüfen Sie, ob die vorgesehenen Stabilos tatsächlich leer sind. Bei Restmengen von Farbe im Stabilo wird es beim Aufsägen zwangsläufig zu Verschmutzungen kommen. In diesem Fall empfehlen wir Ihnen, den Tisch mit einer Unterlage zu schützen und den SuS Haushaltshandschuhe zur Verfügung zu stellen. Nach dem Aufsägen muss das Stabilrohr vor den nächsten Konstruktionsschritten gründlich mit Wasser ausgespült werden.

Legen Sie alle Materialien auf einem Tisch bereit, sodass sich die einzelnen Gruppen ihre Sachen selber holen können. Grundregel: Jeder bringt die Werkzeuge dorthin zurück, wo er sie geholt hat.

PRAXISTIPP

Haushaltshandschuhe erhalten Sie im Supermarkt oder Drogeriemarkt. Als Unterlage können Sie alte Zeitschriften oder Verpackungen nutzen, auf die Sie ein kleines Holzbrett als Sägeunterlage legen.

ZEITBEDARF

Dieses Forscherblatt ist für eine Doppelstunde konzipiert. Die SuS sollten auf jeden Fall wissen, zu welcher Uhrzeit sie mit dem Aufräumen und Säubern der Arbeitsplätze beginnen müssen.

PRAXISTIPP

Damit bis zur nächsten Forschungsstunde kein Unfug mit den Blasrohren getrieben wird, organisieren Sie für jede Gruppe einen eigenen Karton oder eine eigene beschriftbare Box zur Aufbewahrung der Bauteile und deponieren Sie diese in einem abschließbaren Schrank.

NACH ABSCHLUSS DER KONSTRUKTIONSPHASE

Die Konstruktion des mechanischen Blasrohres ist das erste Ziel dieser Einheit. Genauso wichtig ist es, das Blasrohr zu testen und den Umgang zu üben. Um das Üben in geordnete Bahnen zu lenken, bieten sich eine Zielscheibe und ein kleiner Wettbewerb mit Distanzmessung an. Gerade im spielerischen Bereich messen die SuS untereinander gern ihre Fähigkeiten.

PRAXISTIPP

Eine kleine Belohnung oder Auszeichnung für die beste Schützin oder den besten Schützen erhöht die Motivation.

DAS PERFEKTE BLASROHR 2 – DAS BLASROHR-LABOR

Mit dem selbst gebauten mechanischen Blasrohr können die SuS eigene Untersuchungen zur Optimierung von Material, Bedienung und Konstruktion vornehmen. Dabei ist es sinnvoll, Überprüfungen mit dem Blasrohr mehrfach durchzuführen und aus den Ergebnissen einen Durchschnittswert zu ermitteln, da diese im Einzelfall auch von der Geschicklichkeit der SuS im Umgang mit dem Blasrohr abhängen können. Die im Forscherblatt genannten Fragen dienen zur Anregung. Sie müssen nicht alle bearbeitet werden, auch die Reihenfolge können die Gruppenmitglieder selbst festlegen. Es ist ebenfalls in Ordnung, wenn Gruppen andere Untersuchungen anstellen wollen. Wir halten es für wichtig, hier die Eigenständigkeit zu fördern und zu unterstützen.

PRAXISTIPP

Verdeutlichen Sie den SuS, wie wichtig insbesondere bei der Ermittlung von Durchschnittswerten eine sorgfältige Laborbuchführung ist.

Sollte sich eine Gruppe an einer Frage „festbeißen“, wägen Sie ab, ob Sie das zulassen oder den SuS empfehlen, zu einem – vielleicht auch offenen – Abschluss zu kommen und sich einer neuen Frage zuzuwenden.

MATERIALIEN

Die benötigten Materialien sind in der Forscher-Checkliste des Arbeitsblattes aufgelistet. Wir empfehlen, dass Sie alle Materialien auf einem Tisch bereitlegen,

sodass sich die einzelnen Gruppen ihre Sachen selber holen können. Grundregel: Jeder bringt die Werkzeuge und nicht benötigten Materialien dorthin zurück, wo er sie geholt hat.

PRAXISTIPPS

Definieren Sie gemeinsam mit Ihren SuS, was man unter einem guten Schuss verstehen soll: möglichst weit oder möglichst genau? Wir schlagen vor, erst einmal die Weite als Grundlage für die Bearbeitung der Forschungsfragen zu nutzen.

Zur Auswertung der Versuche und natürlich zur Dokumentation empfiehlt es sich, eine Handykamera oder eine Digitalkamera zu nutzen. Die Videos können darüber hinaus auch mit einer entsprechenden Software bearbeitet werden, um zum Beispiel eine Zeitlupenaufnahme zu generieren.

ZEITBEDARF

Die Gruppen werden einige Doppelstunden mit diesem Forscherblatt beschäftigt sein.

MÖGLICHE ERGEBNISSE DER EXPERIMENTIERPHASE

Es gehört zum Forschen dazu, dass man Zusammenhänge herstellt und Begründungen sucht. Insbesondere die Entwicklung von Verbesserungsmöglichkeiten kann bei verschiedenen Gruppen unterschiedlich lange dauern. Manche Gruppen geben sich mit einer einzigen Lösung zufrieden, andere versuchen akribisch, die Wirkungen unterschiedlicher Anpassungsideen in irgendeiner Art und Weise messbar zu machen. Es ist dabei aber stets gewünscht, dass die SuS bei ihren Untersuchungen Vermutungen über Zusammenhänge aufstellen und diese sinnvoll begründen, auch wenn eine vollständige Argumentation nicht immer auf Schülerniveau erfolgen kann. Bei den Versuchsreihen werden folgende Faktoren für die Beeinflussung der Güte des Blasrohres deutlich:

Je weiter die kleine Papierkugel in die Tintenpatrone hineingeschoben wird, umso höher ist die Reichweite. Dies liegt daran, dass der Weg zur Beschleunigung bei einer Kugel, die man am vorderen Ende des Blasrohres platziert, wesentlich kürzer wäre und damit auch der im Stabilo aufgebaute Druck teilweise ungenutzt entweichen würde. Jetzt könnten die SuS auf die Idee kommen, eine ganz lange Tintenpatrone zu nutzen. Dadurch würde jedoch der Weg für den Druckaufbau mit der großen Kugel im Stabilorohr kürzer und die kleine Kugel hätte einen längeren Weg mit Reibung bis zum Austritt aus dem Blasrohr zurückzulegen. Es

gilt also, die optimale Länge der Tintenpatrone bei maximaler Einstecktiefe der kleinen Papierkugel zu ermitteln.

Die Wassermenge, die vom Papier aufgesaugt wird, führt ebenfalls zu einer notwendigen Abwägung: Je mehr Wasser aufgesaugt wird, desto besser kann die Papierkugel an die Rundung der Tintenpatrone angepasst werden. Der Raum zwischen Papierkugel und Tintenpatrone wird besser abgedichtet, wodurch der aufgebaute Druck nur durch Beschleunigung und Austritt der Papierkugel abgebaut werden kann. Bei einer trockenen Papierkugel könnte die im Stabilo angestaute Luft dagegen durch die Hohlräume entweichen. Andererseits führt viel Wasser auch zu einer Gewichtszunahme, die die Reichweite des Fluges reduziert. Die SuS werden jedoch feststellen, dass dies nur einen äußerst geringen Einfluss hat und die Abdichtung wesentlich entscheidender ist.

Zu einer ähnlichen Schlussfolgerung bei der Abwägung zwischen Abdichtung und Gewicht werden die SuS auch in Bezug auf die Größe der Papierkugeln kommen. Die Frage, welches Papier sich am besten eignet, wird nicht eindeutig zu beantworten sein, da es zu viele Produkte auf dem Markt gibt. Allgemein kann man sagen: Imprägnierte und steife Papiere sind schwierig zu nutzen. Sehr gute Ergebnisse erhält man z. B. mit Papiertaschentüchern, da diese eine sehr hohe Saugkraft und damit Wasseraufnahme besitzen und gut formbar sind. Damit passt sich die gerollte Kugel optimal der Form des Stabilos an.

Der Forschungsauftrag zum Variieren der Rohrlänge beim Stabilorohr kann nur zum systematischen Kürzen der Länge führen. Dabei werden die SuS feststellen: je kürzer der Stabilo ist, desto weniger Druck kann im Innern aufgebaut werden, was zu einer Abnahme der Leistung führt.

DAS PERFEKTE BLASROHR 3 – DAS ENERGIE-LABOR

Auch dieses Arbeitsblatt enthält klar beschriebene Forschungsaufträge, die jedoch in deutlich unterschiedlicher Weise bearbeitet werden können. Insbesondere bei der Entwicklung von Messeinrichtungen zur Feststellung physikalischer Größen können die SuS zu völlig verschiedenen Lösungsansätzen kommen. Schwächere Gruppen bleiben bei der mehr oder weniger

phänomenologischen Beschreibung von Zusammenhängen, stärkere Gruppen können Theorien aufstellen und Thesen überprüfen.

Auch für eine erfahrene Lehrkraft ist es in diesem Stadium nichts Ungewöhnliches, nicht sofort alle Schülerfragen beantworten zu können. Sie und Ihre SuS betreten einen Bereich, in dem man nicht mehr „alles wissen“ kann. Hier entstehen Neugierde und der Drang zum Forschen – genau das, was wir erreichen wollen.

MATERIALIEN

Sie sollten mindestens eine Woche vorher mit den Gruppen absprechen, welche Materialien untersucht bzw. zum Bau weiterer Blasrohre genutzt werden sollen, um diese entsprechend besorgen zu können.

LINKS

Mögliche Bezugsquellen, zum Beispiel für Plexiglasrohre unterschiedlicher Durchmesser und Längen als Ersatz für den Stabilo, finden Sie unter dem Link www.sfz-bw.de/forschen-in-der-schule. Bitte achten Sie bei Ihrer Planung auf die nicht immer einheitlichen Lieferzeiten.

PRAXISTIPP

Es ist möglich, dass auch elektrische Werkzeuge mit Netzstecker eingesetzt werden müssen. Beachten Sie dann die Richtlinien für Sicherheit im Unterricht.

WEITERFÜHRENDE INFORMATIONEN

DAS LUFTGEWEHR MIT FEDERSPEICHER IM VERGLEICH ZUM BLASROHR

Das Geschoss eines Luftgewehrs wird durch die Ausdehnung von komprimiertem Gas angetrieben. Dazu muss das Gas zuerst verdichtet werden, um so die Energie zu speichern, die bei der Ausdehnung freigesetzt wird und das Geschoss beschleunigt.

Weit verbreitet sind Luftgewehre mit Federspeicher. Hierbei spannt der Nutzer eine Feder, an der ein Kolben befestigt ist. Dieser wird beim Auslösen nach vorne geschoben. Dadurch entsteht ein Luftdruck von bis zu 150 bar (als Vergleichswert: Der Luftdruck eines Autoreifens liegt zwischen zwei und drei bar), der schließlich das Geschoss beschleunigt.

Beim mechanischen Blasrohr ist der Kolben die zweite, große Kugel, die mit Schwung in den Stabilo hineingeschoben wird. Dieses „Schieben“ übernimmt beim Luftgewehr die Feder.

In Deutschland gilt als Grenze für den freien Verkauf von Luftwaffen an Personen ab 18 Jahren eine maximale Energie von 7,5 Joule. Softair-Waffen, die bereits ab 14 Jahren genutzt werden dürfen, haben als maximale Grenze $< 0,5$ Joule. Als Vergleich: Ein Joule ist die Energie, die benötigt wird, um einen Körper der Masse 102 g (etwa eine Tafel Schokolade) um einen Meter anzuheben.

ENERGIE UND ENERGIEUMWANDLUNG

Energie ist nach klassischer, mechanischer Definition die Fähigkeit, Arbeit zu verrichten. Heute definiert man Energie als Messgröße, die auf verschiedene Weise in Erscheinung treten kann, deren Zahlenwert aber immer gleich bleibt. Es gibt also unterschiedliche Energieformen, die nicht erzeugt oder vernichtet, aber ineinander umgewandelt werden können (Satz von der Erhaltung der Energie: Energie kann nicht verloren gehen, sondern nur in eine andere Energieform umgewandelt werden). Beispielsweise unterscheidet man mechanische, elektrische, chemische, Lage-, Bewegungs-, Ruheenergie oder Kernenergie. Spricht man bei einer Umwandlung von Energie von „Energieverlusten“, bedeutet dies, dass ein Teil der Energie als nicht nutzbare (Wärme-)Energie „verloren geht“.

Die Einheit der Energie ist das Joule (J):

$$1\text{J} = 1\text{N}\cdot\text{m} \text{ (Newtonmeter)} = 1\text{W}\cdot\text{s} \text{ (Wattsekunde)}$$

WETTBEWERB ZUM ABSCHLUSS

Am Ende der Einheit „Gesucht: das perfekte Blasrohr“ kann ein Wettbewerb stattfinden. Wir schlagen Folgendes vor:

WER BAUT DAS BESTE BLASROHR?

Entwickle aus deinen Forschungsergebnissen die perfekte Kombination aus Blasrohr und „Geschoss“. Im Wettbewerb kannst du zeigen, wie weit dein „Geschoss“ fliegt und wie genau du mit deinem Blasrohr zielen kannst.

DAS PERFEKTE BLASROHR 1 – DIE KONSTRUKTION

Forscher-Checkliste	
	Stabilo-Stifte, nach Möglichkeit leer-geschrieben (ohne Farbe)
	Küchenpapier
	Wasser
	Tintenpatronen (leer)
	dünner Pinsel oder Schaschlikspieß
	Metall- oder Feinsäge

Wer kennt sie nicht, die Strohhalme und die rundgekauten Papierkügelchen – echt eklig, wenn dir so was in den Nacken fliegt! Dahinter steckt eine Menge Physik und es lohnt sich, ein ganz besonderes Blasrohr mal unter die Lupe zu nehmen – sauber und ohne Ekelfaktor.

Achtung! Beim Gebrauch der Blasrohre nie ins Gesicht von Lebewesen zielen!

VORBEREITUNGEN

Besprich in deiner Gruppe die einzelnen Konstruktions-schritte und hole dann erst das tatsächlich benötigte Material. Erst wenn alles am Arbeitsplatz ist, beginnt die Gruppe mit der Konstruktion.

ERSTER EINTRAG INS LABORBUCH

- ▶ Name des Forscherblattes, Datum
- ▶ Mitglieder der Gruppe mit Aufgabenzuordnung (Protokoll? Zeitmanager?)

KONSTRUKTION UND TEST EINES MECHANISCHEN BLASROHRES



- ▶ Säge den Kopf und den Boden des Stabilos ab und nimm die Farbpatrone heraus. Es bleibt nur die leere Stabilohülle übrig.



- ▶ Säge den Boden der Tintenpatrone ab. Sollte diese noch voll sein, dann spüle sie aus und drücke die Kugel an der Patronenöffnung mit dem Pinsel (oder Schaschlikspieß) heraus.



- ▶ Stecke die Patrone mit dem Kopf voraus so weit in eine Seite der Stabilohülle, dass sie fest sitzt und nicht herausfällt.



- ▶ Schiebe mit dem Pinsel/Schaschlikspieß die kleinere Kugel ganz in die Tintenpatrone, ohne sie darin festzuklemmen.



- ▶ Nimm ein Stück Papier, feuchte es mit Wasser an und forme eine Kugel, die du an dem Ende in die Stabilohülle steckst, das der Tintenpatrone gegenüberliegt.



- ▶ Schiebe nun die Papierkugel am anderen Ende mit dem Pinsel/Schaschlikspieß schwungvoll in die Stabilohülle hinein. Pass auf, dass du in diesem Moment auf niemanden zielst, denn dies ist bereits dein erster Schuss mit dem mechanischen Blasrohr!



- ▶ Nimm noch ein Stück Papier, feuchte es mit dem Wasser an und forme eine kleinere Kugel, die du in die Tintenpatrone steckst.

AUCH DAS GEHÖRT INS LABORBUCH

- ▶ Beschreibe in eigenen Worten den Aufbau des mechanischen Blasrohrs.
- ▶ Fertige eine Aufbauskizze im Querschnitt des Blasrohrs an.
- ▶ Wie funktioniert das mechanische Blasrohr, ohne dass man selbst pusten muss?

Der erste Versuch zum Schießen einer Papierkugel gelingt nicht immer auf Anhieb. Jetzt hast du bis zum Ende der Forschungsstunde Zeit, um den Umgang mit dem mechanischen Blasrohr zu üben und deine Schusstechnik zu verbessern.

Achtung! Beim Gebrauch der Blasrohre nie ins Gesicht von Lebewesen zielen!

DAS PERFEKTE BLASROHR 2 – DAS BLASROHR-LABOR

Forscher-Checkliste	
	Stabilo-Stifte, nach Möglichkeit leer-geschrieben (ohne Farbe)
	verschiedene Papiersorten
	Wasser
	Tintenpatronen (leer)
	dünner Pinsel oder Schaschlikspieß
	Metall- oder Feinsäge

Du hast sicherlich bei den ersten Tests gemerkt, dass die Papierkugeln mal besser und mal schlechter fliegen. Als echter Forscher kannst du nun herausfinden, welche Faktoren darauf Einfluss haben und wie Material, Bedienung und Konstruktion des Blasrohres optimiert werden können. Sprich dich mit deiner Gruppe ab, welche der genannten Fragen ihr in welcher Reihenfolge bearbeiten wollt. Eure Lehrkraft wird euch darüber informieren, wie viel Zeit ihr für eure Forschungen habt.

Achtung! Beim Gebrauch der Blasrohre nie ins Gesicht von Lebewesen zielen!

VORBEREITUNGEN

Ihr werdet verschiedene Messungen durchführen. Es ist sinnvoll, die Aufgaben vorab zu verteilen:

- ▶ Denkt an den „Ersten Eintrag ins Laborbuch“.
- ▶ Wer kann sorgfältig Protokoll schreiben?
- ▶ Wer kann gute Skizzen von den Konstruktions- und Forschungsergebnissen zeichnen?
- ▶ Mit welcher Forscherfrage will die Gruppe beginnen?

UNTERSUCHUNGEN

Bearbeite die folgenden Fragen rund um das mechanische Blasrohr:

- ▶ Macht es einen Unterschied, ob die kleine Papierkugel in der Tintenpatrone am Anfang oder am Ende der Patrone platziert wird?
- ▶ Welchen Einfluss hat die Menge an Wasser, die vom Papier aufgesogen wird?
- ▶ Unterscheiden sich kleinere und größere Papierkugeln im Schuss?
- ▶ Gibt es eine perfekte Größe/Abmessung für das Papier, aus dem du die Kugel drehst?
- ▶ Kann man auch anderes Papier für die Kugeln verwenden? Welches eignet sich am besten?
- ▶ Gibt es neben der Papierkugel andere, besser fliegende Formen, die du aus Papier machen kannst?
- ▶ Variiere die Rohrlänge deines Blasrohres. Welche Rohrlänge ist am besten geeignet?

DAS GEHÖRT INS LABORBUCH

- ▶ Name des Forscherblattes, Datum
- ▶ Mitglieder der Gruppe mit Aufgabenzuordnung
- ▶ Welche Fragen hast du (heute) bearbeitet?
- ▶ Bei Messungen: Trage alle gemessenen Werte mit Einheiten in übersichtliche Tabellen ein.
- ▶ Welche Ergebnisse hast du herausgefunden? Formuliere sie in Sätzen.
- ▶ Vermutest du schon Zusammenhänge?
- ▶ Konntest du Fragen nicht beantworten? Nenne den Grund.
- ▶ Was willst du in der nächsten Stunde untersuchen?
- ▶ Ist dazu zusätzliches Material notwendig? (Lehrkraft informieren!)

DAS PERFEKTE BLASROHR 3 – DAS ENERGIE-LABOR

Forscher-Checkliste	
	Plexiglasrohre mit unterschiedlichen Durchmessern
	verschiedene Papiersorten
	Wasser
	Tintenpatronen (leer)
	dünnere Pinsel oder Schaschlikspieß
	Metall- oder Feinsäge

Jetzt wirst du zum wahren Blasrohrexperthen. Du hast schon herausgefunden, wie du die perfekte Papierkugel für dein Blasrohr machst. Nun geht es darum, mit deinem Blasrohr Messungen durchzuführen und die Konstruktion zu optimieren.

Achtung! Beim Gebrauch der Blasrohre nie ins Gesicht von Lebewesen zielen!

UNTERSUCHUNGEN

- ▶ Experimentiere mit anderen Durchmessern für das mechanische Blasrohr. Nutze dazu die Plexiglasrohre und entwickle eine Ergänzung oder einen Ersatz für die Tintenpatrone. Ist der Schuss mit dünneren oder dickeren Blasrohren besser?
- ▶ Wie kannst du die Geschwindigkeiten messen, mit denen die Papierkugel das Rohr verlässt?
- ▶ Welche Energie hat das „Geschoss“? Mach dich schlau: Welche Energie haben Softair-Pistolen und ab welcher Energie braucht man einen Waffenschein? Könnte man mit deinem Blasrohr an die kritischen Grenzen kommen?

EINEN FORSCHERPREIS GIBT ES NUR MIT LABORBUCH!

Du wirst viel ausprobieren und kannst nur mit einem sorgfältig geführten Laborbuch den Überblick behalten. Hier zwei Tipps:

- ▶ Ein Gruppenmitglied wird bestimmt, das während der Versuche Notizen macht und die Messergebnisse aufschreibt.
- ▶ Ein anderes Gruppenmitglied achtet darauf, dass nach abgeschlossenen Versuchen die Notizen und Ergebnisse im Laborbuch vollständig sind.

Die Laborbuchhinweise aus den vorigen Versuchsreihen gelten auch hier.

SAUBER ABGEPERLT

HINWEISE FÜR LEHRENDE

ÜBERBLICK

Der Lotuseffekt mit seiner schmutz- und wasserabweisenden Wirkung ist ein spannendes Phänomen, das nicht zuletzt wegen der Nanoprodukte bei Schuhcremes, Putzmitteln und Lacken hochaktuell ist. Was die wenigsten wissen: Mit einer einfachen Kerze lässt sich ein Lotuseffekt erzeugen, der die Eigenschaften von vielen käuflichen Produkten, aber auch die von natürlichen „Antischmutzsystemen“, wie Lotusblatt oder Kapuzinerkresse, in den Schatten stellt.

Mit Schülerinnen und Schülern (im Folgenden immer SuS) die Eigenschaften von Rußoberflächen zu erforschen, bedeutet daher, einen Einblick in aktuelle wissenschaftliche Fragen zu geben, an denen auch gestandene Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler arbeiten.

Die Versuchsreihe besteht aus drei Arbeitsblättern („Forscherblättern“), die nicht zwingend nacheinander bearbeitet werden müssen.

SAUBER ABGEPERLT 1 – EIN RUSSIGER EINSTIEG

In der Einstiegsstunde geht es zunächst darum, eine Technik zu entwickeln, um eine möglichst gleichmäßig berußte Oberfläche herzustellen und den Effekt zu beobachten. Ersteres ist nicht ganz trivial, sondern erfordert Fingerspitzengefühl. Außerdem kann man sich an der Kerze die Finger verbrennen. Dafür ist der Effekt, der sich dann beobachten lässt, ein absolutes Aha-Erlebnis, der alle Beteiligten staunen lässt. In einem weiteren Versuch werden einzelne Parameter zum Berußen geändert und die Ergebnisse ausgewertet.

SAUBER ABGEPERLT 2 – LOTUS UNTER DER LUPE

Hier geht es darum, mit dem Wissen zur Herstellung von Rußschichten weiterzuforschen und möglichst stabile Beschichtungen zu erhalten. Tropfengrößen

spielen eine Rolle und auch andere Flüssigkeiten und Oberflächen werden untersucht. Es ist wissenschaftliche Kreativität gefragt – schließlich ist es gar nicht so einfach, Antwortkriterien auf die Frage zu finden: Wie gut ist der Lotuseffekt?

SAUBER ABGEPERLT 3 – DAS LOTUS-LABOR

In diesem Forscherblatt steht der Vergleich mit anderen Lotusmaterialien an. Ob Kapuzinerkresse, Nanolack oder Schuhcreme – mit sinnvollen Messungen lassen sich deren Eigenschaften mit denen der Rußschicht vergleichen. Hier geht es also direkt in die Anwendung und den Alltag der SuS. Außerdem muss man genau hinschauen, um überraschende Phänomene an beinahe schwebenden Wassertropfen zu entdecken.

WICHTIGE HINWEISE – BITTE BEACHTEN

Beim Einsatz von Werkzeugen müssen die Richtlinien für Sicherheit im Unterricht beachtet werden. Je nach Altersstufe und Vorerfahrungen kann das Arbeiten nur unter Aufsicht bzw. Teilaufsicht erfolgen.

Vorsicht! Kerzen anzünden und löschen wird üblicherweise bereits im Kindergarten als Versuch durchgeführt. Obwohl Kinder und Jugendliche den Umgang mit offenem Feuer kennen und beherrschen sollten, ist große Vorsicht geboten. Die SuS können sich die Finger verbrennen oder die (langen) Haare ansengen. Die Kerzen können umkippen und Dinge in Brand setzen.

PRAXISTIPP

Achten Sie auf leere Arbeitstische und bestehen Sie bei langen Haaren darauf, dass Haargummis verwendet werden. Geben Sie vor allem bei jungen SuS ein Kommando zum gemeinsamen Anzünden und Löschen der Kerzen. Achten Sie darauf, dass die SuS beim Umgang mit Kerzen Schutzbrillen tragen!

METHODISCH-DIDAKTISCHE HINWEISE

SAUBER ABGEPERLT 1 – EIN RUSSIGER EINSTIEG

Es bedarf unserer Erfahrung nach schon ein bisschen Fingerspitzengefühl und Geschick, eine geschlossene Rußschicht zu erzeugen. Aus diesem Grund beginnen wir immer mit einem Löffel, der mit einer Rußschicht überzogen werden soll. Dies kann auf beiden Seiten des Löffels geschehen und wird zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. Die Gruppen, die auf der konvexen Seite (der Außenseite des Löffels) die Rußschicht produzieren, werden einen größeren Aha-Effekt haben, der allerdings nur kurz währt: Ein Wassertropfen wird einfach wie von Zauberhand wegspringen, ohne den Löffel zu benetzen. Jene SuS, die die konkave Innenseite berußen, können den Tropfen fast schwebend bestaunen. Er lässt sich bei einer guten Rußschicht wie eine Murmel auf der Innenseite des Löffels hin- und herbewegen. Ein echtes Erlebnis für Schülerinnen und Schüler!

PRAXISTIPP

Lassen Sie unbedingt den Löffel abkühlen, bevor das Wasser aufgetropft wird, sonst funktioniert der Lotuseffekt nicht.

Wir empfehlen, den SuS an dieser Stelle nicht zu viele Vorgaben zu machen außer derjenigen, eine möglichst gute Rußschicht zu erzeugen. Fragen, z. B. wie die Güte der Rußschicht zu messen ist, schließen sich dann von alleine an.

Wir können keine Aussage darüber machen, ob sich Esslöffel oder Teelöffel besser berußen lassen. Erfahrungsgemäß sind die SuS sehr eifrig dabei, ihre beste „Berußungsstrategie“ mitzuteilen. Woran das jeweils liegt, lässt sich im Einzelfall gar nicht so einfach beurteilen – es kann die Kerze sein, es kann der Abstand zur Flamme, die Temperatur der Oberfläche oder der Winkel sein, den Kerzenflamme und Löffel einschließen. Daraus können sich ganz eigenständige Forschungsthemen entwickeln – und das ist schon ein erster Schritt in Richtung Wissenschaft!

MATERIALIEN

Die Forscher-Checkliste des Arbeitsblatts enthält die für jede Gruppe benötigten Materialien und Werkzeuge. Aus unserer Erfahrung heraus geben wir Ihnen darüber hinaus folgende Empfehlungen.

Halten Sie für die Einführungsstunde ein paar unterschiedliche Teelichter und Kerzen sowie ausreichend viele verschiedene Löffel bereit, mit denen die SuS die Oberflächen berußen können.

PRAXISTIPP

Unserer Erfahrung nach hängt die Güte der Rußschicht sehr stark von der verwendeten Kerzenart ab. Als eine der besten Rußquellen für den Lotuseffekt haben sich Ikea-Kerzen erwiesen. Warum das so ist – auch das wäre ein Thema für eine weiterführende Forschungsarbeit.

Stellen Sie alle Materialien auf einem Tisch zur Verfügung, sodass sich die einzelnen Gruppen ihre Sachen selber holen können. Grundregel: Jeder bringt die Sachen dorthin zurück, wo er sie geholt hat.

ZEITBEDARF

Dieses Arbeitsblatt ist für eine Doppelstunde konzipiert. Die SuS sollten auf jeden Fall wissen, zu welcher Uhrzeit sie mit dem Aufräumen und Säubern der Arbeitsplätze beginnen müssen. Das Putzen der Löffel (oder der anderen berußten Gegenstände) kostet erfahrungsgemäß ein wenig Zeit, geht aber mit normaler Seife sehr gut. Weil alle Gruppen putzen müssen, empfiehlt sich ein Raum mit mehreren Waschbecken.

PRAXISTIPP

Bestimmen Sie einen Schüler oder eine Schülerin, der oder die (abhängig von der Gruppengröße und der Zahl der Waschbecken) 10 bis 15 Minuten vor dem Ende an die Aufräumzeit erinnert.

MÖGLICHE ERGEBNISSE DER EXPERIMENTIERPHASE

Ziel dieser Einstiegsstunde ist es, eine Rußschicht zu produzieren, die in der Lage ist, den Lotuseffekt sichtbar zu machen. Dabei brauchen die SuS erfahrungsgemäß Unterstützung. Selbst wenn die SuS den Löffel gefühlt „eine Ewigkeit“ über die Kerze halten – für einige ist es enorm schwierig, auch nur eine dünne Schicht Ruß zu produzieren.

PRAXISTIPP

Die besten Ergebnisse erhält man, wenn man den Löffel in den gelb brennenden Teil der Kerze oder knapp darüber platziert. Gleichmäßig wird die Rußschicht dann, wenn man den Löffel kontinuierlich hin- und herbewegt. Für gute SuS empfiehlt es sich, gleich die Zeit mitstoppen zu lassen, dann ist auch eine erste quantitative Aussage über die Güte der Rußschicht zu machen (Nach 5 Sekunden sieht die Rußschicht so aus ..., nach 10 Sekunden so ...).

Am sinnvollsten hat sich erwiesen, dass die SuS zunächst die Forscherfragen mit einer einzigen Kerze beantworten und sie erst anschließend mit anderen Kerzen forschen zu lassen. All das ist problemlos in einer Doppelstunde möglich. Man kann auch bei einer besonders gut gelungenen Rußschicht alle kurz zum Demoexperiment versammeln. Das gemeinsame Betrachten des faszinierenden Effekts erzeugt an dieser Stelle eine ganz besondere Motivation, es selbst hinzubekommen.

Für gewöhnlich wird jede Gruppe nach dieser Stunde ein Verfahren haben, das ihrer Meinung nach am besten funktioniert. Dieses Ergebnis ist prima – damit werden die SuS in der nächsten Phase weiterarbeiten können.

SAUBER ABGEPERLT 2 – LOTUS UNTER DER LUPE

Das freiere Arbeiten mit diesem Forscherblatt bietet den SuS auch mehr Spielraum für ihre eigenen Fragen. Eine entscheidende Frage ist die Untersuchung der anderen Flüssigkeiten. Wasser ist für gewöhnlich der Stoff, bei dem der Lotuseffekt am besten funktioniert. Bei Alkohol oder Seife beginnen ganz verschiedene Effekte eine Rolle zu spielen. Seife benetzt üblicherweise sehr gut, Alkohol löst bei vielen Kerzen die Rußschicht auf und zerstört den Effekt. An dieser Stelle kann man also den unterschiedlichen Gruppen verschiedene Forschungsaufgaben zuteilen: Eine Gruppe untersucht die Haltbarkeit der Rußschicht, eine andere studiert die Fähigkeit der Rußschicht, den ersten Tropfen abzuleiten. Da beginnt echte Forschungsvielfalt!

Die zentrale Frage für alle Gruppen, die mit unterschiedlichen Flüssigkeiten experimentieren, lautet: Erkennst du Gemeinsamkeiten oder Unterschiede zwi-

schen den Flüssigkeiten im Verhalten auf der berußten Oberfläche? Versuche Kategorien zu bilden.

PRAXISTIPP

Die Größe eines Tropfens lässt sich mit einer normalen Pipette nur ungenau steuern. Stattdessen sollte eine Dosierpipette mit genauer ml-Menge pro Tropfen eingeführt werden.

Hier stellen sich viele Gruppen zum ersten Mal die Frage, wie man den Versuch sinnvoll standardisiert. Wir haben die unterschiedlichsten Varianten erlebt. Am einfachsten geht es, indem man keine Löffel berußt, sondern ebene Flächen, zum Beispiel Objektträger. Um das Resultat messen zu können, wurde schon viel versucht – vom Bau einer eigenen Maschine, die den Auftreffwinkel bestimmt, bis zum unterlegten Zahnstocher auf einer Seite, um eine schiefe Ebene zu schaffen – vieles ist möglich. Wichtig ist, dass man die SuS immer wieder fragt: Was möchtest du eigentlich gerade untersuchen? Alle anderen Parameter wie Kerze, Abstand zur Flamme, Berußungszeit ... sollten dabei immer konstant gehalten werden.

Vorsicht! Beim Berußen von Glas können die Glasplättchen wegen der hohen Wärmebelastung brechen. Bitte weisen Sie die SuS darauf hin. Die Gläser sollten nicht mit einer Hand gehalten werden, sondern mit einer Tiegelszange, die es üblicherweise in der Chemiesammlung der Schule gibt. Wichtig: Schutzbrille tragen!

PRAXISTIPP

Erfahrungsgemäß funktioniert die Rußschicht auf matten, sandgestrahlten Oberflächen besser als auf glatten. In der Biologiesammlung gibt es neben klaren Objektträgern für den Einsatz in Mikroskopen häufig auch jene, die einseitig matt sind. Diese liefern viel schneller gute Ergebnisse.

MATERIALIEN

Die Forscher-Checkliste des Arbeitsblatts enthält die für jede Gruppe benötigten Materialien und Werkzeuge. Stellen Sie alle Materialien auf einem Tisch zur Verfügung, sodass sich die einzelnen Gruppen ihre Sachen selber holen können. Grundregel: Jeder bringt die Sachen dorthin zurück, wo er sie geholt hat.

ZEITBEDARF

Die Gruppen werden einige Doppelstunden mit diesem Arbeitsblatt beschäftigt sein. Je nachdem, welche der Fragen gewählt und bearbeitet werden, können sehr große und zeitaufwendige Forschungsprojekte entstehen.

MÖGLICHE ERGEBNISSE DER EXPERIMENTIERPHASE

Wegen der Vielfalt der Parameter sind die möglichen Ergebnisse denkbar unterschiedlich. Eine entscheidende Erkenntnis ist meist, dass es einer starken Standardisierung bedarf, um die Güte des Lotuseffekts beurteilen zu können, und dass man sich genaue Gedanken machen muss, was man eigentlich untersuchen möchte. Dabei kann es zu vielen unterschiedlichen sinnvollen Ansätzen kommen.

Die Haltbarkeit zum Beispiel lässt sich auf ganz verschiedenen Wegen erforschen. Während die eine Gruppe eine Tropfanlage gebaut hat, die aus unterschiedlichen Höhen jeweils einen definierten Tropfen auf einen beruften Objektträger fallen ließ (gemessen wurde dann die Anzahl der Tropfen, bis zu der ein Lotuseffekt zu beobachten war), hat eine andere Gruppe konvexe Glasschalen beruft und Wassertropfen gleicher Größe darin „gefangen“. Gemessen wurde dann, wie schnell ein Tropfen, nachdem man ihn aus seiner Ruhelage in der Mitte ausgelenkt hat, wieder zur Ruhe gekommen ist. Die Schlussfolgerung der Gruppe war: Je weniger der Tropfen hin und her schwingt, umso größer ist die Reibung und umso schlechter muss die Lotuswirkung sein. Ein genialer Gedanke – lassen Sie solche Ideen also ruhig zu!



Vor allem für jene SuS, die nicht an einer physikalischen Standardisierung arbeiten wollen, ist die Verfahrenstechnik interessant. Wenn man nicht in nur einem Arbeitsgang die Rußschicht aufbringt, sondern in mehreren Einzelschritten, lässt sich ja auch die zeitliche Abfolge der einzelnen Schritte ändern. Das eröffnet ein großes Feld für „Versuch und Irrtum“. Vor allem beim Berußen von Glas hat sich ein zwischenzeitliches Abkühlen als enorm wichtiges und erfolgreiches Kriterium zur Herstellung stabiler Lotusschichten erwiesen.

Die letzte Frage nach der Messung der Schichtdicke reizt vermutlich besonders die Messtechnik-Fans. Mit einer Präzisionswaage kann man sich an diese Aufgabe heranwagen.

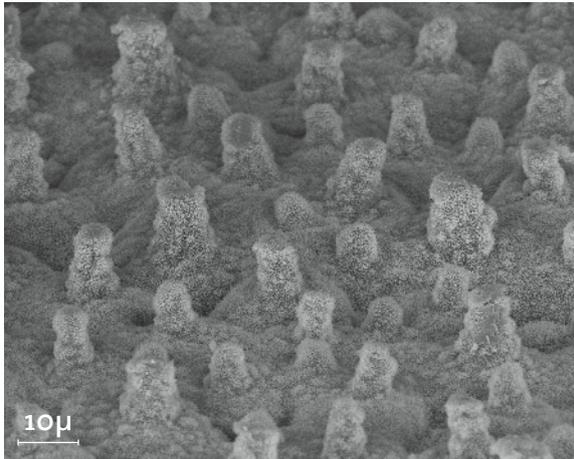
PRAXISTIPP

Wenn die Waage für eine Rußschicht zu ungenau ist, hilft es oft, viele Objektträger zu berußen, die Masse vor und nach dem Aufbringen der Rußschicht zu bestimmen und den Mittelwert über die Rußmenge zu bilden. Über die Dichte von Ruß (ca 1,8 g/cm³) kann man das Rußvolumen bestimmen und über die Abschätzung der Größe der beruften Fläche schließlich auf die Schichtdicke schließen.

SAUBER ABGEPERLT 3 – DAS LOTUS-LABOR

Dieses Forscherblatt kann auf ganz unterschiedliche Weise bearbeitet werden. Die SuS untersuchen unter anderem Nano-Produkte, die mit dem Lotuseffekt werben. Für die jungen Forscher ist es faszinierend zu sehen, dass ihre einfache Rußschicht schon einige Produkte schlagen kann. Aber auch hier ist die Welt der Forschungsfragen sehr offen. Vom Vergleich der Haltbarkeit über das Verhalten gegenüber unterschiedlichen Flüssigkeiten ergibt sich ein Praxistest, der je nach gewähltem Vergleichsprodukt ganz unterschiedlich ausfallen kann. Spannend ist es, anschließend gemeinsam nach Erklärungsmodellen für die Effekte zu suchen – dann steckt man mitten in der Wissenschaft.

Reizvoll ist auch die Untersuchung der Oberfläche mit dem Mikroskop. Man wird feststellen, dass die wirklich entscheidenden Strukturen zu klein sind für ein – auch sehr gutes – Mikroskop. Hier steht den



interessierten SuS der Schritt in die Welt der richtigen Forschung offen – mit Messungen an einem Elektronenmikroskop an einer Uni oder an einem Schülerforschungszentrum.

Untersucht werden kann außerdem ein Phänomen, das sich bei manchen Rußflächen auf dem Wassertropfen beobachten lässt. Es sammeln sich Rußteilchen auf der Tropfenoberfläche, die sich in verschiedenen Mustern bewegen. Der Grund sind vermutlich Konvektionen im Innern des Tropfens. Um das zu studieren und zu erklären, benötigt man bereits tiefe Physikkenntnisse – und es ist enorm spannend!

MATERIALIEN

Sie sollten mindestens eine Woche vorher mit Ihren Gruppen absprechen, welche Versuche geplant sind, um die entsprechenden Materialien mit ausreichend Vorlauf besorgen zu können.

Achtung! Es kann sein, dass auch elektrische Werkzeuge bzw. Geräte mit Stecker gemäß den Richtlinien für Sicherheit im Unterricht eingesetzt werden müssen.

PRAXISTIPP

Bitte achten Sie vor allem bei den käuflichen Lotusprodukten auf die Warnhinweise und auf eventuelle Gefahrstoffe. Wegen der vielen unterschiedlichen Produkte lässt sich die Gefährlichkeit und damit die Möglichkeit zum Einsatz der Produkte im Unterricht nicht generell beurteilen. Üblicherweise gehen von den Lotusprodukten neben den „normalen“ Gefahren wie Brennbarkeit o. Ä. keine weiteren Gefährdungen aus. Studieren Sie unbedingt die Gefahrensymbole auf den Produkten!

WEITERFÜHRENDE INFORMATIONEN

DER LOTUSEFFEKT

Die Ursache für die Lotus-Eigenschaft, die Wissenschaftler „superhydrophob“ nennen, liegt in der Struktur, die sich auf der Oberfläche im Nanometerbereich zeigt. Bei der Rußschicht sorgen winzige Gebirge aus Mikrostrukturen dafür, dass Tropfen wie auf einer Nano-Luftschicht surfen und nicht bis auf den Grund des Materials durchrutschen können. Das Besondere beim Ruß: Selbst Flüssigkeiten wie Seifenwasser, Alkohol oder Blut perlen ab. Dies ist tatsächlich erstaunlich, denn eigentlich sind diese Stoffe in der Lage, Oberflächen viel besser zu benetzen als Wasser. Eine Rußschicht zeigt damit ein sogenanntes „superamphiphobes“ Verhalten. Eine ausführliche und interessante Einführung in die Thematik „Lotuseffekt von Rußschichten“ hat die Max-Planck-Gesellschaft herausgegeben. Sie findet sich öffentlich zugänglich unter folgendem Link:

https://www.mpg.de/7540945/W004_Material_Technik_064-071.pdf

WETTBEWERB ZUM ABSCHLUSS

Am Ende der Einheit „Saubere abgeperlt“ kann ein Wettbewerb stattfinden. Wir schlagen Folgendes vor:

WER IST DER BESTE LOTUS-INGENIEUR?

Erfinde mit drei unterschiedlichen Kerzen ein Verfahren, mit dem sich ein Objektträger so beruhen lässt, dass er eine möglichst stabile Lotusschicht aufweist. Gewonnen hat die Rußschicht, die den meisten Tropfen aus 10 cm Höhe standhält, ohne die Lotuseigenschaft zu verlieren.

SAUBER ABGEPERLT 1 – EIN RUSSIGER EINSTIEG

Forscher-Checkliste	
	Löffel in verschiedenen Größen
	unterschiedliche Kerzen (oder/und Brennpaste, Grillanzünder ...)
	Wasserglas
	Streichhölzer oder Feuerzeug
	Pipette
	Wasser
	feuerfeste Unterlage, notfalls Alufolie für den Tisch

Kaum zu glauben: Hier machen wir mit Schmutz sauber! An einer „dreckigen“ Schicht Ruß perlt Wasser ab. Diese Eigenschaft, Wasser oder andere Stoffe von einer Oberfläche abzuweisen und Tropfen auf der Oberfläche wie Murmeln herunterlaufen zu lassen, nennt man den „Lotuseffekt“.

Auf dem Weg zum Lotus-Spezialisten für perfekte Schutzschichten hier zum Einstieg zwei spannende Forscheraufgaben:

- ▶ Wie lässt sich eine möglichst gute Lotus-Rußschicht erzeugen?
- ▶ Welche Kerzen bzw. Brennmaterialien führen zu den besten Ergebnissen?

VORBEREITUNGEN

Besprich in deiner Gruppe die einzelnen Forschungsschritte und hole erst dann das Material in den Mengen, die ihr tatsächlich benötigt. Erst wenn alles am Arbeitsplatz ist, solltet ihr mit den Untersuchungen beginnen.

ERSTER EINTRAG INS LABORBUCH

- ▶ Name des Forscherblattes, Datum
- ▶ Mitglieder der Gruppe mit Aufgabenzuordnung (Protokoll? Zeitmanager?)
- ▶ Welche Art von Löffel wird benutzt?
- ▶ Auf welcher Seite soll der Löffel berußt werden?
- ▶ Erstelle eine Tabelle für die Versuchsergebnisse.

DURCHFÜHRUNG VERSUCH 1

- ▶ Fülle das Glas bis zur Hälfte mit Wasser.
- ▶ Stelle eine Kerze auf den Labortisch (feuerfeste Unterlage nicht vergessen!) und zünde diese an.
- ▶ Halte den Löffel mit der gewählten Seite schräg



so über die Flamme, dass diese rußt und sich eine Rußschicht auf der Oberfläche des Löffels bildet.

- ▶ Achtung! Der Löffel wird sehr heiß!
- ▶ Lass den Löffel abkühlen.
- ▶ Entnimm mit der Pipette Wasser aus dem Glas und gib einen Tropfen in oder auf den Löffel.
- ▶ Für besonders Aufgeweckte: Miss jeweils die Zeit, die der Löffel über die Kerze gehalten wird.

DAS GEHÖRT INS LABORBUCH

- ▶ Notiere deine Beobachtungen zum Versuch.
- ▶ Wie verhält sich der Wassertropfen auf der berußten Fläche?
- ▶ Wie verhält sich im Vergleich dazu ein Wassertropfen normalerweise in oder auf einem Löffel? Beschreibe den Unterschied.

DURCHFÜHRUNG VERSUCH 2

- ▶ Wiederhole die Arbeitsschritte aus Versuch 1 mit vier Löffeln, die du nach unterschiedlichen Verfahren mit einer Rußschicht versiehst. Ändere dabei entweder den Löffel, die Zeit über der Kerze oder die Höhe, in der du den Löffel über die Kerze hältst. Du kannst natürlich auch verschiedene Kerzen testen.

Achtung: Bei diesem Versuch ist es sehr wichtig, dass immer nur eine Sache geändert wird. Wenn du die Höhe über der Kerze erforschen willst, dann nimm immer gleiche Löffel, die gleiche Kerze und die gleiche Löffelform. Beobachte genau die Unterschiede zwischen den einzelnen Versuchen.

AUCH DAS GEHÖRT INS LABORBUCH

- ▶ Notiere deine Beobachtungen zum Versuch.
- ▶ Wie verhält sich das Wasser auf den unterschiedlich berußten Oberflächen? Entdeckst du Gemeinsamkeiten und Unterschiede? Schau genau hin!
- ▶ Was ist deiner Meinung nach die beste Art, eine Lotus-Rußschicht herzustellen?

Wenn du mit beiden Versuchen fertig bist, räume alle Materialien wieder auf, reinige den Löffel mit Spülmittel und Wasser und putze deinen Arbeitsplatz.

ZUM SCHLUSS

- ▶ Hast du ein Verfahren, eine Kerze und einen Löffel gefunden, bei dem es besonders gut funktioniert?

SAUBER ABGEPERLT 2 – LOTUS UNTER DER LUPE

Forscher-Checkliste	
	Messer
	Waage
	Stoppuhr
	Thermometer
	verschiedene Platten, Plättchen, Glasschalen ...
	Holzspatel
	Bunsenbrenner
	verschiedene Flüssigkeiten in unterschiedlichen Konzentrationen: Honig, Öl, Essig, Seifenlösung ...
	Blumenerde
	Kreide
	Pudierzucker
	Außerdem brauchst du natürlich wieder die Dinge zum Beruhen und Testen vom vorigen Forscherblatt (Sauber abgeperlt 1 - ein ruhiger Einstieg).

Als echter Forscher kannst du nun noch genauer herausfinden, wie der Lotuseffekt von der Flüssigkeit und der Oberfläche abhängt. Sprich dich mit deiner Gruppe ab, welche der genannten Fragen ihr in welcher Rei-

henfolge bearbeiten wollt. Vielleicht interessiert dich auch eine andere Fragestellung zum Lotuseffekt und du möchtest in dieser Richtung forschen. Eure Lehrkraft wird euch informieren, wie viel Zeit ihr für eure Forschung habt.

VORBEREITUNGEN

Ihr werdet erneut Versuche und auch Messungen durchführen. Es ist sinnvoll, die Aufgaben vorab zu verteilen:

- ▶ Denkt an den „Ersten Eintrag ins Laborbuch“.
- ▶ Wer kann sorgfältig Protokoll schreiben? Wechselt euch dabei ab.
- ▶ Wer kann geschickt mit den Materialien umgehen?
- ▶ Wer kann Messwerte exakt ablesen und klar diktieren?
- ▶ Mit welcher Forscherfrage will die Gruppe beginnen?



ALLGEMEINE UNTERSUCHUNGEN

Bearbeite die folgenden Forscherfragen:

- ▶ Wie lange hält sich ein Tropfen auf der Rußschicht stabil?
- ▶ Wie könnte man die Haltbarkeit der Rußschicht testen? (Wie gut kann man den Effekt „wegwaschen“?)
- ▶ Wie hängt der Lotuseffekt von der Größe des Tropfens ab?
- ▶ Welche Rolle spielt es, ob man die Rußschicht über mehrere Stunden/Tage stehen lässt?
- ▶ Welche Materialien lassen sich berußen? Welchen Einfluss hat ein anderes Material für den Untergrund auf den Lotuseffekt?
- ▶ Wie ändert sich der Lotuseffekt, wenn man andere Rußquellen benutzt als Kerzen? (Holz, Brennpaste ...)
- ▶ Man kann auch einzelne Rußschichten nacheinander aufbringen. Dabei kannst du entweder zwischendurch das Material immer wieder abkühlen lassen oder auch unterschiedliche Kerzen nacheinander benutzen. Wie hängt der Lotuseffekt vom Verfahren ab, mit dem die Oberfläche berußt wird?

DAS GEHÖRT INS LABORBUCH

- ▶ Name des Forscherblattes, Datum
- ▶ Mitglieder der Gruppe mit Aufgabenzuordnung
- ▶ Welche Fragen hast du (heute) bearbeitet?
- ▶ Bei Messungen: Trage alle gemessenen Werte mit Einheiten in übersichtliche Tabellen ein.
- ▶ Welche Ergebnisse hast du erhalten? Formuliere sie in Sätzen.
- ▶ Vermutest du schon Zusammenhänge?
- ▶ Konntest du Fragen nicht beantworten? Nenne den Grund.
- ▶ Was willst du in der nächsten Stunde untersuchen?

UNTERSUCHUNGEN FÜR SPEZIALISTEN

- ▶ Wie gut funktioniert der Lotuseffekt bei anderen Flüssigkeiten (Honig, Klebstoff, Speiseöl, Spülmittel)?
- ▶ Wie gut haftet eigentlich Schmutz (Blumenerde, Kreide, Puderzucker ...) auf dem Lotuseffekt-Löffel? Lässt er sich mit Wasser abwaschen?
- ▶ Wie unterscheidet sich der Lotuseffekt auf flachen (Messer) und gebogenen (Löffel) Gegenständen?
- ▶ Wie kann man den Lotuseffekt möglichst einfach zerstören?
- ▶ Kann man den Lotuseffekt möglichst lange haltbar machen oder ihn mit anderen Stoffen irgendwie verstärken?
- ▶ Wie verändert die Temperatur des Löffels vor dem Berußen den Lotuseffekt?
- ▶ Schaffst du es, eine Oberfläche genau gleich zu berußen wie die andere? (Tipp: Bau dir einen „Berußungsapparat“.)
- ▶ Wie kannst du mit einfachen Mitteln die Schichtdicke messen?

SAUBER ABGEPERLT 3 – DAS LOTUS-LABOR

Forscher-Checkliste	
	Pflanzen zum Untersuchen (Kapuzinerkresse, Kohlrabiblätter, Tulpe ...)
	technische Lotuseffekt-Produkte (Wandfarbe, Scheibenklar, Textilien, Kunststoffe ...)
	Mikroskop
	Außerdem brauchst du natürlich wieder die Dinge zum Berußen vom ersten Forscherblatt (Sauber abgeperlt 1 – ein rußiger Einstieg).

Jetzt wirst du zum wahren Lotus-Spezialisten. Du hast schon erforscht, wie dein selbst hergestellter Lotuseffekt funktioniert und wie du ihn am besten entwickeln kannst. Jetzt geht es um den Vergleich mit pflanzlichen und technischen Lotuseffekten.

LOTUS-VERGLEICHE

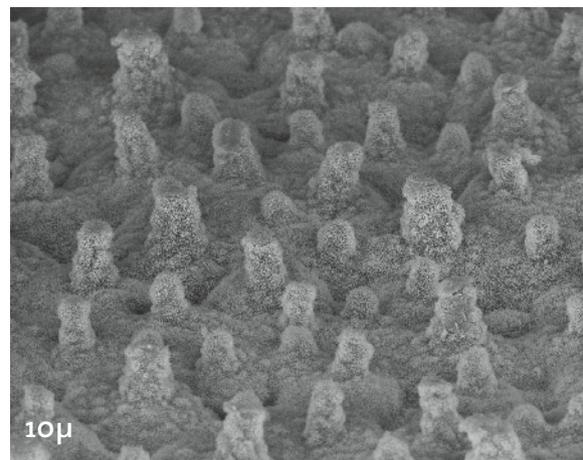
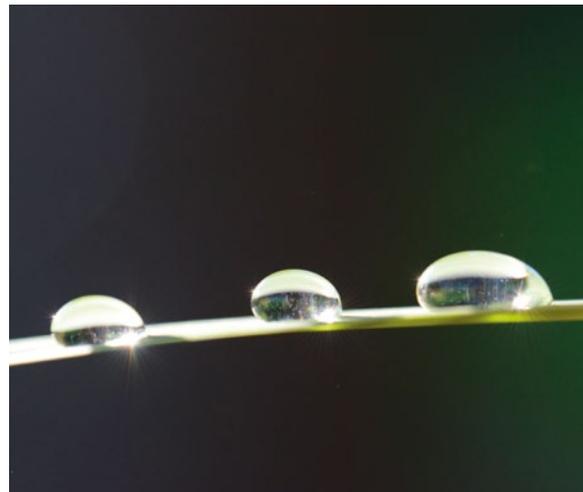
- ▶ Die Blätter folgender Pflanzen zeigen den Lotuseffekt ebenfalls: Kapuzinerkresse, Kohlrabi, Tulpe, Weihnachtsstern, Banane, Wicke. Welche Unterschiede findest du zu deinem Lotus-Löffel?
- ▶ Wie sehen die Oberflächen der Pflanzen unter dem Mikroskop aus?
- ▶ Schau dir eine berußte Oberfläche unter dem Mikroskop an. Wie sieht die natürliche Lotusoberfläche im Vergleich dazu aus?
- ▶ Untersuche und vergleiche deine Ergebnisse mit den Eigenschaften käuflicher Lotuseffekt-Produkte: Wandfarbe, Scheibenklar, Textilien, Kunststoffe ...
- ▶ Du kannst ganz verschiedene Eigenschaften vergleichen: Auswirkung von kleinen und großen Tropfen, Haltbarkeit, Dauer des Effekts in Tagen oder Wochen, Verhalten bei unterschiedlichen Flüssigkeiten etc.
- ▶ Wie verhalten sich eigentlich die Lotuseffekt-Oberflächen aus Natur und Technik, wenn man sie zusätzlich berußt?
- ▶ Schau genau hin: Auf manchen Tropfen sammeln sich Rußteilchen, die sich in bestimmten Mustern zu bewegen scheinen. Untersuche, wovon die Bildung und Bewegung dieser Rußteilchen abhängt.

EINEN FORSCHERPREIS GIBT ES NUR MIT LABORBUCH!

Du wirst viel ausprobieren und kannst nur mit einem sorgfältig geführten Laborbuch den Überblick behalten. Hier zwei Tipps:

- ▶ Ein Gruppenmitglied wird bestimmt, das während der Versuche Notizen macht und die Messergebnisse aufschreibt.
- ▶ Ein anderes Gruppenmitglied achtet darauf, dass nach abgeschlossenen Teilversuchen die Notizen und Ergebnisse im Laborbuch vollständig sind.

Die Laborbuchhinweise aus den vorigen Versuchsreihen gelten auch hier.



HINWEISE AUF LINKS UND QR-CODES



www.sfz-bw.de/forschen-in-der-schule
(HINWEISE AUF DEN SEITEN 12, 13, 37, 47, 48, 50, 78)



www.chemie.de/lexikon/Gelatine.html
(HINWEIS AUF SEITE 38)



www.welt.de/print-welt/article698879/Raue-Oberflaeche-harter-Kern-die-perfekte-Pasta.html
(HINWEIS AUF SEITE 27)



www.youtube.com/watch?v=yymQsXte_Z8
(HINWEIS AUF SEITE 38)



www.techniklexikon.net/d/viskositaeet/viskositaeet.htm
(HINWEIS AUF SEITE 29)

HINWEISE AUF LINKS UND QR-CODES



www.chemie.de/lexikon/Seifenblase
(HINWEIS AUF SEITE 71)



https://www.mpg.de/7540945/W004_Material_TECHNIK_064-071.PDF
(HINWEIS AUF SEITE 87)

ÜBERSICHT ÜBER DIE DATEIEN, DIE SIE UNTER FOLGENDEM LINK FINDEN:



<https://bit.ly/3PWEwBa>

INHALT DES BUCHES ALS GESAMT-PDF

ALLE FORSCHER- UND INFOBLÄTTER ZU DEN EINZELNEN
MODULEN ALS EINZEL-PDFS

VIDEOS MIT BAUANLEITUNGEN UND VERSUCHEN

ALLE HINWEISE FÜR LEHRENDE ALS EINZEL-PDFS

GEFÄHRDUNGSBEURTEILUNGEN UND
BETRIEBSANWEISUNGEN ALS EINZEL-PDFS

IMPRESSUM

3. AUFLAGE, SEPTEMBER 2022

HERAUSGEBERIN

Baden-Württemberg Stiftung gGmbH
Kriegsbergstraße 42
70174 Stuttgart

VERANTWORTLICH

Birgit Pfizenmaier, Baden-Württemberg Stiftung

AUTOREN

Tobias Beck, Daniela Bernlöhr, Georg Däges, Manuel Vogel, SFZ Südwürttemberg, Bad Saulgau

REDAKTION

Hanne Lier, Medienwerk Lier, Stuttgart

PROJEKTKOORDINATION UND HERSTELLUNG

Claudia Conrady und Tanja Zunder, Klett MINT

GESTALTUNG

Cyclus, Visuelle Kommunikation, Stuttgart

ILLUSTRATIONEN

Daniel Neumann, Graphische Produktionen Neumann, Rimpar

BILDBEARBEITUNG

Till Traub, Bildwerkstatt, Leonberg

KORREKTORAT

Karin Rossnagel, Stuttgart

REPRODUKTION UND DRUCK

C. Maurer GmbH & Co. KG, Geislingen/Steige

BILDQUELLENACHWEIS

Wo nicht anders angegeben, stammen die Fotos vom Schülerforschungszentrum Südwürttemberg.

Titelbild: Fstop/F1online

S. 007: picture alliance

S. 013: fotolia 98435656/Westend61

S. 015: Universum Bremen

S. 025: fotolia 86356296/jenifoto

S. 031: fotolia 54947138/arinahabich

S. 033: fotolia 48530301/Jana Behr und

fotolia 53866922/EM art

S. 036: fotolia 79246635/Schlierner

S. 040: fotolia 28143723 und fotolia 28143756/
johannesspreter

S. 042: fotolia 61590922/Osterland

S. 055: fotolia 81499744/denys shutter

S. 057: Volker Rust

S. 070: Hagemann und Partner Bildungsmedien
Verlagsgesellschaft mbH

S. 072: fotolia 85856967/beletskaya18

S. 074: fotolia 90895562/pirotechnik

S. 086: Max-Planck-Institut für Polymerforschung,
Gunnar Glasser

S. 087: Max-Planck-Institut für Polymerforschung,
Gunnar Glasser

S. 088: Bildwerkstatt, Till Traub

S. 090: Bildwerkstatt, Till Traub

S. 092: Bildwerkstatt, Till Traub und Max-Planck-Ins-
titut für Polymerforschung, Gunnar Glasser

Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Jede Nutzung in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen bedarf der vorherigen schriftlichen Einwilligung der Baden-Württemberg Stiftung und des Verlages. Hinweis § 52 a UrhG: Weder das Werk noch seine Teile dürfen ohne eine solche Einwilligung eingescannt und in ein Netzwerk eingestellt werden. Dies gilt auch für Intranets von Schulen und sonstigen Bildungseinrichtungen. Fotomechanische oder andere Wiedergabeverfahren nur mit Genehmigung der Baden-Württemberg Stiftung und des Verlages.

Auf verschiedenen Seiten dieses Heftes befinden sich Verweise (Links) auf Internetadressen. Haftungsnotiz: Trotz sorgfältiger inhaltlicher Kontrolle wird die Haftung für die Inhalte der externen Seiten ausgeschlossen. Für den Inhalt dieser externen Seiten sind ausschließlich die Betreiber verantwortlich. Sollten Sie daher auf kostenpflichtige, illegale oder anstößige Seiten treffen, so bedauern wir dies ausdrücklich und bitten Sie, uns umgehend per E-Mail (c.conrady@klett-mint.de) davon in Kenntnis zu setzen, damit beim Nachdruck der Nachweis gelöscht wird.

Eine Zusammenarbeit von Baden-Württemberg Stiftung und Klett MINT

© Baden-Württemberg Stiftung gGmbH und Klett MINT GmbH, Stuttgart

3. AKTUALISIERTE AUFLAGE

NEU: PROJEKTANTRAG JETZT GANZJÄHRIG MÖGLICH

DIE BADEN-WÜRTTEMBERG STIFTUNG setzt sich für ein lebendiges und lebenswertes Baden-Württemberg ein. Sie ebnet den Weg für Spitzenforschung, vielfältige Bildungsmaßnahmen und den verantwortungsbewussten Umgang mit unseren Mitmenschen. Die Baden-Württemberg Stiftung ist eine der großen operativen Stiftungen in Deutschland. Sie ist die einzige, die ausschließlich und überparteilich in die Zukunft Baden-Württembergs investiert – und damit in die Zukunft seiner Bürgerinnen und Bürger.



Baden-Württemberg Stiftung gGmbH
Kriegsbergstraße 42, 70174 Stuttgart
Tel +49 (0) 711 248 476-0 · Fax +49 (0) 711 248 476-50
info@bwstiftung.de · www.bwstiftung.de

Ferry Porsche
STIFTUNG

**Baden-
Württemberg
Stiftung** 
WIR STIFTEN ZUKUNFT