

Experimente in ihren Funktionen für das Lernen

Unveröffentlichtes Manuskript – bitte nicht weitergeben, ohne den Autor zu kontaktieren

Grundsätzliches zu Experimenten in der Schule

Es besteht Einigkeit, dass regelmäßiges Experimentieren zwar keine hinreichende, wohl aber eine notwendige Bedingung für guten Physikunterricht ist. Gleichzeitig wird jedoch immer wieder die Frage aufgeworfen, was denn das Experimentieren zum Lernen beitrage – zu oft berichten Lehrkräfte von enttäuschten Erwartungen, und auch die Literatur ist voll von Hinweisen darauf, dass Experimente – gleich ob von der Lehrkraft oder den Schülerinnen und Schülern durchgeführt – nicht die an sie gestellten Erwartungen erfüllen (vgl. z. B. Hofstein & Lunetta, 2004). Eine zentrale Kritik an der zeitgenössischen Art, Experimente im Unterricht einzusetzen, lautet, dass es den Experimenten oft an einer klaren Funktionszuweisung für das Lernen fehle: Im Grunde wünschen wir uns, dass sich alle wichtigen Aspekte naturwissenschaftlicher Arbeitsweise in unseren kleinen Experimenten widerspiegeln: *Wir möchten alles gleichzeitig.*

Unabhängig von dieser konkreten und wichtigen Kritik ist die Literatur voll von Vorschlägen, wie Experimente lernwirksam gestaltet werden könnten. Allein ein Konsens darüber hat sich bis heute nicht eingestellt, vielmehr machen immer wieder Rezepte die Runde, wie dies zu erreichen sei. Diese Rezepte haben in der Regel die wesentliche Eigenschaft, dass sie getragen sind von nicht hinterfragten Annahmen darüber, wie Lernen bestmöglich »funktioniere«.

Beispiel: Schülerexperimente

Der Ruf nach mehr Schülerexperimenten, wie er immer wieder hörbar wird, geht oft von der Annahme aus, dass etwas selbst tun zu dürfen eher ein Lernen in Gang setze als eben nur zuschauen zu dürfen. Dabei wird zuweilen vergessen, dass das Lernen nicht *körperliche Aktivität*, sondern *geistige Aktivität* voraussetzt, und dass Letztgenannte von der körperlichen weitgehend unabhängig ist.

Selbst-Machen kann sehr wichtig sein – womöglich aber nicht für das Lernen systematischen Wissens, sondern eher für eine andere Funktion, zum Beispiel die, Erfahrungen mit einem Phänomen zu machen oder handwerkliches Geschick beim Experimentieren auszubilden. Das ist aber etwas anderes als Lernen systematischen Wissens – dazu mehr in Abschnitt *Funktionen von Experimenten*.

Selbst-Machen dürfen stellt jedoch auch Erwartungen an die Schülerinnen und Schüler: Sie müssen experimentell geschickt handeln, dieses Handeln erkenntnisorientiert steuern und dabei Beobachtetes in ihr kognitives System integrieren. Diese Erwartungen werden oft unterschätzt und führen zu Überforderung.

Andere Rezepte, wie solche, dass Experimente möglichst alltagsnah sein sollten, dass sie problemorientiert sein sollten

u.s.w., sind nicht insofern falsch, als dass Alltagsnähe nicht auch einen Reiz ausmachen würde. Sie reichen jedoch bei Weitem nicht hin, um

1. einem Experiment eine klare Funktion **für das Lernen** zu verleihen,
2. und **Überforderung** zu vermeiden.

Oft ist sogar das Gegenteil der Fall, wenn das Alltagsbeispiel die ohnehin komplizierten fachlichen Zusammenhänge verfremdet und verhüllt. Dann sorgt der Alltagsbezug dafür, dass der Schwierigkeitsgrad weiter ansteigt.

Funktionen von Experimenten

Ich erkenne in der Praxis des Physikunterrichts und auch in der aktuellen wissenschaftlichen fachdidaktischen Literatur zwei verbreitete Fehleinschätzungen: Die eine liegt darin, dass naturwissenschaftliches Arbeiten auf das Hypothesen testende Experiment verkürzt wird. Diese Form der Funktionszuweisung wird dann gewissermaßen zum Ausdruck für »Wissenschaft an sich« überhöht. Der vorliegende Text möchte darauf hinweisen, dass unterschiedliche Funktionszuweisungen im Interesse des Lernens nicht nur denkbar, sondern alltäglich sind. Die Verkürzung auf die eine eben genannte Funktion hat keine Grundlage, und vielleicht fehlt es an einem Bewusstsein darüber.

Eng damit verbunden ist die zweite Fehleinschätzung, die in der Annahme liegt, das Experiment als wesentliche, vielleicht alleinige Quelle von Wissen über die Natur anzusehen. Dabei wird übersehen, dass Experimente stets nur kleine Deutungshinweise liefern, niemals jedoch eine Theorie »beweisen« und damit Richtig von Falsch endgültig scheiden. Sicherheit über die Qualität unserer Erkenntnis gewinnen wir nur in dem Moment, in dem ein Hypothesen testendes Experiment erwartungswidrig ausgeht. Dann sind wir sicher, dass das, was wir uns dazu denken, mindestens einen Fehler enthält. Wir sind dann sicher, dass wir das, was wir in das Experiment *hinein-* und *hinzudenken, überdenken* müssen. Das Wissen über die Natur ist also ein brüchiges, das sich aus mindestens zwei Quellen speist: dem Experiment und unserer um das Experiment kreisenden Fantasie.

Das, was wir uns zu Experimenten hinzudenken (Theorie), und das Zusammenspiel dieses Hinzugedachten mit dem Experiment können im Unterricht dadurch verdeutlicht werden, indem wir Experimenten je eigene und ganz bestimmte Funktionen für das Lernen zuweisen. Experimente können also **unterschiedliche Funktionen** im Interesse des Lernens einnehmen. Beim Lernen geht es stets um Zweierlei: Lernen *über die Wissenschaft* (»Natur der Naturwissenschaft«) und Lernen *naturwissenschaftlicher Inhalte* (Fachwissen).

Es gibt Funktionen des Experiments, die für das Lernen wie auch für die Wissenschaft bedeutsam sind. Diese sollten im

Unterricht auf jeden Fall vorkommen, denn sie transportieren Wichtiges *über* die Wissenschaft. Zudem transportieren sie natürlich auch fachliche Inhalte. Sie bedienen also beides. Andere Funktionen stehen nur im Interesse des Lernens und kommen nur in der Schule vor – in der Wissenschaft jedoch nicht. Experimente mit solcher Funktion sollen primär die Vermittlung des Fachwissens unterstützen.

Im Fortlauf dieses Abschnitts gehe ich auf Funktionen von Experimenten ein. Dabei beschränke ich mich auf Funktionen im Interesse des Lernens und blende solche aus, bei denen das Experiment etwa auf die Förderung der Motivation oder des Interesses gerichtet ist. Damit gibt der Text *kognitiven Funktionen* einen bewussten Vorrang.

Die Argumentation im Folgenden lässt sich wie folgt zusammenfassen:

Es gibt Funktionszuweisungen von Experimenten, die man dem Ziel der Erkenntnisgewinnung in der Wissenschaft ebenso zuordnen kann wie dem Ziel des Lernens in der Schule (Beispiel: Hypothesentest). Es gibt andere Funktionen, die in der Wissenschaft kaum verfolgt werden, die aber für das Lernen zentral sind (Beispiel: Kontrastieren).

Das bedeutet: Der Hypothesentest ist nur eine unter mehreren sinnvollen Funktionszuweisungen für das Lernen. Weiterhin erscheint es überzeugend, das Experimentieren im konkreten Fall möglichst auf *eine* Funktion zu fokussieren, damit diese auch von den Schülerinnen und Schülern wahrgenommen wird und sich nicht im Allerlei verliert – kurz: damit Schülerinnen und Schüler wie Lehrkraft in ihrem inhaltlichen Interesse am selben Strang und in dieselbe Richtung ziehen.

Experimente, die Hypothesen testen

Der *Hypothesentest* wird oft als die zentrale Methode angesehen, zu naturwissenschaftlicher Erkenntnis zu gelangen. Und in der Tat ist diese Art der Theorieprüfung ein entscheidender Vorgang: Wenn das Experiment *erwartungswidrig* verläuft, können wir *sicher* sein, dass in unserer Vorstellung ein Fehler lauert. Der erwartungswidrige Ausgang ist der entscheidende Motor dafür, weiterzudenken.

Die Lehrtraditionen jedoch spiegeln etwas anderes vor: Experimente mit *erwartungskonformen* Ausgang werden bevorzugt, da sie die zuvor erläuterte oder plausibilisierte Theorie zu bestätigen scheinen. Wichtig ist jedoch: Hypothesentests mit erwartungskonformem Ausgang tun nicht mehr als eine Theorie *nicht zu widerlegen*. Das ist etwas anderes als eine Bestätigung – es ist viel weniger und es ist sehr schwach. Allerdings: Wenn Experimente sehr oft erwartungskonform ausgehen, dann steigt unser Vertrauen in die Theorie. Theorien, die über lange Zeiträume nicht widerlegt sind, gelten als bewährt, verlässlich. Sie sind jedoch nicht »bestätigt« im Sinne einer Wahrheit, wie sie die Mathematik für sich beansprucht.

Hypothesen testende Experimente stellen vielfältige Anforderungen an Schülerinnen und Schüler, sofern diese selbständig

entworfen und bearbeitet werden sollen. Die Schülerinnen und Schüler müssen

- Handlungsanleitungen verstehend lesen,
- Vorwissen bewusst machen,
- Fragestellung in prüfbarer Form formulieren,
- das zugehörige Experiment planen,
- Geräte geschickt bedienen,
- genau beobachten,
- Differenzen zum Vorwissen bemerken, Informationen aus dem Experiment selektieren,
- Beobachtetes in das eigene Wissen integrieren,
- Schlussfolgerungen ziehen,
- Beobachtung und Denken verbalisieren.

Diese Anforderungen sind *teilweise* auch mit den anderen hier vorgestellten Funktionszuweisungen verbunden. Es drängt sich jedoch der Eindruck auf, dass das Hypothesen testende Experiment so etwas wie die Königsdisziplin ist, nicht nur, weil hier Vorstellungen auf ihre Belastbarkeit hin geprüft werden, sondern auch, weil der Katalog an Anforderungen besonders umfassend ist.

Mit dem Hypothesentest sind vier wesentliche Aussagen verbunden:

1. Der Hypothesentest ist in der Regel anspruchsvoll und hat eine zentrale Funktion in der Naturwissenschaft und für das Lernen.
2. Er verleiht Sicherheit dann und nur dann, wenn er erwartungswidrig ausgeht. Es besteht dann Sicherheit in der Frage, dass die der Hypothese zugrunde liegende Theorie einen Fehler enthält.
3. Die Lehrtraditionen in Schule und Hochschule tendieren dazu, den Hypothesentest auf Situationen zu verengen, in denen der Test erwartungskonform verläuft.
4. Entsprechend wird der Test als vermeintliche Bestätigung einer Theorie in seiner Aussagekraft überlastet.

Experimente, die Hypothesen generieren

Wer eine Hypothese testen möchte, muss diese zuvor aufstellen und begründen. Hypothesen generierende Forschungsvorhaben sind in der Wissenschaft Gang und Gäbe, und sie sind auch wissenschaftshistorisch hoch bedeutsam. Sie sind dort angesiedelt, wo noch wenig Erfahrungen vorhanden sind und wo kein konsensuelles Theorieverständnis etabliert ist, das eine Hypothese begründen könnte. Hypothesen generierende Forschungsvorhaben haben ihr Ziel erreicht, wenn sie eine Hypothese begründen können. Der nächste Schritt in Gestalt eines Hypothesentests wird oft in ein neues, anderes Forschungsvorhaben verlagert. Das liegt daran, dass Tests häufig ganz andere, oft sehr klinische Versuchsbedingungen und -methoden erfordern, als dies beim erkundend-tastenden Vorgehen des Hypothesen-Generierens der Fall ist.

Die Lehrtraditionen in Schule und Hochschule kennen die-

ses Verfahren oft nur als kurzes Vorspiel zum »eigentlichen« Hypothesentest. Oft dient das Erkunden dann nicht dazu, Erfahrungen zu systematisieren, einen Konsens darüber herzustellen, was überhaupt unter welchen Bedingungen beobachtbar ist, um dann eine Hypothese sorgfältig zu begründen. Vielmehr erfüllt die kurze »Probierphase«, die einem Hypothesentest vorangestellt wird, die Funktion eines Appetizers und lässt die mühsame theoriebezogene Begründung, die eine Hypothese eigentlich verlangt, entbehrlich erscheinen. Dabei gibt es viele Experimente, die bei sorgfältiger Beobachtung ganz unterschiedliche Aspekte in den Vordergrund rücken, und angesichts derer Schülerinnen und Schüler wie Studierende durchaus nicht sofort zu einem Konsens darüber kommen, was man eigentlich beobachten kann und was nicht.

Mit Experimenten, die Hypothesen generieren, sind daher folgende Aussagen verbunden:

1. Hypothesen generierende Experimente haben eine zentrale Funktion in der Naturwissenschaft und für das Lernen, indem sie Erfahrungen ermöglichen und so weit systematisieren, dass Hypothesen begründet werden können.
2. Hypothesen generierende Experimente begründen keine Kausalität, sondern legen sie in Gestalt von Je-Desto-Formulierungen¹ als Vermutungen nahe. Ihre Prüfung ist Aufgabe eines neuen und anderen Hypothesen testenden Experiments.
3. Die Lehrtraditionen in Schule und Hochschule tendieren dazu, Hypothesen generierende Verfahren auf ein kurzes Ausprobieren zu verkürzen, in dem die anspruchsvolle Aufgabe, prüfbare Wenn-Dann-Sätze zu bilden, nicht explizit geübt wird.
4. Entsprechend entfalten Hypothesen generierende Experimente für das Lernen kaum die Wirkung, die ihnen zukäme.

Experimente, die den Umgang mit Material schulen

Wenn in der Schule experimentiert wird, ist der Eindruck mangelnden Geschicks auf der Seite der Schülerinnen und Schüler im Umgang mit dem Material allgegenwärtig. Auch einfache experimentelle Aufträge scheitern daran, dass die Bedeutung der schwarzen Linien auf dem Steckbrett für die elektrischen Bauteile verkannt wird, von Fragen des richtigen Einsatzes eines Multimeters ganz zu schweigen. Grund dafür ist sicher nicht nur der möglicherweise zurück gehende Erfahrungsschatz der Schülerinnen und Schüler im Basteln, der zumindest dem allgemeinen Eindruck nach anderen Fähigkeiten Platz macht, an die vor zwei Dekaden niemand dachte wie etwa das ständige Kommunizieren mittels technischer Geräte. Ein wichtiger Grund ist, dass die Geräte und Materialien, mit denen wir im Unterricht arbeiten, kaum sonst im Leben vorkommen, viele Gegenstände können auch von Experten nicht einmal korrekt benannt werden.

In einem Handwerksberuf ist es üblich, Novizen an den Umgang mit den Werkzeugen heran zu führen und ihn sorgfältig zu üben. Wer einmal versucht hat, mit einem Putzhobel eine Holzoberfläche zu glätten, wird schon nach wenigen Minuten verschwitzt einräumen, dass es offenbar speziell geübter Techniken bedarf, um papierdünne Späne abzuheben, anstatt Riefen zu ziehen, Holzfasern auszureißen und das Resultat immer weiter zu verschlimmbessern.

Ich vergleiche das Experimentieren auch mit dem Handwerk: Ein Phänomen prägnant herauszupräparieren ist eine Kunst, die erlernt werden muss. Der Unterricht sollte hierfür Zeit vorsehen und dies nicht nur als Aufgabe »nebenbei« ansehen, sondern gelegentlich den expliziten Auftrag an die Schülerinnen und Schüler vorsehen, ein Phänomen klar im Experiment zu zeigen. Dabei geht es dann nicht darum, Fachwissen zu erwerben oder gar eine Hypothese zu testen. Es geht dann darum, einen Versuchsaufbau gekonnt einzurichten und Geräte geschickt zu bedienen. Auch dies kann man gut oder weniger gut machen, und entsprechend gebührt dann Lob oder Kritik.

Mit Experimenten, die den Umgang mit dem Material schulen, sind folgende Aussagen verbunden:

1. Experimente, die den Umgang mit dem Material schulen, sind der Wissenschaft fremd.
2. Für das Lernen sind sie jedoch zentral, da sie eine Voraussetzung für gelingendes Experimentieren bilden.
3. Experimente, die den Umgang mit dem Material schulen, betonen die Seite der Handwerkskunst des Experimentierens. Oft wird ihre Beherrschung als defizitär erlebt. Es ist wichtig, diese Seite explizit anzusprechen und die Möglichkeit zur Übung zu geben.

Experimente, die Phänomene oder Begriffe kontrastieren

Die Gleichsetzung von zentralen physikalischen Begriffen bildet ein zentrales Verständnisproblem des Unterrichts. In der Mechanik sind es Kraft, Impuls und Energie, die synonym verwendet werden, ebenso Geschwindigkeit und Beschleunigung, außerdem Absolutwerte und ihre relativen Änderungen. In der Elektrizitätslehre sind es Spannung, elektrischer Strom, Energie und Leistung; in der Wärmelehre Wärme, Temperatur und Energie. Weitere Begriffe, die zu unterscheiden offenbar nur Experten sich genötigt sehen, lassen sich leicht finden. Die Abgrenzung von Begriffen, Messgrößen oder Phänomenen ist eine zentrale Aufgabe bei der erfolgreichen Fachwissensvermittlung.

Abgrenzungen arbeiten mit Kontrasten. Das Kontrastieren ist eine bewährte und leistungsfähige Vermittlungsstrategie beim Experimentieren. Kontraste haben offenbar einen hohen Aufforderungscharakter: Wenn wir zwei Experimente beobachten, deren Effekte sich in einer Eigenschaft deutlich unterscheiden, dann konzentriert sich das Gespräch ohne weitere äußere Lenkung auf die Kontraste und damit das, was

¹Die Forderung, als Je-Desto-Aussage formulierbar sein zu müssen, gehört zu den Grundanforderungen an eine wissenschaftliche Hypothese. Hinzu kommen die empirische Prüfbarkeit, ihre Falsifizierbarkeit und Allgemeingültigkeit (Bortz & Döring, 2006, S. 4).

das Vermittlungsinteresse adressiert.

Mit Experimenten, die Phänomene oder Begriffe kontrastieren, sind folgende Aussagen verbunden:

1. Experimente, die Phänomene oder Begriffe kontrastieren, sind der Wissenschaft fremd.
2. Für das Lernen sind sie jedoch zentral, da sie Teil einer sehr leistungsfähigen Vermittlungsstrategie sind.
3. Experimente, die Phänomene oder Begriffe kontrastieren, betonen Unterschiede und geben Gelegenheit, vielfältige Verwechslungen und Verständnisprobleme zu thematisieren.

Experimente, die einen Zusammenhang zu Anwendungen herstellen

Die Anwendungsbezogenheit ist eine oft gehörte Forderung an den Unterricht. Dahinter steht die Aufforderung, die Physik möge endlich ihren Elfenbeinturm verlassen und hinaus gehen ins Leben, auf die Schülerinnen und Schüler zu. Dies ist meines Erachtens eine Fehleinschätzung: Physik als Theoriegebäude arbeitet mit starken Idealisierungen und wirklichkeitsfremden Modellbildungen, die alles Kontexthafte abgestreift haben. Wer Physik lernen möchte, muss sich auf den Weg machen in diese Welt der Ideale.

Einen Bezug zur technischen Anwendung, zu Mensch oder Natur kann und soll man dennoch herstellen, und zwar um das Gelernte dort in verhüllter und abgewandelter Form wiederzufinden. Bezüge zu Anwendungen, Mensch und Natur mögen auch als Ausgangspunkt für das Lernen geeignet sein, vielleicht, um Fragen zu stellen. Die Physik selbst jedoch kommt ohne ihre Idealgestalten nicht aus, und daher wird das Lernen mit diesen Idealen arbeiten: Mit Bewegungen ohne Reibung, masselosen Hebeln und supraleitenden Drähten. Auch für die Wissenschaft sind Bezüge zu Anwendungen, Natur und Mensch zentral. Zumindest in solchen Teildisziplinen, die einer Verwertbarkeit offenstehen, werden große Anstrengungen unternommen, in der Theorie gebildetes Wissen in Anwendungen zu übertragen. Dass dies Jahre oder Jahrzehnte dauern kann, zeigt jedoch auch: Zwischen der Wissenschaft als einer Disziplin des Verstehens und Bedeutungen-Konstruierens auf der einen Seite und der Technik auf der anderen Seite, in der Wissen zum Werkzeug wird, liegt ein breiter Strom von Unwägbarkeiten, der nur mit großen Mühen überbrückt wird.

Mit Experimenten, die einen Zusammenhang zu Anwendungen herstellen, sind folgende Aussagen verbunden:

1. Experimente, die einen Zusammenhang zu Anwendungen, zu Natur oder Technik herstellen, sind für Teile

der Wissenschaft bedeutsam. Für das Lernen übernehmen sie die Funktion einer Sinn-Stiftung.

2. Die Physik arbeitet mit Idealgestalten, die in dieser Form nicht in technischen Anwendungen oder der Natur gefunden werden – Letztere wirken verhüllend und die Physik verfremdend.
3. Bezüge zu Anwendungen, zu Natur und Technik sind ein geeigneter, oft auch motivierender Rahmen, um physikalisches Wissen wiederzuentdecken. Ob dieser Rahmen auch für den Erwerb eben dieses Wissens geeignet ist, muss zurückhaltend beurteilt werden: Die Gefahr der Überforderung liegt auf der Hand.

Experimente, die durch Analogien Vorstellungen veranschaulichen

Der Unterricht arbeitet an vielen Stellen mit Analogiemodellen – gedanklichen, bildlichen wie auch gegenständlichen und damit experimentellen, die allein den Zweck haben, eine bestimmte Vorstellung zu vermitteln. Ein Wassermodell für den Unterricht in der Elektrizitätslehre erfüllt außerhalb dieses Unterrichts rein gar keinen Zweck, und entsprechend werden solche Gegenstände von Fachfremden beargwöhnt. Ein Wassermodell ist allein dafür geschaffen, eine Analogie greifbar zu machen und damit eine bestimmte Vorstellung von den Zusammenhängen im elektrischen Stromkreis zu etablieren.

Analogien sind stets begrenzt. Auch in der Wissenschaft kennen wir Experimente, die auf die Frage abheben, inwieweit eine Analogie gilt und wo sie an ihre Grenzen stößt.

Mit Experimenten, die durch Analogien Vorstellungen veranschaulichen, sind folgende Aussagen verbunden:

1. Experimente, die durch Analogien Vorstellungen veranschaulichen, sind in der Wissenschaft zwar bedeutsam. Für das Lernen jedoch sind sie zentral, um bestimmte Vorstellungen aufzubauen.
2. Um den Gehalt von Analogien deutlich zu machen, müssen sie deutlich konturiert werden: Ihre Grenzen müssen hervorgehoben werden, damit begreiflich wird, was sie aussagen sollen und was nicht.

Literatur

- Bortz, J. & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Hofstein, A. & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 88, 28 – 54.