

■ INHALT

Einleitung	4
1 Experimentieren	5
1.1 Was ist ein Experiment?	5
1.2 Das experimentelle Vorgehen	10
2 Offenes Experimentieren	13
2.1 Was ist offenes Experimentieren?	13
2.2 Beispiel zur Veranschaulichung von geschlossenem und offenem Experimentieren	16
2.3 Ziele des offenen Experimentierens	17
3 Die naturwissenschaftliche Fragestellung	19
3.1 Was ist eine naturwissenschaftliche Fragestellung?	19
3.2 Vermittlung von Kompetenzen zur naturwissenschaftlichen Fragestellung	19
4 Die Hypothese	23
4.1 Was ist eine Hypothese?	23
4.2 Vorschläge/Anregungen für den Unterricht	26
5 Die Planung und Durchführung von Experimenten	29
5.1 Die Bedeutung einer selbstständigen Planung und Durchführung	29
5.2 Vorschläge/Anregungen für den Unterricht	30
5.3 Das Experimentierprotokoll	34
6 Die Auswertung eines Experiments	36
6.1 Teilschritte bei der Auswertung eines Experiments	36
6.2 Vermittlung von Kompetenzen zur Auswertung eines Experiments	36
7 Offene Experimente für den Unterricht	
Materialien, Anregungen und Ideen	43

Alle im E-Book erwähnten Materialien finden Sie im beiliegenden Zusatzmaterial.



**netzwerk
lernen**

Armin Baur, Uwe Ehrenfeld, Eberhard Hummel, Evelin Schröter: Naturwissenschaften zum Leben erwecken: Ph
© Persen Verlag

zur Vollversion

■ EINLEITUNG

In den Domänen der naturwissenschaftlichen Fachdidaktik – Biologie, Chemie, Physik – genießt das Experiment seit jeher einen hohen Stellenwert und ist unumstrittener Bestandteil eines guten naturwissenschaftlichen Unterrichts. Nicht zuletzt seit Einführung der Bildungsstandards wird das problemorientierte, selbstplanende Experimentieren als komplexe Kompetenz von Schülern¹ erwartet. Um diese komplexe Kompetenz auszubilden, darf Experimentieren im Unterricht nicht nur auf das Nacharbeiten von vorgegebenen Experimentieranleitungen beschränkt bleiben. Schüler müssen Experimente problemorientiert – zur Beantwortung von naturwissenschaftlichen Fragestellungen – selbst planen, durchführen und auswerten. Dies stellt hohe Anforderungen an den naturwissenschaftlichen Unterricht und die unterrichtenden Lehrer. Schüler müssen

- die den Experimentierprozess bildenden Phasen kennen und verstehen lernen,
- Fertigkeiten und Fähigkeiten erlernen, um experimentelle Anordnungen aufzubauen und den Experimentierprozess durchzuführen,
- ein Ursache-Wirkungs-Denken entwickeln,
- die Variablenkontrollstrategie kennen und anwenden lernen,
- mit Sicherheitsaspekten vertraut sein sowie
- Fähigkeiten zum Interpretieren von Ergebnissen und Ziehen von Schlussfolgerungen erwerben.

Dieses Buch bietet hierfür einen Theorierahmen sowie Anregungen und Beispiele für die Gestaltung von Lehr-Lernprozessen.

Zur Vermittlung und zum Erlernen von Kompetenzen zum selbstständigen, problem- und erkenntnisorientierten Experimentieren empfehlen die Autoren als geeignete Form bzw. Methode das offene Experimentieren. Unter offenem Experimentieren verstehen sie eine gradierbare Methode mit der Möglichkeit, gezielt einzelne Phasen des Experimentierprozesses auf die Lerngruppe und den Sachinhalt abgestimmt zu öffnen. Diese Gradierung ist als Hilfsmittel zu verstehen, um Schüler an das Ziel zu führen, selbstständig komplett offene Experimente gestalten zu können.

Im Buch wird zuerst der Begriff des Experimentierens konkretisiert, das offene Experimentieren definiert und in unterschiedlichen Öffnungsgraden beschrieben, ein mögliches Vorgehen für den Unterricht skizziert und Beispiele zum offenen Experimentieren mit Unterrichtsmaterialien vorgestellt. Es ist den Autoren wichtig zu betonen, dass alle beschriebenen Unterrichtsstunden als Beispiele zur Veranschaulichung gedacht sind und individuelle Veränderungen bei der Umsetzung oder den Materialien möglich, nein sogar erwünscht sind.

Sinnvoll erscheint es, die Kompetenzen zum Experimentieren zusammen mit Kollegen aus den Domänen Biologie und Chemie zu vermitteln. Um bei Bedarf die Möglichkeit des fächerübergreifenden oder integrativen Unterrichts zu bieten, wurden daher für die Fächer Biologie und Chemie gleichartige Bücher erstellt, die sich durch die enthaltenen Unterrichtsbeispiele und Unterrichtsmaterialien unterscheiden:

Naturwissenschaften zum Leben erwecken: Biologie
ISBN: 978-3-403-20096-3 (Print), 978-3-403-50096-4 (E-Book)

Naturwissenschaften zum Leben erwecken: Chemie
ISBN: 978-3-403-20097-0 (Print), 978-3-403-50097-1 (E-Book)

¹ Das generische Maskulinum bezeichnet hier und in den folgenden Vergleichen

1 EXPERIMENTIEREN

1.1 WAS IST EIN EXPERIMENT?

Unter einem naturwissenschaftlichen Experiment versteht man die Untersuchung eines Naturphänomens, die unter festgelegten Bedingungen stattfindet und zur Ermittlung von neuen Erkenntnissen (Regelhaftigkeiten, Gesetzmäßigkeiten) oder zur Prüfung von Erkenntnissen ausgeführt wird (Graf, 2013; Schulz, Wirtz & Staraschek, 2012; Berck & Graf, 2003):

Untersuchung: Eine Untersuchung ist eine naturwissenschaftliche Arbeitsweise, bei der während des Betrachtens/Beobachtens gezielt auf ein Objekt eingewirkt oder in ein System eingegriffen wird (Killemann, Hiering & Starosta, 2013). Der Eingriff bei einer Untersuchung kann eine Veränderung von Bedingungen (Druck, Temperatur, anliegende elektrische Spannung), eine Einwirkung auf einen Körper (z. B. durch eine äußere Kraft) oder Ähnliches sein.

Festgelegte Bedingungen: Beim Experimentieren werden alle relevanten Faktoren (Variablen) kontrolliert und weitestgehend konstant gehalten. Es wird (in der Regel) nur ein Faktor gezielt verändert (variiert). Der Faktor, der variiert wird, heißt unabhängige Variable. Es gibt häufig weitere (unabhängige) Faktoren, die aber nicht variiert werden.

Wirkung: Die physikalische Größe, die bei einem Experiment als Wirkung auf die unabhängige Variable erfasst wird, wird abhängige Variable genannt.

Das Variieren immer nur eines Faktors und das Konstanthalten der anderen Faktoren wird als *Variablenkontrollstrategie* bezeichnet. Dadurch ist eine sichere Aussage über die Wirkung der unabhängigen Variable auf die abhängige Variable möglich.

Beispiel: Tauchen wir einen voluminösen Stein in Wasser ein, so nehmen wir wahr, dass sich sein Gewicht in Wasser scheinbar verringert. Umgekehrt verhält es sich beim Herausziehen des Steins aus dem Wasser. Wir schließen daraus, dass durch das Wasser eine Kraft hervorgerufen wird, die der Gewichtskraft des Steins entgegen gerichtet ist. Diese Kraft wird Auftriebskraft (statischer Auftrieb) genannt.

Fragestellung: Verändert sich die Auftriebskraft, die der Stein erfährt, wenn der Stein statt in Wasser in eine andere Flüssigkeit eingetaucht wird?

Fachwissenschaftliche Formulierung: Beeinflusst die Dichte der Flüssigkeit, in die ein Körper eintaucht, den Betrag der statischen Auftriebskraft, die der Körper erfährt?

Vermutete relevante Faktoren: Material (Stoff) aus dem der Körper besteht, Masse des Körpers, Volumen des Körpers, Eigenschaften der Flüssigkeit (z. B. die Dichte), in die der Körper eintaucht, ...

Unabhängige Variable (die verändert werden soll): Dichte der Flüssigkeit (z. B. Wasser ca. $1,0 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$, Sonnenblumenöl $0,8 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$, Glycerin $1,3 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$)

Abhängige Variable: die Auftriebskraft, die der eingetauchte Körper erfährt

Variablenkontrollstrategie:

1. Es wird festgelegt, dass der Körper immer vollständig eintauchen soll.
2. Es wird immer derselbe Körper verwendet, sodass alle Eigenschaften des Körpers (Material, Masse, Volumen, ...) konstant bleiben.

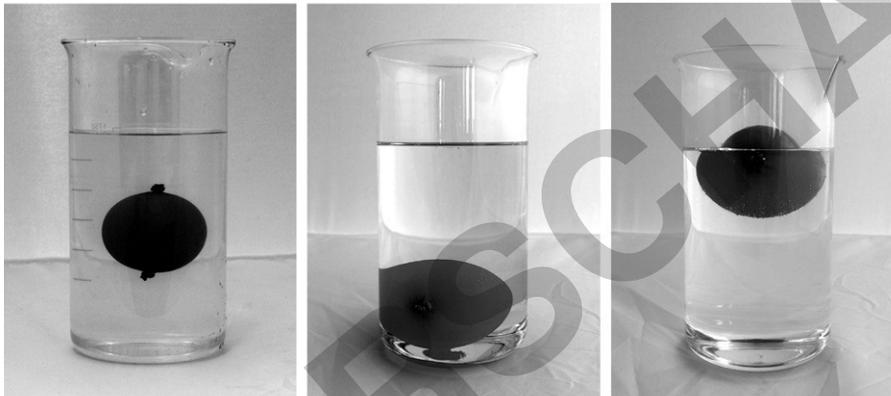


Abb. 1.1: Beispiel: Experiment „Beeinflusst die Dichte der Flüssigkeit den Auftrieb, den der Körper erfährt?“

Verwendeter Körper:

mit Wasser gefüllter Ballon;

Bild links: Wasserballon in Wasser;

Bild Mitte: Wasserballon in Öl;

Bild rechts: Wasserballon in Glycerin

Die Veränderung bezüglich der abhängigen Variable ist das, was beim Experiment gemessen, betrachtet oder auf eine andere Art ermittelt wird. Im ersten Beispiel ist das der Betrag der Auftriebskraft. Das Erfassen einer Veränderung bezüglich der abhängigen Variable kann qualitativ oder quantitativ geschehen:

Qualitativ: Die Veränderung der abhängigen Variable wird nicht über Zahlenwerte gemessen, da dies generell oder mit den Möglichkeiten der Schule nicht machbar ist oder eine dem Alter des Lernenden entsprechende Vereinfachung das erfordert (Elementarisierung). Es wird durch kriteriale Beobachtung erhoben, ob eine Veränderung auftritt oder nicht. „Das qualitative Experiment lässt Ja/Nein-Antworten zu.“ (Frischknecht-Tobler & Labudde, 2010, S. 138)

Beispiel eines qualitativen Experiments: Es soll die elektrische Leitfähigkeit von Flüssigkeiten untersucht werden. Demineralisiertes (destilliertes) Wasser leitet den elektrischen Strom nicht, da keine freien Ladungsträger vorhanden sind. Durch Auflösen von Salz (NaCl) oder Zitronensäure bilden sich im Wasser Ionen, die als Ladungsträger dienen können. Das Wasser wird leitfähig.

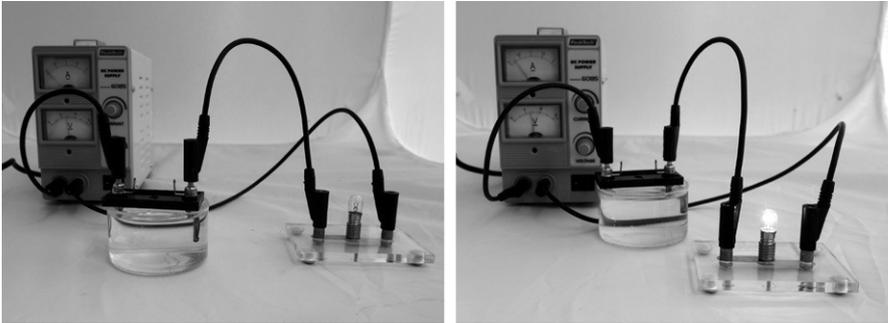


Abb. 1.2: Beispiel: Qualitatives Experiment zur Frage „Verändern Ionen die elektrische Leitfähigkeit von Wasser?“

Bild links: demineralisiertes Wasser;

Bild rechts: Wasser mit NaCl

Fragestellung: Verändern Ionen die elektrische Leitfähigkeit von Wasser?

Unabhängige Variable: Auftreten von Ionen

Abhängige Variable: Leitfähigkeit für elektrischen Strom; Indikator: Lämpchen

Variablenkontrollstrategie: Es wird ein einfacher Stromkreis aus einer Spannungsquelle (mit Schalter), zwei Kontakten, die in das Becherglas mit der Flüssigkeit eintauchen, und einem Glühlämpchen aufgebaut. An der Spannungsquelle bleibt die Spannung (= Antrieb für den elektrischen Strom) unverändert! Ebenso wird immer dasselbe Glühlämpchen als Indikator für den elektrischen Strom verwendet.

Erwartetes Ergebnis: Das Lämpchen leuchtet, wenn die Flüssigkeit leitfähig ist.

Quantitativ: Die abhängige Variable kann in unterschiedlichen Ausprägungen/Werten gemessen werden.

Beispiel eines quantitativen Experiments: Es soll die elektrische Leitfähigkeit von Flüssigkeiten untersucht werden.

Fragestellung: Verändern Ionen die elektrische Leitfähigkeit von Wasser?

Unabhängige Variable: Auftreten von Ionen

Abhängige Variable: Leitfähigkeit für elektrischen Strom; Indikator: Stromstärke

Variablenkontrollstrategie: Es wird ein einfacher Stromkreis aus einer Spannungsquelle (mit Schalter), zwei Kontakten, die in das Becherglas mit der Flüssigkeit eintauchen, und einem Stromstärkemessgerät (Amperemeter oder Multimeter) aufgebaut. An der Spannungsquelle bleibt die Spannung unverändert! Ebenso wird immer dasselbe Messgerät im gleichen Messbereich verwendet.

Erwartetes Ergebnis: Je höher die Leitfähigkeit, desto größer die Stromstärke.

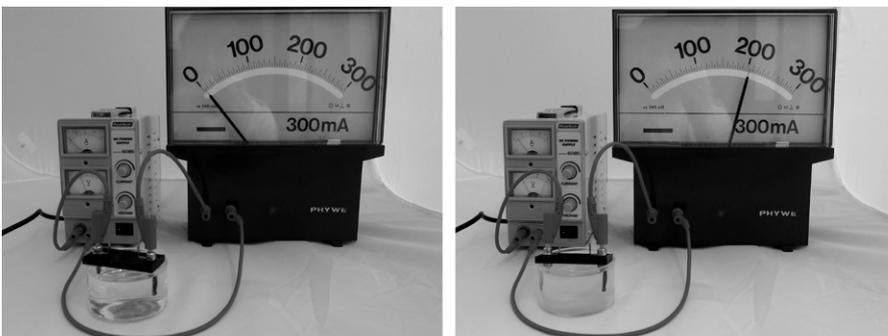


Abb. 1.3: Beispiel: Quantitatives Experiment zur Fragestellung „Verändern Ionen die elektrische Leitfähigkeit von Wasser?“

Bild links: demineralisiertes Wasser;

Bild rechts: Wasser mit NaCl

Ein untersuchter Faktor (unabhängige Variable) hat dann einen Einfluss, wenn sich durch Änderung der unabhängigen Variable die abhängige Variable ebenfalls verändert.

1.2 DAS EXPERIMENTELLE VORGEHEN

Beim Experimentieren wirft man häufig ausgehend von einem Phänomen eine Frage (siehe auch Kapitel 3, S. 19) auf, die experimentell untersucht werden soll. Um neue Erkenntnisse mithilfe eines Experiments zu gewinnen oder um hierüber Erkenntnisse zu prüfen, ist ein strukturiertes, methodisches Vorgehen wichtig. Für die Schule sind beim experimentellen Vorgehen zwei unterschiedliche Möglichkeiten zentral: das theoriegeleitete Vorgehen und das explorative (das heißt erkundende, entdeckende) Vorgehen. Diese beiden Möglichkeiten bilden in der Naturwissenschaft eigentlich keine „[...] scharfe Dichotomie, sondern stellen die Pole eines ganzen Spektrums [...] dar“ (Steinle, 2004, S. 51).

1.2.1 Das theoriegeleitete Vorgehen

Beim theoriegeleiteten Vorgehen – der Standardauffassung vom Experimentieren (ebd.) – stellt man ausgehend von einem Phänomen eine Fragestellung (siehe auch Kapitel 3, S. 19) auf. Zur Fragestellung leitet man aus dem fachlichen Vorwissen (dem Theorierahmen) heraus eine Hypothese (Vermutung) ab, die dann durch ein Experiment bestätigt oder widerlegt werden soll. Die Hypothese ist eine der theoretisch möglichen Antworten auf die Frage (siehe auch Kapitel 4, S. 23) und das Experiment hat die Funktion, die aufgestellte „Theorie“ (theoriegeleitete Hypothese) zu testen.

Exkurs: Das Gegenteil der Hypothese ist die gegensätzliche Hypothese, die Nullhypothese. Die Alternativhypothese wird in der Wissenschaft Nullhypothese genannt. Beim wissenschaftlichen experimentellen Verfahren wird nun nicht, wie man annehmen könnte, direkt die Wahrheit der Hypothese geprüft, sondern die Unwahrheit der Nullhypothese. Ist die Nullhypothese falsch, dann ist im Gegenschluss die Hypothese wahr – Prinzip der Zweiwertigkeit der Aussagenlogik (Bivalenzprinzip).

Beispiel: Experiment zur Fragestellung „Wodurch wird die elektrische Leitfähigkeit eines Materials hervorgerufen?“. Stellt man beispielsweise die Hypothese auf „Für elektrische Leitungsvorgänge (elektrischen Strom) sind Ladungsträger notwendig.“, dann testet man die Alternativhypothese „Für elektrische Leitungsvorgänge (elektrischen Strom) sind keine Ladungsträger notwendig.“ und baut entsprechend einen Versuchsansatz auf, bei dem z. B. demineralisiertes Wasser verwendet wird (und natürlich einen Kontrollansatz mit z. B. Wasser mit NaCl). Kann man im geschlossenen Stromkreis beim Ansatz mit demineralisiertem Wasser keine (bzw. eine extrem geringe) Stromstärke messen, jedoch eine Stromstärke beim Ansatz mit NaCl, ist die Alternativhypothese widerlegt und die Hypothese wird dann als wahr angesehen.

In der Wissenschaft gilt ein Sachverhalt so lange als wahr, bis er widerlegt wird.

Die Hypothese wird nun mithilfe des experimentellen Vorgehens (Abb. 1.5) deduktiv geprüft. Das induktive Vorgehen wird in der Wissenschaftstheorie kontrovers diskutiert. Ein bekannter Kritiker des induktiven Vorgehens ist Karl Popper, der immer wieder versucht hat zu zeigen, dass Induktion eine Illusion sei (z. B. Popper & Miller, 1983).

1.2.2 Das explorative Vorgehen

Im Gegensatz zum theoriegeleiteten Vorgehen leitet man beim explorativen Vorgehen seine Vermutung (Spekulation, Idee) nicht zuvor aus der Theorie (dem fachlichen Wissen) ab, da vielleicht noch keine kohärente

Wissensbasis zur Verfügung steht. Nichtsdestoweniger können aus der Kenntnis vergleichbarer Phänomene Erwartungen zum Ausgang eines Experiments entstehen, die beim explorativen Vorgehen die Rolle der Hypothese erfüllen. Insofern ist Exploration das Vorgehen, das vor allem von jüngeren Schülern aufgrund der verminderten Vorwissensbasis beim offenen Experimentieren (Begriffsdefinition Kapitel 2, S. 14) eingesetzt wird. Ein Nachteil des explorativen Vorgehens ist, dass unter Umständen sehr viele Experimentierdurchführungen erfolgen müssen, bis ein Ergebnis gefunden wird. Bei diesem Vorgehen ist die systematische Variation von Faktoren besonders wichtig, um Wissen über einzelne Einflussfaktoren zu generieren. Das explorative Vorgehen ist aber nicht nur ein von Kindern und Jugendlichen gewähltes Vorgehen, es hat in den Naturwissenschaften oft zu wichtigen Wissenserrungenschaften geführt: z. B. bei der Entdeckung von Charles Dufay, dass Elektrizität in zwei Polaritäten auftritt, oder bei der Entdeckung des Galvanismus (Steinle, 2004).

1.2.3 Die Schritte beim experimentellen Vorgehen

Die Bildung einer Hypothese (theoriegeleitet) oder einer Idee (explorativ) ist nach der Fragestellung der zweite Schritt beim experimentellen Vorgehen, woraufhin die Prüfung der Hypothese folgt.

Exkurs: Nach dem SDDS-Modell von David Klahr und Kevin Dunbar (*Scientific Discovery as Dual-Search-Modell*) findet Experimentieren in zwei „Problemräumen“ statt, die im Zuge der Problemlösung abwechselnd oder nach und nach durchsucht werden: der Hypothesen-Raum und der Experiment-Raum (siehe hierzu Klahr, 2000; Hammann, 2007). Im Hypothesen-Raum wird nach einer geeigneten Hypothese gesucht. Die Suche im Hypothesen-Raum ist eine gedanklich-kognitive Handlung. Nachdem eine geeignete Hypothese gefunden wurde, wird ein passendes Experiment abgeleitet (Planen eines Experiments), dies findet im Experiment-Raum (gedanklich-kognitiv) statt, das geplante Experiment wird danach durchgeführt (haptisch-psychomotorisch). Mit den gewonnenen Ergebnissen (Daten) aus dem Experiment wird nun die Hypothese geprüft. Die Validierung (Analyse von Evidenz) ist neben der Suche nach einer möglichen Hypothese (Suche im Hypothesen-Raum) und der Überlegung eines geeigneten Experiments (Suche im Experiment-Raum) die dritte kognitive Komponente des SDDS-Modells (siehe Abb. 1.4).

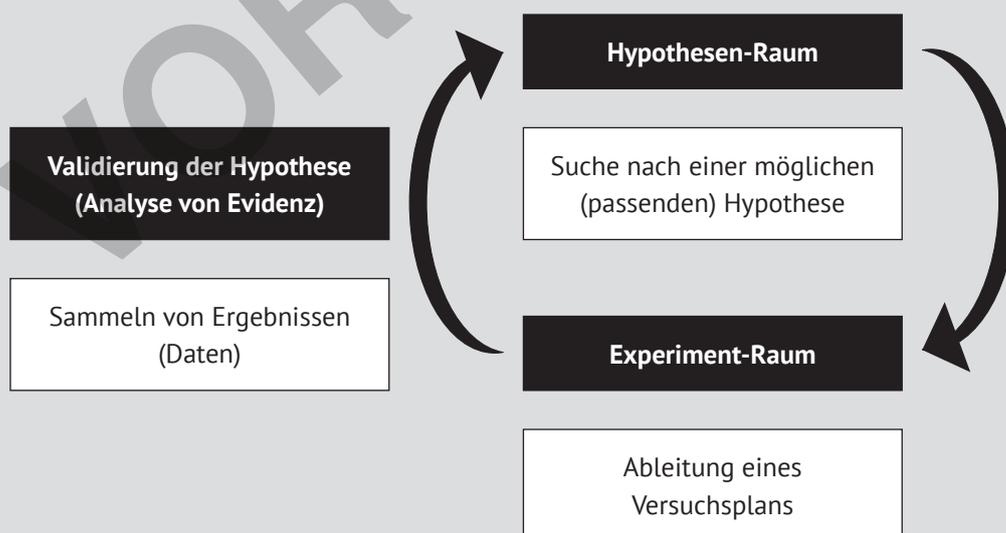


Abb. 1.4:
Komponenten des SDDS-Modells

Stellt man das experimentelle Vorgehen kleinschrittiger dar (in Anlehnung an ein Strukturmodell des wissenschaftlichen Denkens; Mayer, 2007), sind folgende Schritte zu durchlaufen:

Frage stellen → Hypothese bilden (theoriegeleitetes Vorgehen) / Idee (exploratives Vorgehen) → Experiment planen → Experiment durchführen → Experiment auswerten → Schlussfolgerung ziehen (siehe Abb. 1.5).

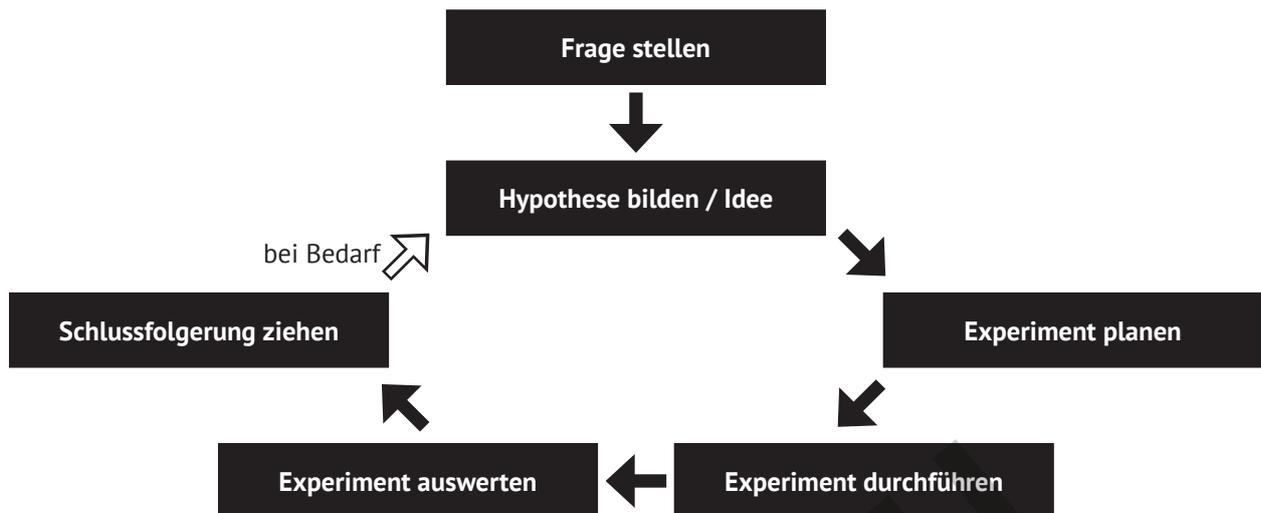


Abb. 1.5:
Experimentelles Vorgehen – kleinschrittige Darstellung

Die Schritte werden in der Literatur oft in Anlehnung an das SDDS-Modell zu drei Schritten zusammengeführt: Frage stellen → Experiment planen und durchführen → Schlussfolgerung ziehen (siehe z. B. Emden & Sumfleth, 2016; Klos et al., 2008).

Das Durchlaufen der einzelnen Schritte muss nicht linear erfolgen, oft ist es sinnvoll, einen oder mehrere Schritte zurückzugehen, um dann im erneuten Durchlauf ans Ziel zu kommen. Ist die Hypothese belegt / Idee bestätigt, ist das Vorgehen beendet. Ist die Hypothese widerlegt / Idee falsch, muss meist das Verfahren erneut durchlaufen werden, da die Hypothese/Idee dann nicht die Antwort auf die Frage darstellt und das Ziel der Suche nach Erkenntnis deshalb noch nicht beendet ist.

Berck, K.-H. & Graf, D. (2003). Biologiedidaktik von A bis Z: Wörterbuch mit 1000 Begriffen. Wiebelsheim: Quelle & Meyer.

Emden, M. & Sumfleth, E. (2016). assessing students' experimentation processes in guided inquiry. *International Journal of Science and Mathematics*, 14(1), S. 29–54.

Frischknecht-Tobler, U. & Labudde, P. (2010). Beobachten und Experimentieren. In: P. Labudde (Hrsg.), *Fachdidaktik Naturwissenschaft*: 1.–9. Schuljahr (S. 133–148). Bern: Haupt.

Graf, D. (2013). Experimente für den Biologieunterricht: Erkenntnisgewinnung und kompetenzorientierte Vermittlung biologischer Inhalte. München: Oldenbourg.

Hammann, M. (2007). Das Scientific Discovery as Dual Search-Modell. In: D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung: Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (S. 187–196). Berlin: Springer.

Killermann, W., Hiering, P. & Starosta, B. (2013). *Biologieunterricht heute: Eine moderne Fachdidaktik* (15. Auflage). Donauwörth: Auer.

Klahr, D. (2000). *Exploring science: The cognition and development of discovery processes*. Cambridge: MIT Press.

Klos, S., Henke, C., Kieren, C., Walpuski, M. & Sumfleth, E. (2008). Naturwissenschaftliches Experimentieren und chemisches Fachwissen – zwei verschiedene Kompetenzen. In: *Zeitschrift für Pädagogik*, 54(3), S. 304–321.

Mayer, J. (2007). Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlösen. In: D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung: Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (S. 177–186). Berlin: Springer.

Popper, K. R. & Miller, D. W. (1983). A proof of the impossibility of inductive probability. *Nature*, (302), S. 687–688.

Schulz, A., Wirtz, M. & Starauschek, E. (2012). Das Experiment in den Naturwissenschaften. In: W. Rieß, M. Wirtz, B. Barzel & A. Schulz (Hrsg.), *Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht: Schüler lernen wissenschaftlich denken und arbeiten* (S. 15–38). Münster: Waxmann.

Steinle, F. (2004). Exploratives Experimentieren: Charles Dufay und die Entdeckung der Elektrizität. *Physik Journal*, 7(6), S. 47–52.

2 OFFENES EXPERIMENTIEREN

2.1 WAS IST OFFENES EXPERIMENTIEREN?

Da der Begriff des offenen Experimentierens sowohl in der Theorie wie auch in der Praxis sehr unterschiedlich aufgefasst wird und mit verschiedenen Konzepten hinterlegt ist (Priemer, 2011), soll er hier zuerst mit dem Gegenteil von offenem Experimentieren, mit dem geschlossenen Experimentieren, kontrastiert werden. Davon ausgehend erfolgt eine Definition des Begriffs „offenes Experimentieren“. Die Definition und eine tabellarische Darstellung unterschiedlicher Offenheitsgrade (Tabelle 2.1) sind für die Schulpraxis als Bezugsrahmen und Hilfe zur Planung von Unterricht vorgesehen.

Geschlossenes Experimentieren wird in der Literatur oft als Experimentieren nach „Kochbuch“ oder „Kochrezept“ bezeichnet (z. B. Metzger & Sommer, 2010; Hofstein & Lunetta, 2004; Roth, 1994). Dies deutet an, dass beim geschlossenen Experimentieren die Schüler nur das ausführen, was in der Durchführungsbeschreibung, dem „Rezept“, festgelegt ist. Die Schüler führen Schritt für Schritt aus, was ihnen detailliert vorgegeben ist und nehmen danach das Resultat ihres Ausführens als Versuchsbeobachtung wahr. Diese Form des Experimentierens ist uns Lehrkräften allen vertraut, da wir Beschreibungen und „Rezepte“ zum geschlossenen Experimentieren in vielen Schulbüchern und Unterrichtsmaterialien wiederfinden und im Unterricht einsetzen.

Geschlossene Experimente sind wichtig, um Schüler in die Methode des Experimentierens einzuführen. Offene Formen des Experimentierens dürfen aber nicht unterbleiben. Geschlossene Experimente stellen lediglich eine methodische Möglichkeit dar, um mit Schülern Experimente durchzuführen. Das Durchführen einer naturwissenschaftlichen Untersuchung wird in der naturwissenschaftlichen Fachdidaktik zumeist als Problemlöseprozess verstanden (vgl. Wellnitz et al., 2012; Rieß & Robin, 2012; Klahr, 2000) und sollte unter diesem Gesichtspunkt mehr und mehr von Schülern selbstplanend im Unterricht vollzogen werden. Es geht hierbei darum, Problemstellungen durch eigene Planung von Experimenten und deren Auswertung zu lösen und nicht darum, Vorgänge lediglich auszuführen. Das Experimentieren als Problemlöseprozess hat Anschluss an den allgemeinpädagogischen Kompetenzbegriff von Weinert:

„... Kompetenzen [sind] bei Individuen verfügbare oder durch sie erlernbare kognitive Fähigkeiten und Fertigkeiten, um bestimmte Probleme zu lösen, sowie die damit verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, um die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können.“ (2001, S. 27)

Ein weiterer Aspekt ist, dass Erkenntnis- oder Arbeitsmethoden der Naturwissenschaften an sich im Unterricht vermittelt werden müssen, da sie konstitutiver Bestandteil der Naturwissenschaft sind. Die Unterrichtung von Erkenntnismethoden wird nicht nur in der didaktischen Diskussion als wichtig erachtet, sie ist, wie auch der erste Aspekt (Experimentieren als Problemlösungsprozess), in den nationalen Bildungsstandards formal verankert. Hier liest man zum Experimentieren:

„Beim hypothesengeleiteten Arbeiten gehen die Schülerinnen und Schüler in drei Schritten vor. Zunächst formulieren sie aus einem Problem heraus eine Fragestellung und stellen hierzu bezogene Hypothesen auf. Dann planen sie eine Beobachtung, einen Vergleich oder ein Experiment und führen diese Untersuchungsmethoden durch. [...] Schließlich werten die Lernenden die gewonnenen Daten aus und interpretieren sie hinsichtlich der Hypothesen.“ (Bildungsstandards Biologie; KMK, 2005a, S. 10)

Tabelle 2.1: Offenheitsgrad eines Experiments

	Grad der Offenheit			
	0 geschlossen	1 leicht geöffnet	2 geöffnet	3 offen
Frage- stellung	Schüler beschäftigen sich mit einer vorgegebenen Fragestellung.	Schüler wählen aus verschiedenen vorgegebenen Fragestellungen aus.	Schüler erstellen mit Hilfestellung (medial, verbal) eine Fragestellung.	Schüler entwickeln eine Fragestellung.
Hypothese	Schüler beschäftigen sich mit einer vorgegebenen Hypothese.	Schüler wählen aus verschiedenen vorgegebenen Hypothesen aus.	Schüler stellen mit Hilfestellung (medial, verbal) eine eigene Hypothese auf.	Schüler stellen eine Hypothese auf.
Planung – Experiment	Schüler arbeiten nach einer vorgegebenen Anleitung.	Schüler wählen ihre Vorgehensweise aus verschiedenen vorgegebenen Möglichkeiten aus.	Schüler planen mit Hilfestellung (medial, verbal) ein Vorgehen.	Schüler planen ihr Vorgehen.
Auswertung	Schüler werten die Daten nach Anleitung aus.	Bei manchen Experimenten möglich: Schüler wählen aus verschiedenen vorgegebenen Darstellungsmöglichkeiten (Tabelle, Balken, Säulen, Liniendiagramm) aus.	Schüler werten mit Hilfestellung (medial, verbal) die ermittelten Daten aus.	Schüler suchen sich selbstständig ein Verfahren zur Datenauswertung aus.
Schluss- folgerung	Schüler setzen sich mit vorgegebener Schlussfolgerung auseinander.	Schüler wählen aus verschiedenen vorgegebenen Schlussfolgerungen aus.	Schüler stellen mit Hilfestellung (medial, verbal) eine Schlussfolgerung auf.	Schüler ziehen Schlussfolgerung.

<p style="text-align: center;">Selbstständigkeit Schüler</p> <p style="text-align: center;">Anleitung Lehrer</p>
--

Die Zeile Fragestellung wurde teilweise aus dem Guide for Teaching and Learning entnommen (NRC, 2000, S. 29). Die entnommenen und veränderten Inhalte wurden als Anregung für die Offenheitsbeschreibung der weiteren Bereiche verwendet.

7 OFFENE EXPERIMENTE FÜR DEN UNTERRICHT

Materialien, Anregungen und Ideen

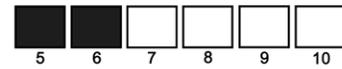
7.1	Warum hüpfte die Münze auf der Flasche?	44
	<i>(geeignet für die Klassenstufen 5–6)</i>	
7.2	Was bewegt ein Ei zum Schwimmen?	47
	<i>(geeignet für die Klassenstufen 5–7)</i>	
7.3	Wie kann man Zugkraft einsparen? – Der Flaschenzug	50
	<i>(geeignet für die Klassenstufen 7–8)</i>	
7.4	Warum friert der Eisbär nicht?	53
	<i>(geeignet für die Klassenstufen 7–9)</i>	
7.5	Die Fallbewegung kegelförmiger Papierkörper – Ein einfaches Modell für einen Fallschirmsprung ...	57
	<i>(geeignet für die Klassenstufen 7–9)</i>	
7.6	Licht und Schatten	61
	<i>(geeignet für die Klassenstufen 7–10)</i>	
7.7	Farbige Schattenbilder	64
	<i>(geeignet für die Klassenstufen 7–10)</i>	
7.8	Eine einfache Kamera für spezielle Bilder	67
	<i>(geeignet für die Klassenstufen 7–10)</i>	
7.9	Trendsport Slacklining	71
	<i>(geeignet für die Klassenstufen 8–9)</i>	
7.10	Strom aus einer Zitrone	75
	<i>(geeignet für die Klassenstufen 8–10)</i>	
7.11	Infrarotstrahlung – Heilende Wärmestrahlung	79
	<i>(geeignet für die Klassenstufen 9–10)</i>	

7.1 WARUM HÜPFT DIE MÜNZE AUF DER FLASCHE?



Abb. 7.1.1: 1-Euro-Münze auf der Öffnung einer abgekühlten Glasflasche

Geeignet für Klassenstufe



Offenheitsgrad

	ge-schlossen	leicht geöffnet	geöffnet	offen
Fragestellung	■	■	■	■
Hypothese	■	■	■	■
Planung-Experiment	■	■	■	■
Auswertung	■	■	■	■
Schlussfolgerung	■	■	■	■

- möglich/sinnvoll
- nicht möglich/nicht sinnvoll
- möglich, aber unten nicht beschrieben

Hintergrundwissen:

Die uns umgebende Luft ist ein Gasgemisch, welches hauptsächlich aus Stickstoff N_2 (78 %) und Sauerstoff O_2 (21 %) besteht. Zu geringen Anteilen befinden sich auch Edelgase (hauptsächlich Argon mit etwa 1 %), Kohlenstoffdioxid CO_2 und Wasserdampf in der Luft.

Die Dichte der Luft ist von der Lufttemperatur abhängig:

Tabelle 7.1.1

Temperatur in °C	Dichte von Luft in kg/m^3
-10	1,341
0	1,293
10	1,247
20	1,204
30	1,164

Wird die Luft erwärmt, dehnt sie sich aus – die Luftmoleküle (Luftteilchen) nehmen einen größeren Abstand zueinander ein. Wird die Luft abgekühlt, zieht sie sich zusammen – der Abstand der Luftmoleküle zueinander wird kleiner.

Dieses Phänomen ist der Auslöser für das Klappern der Münze auf der gekühlten Flasche (Abb. 7.1.1). Hierzu wurde eine offene Glasflasche im Gefrierfach gekühlt, die Luft in der Flasche verändert durch die Kühlung ihre Dichte (die Luft zieht sich zusammen). Legt man nun eine angefeuchtete Münze auf die Öffnung und erwärmt die Luft, dehnt sich die Luft in der Flasche aus und drückt zum Druckausgleich immer wieder die Münze nach oben (damit Luft entweichen kann). Das Bewegen der Münze können wir als Klappern wahrnehmen.

Möglicher Unterrichtsverlauf

Zeitbedarf: ca. 45 Minuten (Auswertung des Experiments sowie Ergebnissicherung u. U. in der Folgestunde):

Phase	Verlauf	Zugehöriges Material
Einstieg	<p>Möglichkeit: Fragestellung geschlossen + Hypothesen (leicht geöffnet) offen</p> <p>Lehrer legt eine angefeuchtete Münze auf die Öffnung einer abgekühlten Glasflasche und fordert die Schüler auf, ganz leise zu sein. (Zur Hilfe kann die Luft in der Flasche durch das Umschließen der Flasche mit den Händen erwärmt werden.)</p> <p>Die Schüler berichten, was sie wahrnehmen.</p> <p>Lehrer stellt den Schülern die Frage: „Warum hüpfert die Münze auf der Flasche?“</p> <p>Die Schüler stellen Hypothesen auf. Die Lehrkraft unterstützt die Schüler beim Formulieren und notiert die Hypothesen an der Tafel. (Mögliche geeignete Hypothesen sind: warme Luft dehnt sich aus; kalte Luft zieht sich zusammen; Warme Luft steigt nach oben.)</p> <p>Im Unterrichtsgespräch werden die Hypothesen nach Umsetzbarkeit der Prüfung (in der Schule) sortiert.</p>	gekühlte Glasflasche (etwa eine Stunde in Gefrierfach), Münze (1-Euro-Stück)
Erarbeitung	<p>Möglichkeit: Planung offen + Auswertung offen</p> <p>Schüler wählen sich eine Hypothese aus und planen selbstständig in Kleingruppen ein Experiment.</p> <p><i>Differenzierungsmöglichkeit: Materialpool vorgeben</i></p> <p>→ Planung-Experiment geöffnet.</p> <p>Die geplanten Experimente werden der Klasse vorgestellt und gemeinsam diskutiert. Falls notwendig, werden Veränderungen vorgenommen. Der Lehrer unterstützt.</p> <p>Schüler führen das Experiment selbstständig in Gruppen durch und notieren ihre Beobachtungen.</p>	Materialpool: Luftballons, Glasflaschen, Reagenzgläser mit Stopfen, Wasserbad, dünnwandige PET-Flaschen, Einwegspritze etc.
Ergebnissicherung	<p>Möglichkeit: Schlussfolgerung geöffnet</p> <p>Die Beobachtungen und Ergebnisse werden nach Beenden der Experimentierphase im Plenum vorgetragen.</p> <p>Gemeinsam wird ein Ergebnis formuliert und an der Tafel oder im Heft ergänzt. Das Klappern der Münze wird erklärt. Anschließend werden gemeinsam Schlussfolgerungen besprochen (u. U. mithilfe des Teilchenmodells).</p>	

Beispiele von möglichen Experimentieranordnungen:

Das Ausdehnen der Luft bei Erwärmung bzw. das Zusammenziehen der Luft bei Abkühlung ist ein Phänomen, welches für Schüler nicht unbedingt neu ist. Es gibt im Internet oder in der Literatur viele Experimentieranordnungen, die dieses Phänomen aufgreifen. Wir haben das Phänomen und Anregungen für zugehörige Experimente in diesem Buch aufgenommen, da es für jüngere Schüler ein spannender und interessanter Inhalt ist, zu dem sie bereits in unteren Klassenstufen selbstständig Ideen für eine Experimentieranordnung finden können.

Einfache Experimente zum Zusammenziehen der Luft bei Abkühlung können beispielsweise mit einer dünnwandigen PET-Flasche durchgeführt werden, die in ein Gefrierfach gelegt wird. Bei der PET-Flasche ist die Veränderung des Volumens sehr eindrücklich nach dem Herausnehmen zu beobachten (Abb. 7.1.2), wohingegen die Volumenänderung bei einem mit Luft gefüllten Luftballon nach Entfernen aus dem Eisfach zu schnell wieder verloren geht und dadurch schlecht wahrnehmbar ist.



Abb. 7.1.2: Eine PET-Flasche deltt sich im Gefrierfach ein, da sich die Luft in ihrem Inneren zusammenzieht.

Experimente zur Ausdehnung der Luft bei Erwärmung können beispielsweise mit einer Einwegspritze durchgeführt werden. Die Spritze wird mit Luft befüllt und verschlossen (Abb. 7.1.3). Danach wird sie ins Wasserbad gelegt und hierdurch die Luft in der Spritze erwärmt (Abb. 7.1.4). Nach wenigen Minuten kann bereits eine Veränderung des Luftvolumens in der Spritze abgelesen werden (Abb. 7.1.5).

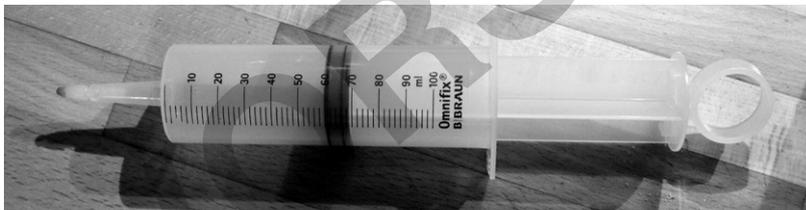


Abb. 7.1.3: Mit Luft gefüllte und verschlossene Spritze (Luftinhalt 60 ml)



Abb. 7.1.4: Spritze im Wasserbad

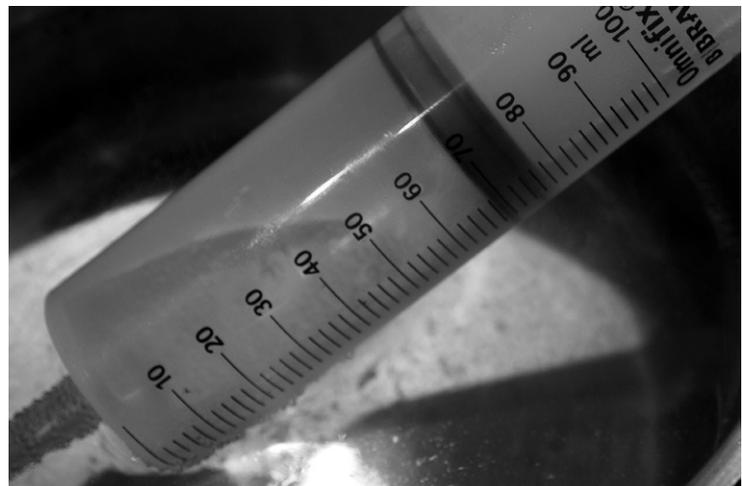


Abb. 7.1.5: Nach wenigen Minuten hat sich das Luftvolumen verändert.

7.3 WIE KANN MAN ZUGKRAFT EINSPAREN? – DER FLASCHENZUG

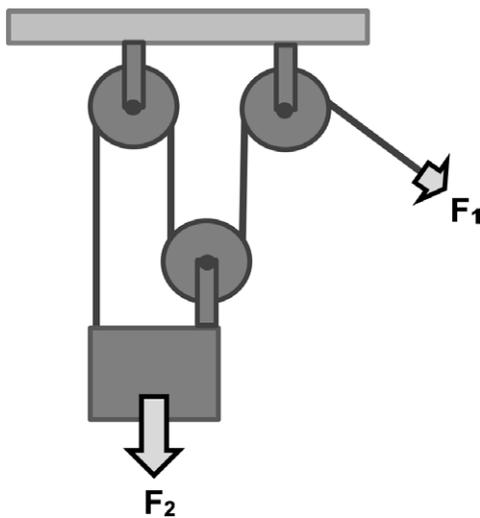


Abb. 7.3.1: Flaschenzug

Geeignet für Klassenstufe					
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	6	7	8	9	10

Offenheitsgrad				
	ge-schlossen	leicht geöffnet	geöffnet	offen
Fragestellung	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hypothese	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Planung-Experiment	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Auswertung	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Schlussfolgerung	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

möglich/sinnvoll
 nicht möglich/nicht sinnvoll
 möglich, aber unten nicht beschrieben

Hintergrundwissen:

Ein Flaschenzug ist eine sogenannte „einfache Maschine“ aus festen und losen Rollen und einem Seil. Sie erleichtert uns das Anheben oder Halten einer Last, indem die notwendige Zugkraft gegenüber der Gewichtskraft der Last verkleinert wird.

Die Rolle

Eine Rolle ist eine kreisrunde Scheibe, die über eine Achse beweglich gelagert ist. In der Scheibe befindet sich eine Führungsrille, in der ein Seil aufgenommen werden kann.

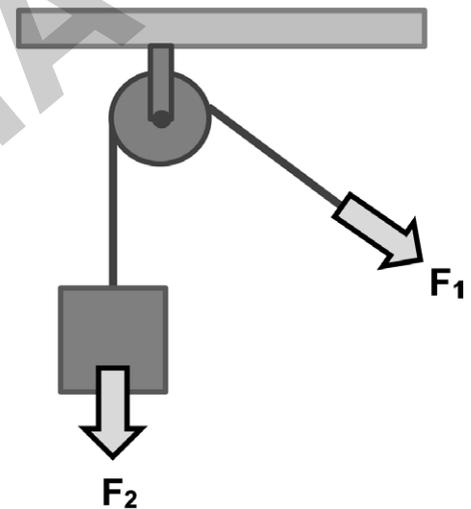


Abb. 7.3.2: Feste Rolle / Umlenkrolle

Die Umlenkrolle

Eine fest montierte Rolle, über die lediglich die Richtung eines Seils verändert wird, nennt man Umlenkrolle oder feste Rolle. Hebt man eine Last mithilfe eines Seils mittels einer Umlenkrolle, verändert sich die benötigte Kraft gegenüber der Gewichtskraft der Last nicht, man kann aber hierdurch die Zugrichtung verändern. Die Umlenkrolle wirkt wie ein gleicharmiger Hebel.

Für die Beträge der Kräfte gilt *Gleichung 1*:

$$F_1 = F_2, \text{ da } F_1 \cdot r = F_2 \cdot r \quad (r = \text{Radius der Rolle})$$

(Gleichgewicht der Drehmomente im statischen System)

Die lose Rolle

Eine Rolle, die in einer Seilschlinge hängt, heißt lose Rolle. Die lose Rolle wirkt als einseitiger Hebel mit dem Drehpunkt A an einem der beiden Seilaufnahmepunkte.

Für die Beträge der Kräfte gilt *Gleichung 2*:

$$F_1 = \frac{1}{2}F_2, \text{ da } F_1 \cdot 2r = F_2 \cdot r$$

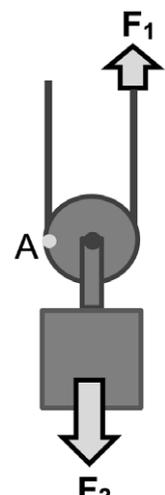


Abb. 7.3.3: Lose Rolle

7.6 LICHT UND SCHATTEN



Abb. 7.6.1: Auch im Alltag lassen sich interessante Beobachtungen mit Licht und Schatten machen. Durch das Licht zweier Kerzen entsteht auf dem Tisch ein Schattenbild mit Kern- und Halbschatten.

Geeignet für Klassenstufe

5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	----

Offenheitsgrad

	ge- schlossen	leicht geöffnet	geöffnet	offen
Fragestellung	■	■	■	■
Hypothese	■	■	■	■
Planung-Experiment	■	■	■	■
Auswertung	■	■	■	■
Schlussfolgerung	■	■	■	■

möglich/sinnvoll
 nicht möglich/nicht sinnvoll
 möglich, aber unten nicht beschrieben

Hintergrundwissen:

Das Entstehen von Schattenbildern lässt sich sehr gut mit dem Strahlenmodell des Lichts erklären (Basisideen: Licht breitet sich geradlinig aus. Verschiedene Lichtbündel beeinflussen sich nicht gegenseitig, sondern überlagern sich ungestört.). Wird ein lichtundurchlässiger Körper von einer Lichtquelle beleuchtet, so entsteht ein abgegrenzter Raum hinter dem Körper, in den kein Licht gelangt. Dieser lichtleere Raum wird als Schattenraum bezeichnet. Schneidet eine Fläche (z. B. eine Wand, der Boden) den Schattenraum, so entsteht darauf das Schattenbild (Abb. 7.6.2). Je nach Lage der Fläche zum Körper bzw. zur Richtung der Lichtausbreitung erscheint das Schattenbild verzerrt und/oder es verändert sich dessen Größe im Vergleich zum schattenerzeugenden Körper. Werden mehrere Lichtquellen verwendet, so entstehen unterschiedliche Schattenräume (Kern- und Halbschatten). Kernschatten heißt der Schattenraum, in den von keiner Lichtquelle aus Licht eindringt. Halbschatten sind diejenigen Schattenräume, in die das Licht von (mind.) einer der Lichtquellen eintreten kann, von anderen aber nicht (Abb. 7.6.3). Je nach Anordnung der Lichtquellen, des Körpers und der Projektionsfläche verändern sich Größe und Lage der Schattenräume bzw. die Sichtbarkeit und Größe der Bilder von Kern- bzw. Halbschatten.

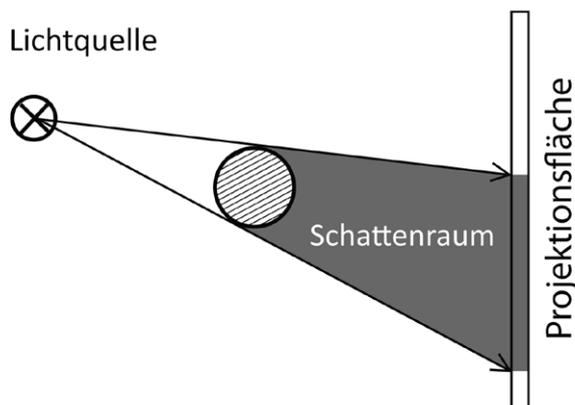


Abb. 7.6.2

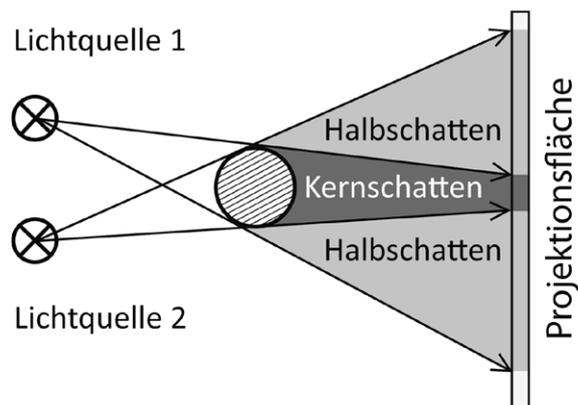


Abb. 7.6.3

Möglicher Unterrichtsverlauf (Zeitbedarf: 60–90 Minuten):

Hinweis: Dieser Unterrichtsstunde sollte die Einführung oder Wiederholung zur Entstehung von Schatten durch eine Lichtquelle einschließlich des zugrunde liegenden Lichtmodells und wesentlicher Fachbegriffe vorausgegangen sein.

Phase	Verlauf	Zugehöriges Material
Einstieg	<p>Möglichkeit 1: Fragestellung geschlossen</p> <p>Lehrer berichtet von der Planung einer Theateraufführung an der Schule, bei der die Schüler alle notwendigen Tätigkeiten und somit auch die Beleuchtung übernehmen sollen. Dazu müsse vorab genau geplant werden, wie viele Scheinwerfer genutzt werden sollen und wo diese aufgestellt werden. Unterstützend wird das Material 7.6-1 von der Lehrkraft präsentiert.</p> <p>Danach wird die zu klärende Frage und Aufgabenstellung vorgelegt (Material 7.6-2) und mit den Schülern besprochen.</p>	<p>Material 7.6-1: Einstieg „Licht und Schatten“</p> <p>Material 7.6-2: Frage- und Aufgabenstellung „Licht und Schatten“</p>
	<p>Möglichkeit 2: Fragestellung (geöffnet) offen</p> <p>Lehrer berichtet von der Planung einer Theateraufführung an der Schule, bei der die Schüler alle notwendigen Tätigkeiten und somit auch die Beleuchtung übernehmen sollen. Dazu müsse vorab genau geplant werden, wie viele Scheinwerfer genutzt werden sollen und wo diese aufgestellt werden. Unterstützend wird das Material 7.6-1 von der Lehrkraft präsentiert.</p> <p>Die Schüler notieren ihre Fragen auf Karten, die anschließend an der Tafel gesammelt werden. Die Schüler diskutieren, welche Fragen naturwissenschaftlichen Fragestellungen entsprechen und wählen die Fragen aus, die in Experimenten weiter untersucht werden sollen. Der Lehrer moderiert und unterstützt dabei.</p>	<p>Material 7.6-1: Einstieg „Licht und Schatten“</p>
Erarbeitung	<p>Möglichkeit 1: Hypothese leicht geöffnet + Planung-Experiment (leicht) geöffnet</p> <p>Lehrer heftet die Fragestellung sowie unterschiedliche Hypothesen an die Tafel (Material 7.6-3). Die Schüler wählen daraus eine Hypothese aus (nicht ausgewählte werden entfernt).</p> <p>Differenzierungsmöglichkeit durch Gruppenarbeit: Jede Gruppe wählt eine andere Hypothese aus. Schüler planen gemeinsam ein Experiment, um die ausgewählte Hypothese zu prüfen. Das Material, welches für das Experiment zur Verfügung steht, liegt auf einem Tisch bereit. Schüler führen das Experiment selbstständig in Gruppen durch und notieren Beobachtungen (Protokoll). Die Beobachtungen werden nach der Experimentierphase von verschiedenen Gruppen im Plenum vortragen und verglichen.</p>	<p>Material 7.6-3: Hypothesen „Licht und Schatten“ bereitliegendes Material (pro Gruppe): 2 Leuchtbboxen bzw. Experimentierleuchten (mit Netzgerät, Verbindungsleiter); 1 Schattengeber, 1 Projektionsfläche mit Standfuß, 1 Maßband</p>

Möglichkeit 2: Hypothese offen + Planung-Experiment geöffnet

Schüler formulieren in Gruppen eigene Hypothesen und planen dazu selbstständig ein Experiment. Das Material, welches verwendet werden soll, liegt auf einem Tisch bereit.

Differenzierungsmöglichkeit: Materialpool nicht vorgeben

→ Planung-Experiment offen

Die Hypothese(n) und das geplante Vorgehen werden im Plenum vorgestellt und gemeinsam diskutiert (Empfehlung: pro Gruppe eine Hypothese / ein Experiment). Falls notwendig, werden Veränderungen festgehalten. Lehrer unterstützt. Schüler führen das Experiment selbstständig in Gruppen durch und notieren Beobachtungen. Diese werden nach Beenden der Experimentierphase im Plenum vorgetragen.

bereitliegendes Material (pro Gruppe):

2 Leuchtkästen bzw. Experimentierleuchten (mit Netzgerät, Verbindungsleiter);
1 Schattengeber,
1 Projektionsfläche mit Standfuß, 1 Maßband

Ergebnissicherung**Möglichkeit: Auswertung geöffnet + Schlussfolgerung offen**

Gemeinsam wird ein Ergebnis zu jeder Hypothese formuliert und an der Tafel ergänzt. Lehrer moderiert und unterstützt dabei.

Anschließend diskutieren die Schüler in den Gruppen ihre Schlussfolgerungen für die Theateraufführung. Zur Erinnerung wird die Aufgabenstellung erneut präsentiert (Material 7.6-1 und 7.6-2).

Die Schlussfolgerungen werden gemeinsam besprochen.

Beispiele von möglichen Experimentieranordnungen:

Experimente zu Licht und Schatten sind in der Regel leicht und gefahrlos zu realisieren. Voraussetzung ist jedoch ein Raum, der abgedunkelt werden kann. Es wird empfohlen, mit Leuchtkästen zu arbeiten, möglich ist aber auch, Kerzen als Lichtquellen einzusetzen. Hierbei ist allerdings wegen möglicher Brandgefahr auf Sicherheitsregeln hinzuweisen und äußerst diszipliniertes Arbeiten in den Gruppen wichtig.

Empfehlenswert ist, entsprechend einer realen Theatersituation, z. B. die Entfernung von Projektionsfläche (Bühne) und Schattengeber (Requisiten, Personen) unverändert zu lassen und die Entfernung der Leuchtkästen (Scheinwerfer) zur Projektionsfläche (Bühne) bei gleichem Abstand zueinander zu variieren oder den Scheinwerferabstand untereinander durch Verschieben auf einer „Lichtleiste“ zu ändern, während die Entfernung zur Projektionsfläche konstant gehalten wird (vgl. Abb. 7.6.4).



Abb. 7.6.4: Experimentierverlauf bei Variation des Abstandes der Leuchtkästen bei konstanter Entfernung zum Schattengeber. Beobachtung der Veränderung von Kern- und Halbschatten

7.7 FARBIGE SCHATTENBILDER



Abb. 7.7.1: Bei Bühnenshows spielen besondere Lichteffekte eine große Rolle, z. B. können die „magischen Kräfte“ des Zauberers durch seine farbigen Schatten symbolisiert werden. Wie lässt sich das realisieren? (Bild in Farbe: Material **7.7-6**)

Geeignet für Klassenstufe					
□	□	■	■	■	■
5	6	7	8	9	10

Offenheitsgrad				
	ge- schlossen	leicht geöffnet	geöffnet	offen
Fragestellung	■	■	■	■
Hypothese	■	■	■	■
Planung-Experiment	■	■	■	■
Auswertung	■	■	■	■
Schlussfolgerung	■	■	■	■

möglich/sinnvoll
 nicht möglich/nicht sinnvoll
 möglich, aber unten nicht beschrieben

Hintergrundwissen:

Das Entstehen von Schattenbildern lässt sich sehr gut mit dem Strahlenmodell des Lichts erklären (vgl. auch Experiment 7.6, S. 61). Zu beobachten ist, dass bei zwei (oder mehreren) Lichtquellen verschiedene Schattenräume entstehen: Kern- und Halbschatten. Als Kernschatten bezeichnet man den Schattenraum, in den von keiner Lichtquelle aus Licht eindringt. Halbschatten heißen diejenigen Schattenräume, in die das Licht von (mind.) einer der Lichtquellen eintreten kann, von anderen aber nicht (Abb. 7.7.2). Je nach Anordnung der Lichtquellen, des Körpers und der Projektionsfläche lassen sich Größe und Lage der Schattenräume bzw. -bilder verändern.

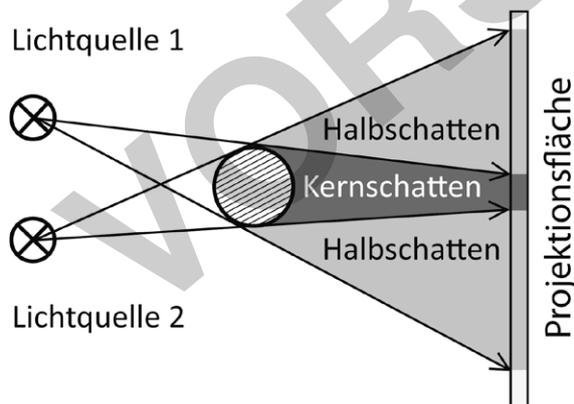


Abb. 7.7.2

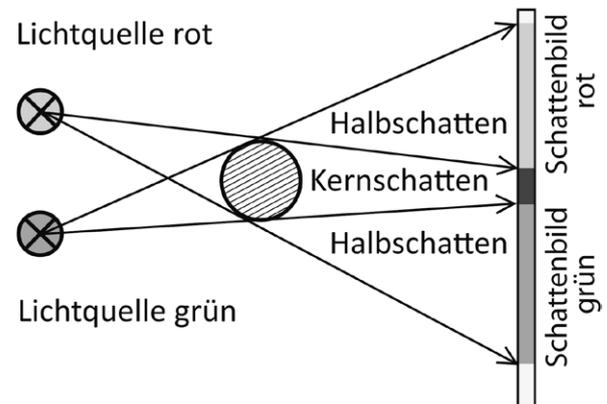


Abb. 7.7.3

Sollen farbige Schatten erzeugt werden, müssen die Lichtquellen farbiges Licht aussenden. Im Halbschattenbereich erzeugt jeweils eine Lichtquelle das Schattenbild, während die Lichtfarbe der anderen Lichtquelle die Projektionsfläche erreicht und für die entsprechende Farbigkeit des Schattenbildes sorgt. (Abb. 7.7.3; Abbildung in Farbe: Material **7.7-7**.) Sofern ein Kernschatten an der Projektionsfläche abgebildet wird, ist dieser dagegen schwarz, da hier von keiner Lichtquelle Licht ankommt. In Bereichen, wo Licht von beiden Lichtquellen hingelangt, überlagern sich die Lichtfarben additiv und es entsteht ein neuer Farbeindruck mit hoher Intensität. Der Farbton dieser Mischfarbe wird auch von der Intensität der ursprünglichen Lichtanteile beeinflusst. In Abb. 7.7.1 wird additive Farbmischung in den Randbereichen außerhalb der Schattenbilder deutlich. Beim Einsatz von drei verschiedenfarbigen Lichtquellen wird dieses Zusammenspiel noch komplexer. Zur Erklärung der Licht