

# Interaktiv im Physikunterricht

## Wie Simulationen reale Experimente ergänzen und das Unsichtbare visualisieren

Miral Shah, Byron Philhour, Sonia Tye, William Oakley, Neeru Khosla, Paul Schlummer und Daniel Laumann

Reale Phänomene und die unmittelbare Wahrnehmung physikalischer Prinzipien stehen in einem Spannungsfeld zur abstrakten Modellierung und theoretischen Beschreibung der Physik. Sowohl Forschende als auch die Wissensvermittlung müssen Abstraktion und Konkretion zusammenführen. In der Lehre können interaktive Simulationen und virtuelle Lernumgebungen eine Brücke zwischen dem Realen und dem Modellhaften bilden. Interaktive Simulationen ergänzen dabei reale Experimente und helfen, unsichtbare Effekte erlebbar zu machen.

Experimente stellen seit Anfang des 19. Jahrhunderts ein zentrales Unterrichtselement dar. Ihre Eigenschaften haben sich mit der Zeit jedoch verändert [1], zuletzt durch die Möglichkeit, digitale Medien vielfältig einzusetzen. Reale Experimente dienen u. a. dazu, Naturphänomene oder alltagsrelevante Anwendungen darzustellen und zeichnen sich durch ein hohes Maß an Glaubwürdigkeit aus [2]. Studien zeigen, dass es lernförderlich ist, wenn Lehrkräfte und Lernende Experimente angemessen vor- und nachbereiten [3]. Dieser Einbettung kommt dabei auch die Aufgabe zu, experimentelle Erkenntnisse mithilfe eines physikalischen Modells zu analysieren und zu interpretieren.

Um Experimente in den Unterricht einzubetten, bedarf es ergänzender Medien. Dabei stehen neben Schulbüchern,

Arbeitsblättern oder dem Tafelanschrieb auch digitale Medien zur Verfügung. Während in den eher traditionellen und analogen Unterrichtsmedien primär statische und visuelle Repräsentationen, wie Texte, Formeln und Zeichnungen, zum Einsatz kommen, ermöglichen digitale Technologien je nach Medium auch den Einbezug dynamischer Visualisierungen, Töne oder auch interaktiver Inhalte. Digitale Medien vergrößern dabei nicht nur den Handlungsspielraum der Lehrkräfte. Weil sie das Sehen und Hören ansprechen, ergänzen sie den Unterricht auch aus kognitionspsychologischer Perspektive [4].

Reale Erfahrungen und modellbezogene Beschreibungen lassen sich mit interaktiven Simulationen besonders gut verbinden. Die Simulationen basieren auf Messdaten oder theoretischen Modellen realer Prozesse bzw. Phänomene. Sie beinhalten statische oder dynamische Visualisierungen sowie teilweise auditive Elemente. Den Nutzenden ermöglichen sie die Variation verschiedener Parameter und so die Untersuchung von Einflüssen auf den dargestellten Prozess – genau wie bei realen Experimenten. Psychologische Modelle beschreiben diese Form des Erkenntnisgewinns als dreistufigen Prozess aus Hypothesenbildung, experimenteller Prüfung und resultierender Schlussfolgerung [5].

- ◀ Auswahl interaktiver Simulationen (deutschsprachig) zur Physik auf der Website der US-amerikanischen CK-12 Foundation

## Den Nutzen interaktiver Simulationen erforschen

Empirische Befunde legen nahe, dass Simulationen sinnvoll Wissen vermitteln als Begleitmedium eines Experiments, dieses aber nicht ersetzen können [6]. In einer Studie heißt es: „*by allowing students to explore unobservable phenomena; link observable and unobservable phenomena; point out salient information; enable learners to conduct multiple experiments in a short amount of time; [...] Combinations of virtual and physical laboratories* [Anm.: interaktive Simulationen und reale Experimente] *offer advantages that neither one can fully achieve by itself.*“ [6, S. 308]. Dies erscheint bei angemessener Gestaltung auch aus kognitionspsychologischer Perspektive sinnvoll, da über das Sehen und Hören hinaus weitere Sinne zum Lernprozess beitragen.

Ein weiterer Anlass, um Simulationen einzusetzen, ergibt sich aus deren Potenzial, reale Zusammenhänge über die natürlichen Gegebenheiten hinaus zu verändern. So lassen sich bei realen Experimenten manche Einflüsse, die in einer idealisierenden theoretischen Beschreibung nicht berücksichtigt sind, nur durch umfangreiche Maßnahmen reduzieren. Das gilt zum Beispiel für Reibungskräfte. Bei einer Simulation lassen sich diese mit einem Klick ausschalten oder – je nach didaktischer Zielsetzung – auch überproportional verstärken.

Diesen positiven Eigenschaften interaktiver Simulationen stehen aber auch Schwierigkeiten gegenüber. So ist der Einsatz von Simulationen dadurch begrenzt, dass zur Durchführung hinreichend Zeit bleibt und die Lehrkräfte dabei unterstützen [7]. Außerdem gilt es, Lernschwierigkeiten zu berücksichtigen, die sich beim Umgang mit Simulationen ergeben, zum Beispiel bei der Interpretation komplexer oder dynamischer Visualisierungen. Davon unabhängig stellt eine angemessene digitale Infrastruktur in Schulen und Bildungseinrichtungen eine notwendige Voraussetzung dar, um digitale Simulationen zu nutzen. Eine solche Infrastruktur ist allerdings auch heute in Deutschland keine Selbstverständlichkeit [8].

## Lernen mit interaktiven Simulationen

Bekannte Simulationen für den Physikunterricht entstammen dem Projekt PhET – Physics Education Technology [9]; ein „Klassiker“ sind die Simulationen von Walter Fendt. Weitere Beispiele finden sich auch bei LEIFiPhysik,<sup>1)</sup> dem größten deutschsprachigen Onlineportal für Lernende im Bereich der Naturwissenschaften, oder bei der CK-12 Foundation (**Infokasten**), deren Anwendungen in den USA sehr weit verbreitet und seit 2019 in Deutschland verfügbar sind.<sup>2)</sup>

Die Simulationen von CK-12 zeichnen sich durch vielfältige Interaktionsmöglichkeiten aus und beziehen sich stets auf reale Kontexte mit Alltagsbezug, die sich aber im Klassenraum sonst nur schwer untersuchen lassen. Aktuell existieren etwa 90 Simulationen zur Physik für sämtliche Sachgebiete; jede Simulation steht unter einer übergeordneten Leitfrage. Alle Simulationen beginnen mit einem Einführungsvideo, welches das jeweilige Szenario beschreibt und Hintergrundinformationen beinhaltet. Dieser Einstieg unterstützt die Lernenden dabei, den Kontext mithilfe der Simulation selbstständig zu untersuchen, indem sie Variablen variieren und so eigene Hypothesen prüfen. Darüber hinaus stehen für jede Simulation weitere Beispiele mit Bezug zur Lebenswelt der Lernenden zur Verfügung, die sich auf die Lerninhalte und Konzepte der jeweiligen Simulation beziehen.

Dabei sind die englischsprachigen CK-12-Simulationen auf die curricularen Anforderungen des Schulsystems der USA abgestimmt. Bei einer Kooperation des Instituts für Didaktik der Physik der Universität Münster mit der CK-12 Foundation wurden 34 Simulationen ausgewählt, die hinsichtlich der Inhalte und Komplexität passend für die deutschen Lehrpläne in den Sekundarstufen I und II erscheinen.<sup>3)</sup> Forschungsbefunde legen nahe, dass für die Effektivität des Lernens mit Simulationen die Einbettung der Inhalte in einen didaktischen Kontext entscheidend ist. Daher haben wir ergänzend Aufgaben oder reale Experimente mit Bezug zu den Simulationen entwickelt und über das Lernportal LEIFiPhysik bereitgestellt.

## Praxisbeispiel „Fahrstuhl“

Für Lernende sind physikalische Phänomene besonders interessant, wenn sie einen Lebensweltbezug beinhalten wie im Fall eines Fahrstuhls: Bei jeder Fahrstuhlfahrt fühlen wir die Beschleunigung als Folge der wirkenden Gesamtkraft.

Die Simulation „Fahrstuhl“ ermöglicht es unter anderem, den Unterschied zwischen dem Alltagsbegriff „Gewicht“ und der Gewichtskraft gemäß ihrer physikalischen Definition im 2. Newtonschen Gesetz zu untersuchen. Die Lernenden variieren die Beschleunigung des Fahrstuhls und die Masse der fahrenden Person mittels der entsprechenden Schieberegler. Außerdem wählen sie die Etage für die nächste Fahrt. Die Tür des Fahrstuhls schließt sich, und

## CK-12 Foundation

Die gemeinnützige Stiftung CK-12 entwickelt in den USA seit 2007 digitale Lehr-Lernwerkzeuge. Sie verfolgt das Ziel, diese Inhalte weltweit kostenlos über ihre Website [www.ck12.org](http://www.ck12.org) zur Verfügung zu stellen. Neeru Khosla, eine Mitgründerin der Organisation, ist der Überzeugung, dass keinem Kind der Zugang zu Bildung und Lerninhalten verwehrt bleiben sollte. Die CK-12 Foundation leistet insbesondere in den USA Pionierarbeit im Bereich der Entwicklung konzeptbasierter, multimodaler digitaler Inhalte, welche die grundlegenden Konzepte traditionellen Unterrichts identifizieren und ergänzende Lernmaterialien aufbereiten, unter anderem Videos, die lebensweltliche Anwendung, interaktive Simulationen und Übungsaufgaben.

1) [www.leifiphysik.de](http://www.leifiphysik.de)

2) [interactives.ck12.org/simulations/physics.html](http://interactives.ck12.org/simulations/physics.html)

3) [physikkommunizieren.de/simulationen-animationen](http://physikkommunizieren.de/simulationen-animationen)

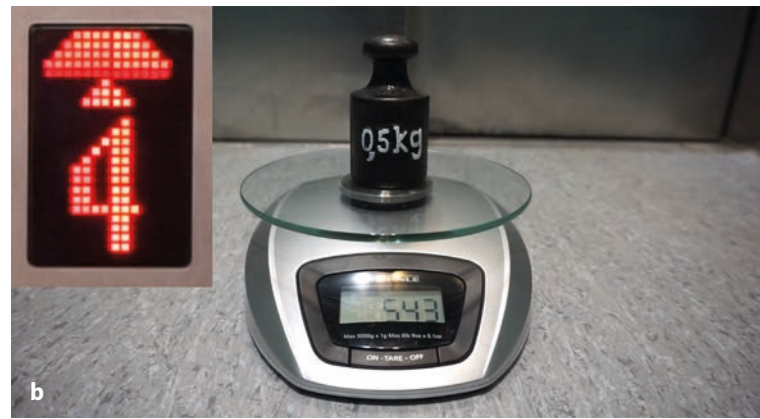
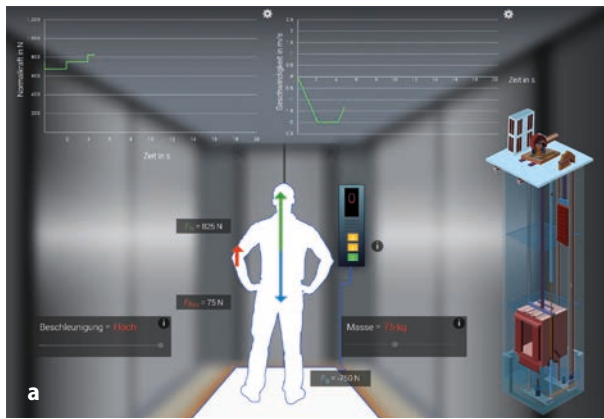


Abb. 1 Simulation „Fahrstuhl“ von CK-12 (a) und Screenshot eines Videos zum zugehörigen Realexperiment (b)

auf Modellebene erscheinen die spürbaren, aber unsichtbaren wirkenden Kräfte als Vektorpfeile; ein Graph stellt den zeitlichen Verlauf der Normalkraft und Geschwindigkeit dar (Abb. 1a). Damit die Lernenden vor dieser abstrakten Erklärung das Phänomen kennenlernen, können sie reale Experimente während einer Fahrstuhlfahrt durchführen (Abb. 1b). Diese Vorbereitung erhöht zudem die Glaubwürdigkeit der Erläuterungen. Weiterführende Beispiele, die eine Vertiefung der Inhalte ermöglichen, beziehen sich beispielsweise auf das Klettern an einer Kletterstange.

bung zu Verhältnissen, die im realen Experiment nicht erreichbar sind, und ergänzt dieses. Gleichzeitig lässt sich damit thematisieren, welchen Einfluss solche Idealisierungen haben. Da in der Simulation idealisierte Bedingungen vorliegen, können im Anschluss beim realen Experiment Systeme mit mehr Störfaktoren zum Einsatz kommen: Anstatt beispielsweise mit großem Aufwand eine Luftkissenbahn aufzubauen, reichen nun selbst hergestellte Luftkissenscheiben für weitere Untersuchungen aus (Abb. 2b) [10]. So gelingt es nicht nur, Fachwissen zu vermitteln, sondern eine Fachmethode wie die Vereinfachung zu reflektieren.

### Praxisbeispiel „Autoscooter“

Die beliebte Jahrmarktsattraktion bietet viele Anlässe zur Beschäftigung mit physikalischen Fragestellungen. Die Simulation „Autoscooter“ macht für Lernende das Prinzip der Impulserhaltung erfahrbar. Dabei führen zwei Wagen einen zentralen Stoß aus. Dieser kann elastisch oder inelastisch erfolgen. Die Stärke lässt sich durch den Impuls und die Masse der einzelnen Wagen variieren, indem mit den Schieberegler Masse und Geschwindigkeit ausgewählt werden. Die Ergebnisse jedes Stoßprozesses visualisieren zwei Graphen: Der eine zeigt den Impuls beider Wagen vor, während und nach der Kollision als Produkt aus Masse und Geschwindigkeit; der andere visualisiert den zeitlichen Kraftverlauf während des Stoßprozesses.

### Ausblick

Die gezielte Kombination interaktiver Simulationen und realer Experimente kann das Lehren und Lernen im Physikunterricht unterstützen. Auch andere digitale Medien bieten Chancen für den naturwissenschaftlichen Unterricht. Um diese Medien zu bündeln und mit traditionellen Lehrmitteln zu verknüpfen, stellt die CK-12 Foundation Lehrkräften und Schulen die adaptive Plattform FlexBook 2.0 zur Verfügung. Diese enthält einerseits die Inhalte für zahlreiche Unterrichtsstunden und hilft andererseits dabei, eigene Unterrichtsmaterialien zu erstellen. Für die Zukunft gilt es zu erforschen, welche kognitiven Wirkungen für das Lernen mit vielfältigen Sinneserfahrungen relevant sind.

Die Simulation (Abb. 2a) ermöglicht es, die Bedingungen beim Stoß zu idealisieren. So führt der Ausschluss von Rei-



Abb. 2 Simulation „Autoscooter“ von CK-12 (a) und ein zugehöriges Realexperiment (b)

Wir bedanken uns für die Unterstützung bei der Umsetzung der deutschsprachigen Inhalte durch Professor Stefan Heusler und Dr. Lisa Stinken-Rösner.

## Literatur

- [1] *D. Laumann, P. Wichtrup* und *G. Friege*, Naturwissenschaften im Unterricht Physik **29**, 4 (2019)
- [2] *D. Laumann*, Integrativer Einsatz realer und interaktiver digitaler Repräsentationen in der Physik, in: *M. Schuhen* und *M. Froitzheim* (Hrsg.), Das Elektronische Schulbuch 2017. Fachdidaktische Anforderungen und Ideen treffen auf Lösungsvorschläge der Informatik, LIT, Münster (2018)
- [3] *H. E. Fischer* et al., Quality of Instruction in Physics – Comparing Finland, Germany and Switzerland, Waxmann, Münster (2014)
- [4] *R. E. Mayer*, The Cambridge Handbook of Multimedia Learning, Cambridge University Press, Cambridge (2014)
- [5] *M. Walpuski*, Optimierung von experimenteller Kleingruppenarbeit durch Strukturierungshilfen und Feedback, in: *H. Niederrerr*, *H. Fischler* und *E. Sumfleth* (Hrsg.), Studien zum Physik- und Chemielernen, Logos, Berlin (2006)
- [6] *T. de Jong*, *M. C. Linn* und *Z. C. Zacharia*, Science **340**, 305 (2013)
- [7] *L. K. Smetana* und *R. L. Bell*, International Journal of Science Education **34**, 1337 (2012)
- [8] *M. Ikeda*, PISA in Focus **108**, OECD Publishing, Paris (2020)
- [9] *C. E. Wieman*, *W. K. Adams* und *K. K. Perkins*, Science **322**, 682 (2008)
- [10] *P. Schlummer* und *A. Pusch*, Low Cost Kinematik-Experimente – Mit Luftkissenscheiben aus dem 3D-Drucker, in *V. Nordmeier* und *H. Grötzebauch* (Hrsg.) PhyDid-B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung in Aachen (2019).

## Die Autoren

**Miral Shah** ist Chief Technology & Product Officer der CK-12 Foundation und erfahren im Entwickeln digitaler Produkte und Technologieplattformen für den Bildungssektor.

**Byron Philhour** war leitender Experte bei der Entwicklung der CK-12-Simulationen zur Physik. Derzeit ist er Dekan für „Teaching and Learning“ an der San Francisco University High School.

**Sonia Tye** entwickelt als Physics Content Manager mit Leidenschaft digitale Lehrpläne und will den naturwissenschaftlichen Unterricht unterhaltsamer machen.

**William Oakley** ist langjähriges Mitglied des wissenschaftlichen Teams von CK-12 und will den naturwissenschaftlichen Unterricht für alle Lernniveaus zugänglich machen. Er hat zur Entwicklung eines Großteils der interaktiven naturwissenschaftlichen Inhalte von CK-12 beigetragen.

**Neeru Khosla** ist Executive Director und Mitgründerin der CK-12 Stiftung.

**Paul Schlummer** (FV Didaktik der Physik) ist Doktorand am Institut für Didaktik der Physik der Uni Münster und will das Potenzial des Einsatzes digitaler Repräsentationen im Zusammenspiel mit realen Experimentiersituationen näher beleuchten.

**Daniel Laumann** (FV Didaktik der Physik) beschäftigt sich als akademischer Rat an der Uni Münster mit der empirischen Untersuchung und der Entwicklung multipler Repräsentationen für den Physikunterricht sowie der Lehre in physikalischen Laborpraktika.

**Miral Shah**, **Byron Philhour**, **Sonia Tye**, **William Oakley** und **Neeru Khosla**, CK-12 Foundation, CA, USA; **Paul Schlummer** und **Dr. Daniel Laumann**, Institut für Didaktik der Physik, Universität Münster

Unser  
Produkt- und Lieferantenverzeichnis  
für den physikalischen Arbeitsbereich  
finden Sie am Ende der Ausgabe bzw.  
unter

[www.pro-physik.de](http://www.pro-physik.de)



### Wir beraten Sie gerne:

**Änne Anders**,  
Tel. 06201/606-552,  
[aanders@wiley.com](mailto:aanders@wiley.com)

**Silvia Edam**,  
Tel. 06201/606-570,  
[sedam@wiley.com](mailto:sedam@wiley.com)

**Spannend,  
erhellend,  
aufrüttelnd!**

**Mäelle Gavet**  
**Niedergetrampelt von  
Einhörnern**  
Die verheerenden Nebenwirkungen  
von Big Tech – ein Aufruf zum Handeln

2021. 352 Seiten. Gebunden.  
€24,99 • 978-3-527-51072-6

Sie machen unser Leben bequem, sie unterhalten uns, bedienen das Bedürfnis nach Sozialisation und letztlich unsere Eitelkeit durch Selbstdarstellung, aber sie leisten Extremisten Vorschub, Demokratien zu erschüttern, indem sie Lügen verbreiten. Sie schädigen die Gesellschaft durch Steuervermeidung, beuten ihre Mitarbeiter aus und spionieren ihre Kunden aus. Ein aufrüttelndes Buch, das tiefe Einblicke hinter die Kulissen von Amazon, Facebook und anderer Tech-Riesen gibt und zum Nachdenken anregt.

[www.wiley-business.de](http://www.wiley-business.de)

**WILEY**