



Das Beste aus zwei Welten

Reale und virtuelle Experimente erlauben unterschiedliche Blickwinkel auf ein Thema.

Salome Flegr

Äpfel und Birnen sollte man nicht vergleichen. Gleiches gilt für reale und virtuelle Experimente im Unterricht. Besser ist es, beide Experimentierformate zu kombinieren, um den Lernenden einen Einblick in das Lernthema aus verschiedenen Perspektiven zu erlauben.

Das Experimentieren ist zentraler Bestandteil des Physikunterrichts und fest im Curriculum verankert. Experimente helfen, Zusammenhänge zwischen verschiedenen (physikalischen) Größen zu erkennen und zu erforschen. Dabei dienen sie sowohl der Bestätigung bereits theoretisch erfasster Zusammenhänge als auch der exploratorischen Erkundung noch unbekannter Abhängigkeiten. Experimente können die Kompetenz der Lernenden zum systematischen Variieren von Variablen fördern und ihren Umgang mit verschiedenen Materialien und Messinstrumenten trainieren. Sie geben einen ersten Einblick in wissenschaftliches Arbeiten, etwa in der experimentellen Physik. Das Hauptziel der meisten Schülerexperimente ist das Erlangen von Konzeptverständnis. Die Lernenden sol-

len durch das Experimentieren die erforschten Zusammenhänge erkennen und diese Erkenntnisse in ihr bestehendes Wissen zu dem jeweiligen Sachverhalt integrieren.

An diesem Punkt scheitern Schülerexperimente leider oft in der Praxis. Entweder führen die Lernenden die Experimente durch chaotische Aufbauten oder unpassende Anleitungen nicht korrekt durch oder die relevanten Beobachtungen lassen sich nicht gut genug tätigen. Teilweise reicht auch die Zeit nicht aus, um sich intensiv mit dem Experiment auseinanderzusetzen. Dadurch arbeiten die Kinder und Jugendlichen die Experimente nur hastig und rezeptartig ab und können die neuen Erkenntnisse nicht wie gewünscht in ihr bisher erlangtes Wissen integrieren.

Virtuelle Experimente – die perfekte Lösung?

Eine Möglichkeit, diese Probleme zu umgehen, bieten virtuelle Experimente. Das sind interaktive Bildschirm-simulationen, die auf Laptops oder Tablets zu bedienen sind (**Abb. 1a**). Inzwischen kommen Laptops und Tablets fast

flächendeckend an Schulen zum Einsatz und eröffnen damit die Möglichkeit zum Einsatz virtueller Experimente [1].

In virtuellen Experimenten erlauben Schieberegler es, in einem vorgegebenen Experimentiersetting verschiedene Variablen zu manipulieren. In einer dynamischen Visualisierung sind die Konsequenzen für das Experiment direkt zu sehen. Häufig ist die Visualisierung abstrakter als das entsprechende Realexperiment.

Ein Vorteil virtueller Experimente besteht darin, dass das Experimentieren in einem festen Rahmen stattfindet und somit kein Chaos entstehen kann [2]. Nur die vorgegebenen Variablen sind veränderbar, etwa im Linsenexperiment die Brennweite f , die Gegenstandsgröße G und die Gegenstandsweite g (Abb. 1a). Die ausgegebenen Werte – hier die Bildgröße B und Bildweite b – sind exakt und fehlerfrei, sodass die zugrundeliegenden Zusammenhänge leichter zu erkennen sind. Der experimentelle Aufbau ist stark vereinfacht: Allein die Hauptkomponenten sind dargestellt – etwa der Gegenstand, die Linse und das Bild des Gegenstands. Dadurch reduziert sich das Experiment auf das Wesentliche, und die Lernenden können sich auf die konzeptuellen Aspekte im Experiment fokussieren.

Virtuelle Experimente erlauben es zudem, Unsichtbares sichtbar zu machen, beispielsweise die Konstruktionsstrahlen und das Lichtbündel zur Punkt-zu-Punkt-Abbildung. Diese Integration theoretischer Aspekte direkt in das manipulierbare Experiment kann das Verständnis der zugrundeliegenden Theorie fördern. Auch die unkomplizierte Handhabung ist ein Pluspunkt bei diesem Experimenttyp: Im Unterricht müssen lediglich digitale Endgeräte und ein Internetzugang verfügbar sein.¹⁾ Weder große noch teure, gefährliche, sensible oder aufwändige Messgeräte und Materialien sind nötig. Der Auf- und Abbau des Experiments entfällt ebenfalls. Die Simulation erlaubt es, Messungen zu beschleunigen und Messwerte direkt anzuzeigen, deren Erfassung in einem realen Experiment einige Zeit in Anspruch nehmen kann. Dadurch sind Zusammenhänge schneller erfassbar. Außerdem bietet eine Simulation

theoretisch grenzenlose Möglichkeiten: Sie erlaubt es zum Beispiel, ein Federpendel auf dem Mond zu untersuchen und mit Messungen auf der Erde zu vergleichen (Abb. 2). Auch die Ausgabe der Messwerte kann direkt in Form einer Grafik erfolgen und so einige prozedurale Arbeit während des Experimentierens ersparen. Im Beispiel des Federpendels werden etwa die Energie und die Änderung ihrer Zusammensetzung in einer Grafik links dynamisch und gleichzeitig mit der Bewegung des Federpendels angezeigt.

Auch das Realexperiment hat Einiges zu bieten

Doch auch reale Experimente haben ihre Vorzüge: So bieten sie einen authentischen und realistischen Experimentieraufbau. Die beobachteten Phänomene sind somit glaubhaft und echt und lassen sich teils direkt mit Alltags- oder unterrichtlichen Vorerfahrungen verknüpfen. Die mit dem Realexperiment verbundenen Schwierigkeiten beim Erfassen von Messwerten – Messfehler und Messunsicherheiten, Reibungseffekte und sonstige „Störquellen“ –, die beim virtuellen Experiment nicht auftreten, können wichtige Kompetenzen mit ihrem Umgang fördern. Genau diese Ungenauigkeiten und Schwierigkeiten sind bei authentischen Experimenten in der physikalischen Forschung auch immer zugegen und damit ein wichtiger Bestandteil des Experimentierens. Im realen Experiment können Schülerinnen und Schüler haptische Erfahrungen machen, was den Lernprozess fördern kann. Außerdem üben sie die Handhabung bestimmter Materialien und (Mess-)Instrumente ein, auf die Lehrkräfte später aufbauen können. Die Komplexität des Realexperiments ermöglicht es, das sorgfältige Planen, Aufbauen, Durchführen und händische Auswerten zu trainieren. Die Lernenden müssen die Denk- und Arbeitsschritte selbstständig ausführen und werden dauernd kognitiv gefordert.

Reale Experimente ersetzen?

Die fachdidaktische Forschung hat sich seit dem Aufkommen virtueller Experimente intensiv mit der Frage beschäftigt, inwiefern diese die realen Experimente im

1) Eine große Auswahl kostenloser virtueller Experimente findet sich beispielsweise unter www.golabz.eu/labs und phet.colorado.edu/de.

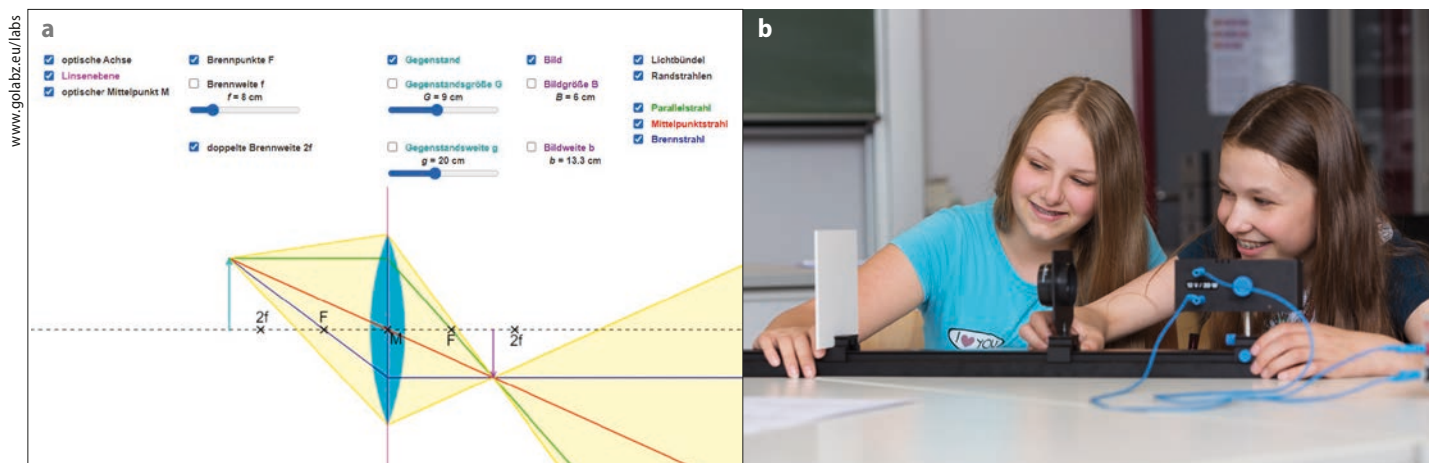


Abb. 1 Die Abbildung durch eine Sammellinse lässt sich sowohl in einem virtuellen Experiment (a) darstellen als auch mit optischen Komponenten in einem realen Experiment erkunden (b).

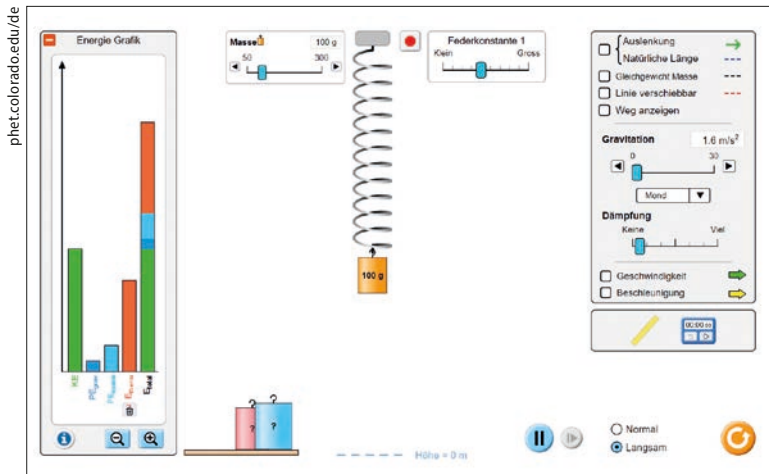


Abb. 2 Ein virtuelles Experiment zum Federpendel ermöglicht es unter anderem, Messungen auf dem Mond mit denen auf der Erde zu vergleichen. So lässt sich rechts die Gravitation anpassen.

naturwissenschaftlichen Unterricht ersetzen könnten. Verschiedene systematische Literaturreviews und Meta-Analysen haben die Ergebnisse aus diesem Forschungszweig mit unterschiedlichen Perspektiven analysiert [3–6]. Diese Überblicksarbeiten kommen übereinstimmend zu dem Ergebnis, dass virtuelle Experimente in den meisten Fällen gleich gut oder sogar besser abschneiden als Realexperimente, wenn es um die Frage geht, wie stark sie das Lernen fördern. James Brinson fasste 2015 die Ergebnisse aus 56 Studien zusammen [3]. In 50 davon waren die Lernergebnisse in den betrachteten Kategorien mit dem virtuellen Experiment gleich oder besser als mit dem realen Experiment. Die betrachteten Kategorien umfassten Wissen und Konzeptverständnis, Experimentierfähigkeiten, praktische Fähigkeiten, Wahrnehmung, analytische Fähigkeiten und soziale und wissenschaftliche Kommunikationsfähigkeiten. 53 der 56 Studien hatten ihren Hauptfokus auf Wissen und Konzeptverständnis.

Alle Überblicksarbeiten erwähnen [3–6], dass reale und virtuelle Experimente unterschiedliche Lernziele zu fördern scheinen: die realen Experimente eher praktische, Hands-on-Fähigkeiten und die virtuellen Experimente eher das Verständnis theoretischer Grundlagen. Ein Artikel aus dem Jahr 2013 kommt zum selben Schluss und plädiert dafür, reale und virtuelle Experimente nicht gegeneinander auszuspielen, sondern sinnvoll zu kombinieren [2]. Auf dieser Basis haben wir in einem systematischen Literaturreview die Frage untersucht, ob die Kombination der beiden Experimententypen den Lernfortschritt besser förderte als die Einzelexperimente [7].

Äpfel und Birnen kombinieren, nicht vergleichen

Dafür haben wir in unserer Autorengruppe aus knapp 10 000 Artikeln in mehreren Schritten und unter Zuhilfenahme klarer Kriterien – beispielsweise naturwissenschaftliches Lernen, Kombinationen aus realen und virtuellen Experimenten, experimentelle Studien – die 30 relevantesten Studien herausgefiltert. Hierbei haben wir zunächst rund

2500 Duplikate entfernt und anschließend die Titel und Abstracts gescreent, um weitere 7257 Artikel auszuschließen. Von den verbleibenden 289 Artikeln haben wir den Volltext gescreent, woraufhin 30 Studien übriggeblieben sind. Diese befassen sich mit einem Vergleich von kombinierten realen und virtuellen Experimenten versus einzelnen realen oder einzelnen virtuellen Experimenten [7].

In 25 der 30 Studien erlangten Lernende, die mit beiden Experimententypen statt mit nur einem arbeiteten, ein signifikant besseres Level an Wissen bzw. Konzeptverständnis als ihre Mitlernenden, die in der gleichen Zeit mit nur einem Experimentierformat gearbeitet hatten. Vier weitere Studien fanden dagegen keinen signifikanten Unterschied zwischen den verschiedenen Lerngruppen. Die Gründe hierfür lassen sich bislang nur vermuten: So könnten etwa eine unzureichende Unterstützung beim Experimentieren und gedanklichen Verknüpfen der Experimente oder andere Rahmenbedingungen ursächlich sein. Diese Gründe gilt es, in Zukunft noch näher zu betrachten.

Nur eine einzige Studie fand einen signifikanten Vorteil einer Lerngruppe, die nur mit einem Realexperiment arbeitete verglichen mit einer Lerngruppe, die erst mit einem virtuellen und dann mit dem realen Experiment arbeitete. Diese Studie hat jedoch erhebliche methodische Mängel und ist daher mit Vorsicht zu betrachten [7].

Insgesamt deutet die Forschung darauf hin, dass Kombinationen aus realen und virtuellen Experimenten das Konzeptverständnis der Lernenden signifikant besser fördern als Einzelexperimente. Für andere Zielvariablen wie Zufriedenheit, Experimentierfähigkeiten, praktische bzw. prozedurale Fähigkeiten oder die Fähigkeit zum kritischen Denken zeigte sich meist das gleiche Bild wie beim Konzeptverständnis. Dieses Ergebnis ist gut erklärbar: Jeder Experimententyp bietet durch seine Eigenheiten bestimmte Lerngelegenheiten, über welche die jeweils andere Form nicht in der gleichen Art und Weise verfügt. Aus diesem Grund ergänzen sich die Experimententypen und vereinen das Beste aus beiden Welten.

Ein Beispiel aus der Optik kann dies illustrieren (**Abb. 1**): Das virtuelle Experiment vermittelt gut die zugrundeliegenden Konzepte des Lichtdurchgangs durch die Sammellinse und der Konstruktionsstrahlen und erlaubt es den Lernenden, schnell und einfach zu erfassen, wie etwa die Gegenstands- mit der Bildweite zusammenhängt. Das tatsächliche Phänomen der Abbildung durch die Sammellinse ist aber nicht beobachtbar und der Experimentieraufbau mit den echten Materialien wird nicht vermittelt. Diese Einblicke bietet nur das reale Experiment. Damit bedienen die beiden Experimententypen komplementäre Ziele und ergänzen sich in den abgedeckten Lerninhalten.

Eine theoretische Erklärung für dieses Ergebnis findet sich im DeFT-Framework (Design, Function, Tasks) [8]. Dieses Modell beschreibt, was zu beachten ist, damit das Lernen mit multiplen Repräsentationen (z. B. verschiedenen Visualisierungen eines Sachverhalts) gelingt. Hierbei nehmen die unterschiedlichen Repräsentationen (in diesem Kontext das reale bzw. das virtuelle Experiment) verschiedene Funktionen für das Lernen ein: Sie können komplementäre Rollen haben, die Interpretation ein-

schränken oder vertieftes Wissen fördern [8]. In diesem Fall können sie das Lernen besser fördern als eine einzelne Repräsentation.

What's next?

Für das Design einer Kombination realer und virtueller Experimente, also der Frage nach der Reihenfolge bei der Kombination, ist aktuell noch unklar, ob es besonders lernförderliche Designs gibt oder ob diese nur eine untergeordnete Rolle spielen. In bisherigen Studien arbeiteten die Lernenden meist nacheinander mit den Experimenttypen, nicht zeitgleich. Hierbei gab es meist keinen signifikanten Unterschied, ob die Lernenden zunächst real und anschließend virtuell experimentiert haben oder umgekehrt [7]. Nur in einigen wenigen Studien wurden beide Experimenttypen parallel angewendet. Einerseits könnte dies helfen, Parallelen zu ziehen und Informationen aus beiden Experimenten direkt zu verknüpfen, andererseits könnte es die Lernenden aber überfordern, weil sie zu viele Informationen gleichzeitig erhalten. Aktuell erforschen wir, ob sich der Lernfortschritt noch besser fördern lässt, wenn die Informationen aus beiden Experimenttypen direkt ineinander integriert angezeigt werden, wie es etwa bei Augmented Reality- und Virtual Reality-Experimenten der Fall sein kann.

Literatur

- [1] T. de Jong, *Science* **312**, 532 (2006)
- [2] T. de Jong, M. Linn und Z. C. Zacharia, *Science* **340**, 305 (2013)
- [3] J. R. Brinson, *Comp. Educ.* **87**, 218 (2015)
- [4] J. Ma und J. V. Nickerson, *ACM Comp. Surv. (CSUR)* **38**, 1 (2006)
- [5] N. Rutten, W. R. van Joolingen und J. T. van der Veen, *Comp. Educ.* **58**, 136 (2012)
- [6] A. Sypas und D. Kalles, *ACM Proc. 22nd Pan-Hellenic Conf. Inf.* **70** (2018)
- [7] S. Wörner, J. Kuhn und K. Scheiter, *Rev. Educ. Res.* **92**, 911 (2022)
- [8] S. Ainsworth, *Learn. Instr.* **16**, 183 (2006)

Die Autorin



Salome Flegr fand dank ihres Physiklehrers in der Oberstufe ihre Begeisterung für Physik und erhielt zum Abitur den Schulpreis der DPG. Sie studierte Physik an der Uni Ulm (B. Sc.) und absolvierte an der Uni Stuttgart einen Master of Education mit den Fächern Physik und Mathematik für das gymnasiale Lehramt. Ihre Promotion in

Didaktik der Physik schloss sie Anfang 2023 ab. In ihrer Forschung beschäftigt sie sich hauptsächlich mit dem Experimentieren im Physikunterricht. Interessanterweise wären Experimente beinahe der Grund gewesen, weshalb sie das Fach Physik für die Oberstufe abgewählt hätte, weil sie deren Durchführung für unnützlich und lästig hielt. Heute hat sich ihre Sichtweise geändert und sie arbeitet gezielt daran, die Probleme beim Experimentieren zu verringern.

Dr. Salome Flegr, LMU München, Lehrstuhl für Didaktik der Physik, Edmund-Rumpler-Str. 13, München



Physik Journal Dossier: Lehre



Hier geht's direkt
zum Dossier
Lehre



... oder über
www.physik-journal.de