

---

# LERNPROZESSE MIT DIGITALEN WERKZEUGEN UNTERSTÜTZEN

---

Perspektiven aus der Didaktik  
naturwissenschaftlicher Fächer

---

Jenny Meßinger-Koppelt  
Sascha Schanze  
Jorge Groß  
(Hrsg.)

JOACHIM  
HERZ  
STIFTUNG  
VERLAG





Jenny Meßinger-Koppelt · Sascha Schanze · Jorge Groß  
(Hrsg.)

# Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen

Perspektiven aus der Didaktik  
naturwissenschaftlicher Fächer



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Informationen sind im Internet unter <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

© Joachim Herz Stiftung Verlag, Hamburg 2017

Umschlag: Nicole Keller & Annett Schuft | [www.nicolekeller.de](http://www.nicolekeller.de)

Fotos und Bilder wurden von den Autoren zur Verfügung gestellt.

Die Grafiken und Tabellen wurden nach Vorlagen der Autoren erstellt.

Herstellung: Das Herstellungsbüro, Hamburg |

[buch-herstellungsbuero.de](http://buch-herstellungsbuero.de)

Alle Rechte vorbehalten

[www.joachim-herz-stiftung-verlag.de](http://www.joachim-herz-stiftung-verlag.de)

# INHALT

Vorwort .....	7
<b>Didaktische Mehrwerte und Gelingensbedingungen – eine kritische Übersicht</b>	
Fachdidaktische Mehrwerte durch Einführung digitaler Werkzeuge .....	11
<i>Jochen Kuhn, Mathias Ropohl @ Jorge Groß</i>	
Kommentar zum Leitartikel von Kuhn, Ropohl & Groß .....	33
<i>Niels Pinkwart</i>	
Gelingensbedingungen für die Implementation digitaler Werkzeuge im Unterricht .....	36
<i>Sebastian Becker @ Claudia Nerdel</i>	
Kommentar zum Leitartikel von Becker & Nerdel .....	56
<i>Gregor Gunzenheimer</i>	
<b>Das E-Book als Chance und Herausforderung für den Unterricht</b>	
Digitale (Schul-)Bücher – Vom E-Book zum Multitouch Learning Book .....	63
<i>Nina Ulrich @ Johannes Huwer</i>	
E-Books – Potenziale für den Umgang mit Diversität .....	71
<i>Nina Ulrich</i>	
Multitouch Learning Books für schulische und außerschulische Bildung .....	81
<i>Johannes Huwer @ Ingo Eilks</i>	
BioBook NRW – ein Prototyp eines digitalen Schulbuchs .....	95
<i>Monique Meier, Ralph Aßent @ Daniel Schaub</i>	
<b>Digitale Unterstützung beim Experimentieren und bei der Erkenntnisgewinnung</b>	
Physik Lehren und Lernen mit mobilen Kommunikationsmedien von heute und morgen .....	107
<i>Jochen Kuhn</i>	
Technologie-unterstütztes Lernen im Physikunterricht mittels mobiler Videoanalyse .....	119
<i>Sebastian Becker, Pascal Klein, Alexander Gößling @ Jochen Kuhn</i>	
Digital-gestützte Lernumgebungen zum Experimentieren anhand einer »Experimentier-App« .....	132
<i>Monique Meier @ Marit Kastaun</i>	
Entschleunigen biologischer und chemischer Abläufe durch Zeitlupenaufnahmen .....	147
<i>Dagmar Hilfert-Rüppell @ Bernhard F. Sieve</i>	

Infrarotkameras zur Erweiterung der Sinneswahrnehmung Sehen .....	161
<i>Larissa Greinert @ Susanne Weßnigg</i>	
Augmented Reality (AR) im praktischen Unterricht .....	177
<i>Christoph Thyssen</i>	
Beeinflusst E-Learning-gestützter Unterricht am außerschulischen Lernort kognitives Lernen? .....	192
<i>Jessica Langheinrich @ Franz X. Bogner</i>	

### **Digital gestützte Lernumgebungen gestalten**

Lernvideos in der Chemiedidaktik – der Zusammenhang von Stoff- und Teilchenebene .....	207
<i>Timo Fleischer @ Claudia Nerdel</i>	
Möglichkeiten digitaler Unterstützung von Lehre: Die Methode des Inverted Classroom .....	220
<i>Cornelia Borchert, Axel Eghtessad @ Kerstin Höner</i>	
choice <sup>2</sup> interact – interaktiv Lernen mit Tablets im Chemieunterricht .....	232
<i>Björn Dellbrügge @ Annette Marohn</i>	

### **Unterstützung von Lehrkräften beim Einsatz digitaler Medien**

Implementation digitaler Medien – Bedürfnisse von Lehrkräften erfassen .....	249
<i>Bernhard F. Sieve</i>	
Wissen und Motivation von Lehrkräften im Umgang mit digitalen Technologien .....	264
<i>Daniela Mahler @ Julia Arnold</i>	

# VORWORT

Digitale Ressourcen wie Computer, interaktive Whiteboards, Smartphones oder Tablets bieten großes Potenzial, um den naturwissenschaftlichen Unterricht zu bereichern. Zudem besitzen Lernende aus der alltäglichen Anwendung zunehmend Vertrautheit mit Smartphones und Tablets. Trotzdem rangiert Deutschland nach Studien wie z. B. ICILS<sup>1</sup> im Vergleich zu anderen Ländern deutlich im Hinterfeld, wenn nach dem Einsatz von Computern im Schulunterricht gefragt wird. Woran liegt diese Zurückhaltung in deutschen Schulen? Welcher Mehrwert kann mit digitalen Werkzeugen wirklich erzielt werden? Welche Erfahrungen und Ergebnisse liegen aus den Fachdidaktiken naturwissenschaftlicher Fächer vor? Warum fließen diese Erkenntnisse nicht stärker in die Praxis? Und kann ein verbesserter Austausch und eine Bündelung von vielversprechenden Vorhaben diesen Fluss verbessern? Diese und weitere Fragen waren Ausgangspunkt für einen intensiven Erfahrungsaustausch im Rahmen einer gemeinsamen Schwerpunkttagung der Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDChP) und der Fachgesellschaft der Didaktik der Biologie (FDdB). Hierzu wurden Kolleginnen und Kollegen vom 25. bis 26.11.2016 nach Hannover eingeladen. Die Veranstaltung wurde von der Joachim Herz Stiftung gefördert.

Ziel dabei war es, eine möglichst breite Übersicht über die empirischen Forschungsarbeiten zum Feld der digitalen Medien aus den Fachdidaktiken der Biologie, Chemie und Physik zu geben. In Vorbereitung auf die Tagung wurden drei zentrale Fragen an die Teilnehmerinnen und Teilnehmer gestellt:

1. Welche fachdidaktischen Mehrwerte können durch die Einführung von digitalen Werkzeugen erzielt werden?
2. Welches sind die zentralen Hürden bei der Implementation von digitalen Werkzeugen im naturwissenschaftlichen Unterricht, und welche Erfahrungen bestehen dazu bereits?

---

<sup>1</sup> Europäische Kommission (2014). *The International Computer and Information Literacy Study (ICILS). Main findings and implications for education policies in Europe*. Brüssel.

### 3. Welche Forschungsfragen stehen im Fokus der eigenen fachdidaktischen Lehr-Lern-Forschung?

Diese Struktur war auch leitend für den vorliegenden Band. So widmen sich zunächst zwei Beiträge den ersten beiden Fragen und geben einen einführenden Überblick. Analog dem Vorgehen der Schwerpunkttagung kommentierten zwei »critical friends« die Leitartikel jeweils aus ihrer Expertenperspektive kritisch: Niels Pinkwart aus dem Fachbereich Informatik und Gregor Gunzenheimer aus der Unterrichtspraxis. Insgesamt 30 Autorinnen und Autoren stellen danach in eigenen Beiträgen aktuelle Theoriediskussionen sowie Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte zum Bereich digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht und in der Lehrerbildung dar – illustriert anhand ihrer eigenen Arbeiten. Eine Gliederung bilden dabei aktuelle Fokussierungen der Forschungsvorhaben: So gibt es durch die immer bessere Verfügbarkeit von Tablets einen Bedarf an forschungsbasierter Entwicklung von qualitativ hochwertigen **E-Books** und der Beschreibung sinnvoller Einsatzszenarien. Das **Experiment** als ein zentrales Element naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen verlangt die Prüfung einer sinnvollen digitalen Unterstützung. Ein nächster Abschnitt betrachtet in einer höheren Abstraktionsebene die Gestaltung digital gestützter **Lernumgebungen** für die Lehrerbildung und für den naturwissenschaftlichen Unterricht. Der letzte Abschnitt nimmt schließlich die **Lehrkraft** als Schlüsselfigur für die Integration digitaler Medien in den Unterricht in den Fokus.

Der Band ist maßgeblich aus der Initiative der Joachim Herz Stiftung entstanden, die sich seit mehreren Jahren und mit verschiedenen Förderschwerpunkten intensiv der Unterstützung der naturwissenschaftlichen Fachdidaktiken und dem Thema digitale Medien widmet.

Wir wünschen allen Leserinnen und Lesern viel Spaß mit dem vorliegenden Buch und freuen uns auf den weiteren Austausch.

*Jenny Meßinger-Koppelt, Sascha Schanze und Jorge Groß*

# Didaktische Mehrwerte und Gelingensbedingungen – eine kritische Übersicht



# FACHDIDAKTISCHE MEHRWERTE DURCH EINFÜHRUNG DIGITALER WERKZEUGE

*Jochen Kuhn, Mathias Ropohl & Jorge Groß*

Smartphones und Tablets gehören mehr und mehr zum Alltag der Schülerinnen und Schüler. Zwar rangiert Deutschland nach der ICIL-Studie (Europäische Kommission, 2014) auf den hintersten Plätzen, wenn man nach dem Einsatz von Computern im Schulunterricht fragt. Aber auch in deutschen Schulen und damit im Unterricht hält das Tablet zunehmend Einzug, wobei dabei die Nutzung der Geräte bisher primär als Notebook-Ersatz erfolgt (z. B. als Cognitive Tool oder zu Recherchezwecken). Auch private Smartphones werden im Schulalltag zunehmend genutzt, was jedoch auch Probleme mit sich bringt (wie z. B. Reglementierung und Haftung beim Einsatz privater Geräte). Bedenkt man allerdings die technischen Möglichkeiten und die große Vertrautheit der Lernenden mit den Geräten, so lässt sich erkennen, dass ein zielgerichteter Einsatz digitaler Medien den Unterricht umfassend bereichern kann (West & Vosloo, 2013).

In diesem Beitrag wird der fachdidaktische Mehrwert durch die Einführung von digitalen Werkzeugen wie Smartphones und Tablets aus Sicht der Lehr-Lern-Forschung und der Unterrichtsorganisation beleuchtet. Anschließend werden die in diesem Buch adressierten Kapitel »Kompetenzen von Lehrkräften«, »E-Books«, »Experimente« und »Lernumgebungen« im Zusammenhang mit digitalen Medien überblicksartig eingeleitet.

## KOGNITIONSPSYCHOLOGISCHER ZUGANG

Der Einsatz digitaler Medien im Unterricht ist didaktisch durch den Alltags- und Lebensweltbezug von Smartphone bzw. Tablet begründet. Er lässt sich daher gut in lernpsychologische Rahmentheorien und deren methodische Umsetzungen einordnen, wie beispielsweise beim situierten Lernen (z. B.

Greeno, Smith & Moore, 1993; Gruber et al., 1995) bzw. im kontextbasierten naturwissenschaftlichen Unterricht (Context Based Science Education; siehe z. B. Kuhn & Müller, 2014). In diesem Abschnitt werden deshalb die Möglichkeiten und Limitierungen des Einsatzes digitaler Medien auf Lernprozesse diskutiert.

So ist bei der Verwendung von Smartphone und Tablet zunächst die Annahme, dass neben der Authentizität (im Sinne von Alltagsbezogenheit) eines Themas auch die Authentizität der zum Lernen verwendeten Medien einen positiven Einfluss auf Lernleistung und Motivation hat (sogenannte materiale Situierung; siehe Kuhn & Vogt, 2013; 2015). Zudem wird ein verstärktes Autonomieerleben der Schülerinnen und Schüler beim Umgang mit Smartphone und Tablet angenommen (siehe Ryan & Deci, 2000a; 2000b). So können sie z. B. mit einem Smartphone oder einem Tablet selbstständig einen selbst gewählten Bewegungsvorgang per Video aufnehmen, ihr »eigenes« (mit dem eigenen Gerät erfasstes und ggf. bearbeitetes) Video mittels Videoanalyse-App auf dem gleichen Tablet / Smartphone direkt auswerten sowie analoge, wiederholende oder weiterführende Experimente mit einem mobilen Medium ebenso außerhalb der Schule durchführen. Die integrierte Zeitlupen- und Zeitrafferoption ist dabei eine gute Möglichkeit zur Erschließung naturwissenschaftlicher Phänomene.

Im Gegensatz zu »konventionellen« Unterrichtsmedien können mit digitalen Medien bereits während und direkt nach dem Lernen multiple Repräsentationen für die Schülerinnen und Schüler bereitgestellt werden (z. B. automatische Darstellung der Messdaten als Wertetabellen und Diagramme, Formeln, Vektoren und Bilder). Das kann zu einem tieferen Verständnis der Lerninhalte führen (Dori & Sasson, 2008). Wenn Lernende solche Darstellungen besser verwenden können und den Umgang damit besser beherrschen, so ist damit in der Regel auch eine Verbesserung ihres Konzeptverständnisses und ihrer Fachsprache verbunden (siehe Ainsworth, 2006; Kohl & Finkelstein, 2005; Mayer, 2002). Höffler und Leutner (2007), Bivall, Ainsworth und Tibell (2011) sowie Huk (2006) zeigen auf, dass die Kombination aus haptischen Visualisierungen (z. B. Molekülmodelle) mit digitalen Repräsentationen den größten Lerneffekt aufweist. Zudem ist es möglich, Videos, Animationen oder Simulationen mit geschriebenen oder gesprochenen Texten zu kombinieren und den Lernenden so ein interaktives Lesen zu ermöglichen (Ulrich et al., 2014).

Allerdings steht den genannten Chancen des Einsatzes digitaler Medien eine Herausforderung gegenüber: die ggf. erhöhte kognitive Belastung. Diese lässt sich durch die intuitive Bedienbarkeit der Software zwar reduzieren (Girwidz, 2004), jedoch liegen zur Wirkung einer intuitiven Bedienung auf das Lernen noch keine empirischen Daten vor.

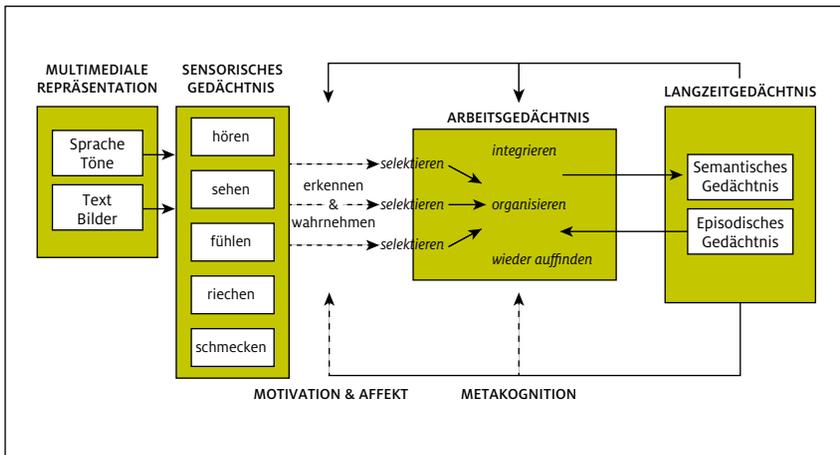
Bei digitalen Medien bietet sich eine breite Palette an Kombinationsmöglichkeiten von Text, Bild und Ton in statischer und dynamischer Form an. Mögliche Kombinationen dieser Repräsentationen haben spezifische Vorteile für das Lernen (folgende Ausführungen in Anlehnung an Blömeke, 2003). Dabei haben die Form der Codierung der Lehr-Lern-Inhalte, die angesprochenen Sinnesmodalitäten sowie die Form der Ablaufsteuerung, der Textgliederung und der Bildgestaltung Einfluss auf die Lernwirksamkeit der Merkmale eines neuen Mediums. Der Theorie der Doppelcodierung von Paivio (1986) zufolge sorgt das Vorhandensein von zwei Arten der Codierung – einer verbalen und einer nonverbalen – für eine bessere Verankerung in und eine leichtere Abrufbarkeit von Wissen aus einem mentalen Modell, da sie getrennt verarbeitet würden. Text und Bild sind hiernach ergänzende Informationsquellen, indem aus dem Text eine verbale und aus dem Bild eine visuelle Repräsentation gebildet wird, und zwar jeweils mit vergleichsweise geringem kognitivem Aufwand. Voraussetzung ist allerdings, dass Text und Bild nicht verschieden gedeutet werden können, sondern sinnvoll aufeinander abgestimmt sind (vgl. Weidenmann, 2002). Die Lernwirksamkeit verbaler und nonverbaler Codierung kann der generativen Theorie multimedialen Lernens von Mayer (2002) zufolge gesteigert werden, wenn Text und Bild räumlich gemeinsam dargeboten werden (Cognitive Theory of Multimedia Learning, CTML). Wenn visuelles und auditives Material zu einem Lerninhalt vorliegt, gilt dasselbe für eine gleichzeitige Präsentation dessen. Eine solche raum-zeitliche Kontiguität fordert das Herstellen von Verbindungen zwischen dem jeweiligen verbal und visuell basierten mentalen Modell zu einem Lerninhalt. Die Wirksamkeit der Kontiguität ist bei niedrigem Vorwissen besonders groß.

Die generative Theorie multimedialen Lernens ist nicht nur für statische Bilder übertragbar, sondern auch für Animationen (Schnotz, 2002). Damit können zeitliche Verlaufsstrukturen in die mediale Darstellung integriert werden, und der Aufbau dynamischer mentaler Modelle kann unterstützt werden. Bei Animationen handelt es sich um die Erzeugung einer scheinbaren

Bewegung in geeigneter Geschwindigkeit, um einen Ablauf zu verdeutlichen. Die exakte Simulation eines kognitiven Prozesses entlastet das Arbeitsgedächtnis der Lernenden, weil sie eine wichtige Lernaufgabe – das Vorstellen eines Ablaufs – vereinfacht.

Darüber hinaus ist eine einfache, klare und sparsame Gestaltung grundsätzlich lernförderlich. Aussehen und Anordnung der dominierenden Elemente einer multimedial aufbereiteten Seite sollten möglichst gleich bleiben (vgl. Weidenmann, 1996), und nicht unmittelbar zum Lerninhalt gehörende Umrahmungen sollten unterbleiben (Moreno & Mayer, 2000: »coherence principle«). Die technischen Möglichkeiten gilt es aber sparsam zu nutzen, wenn es um die Darstellung der Lerninhalte selbst geht. Redundanzen – z. B. in Form von gleichzeitiger Präsentation in textueller und gesprochener Form – überfordern ggf. die Verarbeitungskapazität von Lernenden (Moreno & Mayer, 2000: »redundancy principle«). Auffällige Gestaltungsmerkmale bei einzelnen Inhalten lenken zudem die Aufmerksamkeit der Lernenden möglicherweise so stark, dass falsche mentale Modelle gebildet werden, indem andere Informationen – im Unterschied zu ihrer thematischen Relevanz – nur unzureichend Berücksichtigung finden (vgl. Lowe, 1998).

Eine Erweiterung der CTML ist die Cognitive-Affective Theory of Learning with Media, die ihrerseits verschiedene kognitive Theorien (unter anderem die Cognitive Load Theory) aufnimmt und integriert (Moreno, 2005). Die Theorie erstellt ein umfassendes Modell des Lernprozesses, ausgehend von der Cognitive Load Theory (s. u.) und zwei zusätzlichen Grundannahmen: Zum einen geht das Modell davon aus, dass verschiedene sensorische Modalitäten (visuell, auditiv, taktil etc.) in getrennten Kanälen verarbeitet werden; zum anderen davon, dass Wissen in verschiedenen Repräsentationsmodi oder -codes (verbal/nonverbal) repräsentiert werden kann. Die beiden zusätzlichen Grundannahmen sind für den vorliegenden Beitrag nicht entscheidend, weswegen sie nicht ausführlicher beschrieben werden sollen. Ein Lernprozess läuft gemäß der Cognitive-Affective Theory of Cognitive Learning wie in Abb. 1 dargestellt ab.



**Abb. 1:** Cognitive-Affective Theory of Learning with Media (verändert nach Moreno, 2005, S. 5)

Informationen, die in der Instruktion auf verschiedene Art präsentiert werden (visuell, auditiv, taktil o. Ä.), werden zunächst von den Lernenden wahrgenommen. Anschließend werden (in jedem Kanal) relevante Informationen ausgewählt (Selektion) und ins Arbeitsgedächtnis weitergeleitet. Dort werden aus den Informationen Modelle (ein nonverbales und ein verbales) geformt (Organisation). Zuletzt werden die Modelle zusammengefügt und mit dem bestehenden Vorwissen verbunden (Integration). Die Prozesse der Selektion, Organisation und Integration können allerdings nur dann effektiv ablaufen, wenn es gelingt, die nötige Aufmerksamkeit auf die aktive Verarbeitung der neuen Informationen zu richten. Affektive Faktoren bzw. Persönlichkeitsmerkmale wie beispielsweise Interesse oder Selbstkonzept, die durch Wahl eines bestimmten Instruktionsmediums erzeugt werden können, wirken also medierend auf den Lernprozess. Zusätzlich wirkt eine metakognitive Mediation: Schülerinnen und Schüler, die sich der eigenen Stärken und Schwächen bewusst sind, können benötigte kognitive Prozesse besser planen und überprüfen. Daher werden sowohl Affekte als auch die kognitive Verarbeitung durch metakognitive Fähigkeiten reguliert.

## MEHRWERT DIGITALER MEDIEN BEI DER UNTERRICHTS-ORGANISATION

Um die Frage nach dem Mehrwert digitaler Medien bei der Unterrichtsorganisation zu beantworten, ist es zunächst wichtig, sich die Ebenen des Schulsystems vor Augen zu führen (Petko, 2014; vgl. Abb. 2). Auf der Ebene des Bildungssystems gilt es, sowohl überfachliche Ziele in Bezug auf Kompetenzen im Bereich von Informations- und Kommunikationstechnologien normativ festzulegen als auch fachliche Ziele in Bezug auf Kompetenzen in diesem Bereich auszudifferenzieren. Diese bildungspolitischen Vorgaben bilden den Rahmen für die Ebene der einzelnen Schule, auf der es gilt, die Schulorganisation an die Vorgaben anzupassen. Dazu zählen auch die Schaffung der entsprechenden Infrastruktur durch Anschaffung von Hardware und Software sowie die Nutzung von Unterstützungsangeboten zur Professionalisierung der Lehrkräfte. Die Lehrkräfte bedingen schließlich auf der darunter liegenden Ebene den Einsatz von digitalen Medien im Unterricht. Nur wenn Lehrpersonen über die Kompetenzen zur zielführenden Integration von digitalen Medien in den Unterricht verfügen und wenn ihre Überzeugungen den Einsatz digitaler Medien begünstigen (vgl. nachfolgender Abschnitt in diesem Beitrag und vertiefend auch im Beitrag von [Becker & Nerdel](#), S. 36), können digitale Medien ihre möglichen Wirkungen entfalten und somit einen fachdidaktischen Mehrwert aufweisen. Der Unterricht ist die Schnittstelle zwischen den Lehrkräften und den Schülerinnen und Schülern. Im Unterricht gilt es für die Lehrkräfte, das Lehr-Lern-Angebot so zu gestalten, dass es auf Seiten der Schülerinnen und Schüler optimal genutzt werden kann und fachliche sowie überfachliche Ziele erreicht werden können. Bei der Gestaltung und Umsetzung des Angebots müssen Lehrkräfte daher Methoden und Medien gezielt auswählen und einsetzen können.

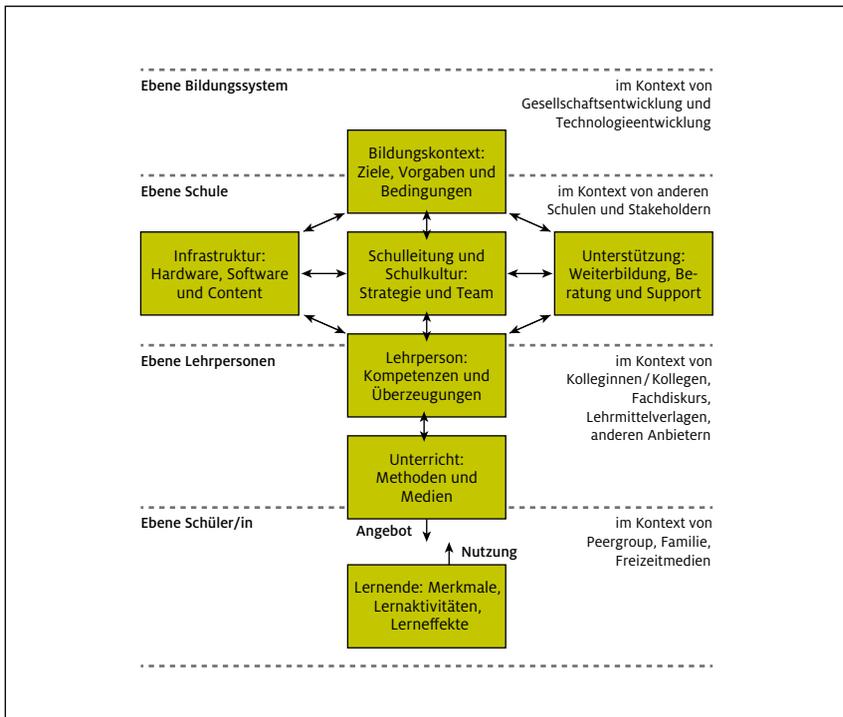
**Nur wenn Lehrpersonen über die Kompetenzen zur zielführenden Integration verfügen und wenn ihre Überzeugungen den Einsatz digitaler Medien begünstigen, können digitale Medien ihre möglichen Wirkungen entfalten.**

Neben den bereits erläuterten Mehrwerten aus Perspektive der Kognitionspsychologie (siehe Abschnitt 1) können auch Mehrwerte aus Perspektive der Unterrichtsorganisation festgehalten werden. Dadurch werden nicht nur die Basisdimensionen der kognitiven Aktivierung (Dimension, die die Verarbei-

tungstiefe beim Lernen beschreibt) und des unterstützenden Unterrichtsklimas (Dimension, die mit dem Autonomie- und Kompetenzerleben sowie der sozialen Eingebundenheit motivationsfördernde Aspekte beschreibt) adressiert, sondern auch die Dimension der Klassenführung (Dimension, die die Unterrichtsorganisation beschreibt; z. B. Regelklarheit, Struktur, time on task; vgl. Klieme & Rakoczy, 2008). Letztere betrifft damit vor allem Aspekte des unterrichtlichen Angebots auf der Ebene der Sichtstruktur von Unterricht.

Nach Kerres (2013) haben digitale Medien eine Reihe von Potenzialen für das Lernen und seine Gestaltung, die auch in Bezug auf die Organisation und Durchführung von Unterricht relevant sind. Zunächst können digitale Medien bei der Durchführung von Lehr-Lern-Methoden eingesetzt werden, beispielsweise zur sozialen Interaktion beim Lernen in kooperativen Lernszenarien. Zudem ermöglichen digitale Medien eine höhere zeitliche und örtliche sowie soziale Flexibilität des Lernens. Es können zum Beispiel alternative Lernorte einbezogen werden. Außerdem geht Kerres (2013) davon aus, dass sich durch die individuelle Anpassung des Lerntempos und der Mediennutzung im Durchschnitt kürzere Lernzeiten ergeben können.

In Bezug auf die von Kerres (2013) genannten Aspekte verweist Schulz-Zander (2005b) auf vier Formen des Lehrens und Lernens, die in besonderer Weise Potenziale digitaler Medien bei der Unterrichtsorganisation umsetzen können und bei denen vier Aspekte eine Rolle spielen: (1) individualisiertes Lernen, (2) forschendes Lernen, (3) kollaboratives Lernen und (4) produktorientiertes Lernen. Beim individualisierten Lernen (1) steht die individuelle Förderung des Wissens- und Kompetenzaufbaus im Mittelpunkt der Nutzung digitaler Medien. Diese kann innerhalb und außerhalb des formalen schulischen Kontextes erfolgen. Ziel ist, dass die Lernenden entsprechend ihrer Lernvoraussetzungen und ihrer Interessen individuelle Lernumgebungen wahrnehmen können. Beim forschenden Lernen (2) können digitale Medien das selbstständige Forschen, beispielsweise durch die Bereitstellung fachspezifischer Experimentierumgebungen, unterstützen bzw. erst ermöglichen. Beim kollaborativen Lernen (3) hingegen kann das Lernen durch die Nutzung digitaler Medien orts- und zeitunabhängig und damit theoretisch global organisiert werden. Schülerinnen und Schüler können mithilfe von digitalen Medien leicht Lerngemeinschaften bilden und durch die Kollaboration eine gemeinsame Wissensbasis und damit geteiltes Wissen herstellen sowie Ar-



**Abb. 2:** Die Ebenen des Schulsystems und Aspekte der ICT-Integration (verändert nach Petko, 2014, S. 136)

beitsprodukte kollaborativ erstellen und digital publizieren. Beim produktorientierten Lernen (4) können digitale Medien ebenfalls unterstützend eingesetzt werden. Ihre Nutzung zielt dabei vor allem auf die Präsentation und Veröffentlichung von Arbeitsprodukten in multimedialer Form ab, ggf. über den schulischen Kontext hinaus. Dadurch können Arbeitsprodukte mit dem Ziel der Kompetenzdiagnose, der schulischen Nutzung sowie der externen Verwendung (für andere Schulen, externe Partner) erstellt werden.

## BENÖTIGTE KOMPETENZEN VON LEHRKRÄFTEN ZUM GEZIELTEN EINSATZ DIGITALER MEDIEN

Für einen lernzielorientierten und damit fachdidaktisch begründeten Einsatz von digitalen Medien im Unterricht müssen Lehrkräfte ihren Unterricht gezielt planen: Sie müssen Lernziele bestimmen, Lernvoraussetzungen berücksichtigen und Lernumgebungen planen. In diesen Lernumgebungen müssen idealerweise die Fachinhalte, die Aufgaben, die Medien, die Kommunikation zwischen den Lernenden sowie die Überprüfung des Kompetenzstandes aufeinander abgestimmt sein. Jeder dieser Aspekte der Lernumgebung kann mithilfe von digitalen Medien unterstützt werden. Dazu müssen Lehrkräfte jedoch über die entsprechenden mediendidaktischen Kompetenzen verfügen. Derzeit wird insbesondere das theoretische Modell von Mishra und Koehler (2006, 2007, 2008) in der einschlägigen Literatur zitiert und diskutiert. Das Modell postuliert, neben den von Shulman (1986, 1987) beschriebenen Facetten des Professionswissens von Lehrkräften, Fachwissen (Content Knowledge, CK) und pädagogisches Wissen (Pedagogical Knowledge, PK) sowie die Facette des technologischen Wissens (Technological Knowledge, TK). Technologisches Wissen ist Wissen über die Bedienung und Nutzung digitaler Technologien. Im Überschneidungsbereich zwischen diesen drei Facetten liegen weitere vier Wissensbereiche, die sich aus deren Kombination ergeben: fachdidaktisches Wissen (Pedagogical Content Knowledge, PCK), technisches Fachwissen (Technological Content Knowledge, TCK), medienpädagogisches Wissen (Technological Pedagogical Knowledge, TPK) und mediendidaktisches Wissen (Technological Pedagogical Content Knowledge, TPCK bzw. TPACK). TPACK »is regarded as the contextualized and situated synthesis of teacher knowledge about teaching specific content through the use of educational technologies that best embody and support it in ways that optimally engage students of diverse needs and preferences in learning« (Angeli, Valanides & Christodoulou, 2016, S. 15 – 16). Auf TPACK wird im Beitrag von [Mahler & Arnold](#) (siehe S. 264) genauer eingegangen. Ebenso beschäftigt sich der Artikel von [Sieve](#) auf Seite 249 mit Gelingensbedingungen zur Einführung von Innovationen am Beispiel interaktiver Whiteboards und nennt hierfür notwendige Kompetenzen von Lehrkräften und wie man diese aufbauen kann.

Wenn eine Geographielehrkraft beispielsweise Lernprozesse zu Effekten



ihr Fachwissen (CK) und ihr pädagogisches Wissen (PK). Letztendlich nutzt sie ein Zusammenspiel aus allen drei Bereichen, sie nutzt ihr sogenanntes mediendidaktisches Wissen (TPCK bzw. TPACK). Koehler und Mishra (2008) verweisen darauf, dass dieses Wissen stark an konkrete Situationen und deren Bedingungen gebunden ist. Daher zählen sie auch das Wissen über den unterrichtlichen Kontext, etwa das Wissen über die Schülerinnen und Schüler, über die Schule, über die Verfügbarkeit von Medien usw., zum mediendidaktischen Wissen (TPACK).

## POTENZIALE VON E-BOOKS ALS UNTERRICHTSMEDIUM

Das Schulbuch gilt bis heute als das »Leitmedium« des Unterrichts mit großer bildungspolitischer und gesellschaftlicher Relevanz (Bölsterly Bardy, 2015). Schulbücher sind oftmals die Bücher, die von Schülerinnen und Schülern am meisten gelesen werden (Altbach, 1991; Bölsterly Bardy, 2015). Zudem ist nach Oelkers (2010) neben der professionellen Kompetenz von Lehrkräften die gezielte Entwicklung von Schulbüchern der zweite zentrale Parameter für erfolgreiche Reformen im Bildungssystem. Diese Bedeutung betrifft aber nicht nur Schulbücher in Fächern mit sprachlichem Schwerpunkt, sondern auch Schulbücher für naturwissenschaftliche Fächer: Obwohl lange vermutet wurde, dass infolge des bereits vor 150 Jahren proklamierten Experimentalunterrichts die Bedeutung des Schulbuches im naturwissenschaftlichen Unterricht zurückgehen könnte (Merzyn, 1994), zeigen neuere Studien, dass die Schulbuchrelevanz in den Naturwissenschaften hoch ist (Beerenwinkel & Parchmann, 2010; Daus et al., 2004; Sanchez & Valcarcel, 1999; Valverde et al., 2002). Allerdings wird das traditionelle Lehrbuch seinen Stellenwert verlieren, denn zukünftig wird Lernen mehr denn je nach individuellem Tempo, angepasst an die individuellen Kompetenzen und Bedürfnisse der Lernenden, stattfinden (Oelkers, 2014). Traditionelle Lehrbücher gelten jedoch als träge Medien, die sich nur langsam verändern, Lernmöglichkeiten einschränken und auf Annahmen entweder des besten oder des durchschnittlichen Lernenden basieren. Obwohl deutsche Schulbuchverlage diese Problematik erkannt haben und viele Anstrengungen unternehmen, mit digitalen Schulbüchern der Di-

gitalisierung gerecht zu werden<sup>1</sup>, ist ein adaptives System, das ein digitales Schulbuch zu einem intelligenten Schulbuch macht und die Ansprüche des individuellen Lernens erfüllt, Mangelware.

E-Books können bei der Darstellung von komplexen naturwissenschaftlichen Prozessen statischen Medien gegenüber überlegen sein, weil sie Videos, Animationen und Simulationen mit geschriebenen oder gesprochenen Texten kombinieren können und dem Lernenden interaktives Lesen ermöglichen (Ulrich et al., 2014). Komplexere und mit Lernhindernissen verbundene naturwissenschaftliche Konzepte oder die Darstellung dreidimensionaler Strukturen können durch diese Repräsentationen mithilfe des Tablets adäquater visualisiert werden. Im visuellen Bereich geht das Potenzial der E-Books damit weit über dasjenige der klassischen Schulbücher hinaus. Auch die Vernetzungen von Begriffen mit einem Glossar oder mit Hyperlinks, die Zusatzinformationen aus dem Internet verfügbar machen, sind möglich. Auf diese Weise entstehen Hypertexte, bei denen die lineare Leserichtung eines klassischen Buchs häufig mit einem Sprung an eine andere Stelle durchbrochen werden kann. Mit diesen Möglichkeiten von E-Books beschäftigen sich vertiefend die Beiträge von [Ulrich & Huwer](#) (S. 63); [Ulrich](#) (S. 71); [Huwer & Eilks](#) (S. 81) sowie [Meier, Aßent & Schaub](#) (S. 95) in diesem Buch.

Wenn es auch noch Zukunftsmusik ist: Intelligente E-Books könnten unter Verwendung zusätzlicher Sensoren – wie z. B. einem Eyetracker – automatisch die Interessen und Präferenzen des einzelnen Lernenden erkennen und ein und denselben Inhalt für jeden Lernenden orientiert an dessen Kompetenzen und Bedürfnissen individuell bereitstellen. Ein solches multimediales Lehrwerk würde Lernprozesse automatisch oder halbautomatisch unterstützen (durch entsprechende Aufgaben), indem es erkennt, ob ein Lernender bei der Arbeit mit Aufgaben über- oder unterfordert ist, und könnte individuelle Feedbackfunktionen anbieten. Es könnte erfassen, wann ein Wort gelesen, ein Diagramm oder eine Formel betrachtet und interpretiert wird. Das E-Book könnte erkennen, ob der Leser an einer Repräsentation verharrt oder sie wiederholt. Es würde – wenn nötig – Begriffserklärungen, Übersetzungen oder visuelle Erläuterungen liefern und so beim Verständnis oder Lernen von Inhalten un-

---

1 z. B. <http://digitale-schulbuecher.de>

terstützen können. Sowohl statische als auch dynamische multimediale Repräsentationen, wie Geräusche, eingeblendete Bilder oder Filmsequenzen, bereichern das individuelle Bearbeiten des Schulbuchinhaltes und schaffen eine Form interaktiven, adaptiven Lernens mit den vereinten Vorzügen aus Schrift und Film (z. B. Ishimaru et al., 2016; Mozaffari Chanijani et al., 2016).

## SMARTPHONE UND TABLET ZUR DIGITALEN UNTERSTÜTZUNG BEIM EXPERIMENTIEREN

Neben den vielfach dargestellten Einsatzmöglichkeiten dieser Medien z. B. zum Recherchieren oder zum Kommunizieren können Smartphone und Tablet speziell im naturwissenschaftlichen Unterricht zudem zur Unterstützung beim Experimentieren verwendet werden. In dieser Hinsicht wurden in den letzten Jahren bereits verschiedene unterrichtspraktische Beiträge zum Einsatz von Smartphones, Tablets und Whiteboards im Physikunterricht (z. B. Kolumne »iPhysicsLabs«: Kuhn & Vogt, 2012; Reihe »Smarte Physik«: Kuhn, Wilhelm & Lück, 2013; Klein et al., 2015; Vogt, Kuhn & Müller, 2011), im Biologieunterricht (z. B. Groß & Lehnert, 2013; Schaal, 2013; Weizel, 2013) und Chemieunterricht (z. B. Krause & Eilks, 2014; Schanze & Sieve, 2015) veröffentlicht. In diesem Buch gehen die Beiträge von [Kuhn](#) (S. 107); [Becker, Klein, Gößling & Kuhn](#) (S. 119); [Meier & Kastaun](#) (S. 132); [Hilfert-Rüppell & Sieve](#) (S. 147); [Greinert & Weßnigk](#) (S. 161); [Thyssen](#) (S. 177) sowie [Langheinrich & Bogner](#) (S. 192) hierauf vertiefend ein und liefern praktische Beispiele.

Diese Beiträge zeigen auch auf, dass die Einsatzmöglichkeiten mobiler Kommunikationsmedien als Experimentiermittel im naturwissenschaftlichen Unterricht sehr vielfältig sind, da sie mit diversen internen Sensoren ausgestattet sind, die physikalische Daten erfassen. Dazu gehören zum Beispiel Mikrofon und Kamera, Beschleunigungs-, Magnetfeldstärke- und Beleuchtungs- bzw. Helligkeitsstärkesensor, Gyroskop, GPS-Empfänger und teils sogar Temperatur-, Druck- und Luftfeuchtesensor. Der ursprüngliche Grund für den Einbau der Sensoren war dabei nicht primär das Experimentieren: Der Beschleunigungssensor wird z. B. genutzt, um die Neigung des Geräts zu bestimmen und den Bildschirm an die Geräteorientierung anzupassen, der

Magnetfeldstärkesensor findet Verwendung als Kompass zur Unterstützung der Navigation mit dem Smartphone oder zur Information des Nutzers mit positionsspezifischen (Wetter-)Umgebungsdaten (Temperatur, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit usw.). Die mit den internen Sensoren erfassten physikalischen Daten lassen sich aber über ihre eigentliche Funktion hinaus mithilfe von Apps auslesen, sodass damit sowohl qualitative als auch quantitative Experimente in vielfältigen Themenbereichen möglich sind. Smartphones und Tablets stellen somit kleine, transportable Messlabore dar, die unübersichtliche Versuchsaapparaturen ersetzen können. Weiterhin sind sie den Lernenden aus ihrem Alltag gut bekannt, wodurch eine hohe Vertrautheit mit der Bedienung erwartet werden kann. Viele mit mobilen Kommunikationsmedien durchführbare Experimente waren bisher ausschließlich computergestützt mit teils teuren und umständlich zu bedienenden Sensoren möglich. Dagegen können Experimente mit internen Sensoren von Smartphone oder Tablet durch die intuitive Bedienbarkeit der Apps einfacher durchgeführt und ausgewertet werden, sodass eine stärkere Fokussierung auf die physikalischen Inhalte möglich ist.

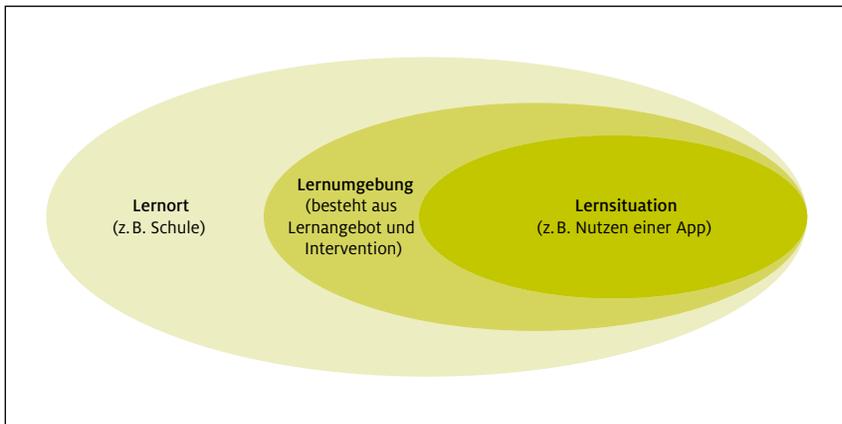
Neben der Verwendung als mobiles Minilabor gibt es analog zum Computer mittlerweile auch für die mobilen Medien Simulationen und Animationen z. B. von Modellen oder Experimenten für den naturwissenschaftlichen Unterricht. Zudem lässt sich auch eine der hinsichtlich der computergestützten Erweiterung der Realitätswahrnehmung leistungsfähigsten technologischen Entwicklungen der letzten Jahre mit Smartphone und Tablet umsetzen: Augmented Reality. Darunter versteht man die computergestützte Erweiterung der Realitätswahrnehmung. Am häufigsten verbreitet ist dabei die Ergänzung von Texten, Bildern oder Videos mit computergenerierten Zusatzinformationen oder virtuellen Objekten, die dann beim Betrachten des realen Gegenstands einge- oder überblendet werden. Mobile Augmented-Reality-Lernumgebungen erlauben damit, reale Lernumgebungen mit virtuellen Lernobjekten anzureichern, und ermöglichen es den Lernenden mit der erweiterten Lernumgebung (real und virtuell) durch den Einsatz mobiler Geräte virtuell zu interagieren. So können Schülerinnen und Schüler z. B. die Phänomene des Fliegens erkunden, indem sie die Kamera mobiler Geräte sowie visuelle Marker wie z. B. Tragflächenprofile und Fön als Luftstromerzeuger nutzen. Durch Kombination der realen Objekte mit virtuellen Strömungsfeldlinien können

dann die Zusammenhänge der Aerodynamik an Tragflächenprofilen qualitativ und quantitativ untersucht werden (siehe hierzu vertiefend den Beitrag von [Thyssen](#), S. 177 und [Kuhn](#), S. 107).

Neben der Verwendung interner Sensoren gibt es auch die Möglichkeit, die Geräte mit vielfältigen externen Sensoren zu verbinden und dadurch das experimentelle Repertoire bei Bedarf nahezu beliebig zu erweitern. Derzeit gibt es die Systeme »Pasport« (Firma Pasco; in Deutschland von der Firma Conatex vertrieben), »LabQuest2« (Firma Vernier; in Deutschland von der Firma LPE vertrieben), »Cobra4« (Firma Phywe), »NeuLog« (Firma NeuLog; in Deutschland von der Firma Christiani vertrieben) sowie das Tablet der Firma Einstein mit Sensoren der Firma Fourier. Durch externe Sensoren können nahezu alle naturwissenschaftlichen Messgrößen auch mit mobilen Medien wie Tablets erfasst und weiter bearbeitet werden. Allerdings müssen neben den entsprechenden Sensoren bei einigen Geräten zudem die Schnittstellen für die Verbindung von Sensor mit Tablet bzw. Smartphone erworben werden.

## MEHRWERT DIGITAL GESTÜTZTER LERNUMGEBUNGEN

Um die Vielgestaltigkeit der digitalen Lernmöglichkeiten strukturieren zu können, wird in diesem Buch zwischen den Begriffen Lernort, Lernumgebung und Lernsituation unterschieden (siehe Abbildung 4). Unter einem Lernort wird eine formale oder informelle Einrichtung verstanden, die generell zum Zweck des Lernens besucht wird, im traditionellen Sinne also Schulen oder außerschulische Lernorte wie z. B. Museen. Diese Lernorte gestalten oder organisieren ihrerseits konkrete Lernumgebungen, in denen es zu spezifischen Lernsituationen kommen kann. Lernumgebungen bezeichnen dabei grundsätzlich die räumlichen, zeitlichen, personellen und instrumentellen Rahmenbedingungen einer Lernsituation. Für formelle Bildungsinstitutionen sind das in der Regel didaktisch aufgebaute Lernangebote der Lehrkraft oder des Fachdidaktikers (wie z. B. eine App oder ein Lernvideo), die mit gezielten Interventionen (wie z. B. einer nach didaktischen Kriterien gestalteten medialen Begleitung) ergänzt werden. Für formelle Bildungsinstitutionen können Lernumgebungen in der Biologie aber ebenso Lebensräume wie Wald,



**Abb. 4:** Abgrenzung der Begriffe Lernort, Lernumgebung und Lernsituation (verändert nach Groß, 2007)

Wiesen und Gewässer darstellen, die beispielsweise mit einer Bestimmungs-App kartiert werden. Für das Experimentieren im Biologieunterricht wird in diesem Buch im Beitrag von Meier und Kastaun eine Lernumgebung mit der Application *DiVoX* vorgestellt (siehe S. 132). Im Chemieunterricht kann man sich über Smartphones und Tablets eine virtuelle Realität in digitaler Form ins Klassenzimmer holen (vgl. Sieve, Struckmeier, Taubert & Netrobenko, 2015). Demzufolge werden Lernsituationen letztendlich als didaktisch begründete und unterrichtlich aufbereitete Handlungssituationen begriffen, die eine individuelle und gesellschaftliche Lebensumwelt des Lerners berücksichtigen.

Charakteristisch für den naturwissenschaftlichen Unterricht in den Fächern Biologie, Chemie und Physik ist, dass im Unterricht vielfach fachliche Lerninhalte aufgegriffen werden, die sich den direkten Erfahrungsmöglichkeiten der Lernenden nicht erschließen. Inhalte wie Teilchenmodelle in der Chemie, Evolutionsprozesse in der Biologie oder der Energiebegriff in der Physik sind nur schwer erfahrbar und bedürfen der strukturierten Vermittlung. Anders als analoge können digitale Medien durch eine Interaktivität gezielte Hilfestellung in Lernsituationen anbieten. Gerade Videovignetten oder

interaktive Lernprogramme besitzen dazu ein hohes Potenzial. Sie können Abläufe auch in Bewegungen und Animationen visualisieren. Zudem können damit die Lernvoraussetzungen stärker berücksichtigt werden. Ein Ansatz zur digitalen Unterstützung der Lehrkräfte war die Installation von interaktiven Smartboards in den naturwissenschaftlichen Räumen (siehe Beitrag Sieve, S. 249). Auch durch digitale Zusatzinformationen wie beispielsweise durch Augmented Reality (siehe Beitrag von Thyssen, S. 177) oder virtuelle Lernangebote können Informationen gezielt dargestellt werden. Wurde in den 90er Jahren noch vielfach davon ausgegangen, dass solche Lernangebote durch hohen medialen Aufwand selbstinstruierend sein könnten (vgl. Affeldt, Groß & Stahl, 2012), so wird inzwischen angenommen, dass digitale Medien ebenso der Einführung und Reflexion bedürfen, wie es bei analogen Medien der Fall ist. Vielfach sind sie sogar mit einem höheren Aufwand für die Lehrkraft verbunden, als dies »konventionellen« Unterrichtsmedien zu eigen ist.

Digitale Medien lassen sich also nur dann rechtfertigen, wenn sich ein spürbarer Mehrwert für den Lernprozess der Schülerinnen und Schüler ableiten lässt. Erste Studien deuten darauf hin, dass sich insbesondere 1:1-Ausstattungen mit digitalen Medien positiv auf die Unterrichtsorganisation und Bereitschaft der Schülerinnen und Schüler zur Kooperation auswirken (Bebell & Kay, 2010). Kritiker befürchteten hierbei zunächst ein erhöhtes Ablenkungspotenzial durch das Lernangebot, das sich aber in Studien kaum nachvollziehen ließ (Döbeli Honegger & Neff, 2011). Vielmehr war (zumindest kurzfristig) eine erhöhte Kreativität bei jungen Schülerinnen und Schülern im Umgang mit ihren Smartphones sichtbar. Da aber erst wenige belastbare Studien vorliegen und in Deutschland erst wenige Schulen systematisch digitale Medien einsetzen, wird die Zukunft zeigen müssen, welcher Mehrwert sich langfristig in der Praxis durchsetzt. Licht auf diese und weitere Fragen wird in diesem Buch an konkreten Beispielen wie Lernvideos in der Chemiedidaktik (vgl. Beitrag von Fleischer & Nerdel, S. 207), Fachwissen vernetzen im Flipped Classroom (vgl. Beitrag von Borchert, Eghtessad & Höner, S. 220) und interaktive Tabletnutzung zum Thema organische Chemie (vgl. Beitrag von Dellbrügge & Marohn, S. 232) geworfen.

## LITERATUR

- Affeldt, S., Groß, J. & Stahl, D. (2012). Die Artansprache verstehen – eine evidenzbasierte Analyse des Bestimmungsweges. In U. Harms & F. X. Bogner (Hrsg.), *Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik* (Band 5, S. 185–202). Innsbruck: StudienVerlag.
- Ainsworth, S. (2006). DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction*, 16(3), 183–198.
- Altbach, P. G. (1991). *Textbooks in American Society*. New York: State University Press.
- Angeli, C., Valanides, N. & Christodoulou, A. (2016). Theoretical considerations of technological pedagogical content knowledge. In M. C. Herring, M. J. Koehler & P. Mishra (Hrsg.), *Handbook of technological pedagogical content knowledge (TPACK) for educators* (S. 11–30). New York & London: Routledge.
- Bebell, D. & Kay, R. (2010). One to One Computing: A Summary of the Quantitative Results from the Berkshire Wireless Learning Initiative. *The Journal of Technology, Learning, and Assessment*, 9(2).
- Beerenwinkel, A. & Parchmann, I. (2010). Ansätze zur Berücksichtigung von Lerner- vorstellungen in Lehrtexten und Schulbüchern zum kontextorientierten Lernen. *Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung*, 28(1), 62–72.
- Bivall, P., Ainsworth, S. & Tibell, L. A. (2011). Do haptic representations help complex molecular learning? *Science Education*, 95, 700–719.
- Blömeke, S. (2003). Lehren und Lernen mit neuen Medien – Forschungsstand und Forschungsperspektiven. *Unterrichtswissenschaft*, 31(1), 57–82.
- Bölsterli Bardy, K. (2015). *Kompetenzorientierung in Schulbüchern für die Naturwissenschaften aufgezeigt am Beispiel der Schweiz*. Heidelberg: Springer Spektrum.
- Daus, J., Pietzner, V., Höner, K., Scheuer, R., Melle, I., Neu, C., Schmidt, S. & Bader, H. J. (2004). Untersuchung des Fortbildungsverhaltens und der Fortbildungswünsche von Chemielehrerinnen und Chemielehrern. *CHEMKON*, 11(2), 79–85.
- Döbeli Honegger, B. & Neff, C. (2011). Personal Smartphones in Primary School: Devices for a PLE? *International Journal of Virtual and Personal Learning Environments*, 2(4), 40–48.
- Dori, Y. J. & Sasson, I. (2008). Chemical understanding and graphing skills in an honors case-based computerized chemistry laboratory environment: The value of bidirectional visual and textual representations. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(2), 219–250.
- Europäische Kommission. (2014). *The International Computer and Information Literacy Study (ICILS). Main findings and implications for education policies in Europe*. Brüssel.
- Girwitz, R. (2004). Lerntheoretische Konzepte für Multimediaanwendungen zur Physik. *PhyDid*, 1(3), 9–19.
- Greeno, J. G., Smith, D. R. & Moore, J. L. (1993). Transfer of situated learning. In D. K. Detterman & R. J. Sternberg (Hrsg.), *Transfer on trial: Intelligence, cognition and instruction* (S. 99–167). Norwood, NJ: Ablex.
- Groß, J. (2007). Biologie verstehen: Wirkungen außerschulischer Lernangebote (Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion, Band 16). Oldenburg: Didaktisches Zentrum.

- Groß, J. & Lehnert, H.-J. (2013). Was wächst denn da? Artenvielfalt im Lebensraum entdecken. *Unterricht Biologie*, 386(37), 38 – 41.
- Gruber, H., Law, L.-C., Mandl, H. & Renkl, A. (1995). Situated learning and transfer. In P. Reimann & H. Spada (Hrsg.), *Learning in humans and machines: Towards an interdisciplinary learning science* (S. 168 – 188). Oxford: Pergamon.
- Höffler, T. N. & Leutner, D. (2007). Instructional animation versus static pictures: A meta-analysis. *Learning and Instruction*, 17, 722 – 738.
- Huk, T. (2006). Who benefits from learning with 3D models? The case of spatial ability. *Journal of Computer Assisted Learning*, 22(6), 392 – 404.
- Ishimaru, S., Bukhari, S. S., Heisel, C., Kuhn, J. & Dengel, A. (2016). Towards an Intelligent Textbook: Eye Gaze Based Attention Extraction on Materials for Learning and Instruction in Physics. *Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, 1041 – 1045.
- Kerres, M. (2013). *Mediendidaktik. Konzeption und Entwicklung mediengestützter Lernangebote*. München: Oldenbourg Verlag.
- Klein, P., Kuhn, J., Müller, A. & Gröber, S. (2015). Video analysis exercises in regular introductory mechanics physics courses: Effects of conventional methods and possibilities of mobile devices. In W. Schnotz, A. Kauertz, H. Ludwig, A. Müller & J. Pretsch (Hrsg.), *Multidisciplinary Research on Teaching and Learning* (S. 270 – 288). Basingstoke: Palgrave Macmillan.
- Klieme, E. & Rakoczy, K. (2008). Empirische Unterrichtsforschung und Fachdidaktik. Outcome-orientierte Messung und Prozessqualität des Unterrichts. *Zeitschrift für Pädagogik*, 54(2), 222 – 237.
- Krause, M. & Eilks, I. (Hrsg.) (2014). Tablet-Computer im Chemieunterricht. *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule*, 4(63), 22 – 26.
- Koehler, M. J. & Mishra, P. (2008). Introducing TPCK. In *AACTE Committee on Innovation and Technology. Handbook of technological pedagogical content knowledge (TPCK) for educators*. New York: Routledge.
- Koehler, M. J., Mishra, P. & Yahya, K. (2007). Tracing the development of teacher knowledge in a design seminar: Integrating content, pedagogy, and technology. *Computers & Education*, 49(3), 740 – 762.
- Kohl, P. & Finkelstein, N. (2005). Students' representational competence and self-assessment when solving physics problems. *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.*, 1.
- Kuhn, J. & Müller, A. (2014). Context-based science education by newspaper story problems: A Study on Motivation and Learning Effects. *Perspectives in Science*, 2, 5 – 21.
- Kuhn, J. & Vogt, P. (2012). Analyzing Diffraction Phenomena of Infrared Remote Controls. *The Physics Teacher*, 50, 118 – 119.
- Kuhn, J. & Vogt, P. (2013). Smartphones as experimental tools: Different methods to determine the gravitational acceleration in classroom physics by using everyday devices. *European Journal of Physics Education*, 4(1), 16 – 27.
- Kuhn, J. & Vogt, P. (2015). Smartphone & Co. in Physics Education: Effects of Learning with New Media Experimental Tools in Acoustics. In W. Schnotz, A. Kauertz, H. Lud-

- wig, A. Müller & J. Pretsch (Hrsg.), *Multidisciplinary Research on Teaching and Learning* (S. 253–269). Basingstoke: Palgrave Macmillan.
- Kuhn, J., Wilhelm, T. & Lück, S. (2013). Smarte Physik: Physik mit Smartphones und Tablet-PCs. *Physik in unserer Zeit (PhiuZ)*, 44(1), 44–45.
- Lowe, R. K. (1998). Verarbeitungsanforderungen beim Verstehen komplexer animierter Bilder. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 12, 125–134.
- Mayer, R. E. (2002). Multimedia learning. *Psych. Learn. Mot.*, 41, 85–139.
- Merzyn, G. (1994). *Physikschulbücher, Physiklehrer und Physikunterricht*. Kiel: IPN.
- Mishra, P. & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A new framework for teacher knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017–1054.
- Moreno, R. (2005). Instructional Technology – Promise and Pitfalls. In L. M. Pytlík Zillig, M. Bodvarsson, & R. Bruning, *Technology-based education: bringing researchers and practitioners together* (S. 119). Greenwich, Conn.: Information Age.
- Moreno, R. & Mayer, R. E. (2000). A Learner-Centered Approach to Multimedia Explanations. Deriving Instructional Design Principles from Cognitive Theory. *Interactive Multimedia Electronic Journal of Computer-Enhanced Learning*. Verfügbar unter <http://imej.wfu.edu/articles/2000/2/05/index.asp> [04/2017]
- Mozaffari Chanijani, S. S., Klein, P., Al-Naser, M., Bukhari, S. S., Kuhn, J. & Dengel, A. (2016). A study on representational competence in physics using mobile eye tracking systems. *Adjunct Proceedings of the 18th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, 1029–1032.
- Oelkers, J. (2010). *Was entscheidet über Erfolg oder Scheitern von Bildungsreformen?* Verfügbar unter <http://www.ife.uzh.ch/dam/jcr:00000000-4a53-efca-0000-00000fd-b36a7/BernBildungsreformen.pdf> [04/2017]
- Oelkers, J. (2014). *Schulkritik und die Zukunft der Schule*. Verfügbar unter [http://www.ife.uzh.ch/dam/jcr:00000000-4a53-efce-0000-000060e9fac7/Muenchen\\_Schulkritik.pdf](http://www.ife.uzh.ch/dam/jcr:00000000-4a53-efce-0000-000060e9fac7/Muenchen_Schulkritik.pdf) [04/2017]
- Paivio, A. (1986). *Mental Representations. A Dual-Coding Approach*. New York: Oxford University.
- Petko, D. (2014). *Einführung in die Mediendidaktik. Lehren und Lernen mit digitalen Medien*. Weinheim und Basel: Beltz Verlag.
- Ryan, R. M. & Deci, E. L. (2000a). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *American Psychologist*, 55(1), 68–78.
- Ryan, R. M. & Deci, E. L. (2000b). Intrinsic and extrinsic motivations: Classic definitions and new directions. *Contemporary Educational Psychology*, 25, 54–67.
- Sanchez, G. & Valcarcel, V. (1999). Science Teachers' Views and Practices in Planning for Teaching. *Journal of Science Teaching*, 36(4), 493–513.
- Schaal, S. (2013). Biodiversität to go. Lebensräume mit GPS-Gerät, Handy & Co. erkunden. *Unterricht Biologie*, 386(37), 32–37.
- Schanze, S. & Sieve, B. (Hrsg.). (2015). *Digitale Werkzeuge. Naturwissenschaften im Unterricht – Chemie*, 26(145).
- Schnotz, W. (2002). Wissenserwerb mit Texten, Bildern und Diagrammen. In L. J. Issing &

- P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia* (S. 65 – 81). Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Schulz-Zander, R. (2005). Veränderung der Lernkultur mit digitalen Medien im Unterricht. In H. Kleber (Hrsg.), *Perspektiven der Medienpädagogik in Wissenschaft und Bildungspraxis* (S. 125 – 140). München: Kopaed.
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4 – 14.
- Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1 – 22.
- Sieve, B., Struckmeier, S., Taubert, C. & Netrobenko, C. (2015). Unsichtbares sichtbar machen. Chemische Phänomene anhand von Zeitlupenaufnahmen verstehen, *NiU-Chemie*, 145, 23 – 27.
- Ulrich, N., Richter, J., Scheiter, K. und Schanze, S. (2014). Das digitale Schulbuch als Lernbegleiter. In J. Maxton-Küchenmeister und J. Meßinger-Koppelt (Hrsg.), *Digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht* (S. 75 – 82). Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag.
- Valverde, G. A., Bianchi, L. J., Wolfe, R. G., Schmidt, W. H. & Hounang, R. T. (2002). *According to the Book: Using TIMSS to investigate the translation of policy into practice through the world of textbooks*. Dordrecht, Boston, London: Kluwer.
- Vogt, P., Kuhn, J. & Müller, S. (2011). Experiments Using Cell Phones in Physics Classroom Education: The Computer Aided g-Determination. *The Physics Teacher*, 49, 383 – 384.
- Voogt, J., Fisser, P., Tondeur, J. & Braak, J. van. (2016). Using theoretical perspectives in developing an understanding of TPACK. In M. C. Herring, M. J. Koehler & P. Mishra (Hrsg.), *Handbook of technological pedagogical content knowledge (TPACK) for educators* (S. 33 – 51). New York & London: Routledge.
- Weidenmann, B. (1996). Instruktionsmedien. In F. E. Weinert (Hrsg.), *Psychologie des Lernens und der Instruktion* (S. 319 – 368). Göttingen: Hogrefe.
- Weidenmann, B. (2002). Abbilder in Multimediaanwendungen. In L. J. Issing & P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia* (S. 83 – 96). Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Weitzel, H. (2013). Licht an – und »action«. Mit Handyclips diagnostizieren und dokumentieren. *Unterricht Biologie*, 386(37), 14 – 17.
- West, M. & Vosloo, S. (2013). *UNESCO policy guidelines for mobile learning*. Paris: UNESCO Publications.

## ÜBER DIE AUTOREN



---

**Jochen Kuhn** studierte die Fächer Physik und Mathematik für das Lehramt an der Universität Koblenz-Landau. Nach dem Referendariat promovierte er in Physik, arbeitete acht Jahre lang an einer Realschule in Rheinland-Pfalz, habilitierte sich in Didaktik der Physik und wurde 2008 zum Akademischen Rat an der Universität Koblenz-Landau ernannt. Seit 2012 ist er Universitätsprofessor und Leiter der Arbeitsgruppe Didaktik der Physik an der Technischen Universität Kaiserslautern. Seit November 2016 ist er wissenschaftlicher Leiter des Projekts »Unified Education: Medienbildung entlang der Lehrerbildungskette« (U.EDU) der TU Kaiserslautern, das im Rahmen der gemeinsamen »Qualitätsoffensive Lehrerbildung« von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert wird.



---

**Mathias Ropohl** ist Juniorprofessor für Didaktik der Chemie am IPN in Kiel. Nach dem Studium der Fächer Chemie und Geographie für das Lehramt an Gymnasien an der Universität Duisburg-Essen promovierte er 2010 im Rahmen des DFG-Graduiertenkollegs Naturwissenschaftlicher Unterricht. Für seine Dissertation erhielt er den Universitätspreis. Anschließend absolvierte er das Referendariat und arbeitete bis Anfang 2013 als Studienrat an einem Gymnasium. Einer seiner Forschungsschwerpunkte ist die formative Diagnose und Bewertung von Schülerleistungen.



---

**Jorge Groß** ist seit 2012 Professor für Didaktik der Naturwissenschaften und seit 2013 Direktor des Instituts für Erforschung und Entwicklung fachbezogenen Unterrichts (EE-feU) an der Otto-Friedrich-Universität Bamberg. Er ist ausgebildeter Fachdidaktiker, Lehrer, Dipl.-Biologe und Kommunikationswirt, zudem ist er Preisträger des Ars legendi-Fakultätenpreises. Jorge Groß engagiert sich u. a. in der 1., 2. und 3. Lehrerbildungsphase für den sinnvollen und kritischen Umgang mit digitalen Medien in der universitären und schulischen Ausbildung.

---

Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen – Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer (2017), J. Meßinger-Koppelt, S. Schanze & J. Groß (Hrsg.), Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag

## Kommentar zum Leitartikel von Kuhn, Ropohl & Groß

*Niels Pinkwart*

Der Beitrag zeigt gelungen auf, in welchem Facettenreichtum digitale Lernwerkzeuge im Bereich der MINT-Didaktik einsetzbar sind und wie breit die theoretische Fundierung angelegt werden kann. Den Autoren gelingt es, sowohl aktuelle MINT-spezifische digitale Lehr- und Lernwerkzeuge wie etwa Simulationen oder die Unterstützung von Experimenten durch mobile Geräte als auch die Nutzung »allgemeiner« digitaler Werkzeuge für den MINT-Unterricht so zu beschreiben, dass deren Mehrwert klar herausgestellt wird. Interessant dabei ist, dass in vielen der genannten Beispiele der Aspekt der Mobilität eine große Rolle spielt. So finden sich im Artikel viele Szenarien für die Nutzung von Smartphones und Tablets mitsamt der dort eingebauten oder hinzufügbaren Sensoren – klassische stationäre »Klassenraumtechnologien« wie etwa interaktive Tafeln, Dokumentenkameras o.Ä. werden im Leitartikel hingegen kaum erwähnt und scheinen daher etwas in den Hintergrund zu treten. Dies ist insbesondere vor dem Kontext, dass viele Schulen bei der Anschaffung von digitalen Lehr- und Lernwerkzeugen zumindest auch an elektronische Tafeln denken (und die Möglichkeit der Kopplung von mobilen Schülergeräten mit fest installierten Klassenraumtechnologien), bemerkenswert. Auch der Fokus auf einen »Lernort« als übergeordnete Kategorie (im Vergleich zu Lernordnung und Lernsituation) überrascht etwas angesichts der im Artikel schön illustrierten mobilen Nutzungsszenarien digitaler Werkzeuge für den MINT-Unterricht: Könnte man nicht auch argumentieren, dass viele der im Artikel skizzierten Lernumgebungen gleich auf mehreren Lernorten (z. B. Schule und außerschulische Lernorte) basieren und gerade dadurch didaktische Mehrwerte bieten?

Der Abschnitt zu E-Books zeigt gelungen auf, welche Richtungen und Entwicklungspotenziale klassische Schulbücher im Kontext einer zunehmenden Digitalisierung von Schule haben. Im Vergleich zur Ist-Situation in deutschen Schulen wird hier aber auch deutlich, wie groß der Schritt von der aktuell

noch gängigen Praxis zu den im Artikel beschriebenen Möglichkeiten ist – auf allen Ebenen, vom Bildungssystem über Schulen und Lehrkräfte bis hin zu Schülerinnen und Schülern. Bemerkenswert ist, dass Adaptivität und direktes Feedback an Schülerinnen und Schüler als zentrale Vorteile von E-Books dargestellt werden. Diese Designelemente sind charakteristisch für Intelligente Tutorensysteme – welche jahrzehntelang in Deutschland ein »Mauerblümchendasein« gefristet haben und zeitgleich z. B. in den USA oder Asien deutlich weiterentwickelt und praxistauglich gemacht wurden (z. B. Mitrovic, 2012). Die in diesen Forschungen gesammelten Erkenntnisse können sicher dazu beitragen, adaptive E-Books effizient und effektiv zu gestalten. Hier wäre es vermutlich auch spannend, die im Beitrag gezeigten Ideen zur Sensorverwendung im Kontext von E-Books mit Forschungsrichtungen zu verbinden, die im E-Learning-Bereich gegenwärtig sehr aktuell sind: Learning Analytics und Educational Data Mining (Baker & Inventado, 2014). Beide noch relativ junge Disziplinen widmen sich der Frage, wie Lernsystemdaten so automatisiert analysiert und für ihre verschiedenen Stakeholder (Schülerinnen und Schüler, Lehrpersonen, Forschende) adäquat aufbereitet werden können, dass Lernprozesse effektiv unterstützt werden können, z. B. durch Maßnahmen zur Unterstützung von selbstgesteuertem Lernen oder durch Visualisierungen von Lerngruppenzuständen für Lehrkräfte, welche so schnell einen Überblick über eine Klasse gewinnen können. Dies könnte auch eine Antwort auf die im Artikel aufgeworfene Frage des mit digitalen Medien steigenden Aufwandes für Lehrkräfte liefern: Digitale Medien können, geeignet eingesetzt, auch durchaus zur Entlastung von Lehrkräften beitragen.

Zwei für die MINT-Didaktik durchaus relevante Gebiete werden – aus meiner Perspektive überraschenderweise – nicht oder nur rudimentär im Leitartikel genannt. Dies sind Kollaborationsunterstützung (CSCL) und Scientific Inquiry. Digitale Lernmedien, insbesondere die vielfach genannten Smartphones und Tablets, ermöglichen vielfältige Formen der Kommunikation und des gemeinsamen Lernens, die qualitativ anders als gemeinsames Lernen in Face-to-Face-Szenarien ohne Computereinsatz gestaltbar sind – eine Analyse der hier durch die Kollaborationsunterstützung erzielbaren fachdidaktischen Mehrwerte wäre sicher interessant. Ähnliches gilt für Scientific Inquiry: Hier zeigen viele Arbeiten (z. B. van Joolingen et al., 2005) den fachdidaktischen Mehrwert digitaler Werkzeuge zur Unterstützung des Inquiry-Prozesses auf –

die Verbindung der im Leitartikel genannten Theorien und Ansätze mit dem für den MINT-Bereich charakteristischen Erkenntnisgewinnungsprozess unter Berücksichtigung der Unterstützungsmöglichkeiten durch digitale Werkzeuge wäre vermutlich sehr fruchtbar.

## LITERATUR

- Baker, R. S., & Inventado, P. S. (2014). Educational data mining and learning analytics. In J. A. Larusson und B. White (Hrsg.), *Learning analytics* (S. 61–75). Springer New York.
- Mitrovic, A. (2012). Fifteen years of constraint-based tutors: what we have achieved and where we are going. *User modeling and user-adapted interaction*, 22(1-2), 39–72.
- Van Joolingen, W. R., de Jong, T., Lazonder, A. W., Savelsbergh, E. R. & Manlove, S. (2005). Co-Lab: research and development of an online learning environment for collaborative scientific discovery learning. *Computers in human behavior*, 21(4), 671–688.

## ÜBER DEN AUTOR



---

Prof. Dr. **Niels Pinkwart** ist seit 2013 an der Humboldt-Universität zu Berlin tätig. Der von ihm geleitete Lehrstuhl widmet sich einem breiten Spektrum an Themen im Zusammenhang mit Informatiksystemen in Bildung und Gesellschaft. Prof. Pinkwart ist in der Gesellschaft für Informatik in den Fachgruppen für eLearning und CSCW / Social Computing und als Sprecher des GI-Arbeitskreises Learning Analytics aktiv.

---

Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen – Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer (2017), J. Meßinger-Koppelt, S. Schanze & J. Groß (Hrsg.), Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag

# GELINGENSBEDINGUNGEN FÜR DIE IMPLEMENTATION DIGITALER WERKZEUGE IM UNTERRICHT

*Sebastian Becker & Claudia Nerdel*

Im August 2016 führte das Meinungsforschungsinstitut Emnid im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) eine repräsentative Befragung mit über 1000 Teilnehmerinnen und Teilnehmern zum Thema »Lehren, Lernen und Leben in der digitalen Welt« durch. 79 % der befragten Bürgerinnen und Bürger sind der Meinung, dass der verstärkte Einsatz digitaler Technologien in der Bildung unabdingbar ist, um für die Herausforderungen des 21. Jahrhunderts gewappnet zu sein (Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2016). Wir Autoren teilen diese Auffassung. Wesentliche Implementationshindernisse von digitalen Medien finden sich jedoch auf personaler, technischer und inhaltlicher Ebene sowohl im Schulalltag als auch im naturwissenschaftlichen Unterricht. Wir Autoren kennen aus eigener Erfahrung als Mathematik- und Physiklehrer und Hochschullehrerin für Biologie- und Chemiedidaktik die Hürden, die bis heute in der Lehreraus- und -fortbildung, der technischen Infrastruktur an Schulen sowie der didaktischen Umsetzung des digitalen Lernens im Unterricht bestehen. Diese gilt es zu überwinden, um den Einsatz von digitalen Technologien im täglichen Unterricht nachhaltig und flächendeckend zu implementieren. Die folgenden Ausführungen geben einen Überblick über die Bedingungsfaktoren einer nachhaltigen Implementation digitaler Werkzeuge aus Sicht der Forschung zu Innovationen im Unterricht und der Professionalisierung von Lehrkräften. Mit Fokus auf die Unterrichtspraxis skizzieren wir darüber hinaus Realisierungsmöglichkeiten der notwendigen schulischen Rahmenbedingungen.

## IMPLEMENTATION DIGITALER MEDIEN ALS UNTERRICHTLICHE INNOVATION

Die Bestrebungen, flächendeckend digitale Medien an Schulen einzuführen und somit Lernprozesse im Unterricht selbstgesteuerter und problemorientierter zu gestalten, hat bereits eine langjährige Tradition. Wichtige Zeitpunkte der schulischen Digitalisierung in der Breite markierten z. B. die Initiative »Schulen ans Netz« (Weinreich & Schulz-Zander, 2000) oder die bundesweiten Projekte des BLK-Modellversuchs »Systematische Einbeziehung von Medien, Informations- und Kommunikationstechnologien in Lehr- und Lernprozesse« (SEMIK; Mandl, Reinmann-Rothmeier & Gräsel, 1998; Prenzel et al., 2002). Damit einher ging auch die verstärkte Nutzbarmachung von computerbasierten Messtechniken im naturwissenschaftlichen Unterricht (vgl. Beitrag von [Kuhn, Ropohl & Groß](#), S. 11) Es folgten ab Mitte der 2000er Jahre die Einführung und der zunehmende Gebrauch von mobilen Geräten wie Notebooks, später auch Tablets und Smartphones.

Trotz der Investitionen, die in diesem Bereich auf Bundes-, Landes- und Schulebene bereits getätigt wurden, geht die Einbindung der digitalen Medien in den Unterricht nicht wie gehofft voran (Petko, 2012).

Bereits die Ergebnisse der Begleitforschung zu den genannten Programmen deuten auf spezifische Anforderungen und Problemlagen hin, die hier vor dem Hintergrund von Implementations- und Transferforschung eingeordnet werden sollen.

Implementations- und Transferforschung fokussieren Fragestellungen in Bezug auf die Gelingens- und Verstetigungsbedingungen einer Innovation im Zusammenspiel mit den relevanten Akteuren und Strukturen, die bei ihrer Umsetzung beteiligt sind (Jäger, 2004; Gräsel, 2010). Unter Implementation wird die Verbreitung einer Neuerung in einer ersten Phase verstanden (Gräsel, 2008). Die Implementationsforschung untersucht dabei die Fragestellung, welche Maßnahmen erforderlich sind, um die Verbreitung der Neuerung zu fördern. Mit Transfer ist weiterhin die Anwendung und Ausweitung der Innovationen auf neue Situationen gemeint. Diese unterscheiden sich von der ersten Implementation in einem oder mehreren der folgenden Aspekte: a) den beteiligten Personen, b) einem veränderten Inhalt oder c) den eingebundenen Strukturen (Jäger, 2004). Die Schnittstellen zwischen den drei genannten

Aspekten sind wesentlich, damit der Transfer gelingen kann. Folgende Forschungsfragen rücken daher bzgl. der verschiedenen Akteure bei der Implementation und dem Transfer von Innovationen in den Blick:

**Welcher Art ist die Innovation, unterstützen Lehrerfortbildungen die Implementation der Innovation?** Die Schnittstelle von Personen und innovativen Inhalten ist zentral für die Implementation und den Transfer einer Neuerung. Um einen Implementationserfolg zu gewährleisten, sollten Lehrkräfte in Bezug auf die inhaltliche Gestaltung der Innovation Vorteile gegenüber der bestehenden Praxis wahrnehmen. Ferner sollte sie im Einklang mit ihren subjektiven Überzeugungen, Einstellungen und Werten stehen. Innovationen werden auch dann zügiger umgesetzt, wenn sie eine geringe Komplexität aufweisen und die üblichen Handlungsroutinen durch sie nicht (maßgeblich) beeinträchtigt werden. Positive Effekte der Innovation sollten nach Möglichkeit schnell sichtbar sein (Gräsel, 2010). Entscheidend ist darüber hinaus, ob die Lehrkräfte über die nötige Motivation sowie die erforderlichen Kompetenzen verfügen, um die Innovationen in ihrem Unterricht umzusetzen (Gräsel & Parchmann, 2004). Zur Veränderung des Unterrichts sollten Fortbildungen langfristig angelegt sein, Phasen der Innovationserprobung sollten mit Phasen der Reflexion verbunden werden (Gräsel, 2010).

**Unterstützt Kooperation die Implementation und den Transfer der Innovation? Kooperieren unterschiedliche Typen von Lehrkräften? Welche spezifische Expertise bringen sie in den Prozess der Neuerung ein?** Die gewünschten Veränderungen setzen im Allgemeinen eine Kommunikation der Schulgemeinschaft darüber voraus, wie die Neuerungen umgesetzt und an die bestehenden Bedingungen vor Ort angepasst werden können (Gräsel, 2010). Dabei wird die Bedeutung der Kooperation im Lehrerkollegium durch mehrere Studien zu Schulreformen und Modellprogrammen betont (Borko, 2004; Gräsel et al., 2008; Krebs, 2008). Prasse und Scholl (2001) identifizieren in einer Fallstudie zur Einführung des Internets mit Blick auf die Kooperations- und Kommunikationsstruktur an Schulen verschiedene Problemtypen, die zwar nicht in Reinform vorkommen, aber dennoch nützlich sind, um für dysfunktionale Organisationsstrukturen bei der Einführung von medialen Innovationen zu sensibilisieren. Die Autoren beschreiben solche Kommunikations- und Ko-

operationsstrukturen als problematisch, bei denen die relevanten Informationen im Kernbereich der Informatik mit dem IT-/EDV-Koordinator und ggf. ihn unterstützende Schülerinnen und Schüler verbleiben und damit nicht die Anwenderebene von Lehrkräften in anderen Fachschaften erreichen. Der umgekehrte Fall liegt vor, wenn engagierte Lehrkräfte (ggf. auch aus unterschiedlichen Fächern) konzeptuell aktiv sind, aber die technische Ebene des IT-/EDV-Koordinators nicht mit einbinden. In beiden Fällen ist die Beförderung der Innovation isoliert, und der fruchtbare Austausch mit dem Kollegium über die Innovation unterbleibt. Häufig ist auch die Zusammenarbeit mit der Schulleitung eingeschränkt, oder diese nimmt keine aktive Promotorfunktion in Bezug auf die Innovation wahr.

**Welche Rolle spielt die Schulleitung bei der Einführung und Verstetigung von Innovationen?** In Bezug auf den Transfer ist diese Frage an der Schnittstelle von Personen und Strukturen zu verorten. Empirische Studien deuten darauf hin, dass die Schulleitung unterschiedliche, aber immer entscheidende Rollen bei der Implementation und beim Transfer von Innovationen einnimmt (Prasse & Scholl, 2001; Gräsel, Fussangel & Schellenbach-Zell, 2008; Gräsel, 2010). Ihre Unterstützung der Innovation hat sowohl im schulischen Umfeld bei Lehrkräften und Schülerschaft als auch bei den Eltern einen gravierenden Einfluss. Prasse und Scholl (2001) beobachteten, dass auch die Rolle der Schulleitung problematisch sein kann, wenn sie:

- die Einführung der Innovation nicht aus eigenem Interesse verfolgt und aktiv unterstützt sowie die Verantwortung dafür an die Informatiklehrkräfte oder andere Lehrkräfte delegiert;
- die Innovation aus ihrer hierarchischen Position anordnet, ohne diese mit Blick auf ihre Notwendigkeit, Bedeutung oder ihren Nutzen zu legitimieren, und den Umsetzungsaufwand dafür herunterspielt. Dieses Handeln führt häufig zur Skepsis oder Wahrnehmung von Druck im Lehrerkollegium, was einen beidseitig produktiven Informationsaustausch im Projekt verhindern kann. Die mangelnde Akzeptanz führt nachfolgend zur Umsetzung in eher geringem Ausmaß;
- die Notwendigkeit der Prozesspromotion nicht erkennt und sich eher als Lehrkraft und Schulverwalter denn als aktive Führungskraft versteht. Dabei

wird das Kollegium in der Umsetzung nicht unterstützt und die Einführung der Innovation quasi sich selbst überlassen.

Insgesamt zeigen die genannten Studien damit die zentrale Bedeutung effektiver und wirksamer Kommunikations- und Kooperationsstrukturen auf der Ebene der Lehrkräfte, Schulleitung und des gesamten Umfeldes (z. B. Eltern, Wirtschaft, Bildungsadministration, ggf. Fortbildungsinstitute auf Landesebene, Bildungsforschung), das ebenfalls an der erfolgreichen Einführung der Innovation beteiligt sein sollte. Ein weiteres Augenmerk ist daher auf die verwendete Implementationsstrategie zu richten: Top-down-Ansätze verfolgen das Ziel, von der Administration oder von Experten auf theoretisch oder ggf. auch auf empirisch begründeter Basis entwickelte Neuerungen in den Unterricht einzubinden (Gräsel & Parchmann, 2004; Gräsel, 2010). Hierzu gehören u. a. die Implementation der Bildungsstandards (Pant et al., 2008), von Unterrichtskonzepten (Gräsel & Parchmann, 2004; Krebs, 2008) oder von neuen Medien (Prenzel et al., 2002). Man beobachtet, dass diese Ansätze selten oder nur sehr stark verändert in die Schulpraxis übernommen werden, weil sie den Problemlagen und Anforderungen in den Schulen nur wenig gerecht werden (Gräsel & Parchmann, 2004).

Alternativen sind eine Bottom-up-Strategie oder symbiotische Implementationsstrategie, die explizit den Bedürfnissen der Schulpraxis Rechnung tragen. Wesentlich ist die enge Kooperation zwischen der Forschung und Schulpraxis, dabei kommt der Expertise der Lehrkräfte bei der konkreten Gestaltung und Einbindung der Innovation in den Unterricht eine wesentliche Bedeutung zu (Gräsel & Parchmann, 2004). Im optimalen Fall arbeiten Lehrkräfte, Bildungsadministration, Wissenschaftler/-innen und weitere Akteure bei der Implementation in sogenannten Learning Communities eng zusammen (siehe auch Idealtyp der Kooperation von Prasse und Scholl, 2001). Ein weiteres Kennzeichen dieses Ansatzes ist, dass Lehrkräfte den Erfolg und die Wirksamkeit prozessbegleitend durch die Rückmeldungen einer wissenschaftlichen formativen Evaluation schnell beurteilen und von diesen Erkenntnissen bei ihrer Weiterentwicklung der Innovation profitieren können (Gräsel & Parchmann, 2004; Gräsel, 2010).

Zusammenfassend können mit Blick auf mögliche Implementationshindernisse unter Bezugnahme auf den Stand der Forschung in der Implementa-

tions- und Transferforschung zu Innovationen in der Schule und im Besonderen zum Lernen mit digitalen Medien eine personale, technische und inhaltliche Ebene fokussiert werden. Diese Ebenen bedingen einander in ihrer Wirkung: Fortbildungskonzepte können auf der personellen Ebene zum Lernen mit digitalen Medien im Fachunterricht auf der inhaltlichen Ebene nur wirksam werden, wenn die technische Ausstattung (Hard- und Software) ausreichend vorhanden ist sowie von IT-Experten instand gehalten und regelmäßig aktualisiert wird (Prasse & Scholl, 2001). Umgekehrt wird die modernste Ausstattung mit digitalen Medien ungenutzt bleiben, wenn (angehende) Lehrkräfte nicht über die erforderliche Motivation sowie die notwendigen technischen und didaktischen Kompetenzen verfügen, um den lernförderlichen Einsatz digitaler Medien für ihren Fachunterricht angemessen zu gestalten (Prasse & Scholl, 2001; Gräsel & Parchmann, 2004). Im Folgenden beleuchten wird daher diese Aspekte für das digitale Lernen im Detail.

**Die modernste Ausstattung wird ungenutzt bleiben, wenn Lehrkräfte nicht über die erforderliche Motivation sowie die technischen und didaktischen Kompetenzen verfügen.**

## DIE PERSONELLE EBENE: EINSTELLUNGEN UND QUALIFIKATIONEN VON LEHRKRÄFTEN

### Einstellungen von Lehrkräften gegenüber digitalen Medien im Unterricht

Durch bloße Forderungen und Anweisungen ist eine digitale Lehr- und Lernkultur an Schulen, welche durch den Großteil der Lehrerschaft mitgetragen wird, nicht zu erreichen. Vielmehr müssen diejenigen, die täglich für die praktische Umsetzung verantwortlich sind, in Entscheidungsprozesse eingebunden und ihre konzeptuellen Ideen sowie potenzielle Hindernisse berücksichtigt werden (Gräsel & Parchmann, 2004). Die ICIL-Studie (Europäische Kommission, 2014) berichtet zwar, dass Lehrpersonen in Deutschland gegenüber dem Einsatz von Informationstechnologie im Unterricht mehrheitlich durchaus aufgeschlossen und positiv eingestellt sind, die Anteile der Lehr-

personen mit positiven Sichtweisen allerdings geringer als in den anderen Teilnehmerländern sind. Es gibt daher noch Überzeugungsarbeit unter Berücksichtigung aktueller Ergebnisse aus der Lern- und Unterrichtsforschung zu leisten, dass ein didaktisch sinnvoller Einsatz von geeigneten digitalen Medien den Unterricht bereichern und zu besseren Lernergebnissen führen kann. Dies scheint vor allem bei älteren Lehrkräften vonnöten zu sein, welche sich mit Schülerinnen und Schülern konfrontiert sehen, die meist eine höhere Medienkompetenz als sie selbst besitzen, da sie mit digitalen Medien aufgewachsen sind. So zeigte der Länderindikator 2016 (Bos, Eickelmann, Kammerl, & Welling, 2016), dass jüngere Lehrkräfte (bis 39 Jahre) signifikant häufiger auf digitale Medien zur Unterrichtsgestaltung zurückgreifen als ältere Lehrkräfte. Gerade bei diesen verdienten Kolleginnen und Kollegen ist besondere Umsicht notwendig, um sie behutsam an digitales Lernen und den Einsatz der zugehörigen Medien im Unterricht heranzuführen. Ein bloßes Einfordern durch häufig jüngere Vorgesetzte, für welche diese Mediennutzung ebenso wie für Schülerinnen und Schüler bereits zum Alltag gehört, führt eher nicht zum Umdenken und ist somit als kontraproduktiv einzustufen. Vielmehr sind Fortbildungen notwendig, die gezielt auf diese Altersgruppe zugeschnitten sind und die Ängste und Bedenken beim Umgang mit neuen Medien ernsthaft aufgreifen und zerstreuen. Hierfür wäre es denkbar, ältere Kolleginnen und Kollegen, die bereits mediendidaktische Kompetenzen erworben haben, für die Leitung solcher Fortbildungen zu qualifizieren.

Motivierte Lehrkräfte, die kompetent im Umgang mit neuen Medien sind und die um die didaktischen Einsatzmöglichkeiten dieser Medien im Unterricht wissen, sind damit nach aktuellen Modellen der Unterrichtsqualität und Lehrerprofessionalität der Schlüssel zu einer innovativen Unterrichtsgestaltung mit digitalen Medien (Helmke, 2015; Kunter et al., 2011; Mishra & Koehler, 2006; Koehler & Mishra, 2009). Am Beispiel der EU-weiten Implementation von Whiteboards in den Unterricht wurde der kompetente Umgang der Lehrkräfte mit dieser innovativen Technik untersucht. Interaktive Whiteboards können den Unterricht an Schule und Hochschule nur positiv beeinflussen, wenn Lehrkräfte und Universitätsdozenten diese Technik beherrschen (siehe hierzu den Artikel von [Sieve](#), S. 249). Häufig sind diese Personengruppen gut über die grundlegenden Funktionen des interaktiven Whiteboards und der zugehörigen Software informiert, haben aber Schwierigkeiten, das vollstän-

dige Potenzial der Hard- und Software für eine interaktive Nutzung im Unterricht voll auszuschöpfen. In diesem Fall werden Kollegen um Rat gefragt oder Schulungen angefordert, wobei sich die Hälfte der befragten Lehrkräfte mehr Schulungen in diesem Bereich wünscht (Türel & Johnson, 2012). Nach unseren persönlichen Erfahrungen nehmen wir an, dass diese Befunde prinzipiell auch auf weitere digitale Medien übertragbar sind. Medien- und fachdidaktische Kompetenzen mit Bezug zum digitalen Lernen müssen somit integraler Bestandteil einer gezielten Kompetenzförderung sowohl für angehende Lehrkräfte im Studium als auch für im Schuldienst befindliche Lehrkräfte der zweiten und dritten Lehrerbildungsphase (Referendariat und Lehrerfortbildung) sein.

#### Erwerb mediendidaktischer Kompetenzen im Lehramtsstudium

Voraussetzung für Erwerb und Vertiefung von mediendidaktischen Kompetenzen der angehenden Lehrerinnen und Lehrer in der universitären Lehrerbildung und im Referendariat ist zum einen die strukturelle Verankerung der mediendidaktischen Kompetenzförderung in den Studienfächern schwerpunktmäßig in der Fachdidaktik und den bildungswissenschaftlichen Studienanteilen gemäß einer Top-down-Strategie, die für die Hochschuldozenten und Lehrerfortbildner zu bewältigen ist (Gräsel & Parchmann, 2004; Gräsel, 2010). Zum anderen sollte die Vermittlungskompetenz dieser Lehrenden (Technological Pedagogical Content Knowledge, TPACK; Koehler & Mishra, 2009; detaillierte Beschreibung des Modells vgl. Beitrag von [Kuhn, Ropohl & Groß](#), S. 11 und Beitrag von [Mahler & Arnold](#), S. 264) in beiden Ausbildungsphasen stärker fokussiert werden. So sollten entsprechende Fortbildungs- und Qualifizierungsmaßnahmen für die Lehrenden an den Universitäten und Studienseminaren geschaffen werden. Universitätsdozenten und Seminarlehrkräfte übernehmen dabei eine wichtige Vorbildfunktion für die angehenden Lehrerinnen und Lehrer, deren Tragweite sie sich bewusst werden sollten. In der Lehrerausbildung scheint dies bereits umgesetzt zu werden. Bei der Studie »Schule digital – Der Länderindikator 2016« wurde festgestellt:

»Lehrkräfte, die 39 Jahre und jünger sind, äußern im Vergleich zu älteren Lehrkräften zu einem signifikant höheren Anteil, dass ihre universitäre Lehrerausbildung (31%) und ihr Referendariat (45%) sie zu einer Auseinandersetzung mit den möglichen Auswirkungen des Medieneinsatzes auf die Lehrmethoden bewogen hat.« (Bos et al., 2016, S. 5)

Empfehlenswert ist eine Verständigung der Lehrenden in beiden Phasen der Lehrerbildung im Sinne von Learning communities (Parchmann et al., 2006) über die mediendidaktischen Kompetenzen, die in Studium und Referendariat erworben bzw. vertieft werden sollen. Dies ermöglicht durch Vermeidung von Dopplungen eine effektivere Lehrerbildung mit Blick auf das digitale Lehren und Lernen.

#### Erwerb mediendidaktischer Kompetenzen in Fortbildungen und Qualifizierungen

In einer zunehmend von der Digitalisierung geprägten Lern- und Lebenswelt sehen sich Lehrkräfte mit neuen und wachsenden Anforderungen konfrontiert, denen sie im alltäglichen Unterricht aufgrund ihres Bildungs- und Erziehungsauftrages gerecht werden müssen. Bei der berechtigten Forderung an Lehrkräfte, diese Anforderungen zu erfüllen, muss jedoch der Qualifikationsstand unterrichtender Lehrkräfte sowohl beim Umgang mit digitalen Medien als auch beim lernwirksamen unterrichtlichen Einsatz dieser Medien bedacht und von großer Heterogenität ausgegangen werden. So konnte mit der Studie »Schule digital – Der Länderindikator 2016« (Bos et al., 2016) die Tendenz ermittelt werden, dass sich ein geringerer Anteil der ältesten Lehrkräfte (50 Jahre oder älter) als kompetent im Umgang mit digitalen Medien im Unterricht einschätzt als jüngere Lehrkräfte.

Um allen Lehrkräften zu ermöglichen, den veränderten Anforderungen gerecht zu werden, müssen für den Aufbau und die Vertiefung mediendidaktischer Kompetenzen geeignete Fortbildungs- und Qualifikationsmaßnahmen geschaffen bzw. weiterentwickelt werden. Befunde der ICIL-Studie belegen den Handlungsbedarf in Deutschland (Bos et al., 2014). So nehmen Lehrkräfte in Deutschland, die in der achten Jahrgangsstufe unterrichten, seltener an

Fortbildungen über den Einsatz von Informationstechnologie im Unterricht teil als Lehrkräfte in anderen Ländern. Der Anteil in Deutschland liegt damit weit unter dem internationalen Mittelwert (Bos et al., 2014). Gründe dafür könnten in einem nicht an den Anforderungen der Lehrkräfte orientierten Angebot an Fortbildungen liegen, aber auch in der mangelnden Motivation der Lehrkräfte zur Teilnahme. Lehrkräfte sind zwar zur Fortbildung verpflichtet – an welchen Fortbildungen sie teilnehmen, entscheiden die Lehrkräfte aber meist selbstständig. Um die Teilnahme an mediendidaktischen Fortbildungen zu fördern, ist ein schuleigenes Fortbildungskonzept sinnvoll, das geeignete Rahmenbedingungen für den mediendidaktischen Kompetenzerwerb der an der Schule unterrichtenden Lehrkräfte schaffen kann. Eine wichtige Rolle dabei nehmen die Schulleitungen ein, welche gemeinsam mit den Lehrkräften ein solches Fortbildungskonzept erarbeiten und damit das Prinzip der pädagogischen und fachspezifischen Medienbildung für alle Lehrkräfte an der Schule verankern können (vgl. Idealtyp der Kooperation bei Prasse und Scholl, 2001). Auch hier besteht Handlungsbedarf, denn laut ICIL-Studie besuchen nur ca. 12 % der Schülerinnen und Schüler eine Schule, an der die Schulleitung Angeboten zur Teilnahme an Fortbildungen zum didaktischen Einsatz von neuen Technologien eine hohe Priorität beimisst (Bos et al., 2014).

## DIE TECHNISCHE EBENE: DIGITALE INFRASTRUKTUR

Essenzielle Voraussetzung für die schulische Nutzung digitaler Technologien ist eine den jeweiligen schulischen Anforderungen genügende und funktionierende digitale Infrastruktur. Hierzu zählt eine breitbandige Netzanbindung der Schulen, die Schulhausvernetzung inklusive WLAN, moderne Präsentationstechnik sowie (mobile) Endgeräte für Lehrkräfte und Schülerinnen und Schüler, die im Sinne der Bildungsgerechtigkeit allen Schülerinnen und Schülern eine gleichwertige Nutzung und Teilhabe am Unterricht erlaubt. Die Anschaffung, Wartung und Pflege von digitalen Medien (Netzinfrastruktur, Hardware und Software) ist gegenüber klassischen Medien finanziell aufwendiger und personalintensiver. Im Vergleich zu anderen Bildungsinstitutionen steht in Schulen in aller Regel leider kein zusätzliches und besonders qualifi-

ziertes technisches Personal für die Betreuung der IT-Infrastruktur zur Verfügung.

### Ausstattung der Schulen

Die Ausstattung der Schulen differiert je nach Bundesland, Kommune und vorhandenen finanziellen Mitteln der Schulträger stark. Vor allem im ländlichen Raum ist es derzeit immer noch problematisch, den Schulen einen breitbandigen Internetzugang zu ermöglichen. Besonderen Bedarf scheint es vor allem beim Aufbau von WLAN-Netzen an Schulen zu geben. So geben laut Bos et al. (2016) nur gut ein Drittel (ca. 34 %) der Lehrkräfte an, dass WLAN in den Klassenräumen verfügbar ist. Im Vergleich zum Vorjahr (ca. 37 %) ist der Trend sogar rückläufig. Gerade ein schulweiter Zugang per WLAN ist aber eine notwendige Bedingung für das Lernen mit mobilen Endgeräten im alltäglichen Unterricht. Das an deutschen Schulen am weitesten verbreitete Konzept zur Nutzung digitaler Technologie als Lernmedium ist die Schaffung von sogenannten Computerräumen mit einer bestimmten Anzahl an stationären Computern. So gaben alle Achtklässlerinnen und Achtklässler bei der ICIL-Studie (Europäische Kommission, 2014; Bos et al., 2014) an, dass sie eine Schule besuchen, in der ein Computerraum vorhanden ist. Dieses Konzept impliziert, dass sich mehrere Schülerinnen und Schüler einer Schule im Verlauf des Schultages einen Computer teilen (»One-to-many«-Prinzip). Für deutsche Schulen wurde in der ICIL-Studie ein Schüler-Computer-Verhältnis von 11,5 : 1 ermittelt. Deutschland lag damit lediglich im Bereich des Mittelwerts der EU-Teilnehmerländer. Das »One-to-many«-Prinzip mag auf den ersten Blick als durchaus praktikabel für eine schulische Lösung erscheinen. In der alltäglichen Praxis ergeben sich jedoch organisatorische Probleme in der Umsetzung dieses Prinzips. So sind die schuleigenen Computerräume bereits durch den wöchentlichen Informatikunterricht zu einem nicht geringen Teil ausgelastet. Die Forderung, die schulische Medienbildung auf viele Fachbereiche zu verteilen, führt letztlich zu einer zusätzlichen Belegung der Computerräume, welche deren Kapazität überschreitet. Aufgrund mangelnder Alternativen kommt es so zu einem Konkurrenzkampf zwischen den unterrichtenden Lehrkräften, wer mit seiner Klasse den Computerraum belegen und seine

Schülerinnen und Schüler mithilfe digitaler Medien unterrichten darf. Im Sinne der Bildungsgerechtigkeit ist es weit sinnvoller, jeder Schülerin und jedem Schüler zu jeder Zeit Zugang zu einem digitalen Endgerät zu ermöglichen (»One-to-one«-Prinzip). Insbesondere für den Einsatz von Tablets oder Computern in Arbeiten oder Klausuren (bis hin zu Abituraufgaben) sind 1:1-Lösungen zwingend notwendig. Dabei sind die Geräte in einen Prüfungsmodus zu versetzen, was am ehesten Tablets unterstützen. Erste Erlasse hierzu (z. B. in Niedersachsen) lassen das zu. Für die schulische Umsetzung bieten sich besonders Tablets aufgrund der im Vergleich zu stationären Computern geringeren Anschaffungskosten und der hohen Mobilität an. Wie letztlich die einzelnen Schulen ihren Bedarf an digitalen Endgeräten decken, entscheiden die Schulen meist individuell. So entwickeln viele Schulen aufwendige eigene Konzepte zur Medienausstattung in Absprache mit dem Schulträger. Entsprechend werden auch bei der Anschaffung von mobilen Geräten unterschiedliche Wege gegangen. Häufig werden Klassensätze von Tablets für eine Klasse angeschafft (sogenannte iPad-Klassen, vgl. Scheiter, 2005). Wartungsaufgaben werden zumeist von Lehrkräften übernommen, die eigene iPad-Klassen betreuen. Alternativ können die Schülerinnen und Schüler auch eigene Geräte mitbringen, die von den Eltern finanziert werden (»Bring your own device«, BYOD; Scheiter, 2005). Werden diesbezüglich keine Vorgaben gemacht, ist technischer Support in der Lernsituation zumeist gar nicht mehr leistbar. In der Regel bleiben daher Ansätze für eine erfolgreiche Praxis im Umgang mit digitalen Medien durch diese mangelnde technische Unterstützung häufig sehr lokal auf einzelne Klassen an einer Schule begrenzt.

Solchen individuellen Lösungen mangelt es damit häufig an Kompatibilität und Wirtschaftlichkeit, sodass sie einer Standardisierung der technischen Ausstattung von Schulen entgegenwirken und Fehlentwicklungen begünstigen (Prasse & Scholl, 2001). Um dies zu vermeiden, müssen bei den Schulträgern die notwendigen organisatorischen Strukturen und professionellen Unterstützungsmöglichkeiten für die Schulen geschaffen werden. Ziel muss sein, dass ein einheitlicher technischer Mindeststandard an den Schulen etabliert wird. Dieser Mindeststandard stellt aber nur eine vereinheitlichte technische Grundausstattung dar. Auf dieser Basis können die Schulen dann je nach Bedarf und finanziellen Mitteln ihre Medienausstattung weiter ausbauen.

## Instandhaltung und Fehlerbehebung

Bei der technischen Grundausstattung einer Schule sollte die Pflege und Wartung sowie der Umgang mit Störungen bereits mitbedacht werden. So kann eine Beschränkung bzw. Umrüstung auf wartungsarme technische Systeme den Wartungs- und Pflegeaufwand auf schulischer Seite deutlich reduzieren. Um die Funktionsfähigkeit der Systeme im Schulalltag zu gewährleisten, sollte von Beginn an ein durchdachtes, professionelles Supportsystem aufgebaut werden, das auf die lokalen Gegebenheiten und Anforderungen angepasst ist. Es ist nicht zu erwarten, dass diese Aufgaben allein von Lehrkräften getragen werden, deren Hauptaufgabe die Vor- und Nachbereitung sowie die Durchführung von lernwirksamem Unterricht ist. Einfache technische Wartungsarbeiten könnten zwar von qualifizierten Lehrkräften übernommen werden, jedoch ist die Qualifizierung der Lehrkräfte im technischen Bereich höchst heterogen. Daher benötigen weniger qualifizierte Lehrkräfte ausgewiesene Ansprechpartnerinnen und Ansprechpartner, an die sie sich bei technischen Problemen wenden können, sowie ggf. auch geeignete Fortbildungsmöglichkeiten zur eigenen Qualifizierung. Eine beliebte Lösung an Schulen ist es, diese Aufgabe an Informatiklehrkräfte zu delegieren (Problemtyp 1 bei Prasse und Scholl, 2001). Aber auch diese Lehrkräfte haben nur beschränkte Ressourcen und können nicht unbegrenzt zusätzlich belastet werden. In persönlicher Kommunikation weisen Informatiklehrkräfte daher regelmäßig darauf hin, dass die gewährten Entlastungsstunden in keinem Verhältnis zur Belastung als »Wartungs- und Instandsetzungsbeauftragter« stehen, der die Verantwortung für die gesamte technische Ausstattung der Schule trägt. So können diese Lehrkräfte höchstens als erste Anlaufstelle für technische Probleme dienen (First-Level-Support). Die Schulleitungen müssen darüber hinaus dafür sorgen, dass diesen Lehrkräften eine ausreichende Anzahl an Entlastungsstunden zukommt. Für komplexere technische Unterstützungs- und Fortbildungsaufgaben werden jedoch entsprechend qualifizierte, schulexterne Fachleute, ggf. auch externe Dienstleister benötigt (Second- und Third-Level-Support). Um technische Unterstützung auf jedem Level garantieren zu können, ist es unerlässlich, dass Schulen, Kommunen und Schulträger ein gemeinsames Konzept erarbeiten, in dem die Aufgaben auf jedem Level ausdifferenziert werden und die Verteilung der Aufgaben geregelt ist.

## DIE INHALTLICHE EBENE: NUTZUNG UND GESTALTUNG VON DIGITALEN LERNUMGEBUNGEN IM FACHUNTERRICHT

Die Auswahl an Software, Apps und Internettools, die speziell für den naturwissenschaftlichen Unterricht konzipiert sind, ist enorm groß. Hinzu kommen vielfältige Office Tools, die gleichermaßen für die Erstellung von Lernumgebungen und für die Nutzung im naturwissenschaftlichen Unterricht geeignet sind (z. B. iPad-Apps wie Book Creator, Good Reader, Notizen- und Präsentations-Apps, Videobearbeitungsprogramme etc.). Auch hier fehlen (nach Möglichkeit fachspezifische) Fortbildungsangebote, die Lehrkräfte bei der Konzeption digitaler Lernumgebungen unterstützen und eine geeignete Vorauswahl aus dem reichhaltigen Angebot treffen. Insbesondere sollten Lehrkräfte in die Lage versetzt werden, die Wirksamkeit und das unterschiedliche Potenzial multimedialer Inhalte mit Blick auf die Vermittlung naturwissenschaftlicher Konzepte einzuschätzen (Mayer, 2014; Sweller, 2010). An dieser Stelle ist bereits die universitäre Lehrerbildung aufgefordert, diese Aspekte standardmäßig in die fachdidaktischen Lehrveranstaltungen zu integrieren und idealerweise anschlussfähig mit der Schulpraxis des Bundeslandes abzustimmen.

### Schulinterne Medienkonzepte

Für den Aufbau und die kontinuierliche Weiterentwicklung einer digitalen Lehr- und Lernkultur ist ein in das Schulprogramm integriertes Medienkonzept ein entscheidender Faktor. Ein solches Konzept verankert den unterrichtlichen Einsatz von digitalen Medien im Leitbild der Schule und trägt so zur Akzeptanz sowohl bei den Lehrkräften als auch bei den Schülerinnen und Schülern sowie deren Eltern bei. Das Medienkonzept dient zudem als Grundlage für eine Unterrichtsgestaltung mit digitalen Medien in allen Fächern, auf das die Lehrkräfte zurückgreifen können. Da sich die Schulen in der technischen Ausstattung, den Kompetenzen der Lehrkräfte und den Anforderungen der Schülerinnen und Schüler voneinander unterscheiden, muss ein Medienkonzept stets an jeder Schule individuell entwickelt werden (vgl. symbiotische Implementationsstrategie, Gräsel & Parchmann, 2004). Das

Medienkonzept sollte so flexibel gestaltet sein, dass es aufgrund der rasanten technologischen Entwicklung und der sich ändernden Anforderungen in einer digitalen Lebenswelt stets adaptiert werden kann. Dazu sind vor allem die Schulleitungen gefordert, diese Konzepte unter Beteiligung von Lehrkräften, Schülerinnen und Schülern sowie Eltern zu entwickeln bzw. fortzuführen und zu adaptieren. Die Umsetzung scheint zunehmend flächendeckend zu erfolgen. Bos et al. (2016) zeigen, dass mittlerweile mehr als die Hälfte (ca. 51 %) der Lehrkräfte auf ein schulinternes Medienkonzept zurückgreifen kann. Hingegen lag der Wert im Jahr 2015 noch bei 45,5 %. Dies eröffnet Möglichkeiten für den Austausch zwischen Schulen, die bereits über ein bewährtes Medienkonzept verfügen, und solchen, die sich erst in der Entwicklungsphase befinden. Bei der Entwicklung eines Medienkonzepts sollten die komplexen Anforderungen an die Lehrkräfte bei der fachbezogenen Unterrichtsgestaltung mit digitalen Medien berücksichtigt werden und darauf geachtet werden, dass die Lehrkräfte nicht zusätzlich zu ihren vielfältigen weiteren Aufgabefeldern belastet werden. So gaben laut Länderindikator 2016 nur knapp über zwei Fünftel aller befragten Lehrkräfte an, dass ausreichend Zeit für die Vorbereitung von Unterrichtsstunden mit digitalen Medien zur Verfügung steht.

#### Nutzen und Produzieren von Bildungsmedien: Rechtliche Aspekte

Der Lehrkraft steht heutzutage eine Vielzahl von Bildungsmedien zur Verfügung, deren Anzahl aufgrund der fortschreitenden Digitalisierung stetig zunimmt. Dabei wandelt sich das Angebot von ausschließlich professionellen Anbietern (z. B. Lehr- oder Lernsoftware von Schulbuchverlagen) hin zu einer kaum überschaubaren Mischung aus weiteren professionellen Produzenten, wie z. B. den großen amerikanischen Internetunternehmen, die in der digitalen Bildung einen Markt für sich entdeckt haben und in kommerzieller Absicht handeln, sowie privaten Anbietern (z. B. spezielle YouTube-Kanäle, Webseiten und Apps von Schülerinnen und Schülern oder Lehrkräften). Entsprechend liegen diese Bildungsmedien in völlig unterschiedlichen, oft intransparenten Lizenzformen sowie didaktischen Qualitäten vor. Zudem ist es oft nicht ersichtlich, ob und welche Daten zwischen dem Anbieter und dem Nutzer übertragen und in welchem Land sie gespeichert und verwaltet wer-

den, sodass die Lehrkraft nicht abschätzen kann, ob die datenschutzrechtlichen Bestimmungen gewahrt bleiben. Des Weiteren herrscht bei Lehrkräften oft Unsicherheit darüber, ob das Urheberrecht beim unterrichtlichen Einsatz digitaler Medien gewahrt bleibt oder nicht. Dies führt zu einer großen Verunsicherung auf Seiten der Lehrkräfte, ob eine rechtskonforme unterrichtliche Nutzung von den angebotenen Bildungsmedien überhaupt möglich ist. Dadurch kommt es nicht selten zur Frustration bei der Vorbereitung von Unterricht mit digitalen Medien, was in Abneigung gegenüber neuen Medien im Unterricht resultieren kann. Handlungsbedarf besteht somit auf Seiten der Länder und Schulträger, den Lehrkräften geeignete Bildungsmedien von verifizierten Anbietern zugänglich zu machen, welche einen rechtskonformen unterrichtlichen Einsatz unter Wahrung des Urheberrechts, des Datenschutzes und des Jugendschutzes sicherstellen. Dabei ist darauf zu achten, dass die Distributionssysteme so organisiert werden, dass das Auffinden und Einsetzen von Bildungsmedien für die Anforderungen und technischen Möglichkeiten der Lehrkräfte optimiert werden. Ein vielversprechendes Konzept ist die Entwicklung und Bereitstellung von freien Lern- und Lehrmaterialien mit einer offenen Lizenz, sogenannte »Open Educational Resources« (OER). Die Art der Lizenzierung erlaubt die Anpassung der Materialien an die gegebenen Lehr- und Lernvoraussetzungen und auch die Überlassung an Kolleginnen und Kollegen, was die Kooperation im Lehrerkollegium fördern kann. Erfreulicherweise wird die nachhaltige Verankerung von OER-Bildungsmedien durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) aktuell durch den Aufbau eines Webportals gefördert.<sup>1</sup>

---

1 <http://open-educational-resources.de>

## AUSBLICK: ÜBERWINDEN VON IMPLEMENTATIONSHÜRDEN UND NACHHALTIGE IMPLEMENTATION

Implementationshürden können an den Schulen durch unterschiedliche Implementationsstrategien überwunden werden. So kann die Entwicklung konkreter Projekte für den Einsatz digitaler Medien in den Fachschaften erfolgen, wobei gut kommunizierte Top-down-Ansätze durch Bildungsadministration / Bildungsforschung bzw. die Schulleitung und symbiotische Strategien, die aus der Kooperation der Lehrkräfte und weiteren Akteuren resultieren und wesentlich von der Schulpraxis in den Schulen vor Ort getragen werden, miteinander kombiniert werden und sich dabei idealerweise auf der individuellen und systemischen Ebene auch weiterentwickeln. Top-down-Prozesse können durch die Gestaltung eines Innovationsobjektes oder durch innovationsfördernde Rahmenbedingungen (z. B. finanzielle Ressourcen, Anreizsysteme) noch stärker angestoßen werden. Dieser Ansatzpunkt wurde inzwischen auch von der Politik erkannt, so wurde 2016 eine neue Möglichkeit mit der »Bildungsoffensive für die digitale Wissensgesellschaft« (siehe Pressemitteilung 117/2016 vom BMBF) geschaffen, mit der ein digitaler Ausbau an Schulen weiter vorangetrieben wird. Bottom-up-Entwicklungen von digitalem Lehren und Lernen sowie die daraus gewonnenen Erfahrungen können sich ebenfalls auf die Strategieentwicklung und auf einzelne Gestaltungsfelder auswirken (Euler & Seufert, 2005). Ziel sollte dabei stets die nachhaltige Einbindung digitalen Lehrens und Lernens auf der Projekt- und Systemebene sein.

Die fachdidaktische Forschung steht aber nicht nur in der Verantwortung, die Implementationshürden zu identifizieren, sondern auch bei der Überwindung dieser Hürden durch Gewinnung empirisch gesicherten Wissens um Gelingensfaktoren auf allen Ebenen zu unterstützen. Akzeptanz und Sichtbarkeit dieser fachdidaktischen Forschungsanstrengungen auf den einzelnen Ebenen ist aber nur dann zu erreichen, wenn die nachhaltige Implementation digitaler Medien als Zielsetzung in den jeweiligen Forschungsgruppen einen größeren Stellenwert erhält und von Beginn an eine enge Kooperation mit allen Beteiligten bei Planung, Durchführung und Reflexion wissenschaftlicher Projekte stattfindet.

## LITERATUR

- Borko, H. (2004). Professional development and teacher learning: Mapping the terrain. *Educational Researcher*, 38(8), 3–15.
- Bos, W., Eickelmann, B., Gerick, J., Goldhammer, F., Schaumburg, H., Schwippert, K., Senkbeil, M., Schulz-Zander, R. & Wendt, H. (Hrsg.). (2014). *ICILS 2013. Computer- und informationsbezogene Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern in der 8. Jahrgangsstufe im internationalen Vergleich*. Münster: Waxmann.
- Bos, W., Eickelmann, B., Kammerl, R. & Welling, S. (Hrsg.). (2016). *Schule digital – der Länderindikator 2016. Kompetenzen von Lehrpersonen der Sekundarstufe I im Umgang mit digitalen Medien im Bundesländervergleich*. Münster: Waxmann.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung. (2016). *ZukunftsMonitor III »Lehren, Lernen und Leben in der digitalen Welt«*. Verfügbar unter [https://www.zukunft-verstehen.de/application/files/7814/7636/3024/BMBF\\_ZF\\_III\\_ZukunftsMonitor\\_Ergebnisse.pdf](https://www.zukunft-verstehen.de/application/files/7814/7636/3024/BMBF_ZF_III_ZukunftsMonitor_Ergebnisse.pdf) [2.5.2017]
- Ehmke, T., Senkbeil, M. & Bleschke, M. (2003). Neue Medien in der Schule: Erfahrungen zu unterschiedlichen Nutzungstypen bei Lehrkräften. In M. Prenzel, M. Senkbeil, T. Ehmke & M. Bleschke (Hrsg.), *Didaktisch optimierter Einsatz neuer Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht – Konzeption, Evaluationsinstrumente und Unterrichtsmaterialien des SEMIK-Projekts* (S. 141–163). Kiel: IPN.
- Euler, D. & Seufert, S. (2005). Change Management in der Hochschullehre: Die nachhaltige Implementierung von e-Learning-Innovationen. *Zeitschrift für Hochschulentwicklung*, 03, 3–15.
- Europäische Kommission. (2014). *The International Computer and Information Literacy Study (ISILS). Main findings and implications for education policies in Europe*. Brüssel.
- Gräsel, C. (2010). Stichwort: Transfer und Transferforschung im Bildungsbereich. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 13(1), 7–20.
- Gräsel, C. (2008). Die Verbreitung von Innovationen im Bildungssystem: Implementation und Transfer. In E.-M. Lankes (Hrsg.), *Pädagogische Professionalität als Gegenstand empirischer Forschung* (S. 201–205). Münster: Waxmann.
- Gräsel, C., Fussangel, K. & Schellenbach-Zell, J. (2008). Transfer einer Unterrichtsinnovation. Das Beispiel Chemie im Kontext. In E.-M. Lankes (Hrsg.), *Pädagogische Professionalität als Gegenstand empirischer Forschung* (S. 207–218). Münster: Waxmann.
- Gräsel, C. & Parchmann, I. (2004). Implementationsforschung – oder: der steinige Weg, Unterricht zu verändern. *Unterrichtswissenschaft*, 32(3), 196–214.
- Helmke, A. (2015). *Unterrichtsqualität und Lehrerprofessionalität – Diagnose, Evaluation und Verbesserung des Unterrichts* (6. Auflage). Seelze: Friedrich Verlag.
- Jäger, M. (2004). *Transfer in Schulentwicklungsprojekten*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Koehler, M., & Mishra, P. (2009). What is Technological Pedagogical Content Knowledge (TPCK)? *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 9(1), 60–70.
- Krebs, I. (2008). Wie gelingt die Verbreitung eines Unterrichtsentwicklungsprogramms?

- Das Beispiel SINUS-Transfer. In E.-M. Lankes (Hrsg.), *Pädagogische Professionalität als Gegenstand empirischer Forschung* (S. 219 – 231). Münster: Waxmann.
- Kunter, M., Baumert, J., Blum, W., Klusmann, U., Krauss, S. & Neubrand, M. (Hrsg.). (2011). *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV*. Münster: Waxmann.
- Mandl, H., Reinmann-Rothmeier, G. & Gräsel, C. (1998). Gutachten zur Vorbereitung des Programms »Systematische Einbeziehung von Medien, Informations- und Kommunikationstechnologien in Lehr- und Lernprozesse«. *Materialien zur Bildungsplanung und Forschungsförderung*, 66.
- Mayer, R. E. (2014). Cognitive theory of multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (2. Auflage) (S. 43 – 71). New York: Cambridge University Press.
- Mishra, P. & Koehler, M. J. (2006). Technological Pedagogical Content Knowledge: A Framework for Teacher Knowledge. *Teachers College Record* Volume, 108(6), 1017 – 1054.
- Pant, H. A., Vock, M., Pöhlmann, C. & Köller, O. (2008). Eine modellbasierte Erfassung der Auseinandersetzung von Lehrkräften mit den länderübergreifenden Bildungsstandards. In E.-M. Lankes (Hrsg.), *Pädagogische Professionalität als Gegenstand empirischer Forschung* (S. 245 – 260). Münster: Waxmann.
- Parchmann, I., Gräsel, C., Baer, A., Nentwig, P., Demuth, R. & Ralle, B. (2006). Chemie im Kontext – a symbiotic implementation of a context-based teaching and learning approach. *International journal of science education*, 28(9), 1041 – 1062.
- Petko, D. (2012). Hemmende und förderliche Faktoren des Einsatzes digitaler Medien im Unterricht: Empirische Befunde und forschungsmethodische Probleme. In R. Schulz-Zander, B. Eickelmann, H. Moser, H. Niesyto & P. Grell (Hrsg.), *Jahrbuch Medienpädagogik* 9 (S. 29 – 50). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Prasse, D. & Scholl (2001). Wie funktioniert die Interneteinführung an Schulen? Die Rolle der Beteiligten und deren Zusammenarbeit: Ideal- und Problemtypen. In R. Groner & M. Dubi (Hrsg.), *Das Internet und die Schule – Bisherige Erfahrungen und Perspektiven für die Zukunft* (S. 63 – 83). Bern: Verlag Hans Huber.
- Prenzel, M., Senkbeil, M., Ehmke, T. & Bleschke, M. (Hrsg.). (2002). *Didaktisch optimierter Einsatz Neuer Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht – Konzeption, Evaluationsinstrumente und Unterrichtsmaterialien des SEMIK-Projekts*. Kiel: IPN.
- Schaumburg, H., Prasse, D., Tschackert, K. & Blömeke, S. (2007). *Lernen in Notebook-Klassen. Endbericht zur Evaluation des Projekts »1000mal1000: Notebooks im Schulranzen«*. Bonn: Schulen ans Netz e. V.
- Scheiter, K. (2015). Besser lernen mit dem Tablet? Praktische und didaktische Potenziale sowie Anwendungsbedingungen von Tablets im Unterricht. In H. Buchen, L. Horster & H.-G. Rolff (Hrsg.), *Schulleitung und Schulentwicklung. Führen – Managen – Steuern, Grundwerk* (3. Auflage, S. 1 – 14). Stuttgart: Raabe-Verlag.
- Sweller, J. (2010). Element Interactivity and Intrinsic, Extraneous, and Germane Cognitive Load. *Educational Psychology Review*, 22, 123–138.
- Türel, Y. K. & Johnson, T. E. (2012). Teachers' Belief and Use of Interactive Whiteboards for Teaching and Learning. *Educational Technology and Society*, 15(1), 381 – 394.

Weinreich, F. & Schulz-Zander, R. (2000). Schulen ans Netz – Ergebnisse der bundesweiten Evaluation. Ergebnisse einer Befragung der Computerkoordinatoren und -koordinatorinnen an Schulen. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 3(4), 577 – 593. doi:10.1007/s11618-000-0054-z

## ÜBER DIE AUTOREN



---

**Sebastian Becker** absolvierte den Diplom-Studiengang Physik an der Technischen Universität Kaiserslautern. Nach dem Seiteneinstieg in das Lehramt an Gymnasien in Rheinland-Pfalz wurde er zum Studienrat ernannt und war sechs Jahre lang an einem Gymnasium in Rheinland-Pfalz als Mathematik- und Physiklehrer sowie als Ausbildungsleiter für Referendarinnen und Referendare tätig. Seit 2016 promoviert er zu dem Thema »Technologie-unterstütztes Lernen im Physikunterricht« in der AG Didaktik der Physik von Prof. Jochen Kuhn an der Technischen Universität Kaiserslautern.



---

**Claudia Nerdel** ist seit 2009 Professorin für Biologie- und Chemie-didaktik an der Technischen Universität München und in der universitären Lehrerbildung für das gymnasiale und berufliche Lehramt tätig. Ihre Forschungsinteressen beziehen sich auf die Lernwirksamkeit von Lehr-Lern-Umgebungen mit multiplen externen Repräsentationen, den Einsatz digitaler Medien im Unterricht sowie auf die Modellierung von professionellen Kompetenzen von Lehrkräften in diesem Kontext.

---

Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen – Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer (2017), J. Meßinger-Koppelt, S. Schanze & J. Groß (Hrsg.), Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag

# Kommentar zum Leitartikel von Becker & Nerdel

*Gregor Gunzenheimer*

Die erfolgreiche Implementation digitaler Medien in den Schulalltag sowie in den naturwissenschaftlichen Unterricht stellt die Grundlage für eine zeitgemäße Bildung dar.

Der Ansatz der Autoren, sich zunächst mit der Implementation und dem sich anschließenden Transfer von Innovationen vertieft auseinanderzusetzen, fasst ausführlich alle Hürden zusammen, welche bei der Einführung und Ausweitung von Neuerungen auftreten können. Diese Aufzählungen sind sehr realitätsnah und können aus dem Blickwinkel der Praxis eindeutig bestätigt werden. Der Einfluss der Schulleitung spielt eine wesentliche Rolle, denn deren Interesse, Überzeugungskraft und Kommunikationsfähigkeit schaffen eine Basis positiver Faktoren, die für ein Gelingen immens bedeutsam sind. Die Kommunikations- und Kooperationsstrukturen auf der Ebene der Lehrerinnen und Lehrer, der Schulleitung und des gesamten schulischen Umfeldes müssen dabei sehr ernst genommen werden.

Die Probleme, welche bei der Implementation und dem Transfer digitaler Medien auf einer personalen, technischen und inhaltlichen Ebene zu erwarten sind, werden sehr praxisnah beschrieben und sollen im Folgenden ergänzend durch von mir gemachte Erfahrungswerte konkretisiert werden.

Voraussetzung für ein erfolgreiches und lernwirksames Arbeiten mit digitalen Medien ist – wie im Artikel beschrieben – immer eine funktionierende Technik auf der Seite der Hard- und Software. Denn auch eine engagierte Lehrkraft wird die Vorteile digitaler Medien nicht nutzen können und frustriert auf herkömmliche Medien zurückgreifen, wenn die technischen Rahmenbedingungen bzw. versierte und offene Ansprechpartner vor Ort nicht ausreichend vorhanden sind. Bei labilen WLAN- bzw. Netzwerkstrukturen können unerfahrene Lehrende in Bezug auf digitale Medien schnell verunsichert werden. Infolgedessen kann man eine zunehmende Verängstigung und Hilflosigkeit im Umgang mit digitalen Medien im schulischen Umfeld erkennen.

Neben dem beschriebenen Aspekt, dass im ländlichen Bereich die Bandbreite der Internetanbindung häufig noch viel zu gering ist, kommt noch hinzu, dass der Datendurchsatz in Schulen bei der Nutzung einer Internetverbindung häufig unterschätzt wird: Greifen mehrere Klassen auf digitale Medien zu, wie beispielsweise Filme auf einer Internetplattform, sollten hierfür auch die technischen Anforderungen ausreichend kalkuliert und eine mögliche Ausweitung mit berücksichtigt werden. Nicht zu vergessen ist hierbei die WLAN-Infrastruktur innerhalb des Schulgebäudes. Der Datendurchsatz von Hotspots muss ausreichend geplant sein, damit es auch beim Zugriff von ganzen Schulklassen auf externe bzw. interne Speicherorte zu möglichst keinen »Engpässen« kommt. Industrielle Komponenten wie z. B. professionelle Router werden den Anforderungen viel mehr gerecht als Geräte, welche man eher in Eigenheimen verwendet.

Aus eigener Erfahrung weiß ich, dass Lehrende großen Wert darauf legen, Einfluss auf die Geräte der Schülerinnen und Schüler nehmen zu können. Neben dem Sperren und Entsperren von Schülergeräten ist es wichtig, dass die jeweilige Lehrkraft auf ihrem Gerät sieht, welche Programme auf den Bildschirmen der Schülergeräte geöffnet sind, und ggf. auch darauf reagieren kann. Diese »Kontrollfunktion« ist für einen geregelten Unterrichtsbetrieb innerhalb des Schulgebäudes absolut notwendig. Sie stellt die Grundlage für die Nutzung von mobilen Endgeräten in Leistungstests dar, sei es, um Online-Tests zu bearbeiten oder um nur eine App beispielsweise eines grafikfähigen Taschenrechners zu nutzen. Da diese Steuerungsfunktionen wiederum von der WLAN-Geschwindigkeit abhängig sind, erkennt man hier wieder deren große Bedeutung.

Es muss auch bedacht werden, dass Schülerinnen und Schüler beim Erledigen ihrer Hausaufgaben und bei der Vor- und Nachbereitung des Unterrichts häufig eine schnelle Internetverbindung benötigen. Ein deutliches Stadt-Land-Gefälle spielt hier hinsichtlich der Datengeschwindigkeit immer noch eine wesentliche Rolle.

Als weitere Herausforderung haben wir bei zahlreichen Schulen – neben den Anschaffungskosten – die häufig unterschätzten, nicht unerheblichen jährlichen Betriebskosten für die Betreuung und Pflege der Hardware identifiziert. Neben Lizenzgebühren für Hotspots und ggf. Software kommen noch Kosten für die externe Betreuung von Endgeräten hinzu. Ein Kostenplan, der

mit der Anzahl der Endgeräte höher ausfällt, sollte mit dem Sachkostenträger bereits im Vorfeld ausführlich besprochen werden.

Ein nachhaltiges Medienkonzept kann den langfristigen Erfolg bei der Nutzung von digitalen Medien im Schulalltag sicherstellen. Auf der personalen Ebene sind nicht nur bei Lehrkräften adäquate Fortbildungen notwendig, sondern es müssen zudem häufig die IT-/EDV-Lehrkräfte aus- und fortgebildet werden, denn Tablets verwenden zumeist andere Betriebssysteme als stationäre Computer in Computerräumen. Ebenso sollte deren ursprüngliche Funktion als Systembetreuer nicht überstrapaziert werden und einen First-Level-Support nicht übersteigen. Externe Kooperationspartner gewinnen in der Praxis bei der Pflege und Aktualisierung der Hardware zunehmend an Bedeutung.

Hinsichtlich der inhaltlichen Ebene gibt es bis dato viele Programme, deren Lernwirksamkeit sehr unterschiedlich beurteilt werden kann, aber nur wenige interaktive Schulbücher bzw. Lernbücher. Hiermit sollen nicht PDF-Werke aktueller und geplanter Schulbücher angesprochen werden, sondern E-Books, welche neben verfilmten Experimenten, Animationen, Notizfunktionen auch selbstkorrigierende Übungsaufgaben beinhalten. Dadurch wird der Lernprozess motivational stark angeregt und außerdem eine individuelle, differenzierte Förderung jedes einzelnen Schülers ermöglicht.

Die Entwicklung von digitalen Materialien sollte alle Bereiche der Lehrerbildung und -fortbildung umfassen. Der Seminausbildung kommt hierbei eine besondere Rolle zu, denn häufig hört man von Lehrkräften, auch nachdem ihre eigene Ausbildung schon Jahre zurückliegt, dass sie immer noch auf Materialien aus ihrer Seminarzeit zurückgreifen. Zum Teil gelingt die kooperative Zusammenarbeit in Fachschaften, um Materialien zu erstellen, zu evaluieren und weiterzuentwickeln. Motivierte und engagierte Lehrkräfte sollten für die Neuentwicklung digitaler Materialien und deren Weitergabe seitens der Schulträger mit einem Vergütungssystem, wie Anrechnungsstunden, belohnt bzw. entlastet werden.

Plant man die Implementation und den Transfer digitaler Medien gemäß einer Bottom-up-Strategie, die den Bedürfnissen der Schülerinnen und Schüler, Lehrkräfte und Administratoren Rechnung trägt, dann werden die Gelingensfaktoren zukünftig sicherlich positiv(er) sein.

## ÜBER DEN AUTOR



---

**Gregor Gunzenheimer** ist zentraler Fachleiter und Seminarlehrer für das Fach Chemie an bayerischen Realschulen. Er ist zuständig für die Ausbildung der Seminar- und Betreuungslehrkräfte, die Beratung und Unterstützung des Kultusministeriums im Fachbereich Chemie und die Koordination der Seminausbildung und der Bewertung von Prüfungsleistungen im Rahmen der Zweiten Staatsprüfung.

---

Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen – Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer (2017), J. Meßinger-Koppelt, S. Schanze & J. Groß (Hrsg.), Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag



# Das E-Book als Chance und Herausforderung für den Unterricht



# DIGITALE (SCHUL)BÜCHER – VOM E-BOOK ZUM MULTITOUCH LEARNING BOOK

*Nina Ulrich & Johannes Huwer*

## SCHULBÜCHER

Im Zuge der Digitalisierung im deutschen Bildungssystem, welche im Juni 2017 durch einen Beschluss der Kultusministerkonferenz nochmals bekräftigt wurde (Ministerium für Bildung und Kultur Saarland, 2017), stellt sich, neben der Frage nach geeigneter Hardware, insbesondere die Frage nach digitalem Lernmaterial.

Schulbücher und deren digitale Varianten bieten dabei eine wichtige Brücke zwischen altbekannten und neuen Lernmaterialien. Da es jedoch neben dem klassischen Schulbuch gleich mehrere digitale Varianten sowie digital-analoge Mischformen gibt, soll an dieser Stelle eine kurze Übersicht über die verschiedenen Formen mit deren Potenzialen und Schwierigkeiten gegeben werden.

Zunächst soll jedoch definiert werden, was ein Schulbuch ist und wie es sich von anderen Lernmaterialien, wie beispielsweise Arbeitsblättern, abgrenzt.

Schulbücher sind Druckwerke oder digitale Werke, die für mindestens ein Schulhalbjahr als Hauptarbeitsmittel verwendet werden. Sie müssen mit den Anforderungen der Rahmenrichtlinien und der Kerncurricula inhaltlich, didaktisch und methodisch vereinbar sein und den fachlichen und pädagogischen Erkenntnissen der Forschung entsprechen (Niedersächsisches Kultusministerium, 2014). Damit grenzen sich Schulbücher von anderen Lernmitteln, wie Arbeitsblättern oder ergänzender Lernsoftware, ab. Sobald ein Schulbuch für den Unterricht eingeführt wurde, sollte es als hauptsächliches Arbeitsmittel eingesetzt und nicht durch ergänzende Unterrichtsmaterialien ersetzt werden, um zusätzliche Kosten möglichst gering zu halten (vgl. Niedersächsisches Kultusministerium, 2014).

Die Studienlage zum tatsächlichen Einsatz von Schulbüchern im natur-

wissenschaftlichen Unterricht ist vergleichsweise dünn. Für den Chemieunterricht wurde im Rahmen einer Lehrerbefragung der Einsatz von Schulbuchtexten im Chemieunterricht erhoben. Dabei stellten Beerenwinkel und Gräsel (2005) fest, dass ca. 41 % der befragten Lehrkräfte maximal viermal im Jahr Texte im Chemieunterricht einsetzen. Ein ähnliches Bild zeigt eine Studie zum Einsatz von Schulbüchern im Physikunterricht. Auch dort spielen die Schulbücher im Unterricht eine eher untergeordnete Rolle und dienen vielmehr als Aufgabensammlung für Hausaufgaben (Staraschek, 2003).

Im Gegensatz dazu steht die hohe Bedeutung der Schulbücher für die Lehrkräfte für ihre eigene Vorbereitung (Beerenwinkel, Parchmann & Gräsel, 2007). Studien zeigen sogar, dass die Vorgaben durch die Schulbücher für die Lehrkräfte wichtiger sind als curriculare Vorgaben (Oelkers & Reusser, 2008).

Grundsätzlich bieten digitale und analoge Schulbücher vielfältige Einsatzmöglichkeiten, beispielsweise als Lehrbuch zur gedanklichen Aneignung, als Arbeitsgrundlage durch Aufgaben, zum selbstständigen Lernen, als Kommunikationsanlass, zur Erarbeitung, zur Wiederholung oder zur Vernetzung von Wissen (Gropengießer, 2016).

## DIGITALE SCHULBÜCHER

Während die Definition eines analogen Schulbuchs durch die rechtlichen Vorgaben umfassend ist, reicht diese Definition nicht aus, um ein digitales Schulbuch eindeutig zu beschreiben. Grob können digitale Schulbücher hierbei in vier Kategorien eingeteilt werden: 1. statische E-Books, 2. statische E-Books mit interaktivem Ergänzungsmaterial, 3. E-Books mit integrierten multimedialen Inhalten und 4. interaktive E-Books mit integrierten multimedialen Inhalten (Multitouch Learning Books). Gemeinsam ist den E-Books dieser vier Kategorien, dass die größte Hürde des Einsatzes in der Infrastruktur liegt: Damit Schulen digitale Schulbücher nutzen können, muss jeder Schüler und jede Schülerin über ein digitales Endgerät in angemessener Größe und Leistung verfügen. Des Weiteren ist zumindest für das Laden des E-Books eine Internetanbindung notwendig. Teilweise ist auch während der Verwendung des E-Books eine Internetverbindung zur Authentifizierung notwendig,

damit Rechte an dem Werk gewahrt werden können. Vorteile hingegen bietet das E-Book-Format in der Verfügbarkeit aller Schulbücher zu jedem Zeitpunkt, was u. a. zu einer leichteren Schultasche führt.

Im Folgenden werden die vier E-Book-Kategorien vorgestellt und im Hinblick auf ihre Potenziale und Schwächen analysiert.

### Statische E-Books

Statische E-Books, die identisch zum analogen Schulbuch sind, stellen derzeit den Hauptanteil digitaler Schulbücher dar, da viele Schulbuchverlage einen Teil ihrer Schulbücher auch als digitale Ressource bereitstellen. Als gemeinsame Plattform der Verlage dient seit 2017 der BildungslogIn als Nachfolger der Seite digitale-Schulbücher.de. Für die Verlage ist das statische E-Book die einfachste und kostengünstigste Variante, da die Zusatzkosten im Vergleich zum analogen Schulbuch vergleichsweise gering sind. Als Erweiterung zur analogen Variante stehen in der Regel Verlinkungen, Notizen und Hervorhebungen zur Verfügung.

Aus lernpsychologischer Sicht zeigt der Vergleich zwischen einem analogen Text und einem digitalen Text ein uneinheitliches Bild. Während in einigen Studien das Lesen eines analogen Textes zu einem signifikant besseren Textverständnis führte (Mangen, Walgermo & Brønnick, 2013), zeigten andere Studien keine Unterschiede (Garland & Noyes, 2004; Ji, Michaels & Waterman, 2014). Zur Einordnung dieser Ergebnisse muss dabei berücksichtigt werden, dass Lesestrategien, wie Unterstreichungen oder Anmerkungen, in geliehenen Schulbüchern nicht erlaubt sind, während diese Funktionen in ein digitales Schulbuch integriert werden können, da eine derartige Individualisierung wieder aufgehoben werden kann.

### Statische E-Books mit interaktivem Zusatzmaterial

Als Erweiterung der rein statischen Schulbücher wird die Ergänzung des Buches durch interaktives Zusatzmaterial, wie z. B. Videos, Simulationen oder

Aufgaben, gesehen. Dabei kann es sich sowohl um ein digitales als auch um ein analoges Schulbuch handeln, das durch das Zusatzmaterial erweitert wird. Da die in der Entwicklung oft zeit- und kostenintensiven Zusatzmaterialien nicht direkt in das Schulbuchformat integriert sind, können die Verlage die Sammlung multimedialer Inhalte schrittweise aufbauen. Allerdings besteht durch die Nutzung mehrerer aufeinander bezogener Medien das Risiko eines Split-Attention-Effekts (Sweller, Ayres & Kalyuga, 2011).

Das Ergänzungsmaterial kann auf verschiedene Art und Weise bereitgestellt werden. Beispielsweise können die Inhalte Teil der Begleitmaterialien für die Lehrkraft sein und so von der Lehrkraft über Videoprojektor oder Interaktives Whiteboard präsentiert werden. Eine potenzielle Schwachstelle könnte hierbei sein, dass die Schülerinnen und Schüler bei einer Präsentation nur eingeschränkt selbst mit den multimedialen Inhalten interagieren können, z. B. durch Stoppen eines Videos oder durch Anwendung einer Simulation. Eine der großen Stärken der digitalen Medien – die individuelle Förderung – kann dadurch nur eingeschränkt genutzt werden. Damit dieses Potenzial genutzt werden kann, muss das interaktive Zusatzmaterial für die Schülerinnen und Schüler verfügbar sein. Dies kann beispielsweise in Form von QR-Codes, Links, Augmented-Reality oder Einbindung in eine Lernplattform geschehen. Dabei muss allerdings beachtet werden, dass eine Verlinkung zu Inhalten aus dem Internet in Schulbüchern in manchen Bundesländern nicht zulässig ist (Bayerisches Staatsministerium für Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst, 2016).

Ob der Einbau multimedialer Inhalte generell lernförderlich ist, kann nicht pauschal beantwortet werden, da die Entscheidung abhängig von der Art und dem Inhalt der Darstellung ist. Während bei komplexen Abfolgen einzelner Schritte eine Bilderfolge durch die geringere kognitive Belastung einer Animation überlegen sein kann (Tversky, Bauer & Betrancourt, 2002), überwiegen die Vorteile einer dynamischen Darstellung bei dynamischen Vorgängen, bei denen insbesondere die Bewegung entscheidend ist, wie z. B. Teilchenbewegung (Yeziarski & Birk, 2006).

Alles in allem bieten multimediale Zusatzmaterialien durchaus Potenziale, haben aber in der fehlenden Integration zum Schulbuch noch eine deutliche Schwäche.

## E-Books mit integrierten multimedialen Inhalten

Eine Weiterentwicklung der statischen E-Books mit multimedialen Zusatzmaterialien ist die Integration dieser multimedialen Inhalte in das E-Book. Als Basis für diese Art Schulbuch kann ein analoges Schulbuch dienen, dessen statische Inhalte teilweise durch dynamische Inhalte, wie beispielsweise Videos, ersetzt oder ergänzt werden. Zusätzlich können Notizen, Hervorhebungen und Sprungmarken eingebaut werden. Diese E-Book-Kategorie bietet einen effizienten Kompromiss, wenn die Entwicklung der Schulbücher für analoge Schulbücher geeignet sein soll, zugleich jedoch in der digitalen Variante Potenziale der digitalen Medien genutzt werden sollen.

## Multitouch Learning Books

Multitouch Learning Books stellen die Weiterentwicklung der E-Books mit integrierten multimedialen Inhalten dar. Dabei werden die multimedialen Zusatzmaterialien, wie Arbeitsblätter, Animationen oder gestufte Hilfen für Aufgaben und Experimente, direkt in das E-Book eingebunden, sodass das Risiko eines Split-Attention-Effekts minimiert wird (Sweller et al., 2011). Die Besonderheit des Multitouch Learning Books ist jedoch die Ermöglichung neuer Lernformate. Diese E-Book-Variante kann neben einer klassischen, linearen Darstellung auch nicht linear oder modular aufgebaut sein, was die Auswahl individueller Lernpfade oder thematischer Kontexte ermöglicht. Ebenso kann der Fortschritt im Buch an einer bestimmten Stelle an eine Bedingung, wie das Lösen einer Aufgabe, geknüpft sein. Dies begünstigt zum Beispiel das forschende Lernen, weil Ergebnisse nicht vorweggenommen werden. Durch die Personalisierungsmöglichkeiten, wie die Dokumentation von Lernergebnissen oder die Erstellung eines Glossars, wird dieses E-Book zu einem Lernbegleiter, der sich je nach Funktionsumfang an den Lernenden anpassen kann.

Durch die Personalisierungsmöglichkeiten wird dieses E-Book zu einem Lernbegleiter, der sich je nach Funktionsumfang an den Lernenden anpassen kann.

Allerdings gibt es auch Implementationshürden, die einen flächendeckenden Einsatz erschweren. Ein Multitouch Learning Book integriert u. a. ver-

schiedene interaktive Aufgaben, Notizmöglichkeiten und Lernspiele. Damit dieses Format zu einem individualisierten Lernbegleiter werden kann, ist sowohl eine software- als auch hardwareseitige Veränderung der Schulstruktur notwendig (Huwer & Seibert, 2017). Auf Seiten der Hardware benötigt man in der Regel eine 1:1-Ausstattung digitaler Endgeräte mit entsprechender Hardwareleistung. Zwar werden aktuell im Zuge der Digitalisierungsstrategie der Bundesregierung und der Kultusministerkonferenz die Weichen für eine entsprechende IT-Ausstattung gestellt, jedoch wird die konkrete flächendeckende Umsetzung noch Jahre in Anspruch nehmen (Ministerium für Bildung und Kultur Saarland, 2017). Lediglich einzelne Schulen, deren Tabletclassen über eine derartige Ausstattung verfügen, können das volle Potenzial ausnutzen.

Softwareseitig muss gewährleistet werden, dass die individuellen Lernfortschritte der Schülerinnen und Schüler zu einem späteren Zeitpunkt wieder abgerufen werden können.

Eine weitere Hürde ist in der Entwicklung solcher Multitouch Learning Books zu sehen. Das vernetzte und interaktive Lernen bedingt eine teilweise völlige Neuentwicklung der curricularen Materialien. Klassische Schulbücher zum Beispiel könnten für die Verlage hierbei zwar als Vorlage für die Inhalte dienen, der softwareseitige Aufbau muss allerdings komplett neu entwickelt werden. Die enorm hohen Entwicklungskosten von Multitouch Learning Books sind dabei für die Verlage ein hohes wirtschaftliches Risiko, sodass es derzeit nur sehr wenige Multitouch Learning Books gibt, die tatsächlich auch Einzug in den naturwissenschaftlichen Unterricht gefunden haben.

Neuerdings gibt es auch die Möglichkeit, Lehrkräften editierbare Versionen von Multitouch Learning Books zur Verfügung zu stellen. Dies erlaubt den Lehrkräften einerseits, die Inhalte für eine individuelle Förderung an die jeweiligen Schülerinnen und Schüler anzupassen, und andererseits die Vernetzung von verschiedenen Lernorten (vgl. Kapitel [Huwer & Eilks](#), S. 81).

## FAZIT

Aus lernpsychologischer Sicht bieten Multitouch Learning Books die größten Potenziale im Vergleich zu den statischen Büchern mit multimedialen Zusatzmaterialien oder statischen Büchern ohne multimediales Zusatzmaterial. Aus wirtschaftlicher Sicht sieht sich diese Variante allerdings vor die Herausforderung gestellt, dass die Entwicklung dieser E-Books nicht als Beiwerk der analogen Schulbücher geschehen kann. Hier ist eine gesonderte Entwicklung notwendig, was die Kosten der E-Book-Entwicklung, zusätzlich zu den hohen Kosten der Programmierung der multimedialen Inhalte, noch einmal erhöht.

## LITERATUR

- Bayerisches Staatsministerium für Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst. (2016). Kriterien zur Begutachtung von Lernmitteln. Verfügbar unter [https://www.km.bayern.de/download/7432\\_allgemeiner\\_kriterienkatalog\\_stand\\_mai\\_2016.pdf](https://www.km.bayern.de/download/7432_allgemeiner_kriterienkatalog_stand_mai_2016.pdf) [17.04.2017]
- Beerenwinkel, A. & Gräsel, C. (2005). Texte im Chemieunterricht: Ergebnisse einer Befragung von Lehrkräften. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 11, 21 – 39.
- Beerenwinkel, A., Parchmann, I. & Gräsel, C. (2007). Chemieschulbücher in der Unterrichtsplanung – Welche Bedeutung haben Schülervorstellungen? *Chemkon*, 14(1), 7 – 14. doi:10.1002/ckon.200710051
- Garland, K. J. & Noyes, J. M. (2004). CRT monitors: Do they interfere with learning? *Behaviour & Information Technology*, 23(1), 43 – 52. doi:10.1080/01449290310001638504
- Gropengießer, H. (2016). Schulbücher. In H. Gropengießer, U. Harms, & U. Kattmann (Hrsg.), *Fachdidaktik Biologie* (S. 390 – 394). Hallbergmoos: Aulis Verlag.
- Huwer, J. & Seibert, J. (2017). EXPlainistry – Dokumentation, Erklärung und Visualisierung chemischer Experimente mithilfe digitaler Medien in Schülerlabor und Schule. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, (160), 42 – 46.
- Ji, S. W., Michaels, S. & Waterman, D. (2014). Print vs. electronic readings in college courses: Cost-efficiency and perceived learning. *Internet and Higher Education*, 21, 17 – 24. doi:10.1016/j.iheduc.2013.10.004
- Mangen, A., Walgermo, B. R. & Brønnick, K. (2013). Reading linear texts on paper versus computer screen: Effects on reading comprehension. *International Journal of Educational Research*, 58, 61 – 68. doi:10.1016/j.ijer.2012.12.002
- Ministerium für Bildung und Kultur Saarland. (2017). *Bildungsminister Ulrich Commerçon bei der Landespressekonferenz: »Digitale Bildung gibt es nicht zum Nulltarif.«* Verfügbar unter [https://www.saarland.de/SID-2448526E-3FC82642/7239\\_225334.htm](https://www.saarland.de/SID-2448526E-3FC82642/7239_225334.htm) [19.06.2017]

- Niedersächsisches Kultusministerium. (2014). Erlass: Genehmigung, Einführung und Benutzung von Schulbüchern an allgemeinbildenden und berufsbildenden Schulen in Niedersachsen. Verfügbar unter <http://www.nds-voris.de/jportal/?quelle=jlink&psml=bsvorisprod.psm1&feed=bsvoris-vv&docid=VVND-VVND000034808> [17.04.2017]
- Oelkers, J. & Reusser, K. (2008). *Qualität entwickeln – Standards sichern – mit Differenz umgehen. Bildungsforschung Band 27*. Berlin: Bundesministerium für Bildung und Forschung.
- Staraschek, E. (2003). Ergebnisse einer Schülerbefragung über Physikschulbücher. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 9, 135 – 146.
- Sweller, J., Ayres, P. & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive Load Theory*. New York, NY: Springer New York. doi:10.1007/978-1-4419-8126-4
- Tversky, B., Bauer, J. & Betrancourt, M. (2002). Animation: can it facilitate? *Elsevier Science Ltd.*, 247 – 262. doi:10.1006/ijhc.2002.1017
- Yeziarski, E. J. & Birk, J. P. (2006). Misconceptions about the Particulate Nature of Matter. Using Animations To Close the Gender Gap. *Journal of Chemical Education*, 83(6), 954. doi:10.1021/ed083p954

## ÜBER DIE AUTOREN



---

Nina Ulrich, Jahrgang 1987, studierte Mathematik und Chemie für das Lehramt an Gymnasien an der Leibniz Universität Hannover und beendete 2011 das Studium mit dem Abschluss Master of Education. Seit 2012 ist sie wissenschaftliche Mitarbeiterin im Institut für Didaktik der Naturwissenschaften – Fachgebiet Chemiedidaktik an der Leibniz Universität Hannover. Dort promoviert sie im Rahmen des DFG-Forschungsprojektes eChemBook.



---

Dr. Johannes Huwer studierte Chemie und Geschichte für das Lehramt an Gymnasien und promovierte im Arbeitskreis für Physikalische Chemie (Prof. Dr. Rolf Hempelmann) über das Forschende Experimentieren in Schülerlaboren im Kontext einer MINT-Umweltbildung. Nach dem Referendariat übernahm er die Leitung der Didaktik der Chemie und des Schülerlabors NanoBioLab an der Universität des Saarlandes.

---

Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen – Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer (2017), J. Meßinger-Koppelt, S. Schanze & J. Groß (Hrsg.), Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag

# E-BOOKS – POTENZIALE FÜR DEN UMGANG MIT DIVERSITÄT

*Nina Ulrich*

## DIVERSITÄT

Diversität leitet sich aus dem lateinischen *Diversitas* (Vielfalt) ab. Im Bildungskontext bedeutet Diversität nach Sliwka (2010), dass die Lernenden in ihren Unterschieden wahrgenommen werden. Diese Unterschiede werden jedoch – anders als bei Heterogenität – nicht als Herausforderung, sondern als Bereicherung gewertet. Statt eine Belastung zu sein, dienen die Unterschiede als Ressource für individuelles und wechselseitiges Lernen. Diversität bzw. der englische Begriff *Diversity* wird im Kontext von Gleichstellung, Chancengerechtigkeit, Antidiskriminierung, Partizipation und Inklusion verwendet (Buchem, 2013). Dabei ist es wichtig, Inklusion von der Integration abzugrenzen: Während bei der Integration davon ausgegangen wird, dass die Gesellschaft relativ homogen ist und nur einzelne Randgruppen integriert werden müssen, wendet sich die Inklusion von dieser Zwei-Gruppen-Theorie ab und betrachtet alle Menschen als gleichberechtigte Individuen (Hinz, 2002).

Der Umgang mit Diversität hat für die Schule eine wichtige Bedeutung. Der Paragraph 24 der UN-Behindertenrechtskonvention besagt, dass Menschen mit Behinderungen ein Recht auf Bildung haben. Für eine Sicherstellung der Chancengleichheit ohne Diskriminierung müssen die Vertragsstaaten sicherstellen, dass ein Zugang zum allgemeinen Bildungssystem durch inklusiven Unterricht ermöglicht wird (Bundesministerium für Arbeit und Soziales, 2008). Diversität betrifft jedoch nicht nur die Inklusion von Menschen mit Behinderungen, sondern muss auch alle weiteren Diversitätsaspekte, wie zum Beispiel Gender, Migrationshintergrund oder soziale Herkunft, berücksichtigen (Alicke & Linz-Dinchel, 2012).

## UMGANG MIT DIVERSITÄT DURCH E-BOOKS

Die Potenziale beim Umgang mit Diversität durch E-Books kann man grob in zwei Kategorien teilen. Die erste Kategorie dient dem Abbau von Hürden beim Zugang zu den Inhalten:

»Digitale Medien eröffnen neue Zugangswege und Beteiligungsmöglichkeiten an der Erstellung und Nutzung von Wissen. Gleichzeitig führen Unterschiede im Zugang und bei Nutzung von digitalen Medien zu einer wachsenden Kluft in der Gesellschaft. Ein diversitäts-fördernder Einsatz von digitalen Medien zum Lernen und Lehren gewinnt an Bedeutung.«  
(Buchem, 2013, S. 388)

Die zweite Kategorie umfasst alles, was die Anpassung der Inhalte und Methoden betrifft, um eine Anpassung an individuelle Faktoren, wie z. B. Vorkenntnisse, Fähigkeiten, Interesse oder Lernpräferenz, zu ermöglichen. Dies bedeutet, dass die »Lernmittel, Materialien und Aufgabenstellungen [...] soweit möglich an die individuellen Vorkenntnisse und vorhandenen Kompetenzen des Einzelnen anknüpfen, eine natürliche Differenzierung sowie einen produktiven Umgang mit Heterogenität ermöglichen« sollen (Bayerisches Staatsministerium für Bildung und Kultus, 2016, S. 9).

Im Folgenden soll aufgezeigt werden, wie diese beiden Kategorien mithilfe von E-Books umgesetzt werden können. Da viele der Differenzierungsmöglichkeiten ein hohes Maß an Interaktion und Medienvielfalt benötigen, wird bei der Umsetzung von einem E-Book in Form eines Multitouch Learning Books (vgl. Beitrag [Ulrich & Huwer](#), S. 63) ausgegangen.

### Kategorie 1: Umgang mit Diversität durch Abbau von Hürden

Digitale Medien können Menschen mit Behinderungen »neue Zugangswege und Beteiligungsmöglichkeiten an der Erstellung und Nutzung von Wissen [eröffnen]« (Buchem, 2013, S. 388). Hierfür bieten die digitalen Endgeräte, wie Tablets oder Laptops, bereits integrierte Unterstützungsmöglichkeiten, wie

eine Vorlesefunktion oder Bildschirmvergrößerungen. Diese Unterstützungsmaßnahmen können durch eine entsprechende Aufbereitung des Lernmaterials gefördert werden, indem die Lernmaterialien barrierefrei erstellt werden. Ein Beispiel für diese Aufbereitungsgrundsätze berücksichtigt das Universal Design for Learning (UDL; Hall, Mayer & Rose, 2012). Aber nicht nur für Menschen mit Behinderungen kann die Arbeit mit Lernmaterial eine Hürde darstellen. So stellt auch die Fach- und Bildungssprache des Lernmaterials für viele Schülerinnen und Schüler eine Herausforderung dar (Leisen, 2011), die durch digitale Medien gemeistert werden kann. Im Folgenden wird aufgezeigt, wie durch Abbau von Hürden und Unterstützung der Lernenden E-Books genutzt werden können.

Die Fach- und Bildungssprache des Lernmaterials stellt für viele Schülerinnen und Schüler eine Herausforderung dar, die durch digitale Medien gemeistert werden kann.

**Beschränkte Sehkraft:** Analoge Bücher stellen Menschen mit beschränkter Sehkraft vor eine große Herausforderung. Bücher ohne Brailleschrift können je nach Beschränkungsgrad nicht ohne Hilfe gelesen werden. Um Schulbücher dennoch zugänglich zu machen, werden in Medienzentren herkömmliche Schulbücher für die Barrierefreiheit aufbereitet, indem beispielsweise Tabellen oder Abbildungen angepasst oder beschrieben werden. Die barrierefreien Schulbücher können dann je nach Bedarf mithilfe einer Brailleleiste oder angepasster Schriftgröße gelesen werden (Schmitt, 2017).

Dieser Umweg kann bei digitalen Schulbüchern umgangen werden, indem das Lernmaterial direkt barrierefrei entwickelt wird, sodass die Bedienungshilfen der digitalen Endgeräte genutzt werden können (z. B. Vorlesefunktion, Anschluss einer Brailleleiste oder Anpassung der Bildschirmdarstellung).

Die wichtigsten Voraussetzungen für Barrierefreiheit in diesem Kontext sind in den nachfolgenden Gestaltungsmerkmalen zusammengefasst (Diagram Center, n. d.):

- Strukturelemente, wie Überschriften, werden als solche gekennzeichnet.
- Es gibt eine eindeutige Lesereihenfolge.
- Die Navigation ist intuitiv.
- Die Seitenzahlen der Printausgabe werden übernommen.

- Es gibt einen Alternativtext für jeden auditiven oder visuellen Inhalt.
- Die Bedienungshilfen dürfen nicht durch digitales Rechtemanagement (DRM) behindert werden.
- Inhalt, Struktur und Layout werden getrennt.
- Notationen, wie etwa Formeln, müssen in zugänglicher Form angeboten werden.
- Die Sprache muss angegeben werden.

Durch die Berücksichtigung dieser Regeln bei der Erstellung eines E-Books können die Bedienungshilfen in vollem Umfang genutzt werden. Darüber hinaus gibt es jedoch noch weitere Möglichkeiten, die Arbeit mit dem E-Book für Menschen mit einer Sehbehinderung zu erleichtern: Zusätzliche Audio-Dateien können die Struktur des E-Books erklären und zusätzliche Informationen bereitstellen. Des Weiteren kann in Videos eine zusätzliche Tonspur hinterlegt werden, in der die visuellen Informationen beschrieben werden.

**Schwerhörigkeit und Gehörlosigkeit:** Neben den technischen Unterstützungsmaßnahmen, wie der Kopplung eines Hörgerätes mit dem digitalen Endgerät, können die multimedialen Inhalte eines E-Books auch für schwerhörige Menschen zugänglich gemacht werden. Untertitel ermöglichen es gehörlosen Menschen, auf die gleichen Informationen zuzugreifen wie hörende Menschen. Für die Unterstützung der Kommunikation zwischen den Schülerinnen und Schülern können in das E-Book Möglichkeiten zum schriftlichen Austausch und kollaborativen Arbeiten eingebaut werden.

**Lese- / Rechtschreibschwäche und Leseförderung:** E-Books eignen sich auch für die Unterstützung von Lernenden mit einer Leseschwäche, indem einzelne Silben in den Texten hervorgehoben werden. Diese Hervorhebung kann durch die bessere Unterscheidung der Silben die Lesbarkeit von Texten für Schülerinnen und Schüler mit einer Leseschwäche verbessern (Husni & Jamaludin, 2013). Da diese Unterstützung nicht von allen Lernenden benötigt wird, kann sie in einem E-Book als Option angeboten werden – der Druck unterschiedlicher Versionen wäre hingegen nicht wirtschaftlich.

Eine weitere Möglichkeit zur Unterstützung bei der Textarbeit bietet die Vorlesefunktion, die in der Regel Teil des digitalen Endgerätes ist. Hierbei ist

es meist auch möglich, jedes Wort beim Vorlesen hervorzuheben, sodass die Lernenden dabei den Text verfolgen können. Für die Förderung des Textverständnisses beim Lesen sollte das E-Book auch Lesestrategien wie Anmerkungen und Notizen unterstützen, was bei einem analogen Schulbuch durch die Ausleihe nicht möglich ist.

**Fehlender Wortschatz:** Vielen Schülerinnen und Schülern bereitet die Fach- und Bildungssprache Schwierigkeiten (Leisen, 2011). Zur Unterstützung der Schülerinnen und Schüler bietet sich die Verwendung eines Glossars an. Dabei ist es sowohl denkbar, dass das Glossar bereits Bestandteil des E-Books ist oder durch die Schülerinnen und Schüler selbst erstellt wird. Die arbeitsteilige Erstellung eines Glossars kann wiederum zur Differenzierung innerhalb einer Lerngruppe genutzt werden, indem die Einträge je nach Schwierigkeitsgrad unterschiedlichen Schülerinnen und Schülern zugeordnet werden. Zur Unterstützung von Schülerinnen und Schülern, deren Erstsprache nicht Deutsch ist, bietet sich die Integration eines Wörterbuchs an. E-Book-Lesesoftware wie Amazon Kindle oder Apple iBooks bieten diese Suchfunktion bereits in der Software integriert an.

## Kategorie 2: Anpassung der Inhalte und Methoden

Innerhalb einer Lerngruppe sind die Schülerinnen und Schüler nicht alle gleich. Sie unterscheiden sich in ihren Vorkenntnissen, Interessen, kognitiven Fähigkeiten und vielen anderen Faktoren. Um diesen Unterschieden gerecht zu werden, sollte das Lernmaterial entsprechend flexibel sein. Werden den Schülerinnen und Schülern Wahlmöglichkeiten angeboten, können sie nicht nur entsprechend ihrer Interessen entscheiden, sondern erleben durch diese eigenständige Entscheidungsmöglichkeit ein höheres Maß an Selbstbestimmung, was sich positiv auf die Motivation auswirken kann (Deci & Ryan, 1993). Nach Schulmeister (2004) eignen sich hierfür insbesondere interaktive Lernumgebungen, die offene Lernsituationen schaffen. Welche Anforderungen an ein E-Book gestellt werden, damit es eine interaktive Lernumgebung bietet, soll im Folgenden gezeigt werden.

**Medienangebot:** Digitale Medien stellen Informationen in reichhaltigeren Modalitäten dar als analoge Medien. Während analoge Medien auf Text und Bild reduziert sind, können digitale Medien auch dynamische Visualisierungsformen, wie z. B. Videos, Simulationen oder Animationen, einbinden. Die Inhalte können somit einfacher für verschiedene Lerntypen angepasst und bereitgestellt werden.

Eine Differenzierung des Medienangebots kann auch bedeuten, dass verschiedene Textversionen angeboten werden, sodass jeder – seinen Fähigkeiten entsprechend – Informationen erhalten kann. Für ein digitales Geschichtsbuch kann dies beispielsweise bedeuten, dass eine historische Quelle als Originalquelle durch eine Version in leichter Sprache ergänzt wird.

**Themenangebot:** »Die Berücksichtigung der Interessen und Lernvoraussetzungen der Schüler erfordert eine flexible Auswahl und Anordnung von Kontexten.« (Parchmann et al., 2006, S. 127) Ein Thema kann für die Lernenden auf verschiedene Art und Weise aufbereitet und als unterschiedliche Module bereitgestellt werden. Die Lernenden können den Einstieg in ein neues Thema individuell zusammenstellen und sich so selbstständig, aktiv und explorativ mit dem Lerninhalt auseinandersetzen (Schmitz, 2004).

**Methoden:** Auch eine Methodenauswahl kann durch E-Books unterstützt werden, damit die Lernenden entsprechend ihren Stärken und Interessen handeln können. So können beispielsweise die Aufgaben so offen gestaltet werden, dass die Schülerinnen und Schüler verschiedene Möglichkeiten zur Bearbeitung der Aufgaben haben, wie beispielsweise die Erstellung eines Erklärvideos, das Schreiben eines Textes oder die Entwicklung einer Learning-App. Auch wenn dabei streng genommen stärker die Potenziale der digitalen Endgeräte genutzt werden, können in das E-Book multimediale Anleitungen, Beispiele und Hilfestellungen zur Erstellung solcher Lernprodukte integriert werden.

**Unterstützung der Lernenden:** Ein digitales Schulbuch bietet die Möglichkeit, adaptive Hilfen einzubauen. Der Vorteil des digitalen Schulbuchs ist hierbei, dass die Hilfen direkt dort eingeblendet werden können, wo sie benötigt werden, und auch stufenweise zur Verfügung gestellt werden können. Gestufte Hilfen erlauben die Integration komplexerer Aufgaben in das E-Book für eine

individuelle Förderung und Forderung (Stäudel, Franke-Braun & Schmidt-Weigand, 2007). Derzeit wird ein direkter Zugriff auf die Hilfen realisiert; es wäre allerdings auch denkbar, dass die Hilfen erst durch die Lehrkraft freigeschaltet werden oder nach einer gewissen Bearbeitungszeit zur Verfügung stehen.

Des Weiteren kann auch die Unterstützung bei der Bearbeitung von Aufgaben binnendifferenzierend erfolgen, indem beispielsweise je nach Leistungsstärke ein Freitext oder ein Text mithilfe von Wortgeländern geschrieben bzw. alternativ ein Lückentext bearbeitet wird.

## UMSETZUNG VON ASPEKTEN DER DIVERSITÄT IM E-BOOK »UNTERRICHTEN MIT IPADS«

In diesem Abschnitt soll die Umsetzung des E-Books »Unterrichten mit iPads« (Ulrich, 2017) erläutert werden, das insbesondere unterschiedliche Vorkenntnisse berücksichtigt. Das E-Book wurde für eine Schulung von Lehrkräften und Lehramtsstudierenden zum Umgang mit Tablets im Unterricht entwickelt. Die Zielgruppe unterscheidet sich unter anderem in ihren technischen und medienpädagogischen Vorkenntnissen, ihren Unterrichtsfächern, ihrer Schulform, ihren Einstellungen und Interessen.

Um all diesen Faktoren gerecht werden zu können, gibt es zwei Möglichkeiten: 1. fach- und vorwissensspezifische Schulungen oder 2. flexible Schulungen, bei denen die Studierenden und Lehrkräfte weder unter- noch überfordert werden und sich mit ihren Fächern repräsentiert fühlen. Da die erste Variante sehr ressourcenintensiv ist, wurde die zweite Variante realisiert.

Für die Umsetzung wurde ein Stationenlernen in Form eines E-Books gewählt. Das Stationenlernen besteht aus Pflicht- und Wahlstationen. Die einzelnen Stationen werden durch Hilfen unterstützt (siehe Abb. 1).

Die Stationen sind zur Berücksichtigung der Nutzervoraussetzungen dreigeteilt. Zielgruppe der Stationen des ersten Teils sind Studierende und Lehrkräfte mit wenig bis gar keiner iPad-Erfahrung. In diesen Stationen erlernen sie die grundlegende Bedienung des Tablets, wie die Funktionen der Knöpfe, die Verwendung von Gesten oder auch grundlegende Funktionen, wie Texte kopieren und einfügen. Die Stationen des zweiten Teils sind Pflichtstationen

B3: Keynote & Apple TV

Arbeitsauftrag

1. Fotografieren Sie Ihren Workshop-Partner und lassen Sie sich von ihrem Workshop-Partner fotografieren.
2. Tauschen Sie mit Ihrem Partner die Fotos über AirDrop aus.
3. Erstellen Sie eine kurze (!) Keynote-Präsentation über sich selbst und fügen Sie das Foto aus 1. ein.
4. Verbinden Sie Ihr iPad mit der Apple TV.
5. Präsentieren Sie Ihre Präsentation Ihrem Partner.

*Hinweis: Achten Sie auf die Zeit. Es geht an dieser Stelle nicht darum, eine perfekte Präsentation zu erstellen.*

Was?

- Fotografieren
- AirDrop
- Präsentation mit Keynote erstellen
- iPad mit einer Apple TV verbinden

Womit?

- Keynote
- Apple TV & Beamer
- Kamera
- Fotos

Hilfen

Interaktiv 3.10 Keynote

Präsentationen mit Keynote

Interaktiv 3.12 Apple TV

Verbindung mit einer Apple TV aufbauen

Interaktiv 3.11 AirDrop

Dateiaustausch mit AirDrop

11

Abb. 1: Beispielstation aus dem E-Book

und können nur dann übersprungen werden, wenn die Vorkenntnisse bereits ausreichend groß sind. Diese Stationen behandeln Szenarien, die fächerunabhängig von Bedeutung sind und regelmäßig im Unterricht eingesetzt werden können. Der dritte Teil geht über die Standardanwendungen hinaus und thematisiert unter anderem fächerspezifische Einsatzmöglichkeiten von Tablets, wie die digitale Messwerterfassung in Chemie oder die Erstellung einer Nachrichtensendung für den Politikunterricht. Durch das breite Stationsangebot können die (angehenden) Lehrkräfte entsprechend ihren Interessen und Vorkenntnissen ihren eigenen Lernweg wählen.

Die digitale Umsetzung in Form eines E-Books wurde dabei aus verschiedenen Gründen gewählt. Am wichtigsten war hierbei die Unterstützung der Schulungsteilnehmenden bei den Stationen durch Hilfen, da dies zum einen die Kursleitung entlastet und zum anderen auch ein Selbststudium außerhalb der Schulung ermöglicht. Zusätzliche Vorteile bieten die ständige Verfügbar-

keit und die Aktualität der Materialien: Auch über die Schulung hinaus besteht jederzeit Zugriff auf das E-Book, zudem sind Aktualisierungen möglich. Der letzte, eher pragmatische, aber nicht unerhebliche Grund liegt in der Materialbereitstellung, die in analoger Form bei einer derartig großen Anzahl von Lernwegen sehr unübersichtlich wäre.

## FAZIT

E-Books bieten viele Potenziale, mit Diversität umzugehen. Damit diese Potenziale genutzt werden können, müssen die oben geschilderten Anforderungen berücksichtigt werden. Zudem ist eine entsprechende Ausstattung der Schulen mit Geräten und Internet notwendig.

## LITERATUR

- Alicke, T. & Linz-Dinchel, K. (2012). *Inklusive Gesellschaft – Teilhabe in Deutschland*. Frankfurt am Main.
- Bayerisches Staatsministerium für Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst. (2016). *Kriterien zur Begutachtung von Lernmitteln*. Verfügbar unter [https://www.km.bayern.de/download/7432\\_allgemeiner\\_kriterienkatalog\\_stand\\_mai\\_2016.pdf](https://www.km.bayern.de/download/7432_allgemeiner_kriterienkatalog_stand_mai_2016.pdf) [17.04.2017]
- Buchem, I. (2013). Diversität und Spaltung – Digitale Medien in der Gesellschaft. In M. Ebner & S. Schön (Hrsg.), *Lehrbuch für Lernen und Lehren mit Technologien* (2. Auflage).
- Bundesministerium für Arbeit und Soziales. (2008). *Gesetz zu dem Übereinkommen der Vereinten Nationen vom 13. Dezember 2006 über die Rechte von Menschen mit Behinderungen sowie zu dem Fakultativprotokoll vom 13. Dezember 2006 zum Übereinkommen der Vereinten Nationen über die Rechte von Menschen mit Behinderung* (Vol. 2008).
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (1993). Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. *Zeitschrift für Pädagogik*, 39(2), 223–238.
- Diagram Center. (n. d.). *Top Tips for Creating Accessible EPUB 3 Files*. Verfügbar unter <http://diagramcenter.org/54-9-tips-for-creating-accessible-epub-3-files.html> [29.03.2017]
- Hall, T. E., Mayer, A. & Rose, D. H. (2012). *Universal Design for Learning in the Classroom*. New York, London: Guilford Publications.
- Hinz, A. (2002). Von der Integration zur Inklusion – terminologisches Spiel oder konzeptionelle Weiterentwicklung? *Heilpädagogik*, 53, 354–361.

- Husni, H. & Jamaludin, Z. (2013). Let's play with colours: BacaMAX user interface for dyslexic children. In H. B. Zaman, P. Robinson, P. Olivier, T. K. Shih & S. Velastin (Hrsg.), *Advances in Visual Informatics. IVIC 2013. Lecture Notes in Computer Science* (Vol. 8237, 253–263). Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-319-02958-0\_24
- Leisen, J. (2011). Sprachförderung. Der sprachensible Fachunterricht. *Betrifft: Lehrerbildung und Schule*, 8, 6–15.
- Parchmann, I., Bündler, W., Demuth, R., Freienberg, J., Klüter, R. & Ralle, B. (2006). Lernlinien zur Verknüpfung von Kontextlernen und Kompetenzentwicklung. *Chemkon*, 13(3), 124–131. doi:10.1002/ckon.200610045
- Schmitt, N. (2017). Mit dem Tastsinn lernen: Schulbücher für Sehbehinderte und Blinde. *Klett-Themendienst*, 74(1), 1–3.
- Schmitz, S. (2004). E-Learning für alle? Wie lässt sich Diversität in Technik umsetzen? In D. Carstensen & B. Barrios (Hrsg.), *Campus 2004. Kommen die digitalen Medien an den Hochschulen in die Jahre?* (S. 123–132). Münster, New York, München, Berlin: Waxmann.
- Schulmeister, R. (2004). Diversität von Studierenden und die Konsequenzen für E-Learning. In D. Carstensen & B. Barrios (Hrsg.), *Campus 2004. Kommen die digitalen Medien an den Hochschulen in die Jahre?* (S. 133–144). Münster, New York, München, Berlin: Waxmann.
- Sliwka, A. (2010). From homogeneity to diversity in German education. *Educating Teachers for Diversity: meeting the Challenge*, 37, 205–217.
- Stäudel, L., Franke-Braun, G. & Schmidt-Weigand, F. (2007). Komplexität erhalten – auch in heterogenen Lerngruppen: Aufgaben mit gestuften Lernhilfen. *Chemkon*, 14(3), 115–122. doi:10.1002/ckon.200710058
- Ulrich, N. (2017). *Unterrichten mit iPads*. Hannover: IDN digital (Apple iBook Store).

## ÜBER DIE AUTORIN



---

**Nina Ulrich**, Jahrgang 1987, studierte Mathematik und Chemie für das Lehramt an Gymnasien an der Leibniz Universität Hannover und beendete 2011 das Studium mit dem Abschluss Master of Education. Seit 2012 ist sie wissenschaftliche Mitarbeiterin im Institut für Didaktik der Naturwissenschaften – Fachgebiet Chemiedidaktik an der Leibniz Universität Hannover. Dort promoviert sie im Rahmen des DFG-Forschungsprojektes eChemBook.

---

Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen – Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer (2017), J. Meßinger-Koppelt, S. Schanze & J. Groß (Hrsg.), Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag

# MULTITOUCH LEARNING BOOKS FÜR SCHULISCHE UND AUSSERSCHULISCHE BILDUNG

*Johannes Huwer & Ingo Eilks*

Die Vernetzung von außerschulischen Lernorten, wie Schülerlaboren, mit dem schulischen Lernen spielt eine wichtige Rolle für den Erfolg des außerschulischen Lernens. Es wird davon ausgegangen, dass außerschulische Lernorte ihre volle Wirkung erst dann entfalten, wenn das Bildungsangebot gut auf die Vorkenntnisse und Fertigkeiten der Lernenden aus der schulischen Bildung abgestimmt ist. Dann können sie eine echte Bereicherung der Bildungslandschaft darstellen. Außerschulische Lernorte bieten allerdings auch einen Raum für die Entwicklung didaktischer und methodischer Innovationen, die über das Lernen in der Schule hinausgehen, dieses aber auch verändern können. Eine solche Innovation kann der Einbezug neuer, digital-unterstützter Lehrkonzepte sein, etwa die Unterstützung von naturwissenschaftlichem Lernen durch Multitouch Learning Books. Multitouch Learning Books sind in der Lage, Defizite statischer Informationsangebote oder Versuchsanleitungen auszugleichen, um eine bessere Vernetzung des experimentellen Lernens mit den dahinterliegenden Fachinhalten zu realisieren. Im Folgenden diskutieren wir die technischen Voraussetzungen sowie die Potenziale dieser Medien für den naturwissenschaftlichen Unterricht und außerschulische Lernorte.

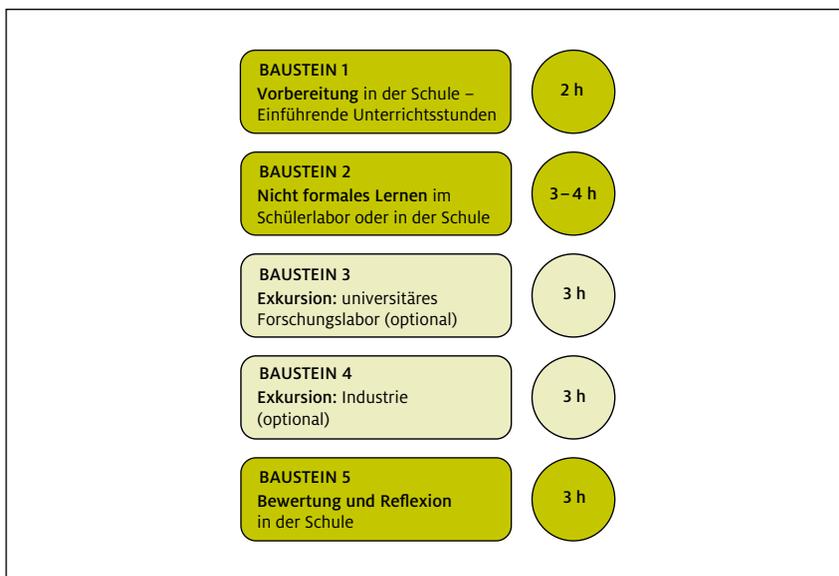
## ZUR VERNETZUNG VON SCHULISCHEM UND AUSSERSCHULISCHEM LERNEN

Formales Lernen in der Schule stößt an seine Grenzen, wenn alle Facetten des naturwissenschaftlichen Lernens abgebildet werden sollen (Coll, Gilbert, Pilot & Streller, 2013). Dies gilt insbesondere, wenn es um eine breit angelegte, relevante Bildung unter Einbezug epochaltypischer Schlüsselprobleme, eine zeitgemäße Bildung für Nachhaltige Entwicklung (BNE) oder um berufliche

Orientierung geht (Hopkins & McKeown, 2002). Hier kann eine Erweiterung der formalen Bildungsangebote in der Schule durch nicht-formale, außerschulische Bildung einen Beitrag leisten (Garner, Hayes & Eilks, 2014). Nicht-formale Bildungsangebote zeichnen sich durch einen Einbezug außerschulischer Lernorte, Experten und Medien aus, die Informationen und Erfahrungen anbieten, die in der Schule nicht in authentischer Form zugänglich sind. Ein solcher außerschulischer Lernort für den naturwissenschaftlichen Unterricht ist das Schülerlabor. Schülerlabore gibt es in verschiedenen Betriebsmodi, wobei das klassische Schülerlabor und das Lehr-Lern-Labor die häufigsten Vertreter sind (Haupt et al., 2013). Allen gemeinsam sind bestimmte Kriterien und Primärziele, wie das Wecken bzw. die Förderung von Interesse an den Naturwissenschaften und die Unterstützung des experimentellen und forschenden Lernens. Gemeinsam ist ihnen aber auch die größere curriculare und methodische Freiheit sowie die in der Regel bessere technische und multimediale Ausstattung.

Viele Schülerlabore berufen sich auf die Methode des forschenden Lernens. Ihnen wird dabei die Förderung von Interesse und Motivation, aber auch des kognitiven Lernens, zugeschrieben (Huwer, Hempelmann & Brünken, 2014; Pawek, 2009; Zehren, Neber & Hempelmann, 2013). Zehren (2009) stellt unter anderem die curriculare Vernetzung von Schule und Schülerlabor als Erfolgskriterium für den sinnvollen Einsatz von Schülerlaborbesuchen heraus. Wege einer solchen systematischen Vernetzung kann man etwa in Bildungsangeboten in Form curricular vernetzter Module gestalten. Ein Modul kann dabei obligatorische und optionale Bausteine beinhalten, die zum Teil in der Schule und zum Teil am außerschulischen Lernort durchgeführt werden (vgl. Abb. 1).

In mehreren Projekten zur Nachhaltigkeitsbildung im Kontext der Chemie wurden an der Universität des Saarlandes und der Universität Bremen eine Reihe von Schülerlabormodulen entwickelt (Affeldt, Weitz, Siol, Markic & Eilks, 2015). Zu jedem Modul existiert Material, das den Lehrkräften für ihren Unterricht zur Verfügung gestellt wird. Dabei handelt es sich um umfassende digitale bzw. gedruckte Handreichungen, aus welchen den Schülerinnen und Schülern eine Auswahl in Form eines Laborbuchs für den Schülerlaborbesuch zur Verfügung gestellt wird. Dies bietet die Möglichkeit der Verbindung des schulischen und außerschulischen Lernens und eine Anpassung des Schüler-



**Abb. 1:** Aufbau eines curricular vernetzten Moduls. Grün hinterlegt sind obligatorische Bausteine, hellgrün sind optionale Bausteine (Garner, Huwer, Siol, Hempelmann & Eilks, 2015)

laborbesuches an die Voraussetzungen der Lerngruppe. Bislang werden diese Materialien in der Regel in gedruckter Form zur Verfügung gestellt. Oft besteht dabei ein Bruch zwischen den in der Schule genutzten und den durch das Schülerlabor bereitgestellten Materialien. Multitouch Learning Books können an dieser Schnittstelle helfen, Vernetzungen aufzubauen.

## MULTITOUCH LEARNING BOOKS

Multitouch Learning Books sind Schülerbücher, welche dynamisch, interaktiv, nicht linear und modular sein können (vgl. Beitrag von Ulrich & Huwer, S. 63). Neben den nicht veränderbaren Multitouch Learning Books, wie z. B. das eChemBook (Ulrich & Schanze, 2015), kann es auch von der Lehrkraft frei

gestaltbare und veränderbare Multitouch Learning Books geben, z. B. erstellt mit dem Programm iBooks Author.

Unterschiedliche Multitouch Learning Books haben spezifische Vor- und Nachteile. Nicht veränderbare Multitouch Learning Books zeichnen sich, wie analoge Schulbücher auch, durch eine kontrollierbare Passung an die Lehrpläne aus. Die inhaltliche, pädagogische, didaktische und methodische Gestaltung wird dabei von einem Autorenteam, ggf. in Zusammenarbeit mit einem Verlag, geleistet. Dies hat aus bildungspolitischer Sicht den Vorteil, dass dieser E-Book-Typ von den zuständigen Behörden kontrolliert und genehmigt werden kann, da die Unveränderlichkeit Voraussetzung für eine solche Prüfung ist (Niedersächsisches Kultusministerium, 2016). Der Einsatz dieses Typs beschränkt sich allerdings auf Inhalte, die nicht durch aktuell wechselnde oder lokale Kontexte gekennzeichnet sind. Das eChemBook zeigt zum Beispiel, wie man die Einführung des Teilchenmodells interaktiv gestalten kann (Ulrich & Schanze, 2015). So wird z. B. in einer Lerneinheit über die Aggregatzustände im Teilchenmodell ein Text direkt durch dynamische Animationen ergänzt, was bei herkömmlichen Schulbüchern nur indirekt über beiliegende Medien oder ergänzende Online-Angebote realisierbar ist. Nachteilig an diesen Medien sind in der Regel aber lange Entwicklungszeiten und ggf. hohe Kosten. Des Weiteren hat, wie bei einem herkömmlichen Schulbuch auch, die Lehrkraft bei einem nicht editierbaren Medium keine Möglichkeit, das Schülerbuch zu verändern und an den spezifischen Unterricht mit aktuellen oder regional-spezifischen Kontexten anzupassen. Dies wäre, wie bisher, nur über die Ausgabe weiterer Arbeitsmaterialien möglich.

Veränderbare Multitouch Learning Books ermöglichen eine Anpassung an den Unterricht, wo es aufgrund aktueller Entwicklungen oder regionaler Kontexte sinnvoll ist. Das ist z. B. bei der Integration eines aktuellen Themas aus den Medien oder eines spezifischen, regionalen Lernortes denkbar, welcher gerade Teil des Unterrichts ist. Ebenso erlaubt dieser Typ eine Anpassung durch die Lehrkraft, wenn es um spezifische inhaltliche Differenzierung oder individuelle Förderung einzelner Schülerinnen bzw. Schüler oder Schülergruppen geht. So können z. B. Aufgaben oder Lerninhalte an die Lernschwierigkeiten oder Interessen einzelner Lernender angepasst werden. Das kann ein externes Autorenteam oder ein Schulbuchverlag nur sehr grob und unspezifisch leisten. Jedoch könnte ein externes Autorenteam verschiedene Multi-

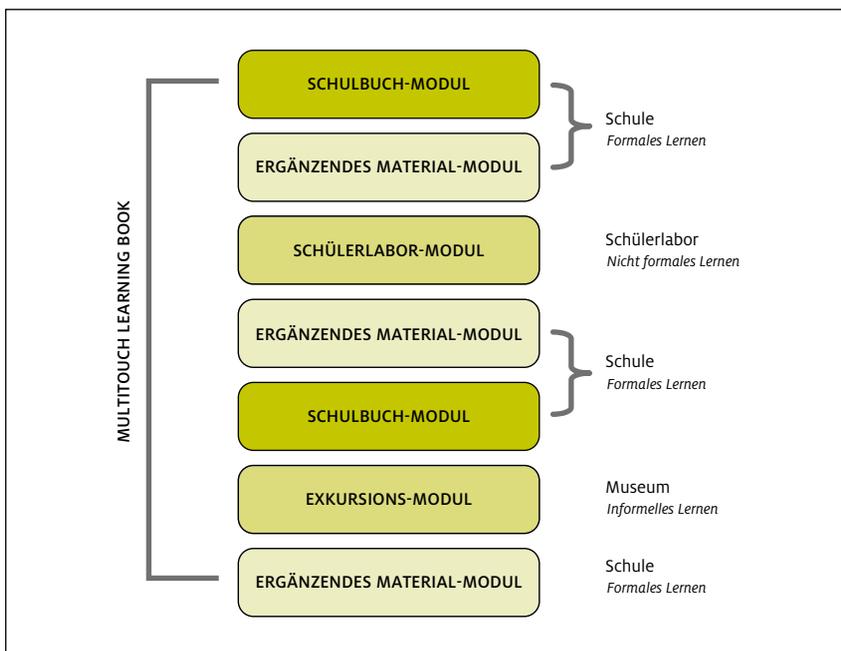


Abb. 2: Schema der Vernetzung von Lernorten

touch Learning Book-»Module« oder -Inhalte entwickeln und in Form einer »Bildungscloud« den Lehrkräften zur Verfügung stellen. Dies hätte den Vorteil, dass jeder Lernende, je nach gewünschtem Grad der Individualisierung (regional, schulisch, klassenweise, gruppenweise, individuumsorientiert), einen eigenen, passenden Lernbegleiter bekommen könnte. Die Lehrkraft könnte im Idealfall mit wenigen Klicks die Module oder Inhalte je nach dem gewünschten Grad der Differenzierung zusammenstellen, ohne die Inhalte ganz neu erstellen zu müssen. Gleichzeitig bietet dieser Weg die Möglichkeit, Aufgaben, ergänzende Materialien oder Ähnliches zu den vorgefertigten Materialien hinzuzufügen.

Für die Zusammenarbeit mit dem Schülerlabor hat dieses Vorgehen den Vorteil, dass Materialien aus dem außerschulischen Lernort in das schulische Lernmedium integriert und beide damit vernetzt werden können (Abb. 2).

## MEHRWERT VON MULTITOUCH LEARNING BOOKS FÜR SCHULISCHES UND AUSSERSCHULISCHES LERNEN

Kuhn, Ropohl & Groß (vgl. S. 11) beschreiben in ihrem Beitrag aus lernpsychologischer Sicht Kriterien für die Lernwirksamkeit eines Mediums. Diese liegen vor allem in der Darstellung der Informationen und der sinnvollen Kombination von Texten, Bildern, Videos, Animationen und verbalen Erläuterungen. Die Grundlage hierfür liefert Mayers Cognitive Theory of Multimedia Learning (CTML, 2009). Diese Theorie legt nahe, dass es lernförderlich ist, wenn verbale Informationen (z. B. in Form eines Textes) und nonverbale (z. B. Bilder oder Animationen) räumlich gemeinsam dargeboten werden. Dies ist bei herkömmlichen Medien (Schulbücher und Arbeitsblätter) wegen ihres statischen Charakters oft schwierig zu realisieren. Aufgrund der Charakteristik dieser Medien (z. B. Linearität, Zweidimensionalität, räumliche Beschränkungen) können gewisse Grenzen nicht überwunden und bestimmte Medien nur über andere Plattformen in das Lernen einbezogen werden. Ein Multitouch Learning Book ist technisch dazu besser in der Lage. Im einfachsten Fall kann dies durch interaktive Overlays, aber auch durch den Einbezug von Elementen der Augmented Reality geschehen.

Hinzu kommt, dass aufgrund des Bildungsföderalismus für kleinere Bundesländer und die naturwissenschaftlichen Fächer nicht in jedem Fall Schulbücher angeboten werden, die auf den Lehrplan abgestimmt sind. Dies trägt sicher auch zu dem verhältnismäßig seltenen Einsatz herkömmlicher Schulbücher (Beerenwinkel & Gräsel, 2005) unter Lehrkräften der Chemie bei. Veränderbare Multitouch Learning Books können hier Abhilfe schaffen. Die Lehrkraft kann spezifisch zugeschnittene Angebote für die einzelne Lerngruppe oder gar individuelle Schülerinnen und Schüler zusammenstellen, die dem jeweiligen Lehrplan entsprechen. Sie kann sowohl individuelle Hilfestellungen als auch inhaltlich passende Themen für die Schülerinnen und Schüler auswählen und direkt in das Medium integrieren. Durch den modularen Charakter kann die Vorwegnahme von Lerninhalten umgangen oder durch die Nicht-Linearität der Weg für den Lernenden zumindest herausfordernder gestaltet werden, wie dies im Zusammenhang multimedialer Lernumgebungen vorgeschlagen wurde (Eilks & Möllering, 2001). Aktuelle und regional passende Bezüge können ebenfalls einbezogen werden, wenn die Lehrkraft geeignete

Informationen und Medien in das E-Book einbaut. Dies betrifft etwa auch Bezüge zu einem regionalen, außerschulischen Lernort, wie einem Schülerlabor, Science Center oder regional bedeutsamen Umwelt- oder Wirtschaftsstandorten.

Für die Verbindung von schulischem und außerschulischem Lernen kann die Lehrkraft die Materialien, welche das Schülerlabor für die Vor- und Nachbereitung zur Verfügung stellt, in das Multitouch Learning Book der Schülerinnen und Schüler integrieren, sodass diese sich in die im Unterricht genutzten Materialien einfügen. Gleiches gilt für die Versuchsanleitungen sowie die Notizen zur Durchführung, Beobachtung und Auswertung der Schülerlaborexperimente. Für die Schülerinnen und Schüler hat dies den Vorteil, dass eine Verbindung zwischen den Materialien der Lehrkraft und denen des Schülerlabors hergestellt werden kann. Hinzu kommt für das Schülerlabor die Möglichkeit, weitere Medien einzubeziehen, etwa Versuchsanleitungen über animierte Darstellungen oder Videos zu bestimmten Labortechniken, die dann mit anderen Inhalten im Multitouch Learning Book vernetzt werden können.

Auch die individuelle Förderung von Schülerinnen und Schülern spielt eine große Rolle in den Zielen der Schülerlabore. Gerade im Zuge wachsender Heterogenität und Diversität ist es wichtig, dass entsprechende Materialien zur Verfügung stehen. Hier können Multitouch Learning Books Angebote zur Förderung von benachteiligten Schülerinnen und Schülern bereitstellen (z. B. Texte mit verschiedenen Schwierigkeitsgraden, abgestufte Tippkarten oder sprachensible Lernhilfen), die bei den Schülerinnen und Schülern für die Nachbereitung zu Hause oder die Nutzung in der Schule verbleiben (vgl. auch Beitrag von [Ulrich](#), S. 71). Bisher bleiben eingesetzte Tipp- und Hilfefkarten in der Regel im Schülerlabor (Affeldt et al., 2016). Auch können die Hilfen innerhalb des Multitouch Learning Books spielerischer oder interaktiver gestaltet werden (z. B. in Form einer Animation oder eines Drag-and-Drop-Lückentextes), als dies bei traditionell eingesetzten Materialien auf Papier möglich ist.

## GRENZEN UND RISIKEN IN DER NUTZUNG SELBST GESTALTETER MULTITOUCH LEARNING BOOKS

Auch Lehrkräfte haben heute mithilfe entsprechender Software (siehe unten) und ohne Programmierkenntnisse praktikable Möglichkeiten, interaktive und an ihren Unterricht bzw. an ihre Schülerinnen und Schüler angepasste E-Books zu erstellen oder zusammenzusetzen. Geschieht dies durch die Lehrkraft, ist als erster, limitierender Faktor sicher die Zeit zu nennen. Die Erstellung eines solchen Buches kostet Zeit, die nicht jede Lehrkraft neben den anderen schulischen Tätigkeiten wird aufbringen können. Auch stellt sich die Frage des einzubindenden Materials. Hier ist zu klären, welche Texte, Abbildungen oder Aufgaben aus traditionellen Medien übernommen werden dürfen, ohne beispielsweise Urheberrechte zu verletzen (vgl. Beitrag Becker & Nerdel, S. 36). Die Erstellung eigener Animationen, Simulationen und Videos ist dann noch einmal aufwendiger. Bei der Übernahme von multimedialen Elementen aus dem Internet stellt sich neben der Frage des Urheberrechts auch die Frage der Passung und manchmal der didaktischen Qualität. Nicht alle Angebote im Internet sind geeignet und hilfreich. Bei Videos von Versuchen werden unter Umständen Aspekte der Arbeitssicherheit vernachlässigt. Bei Animationen werden zum Teil didaktisch fragwürdige Vereinfachungen und Verfremdungen vorgenommen, die schlimmstenfalls den Lernprozess eher behindern als fördern (Eilks, Pietzner & Witteck, 2010).

Eine weitere Hürde stellt häufig immer noch die technische Ausstattung der Schulen dar. Die hier beschriebenen Varianten von Multitouch Learning Books sind zwar technisch gesehen für die Lehrkraft relativ einfach zu erstellen, jedoch sind die Ansprüche an die Infrastruktur der Schule hoch. So lässt sich das mit iBooks Author erstellte E-Book lediglich mit einem iOS-Gerät öffnen. Die Nutzung von Multitouch Learning Books als individuellem Lernbegleiter (Huwer & Seibert, 2017) bedingt zudem, dass die Schule oder zumindest eine Schulklasse über eine 1:1-Ausstattung mit iPads verfügen muss. Dies ist zwar an einzelnen Schulen der Fall, flächendeckend ist davon in absehbarer Zeit allerdings nur bedingt auszugehen.

## PRAKTISCHE MÖGLICHKEITEN DER UMSETZUNG

Neben den didaktischen Fragen des Einsatzes stellen sich bei digitalen Medien natürlich Fragen der technischen Umsetzung. Ein kostenloses Programm, welches ohne vertiefte Programmierkenntnisse die Erstellung von Multitouch Learning Books ermöglicht, ist die macOS-Software iBooks Author. Aus einer Vielzahl an Vorlagen können die Autoren, je nach Geschmack und Einsatzszenario, ein Design wählen. Die Programmoberfläche ist vergleichbar mit einer üblichen Textverarbeitung und weitgehend intuitiv bedienbar. Autoren sind in der Lage, Text und Bildmaterial zu kombinieren und zu bearbeiten, ohne spezifische Kenntnisse erwerben zu müssen. Bereits in der Standardversion des iBooks Author ist es auch möglich, dass Schülerinnen und Schüler selber Kommentare und Notizen hinzufügen oder ein Glossar erstellen.

Das volle Potenzial von Multitouch Learning Books entfaltet sich jedoch erst in der Einbindung von sogenannten Widgets. Widgets sind kleine, bereits vorprogrammierte Anwendungen, die vom Nutzer auf einer grafischen Oberfläche ohne Programmierkenntnisse verändert und dem jeweiligen Einsatzszenario angepasst werden können. Diese Widgets machen das E-Book jenseits der Steuerungsinteraktivität erst wirklich interaktiv. iBooks Author selbst bietet bereits eine Auswahl an Widgets, welche eingebunden werden können (Abb. 3).

Eine Erweiterung über die Basisfunktionalitäten des Programms iBooks Author hinaus stellt die Plattform Bookry<sup>1</sup> dar (Abb. 4). Auf dieser Internet-Plattform werden von der Firma Bookry entwickelte HTML5-Widgets angeboten, welche sich online dem gewünschten Unterrichtsszenario anpassen und anschließend in das E-Book integrieren lassen. Diese Widgets unterscheiden sich von den im Programm iBooks Author bereits enthaltenen Widgets dadurch, dass die Inhalte nicht direkt auf der Buchseite sichtbar, sondern hinter App-Icons versteckt bleiben. Die Schülerinnen und Schüler müssen hier also bewusst eine Tätigkeit ausüben, damit die Informationen oder Aktionen sichtbar werden. Ein paar Widgets seien hier mit ihrer Funktion vorgestellt, weil sie wichtige Elemente in einem interaktiven E-Book für das naturwissenschaftliche Lernen darstellen können. Ebenso wird mit diversen kleinen

---

1 <https://bookry.com>

Spiele-Widgets eine weitere interessante Kategorie angeboten, die das sogenannte Gamifikation erlaubt. Hier ist es möglich, gerade für untere Klassenstufen, einen spielerischen Zugang mit ihnen bekannten App-Spielen (z. B. *4 Bilder 1 Wort*) zu generieren.

Widget	Funktion	Mögliches Einsatzszenario
Galerie	Bildergalerie mehrerer Bilder erstellen	Bildergalerie aller Experimentiermaterialien
Medien	Bilder oder Videos einfügen	Darstellung einer experimentellen Technik, z. B. Pipettieren
Wiederholung	Multiple-Choice-Aufgaben mit automatischer Auswertung erstellen	Lernerfolgskontrolle für den eigenen Lernfortschritt
Interaktives Bild	Bild mit interaktiven Hinweisen wird erstellt	Versuchsapparatur mit Beschreibungen der Geräte
Popover	Ein Popup für einen bestimmten Bereich des E-Books wird erstellt	Prozessschema, das beim Berühren des gewählten Textabschnitts diesen erläutert
Keynote	Keynote / PowerPoint einbinden	Eine von der Lehrkraft im Unterricht genutzte Präsentation einbinden
3D	3D-Bilder / Animationen einbinden	3D-Darstellungen von Molekülen oder Strukturen einbinden
Scroll-Balken	Textfeld mit Scroll-Balken	Komprimierung des Platzes für einen Text auf einer Seite
HTML	HTML5-Widget (extern) einbinden	Schnittstelle für selbst oder fremd erstellte HTML5-Widgets

**Abb. 3:** iBooks Author Widgets

Widget	Funktion	Mögliches Einsatzszenario
Charts	Tabellenkalkulation erstellen	Integrieren und Auswertung von Messdaten eines Experiments
Checklist	Checklisten erstellen	Checkliste als Hilfe für Schülerinnen und Schüler bei der Durchführung oder Auswertung von Experimenten
Drag & Drop	Zusammensetzen von Bildern	Eine Versuchsapparatur im Vorfeld zum eigentlichen Versuch zusammenstellen
In Book Photo	Selbst aufgenommene Fotos ins E-Book integrieren	Dokumentation einer Exkursion
Sketchpad	Handschriftlich schreiben	Zeichnen von Molekülen, Schemata oder Reaktionsgleichungen

**Abb. 4:** Auswahl an Bookry Widgets

Auch die Plattform Learning-Apps<sup>2</sup> bietet eine große Auswahl an Widgets für E-Books. Im Gegensatz zu den ersten beiden Plattformen handelt es sich hierbei um von E-Book-Autoren erstellte Widgets, die sie anderen Nutzern zur Verfügung stellen. Dies bedingt jedoch auch eine recht unübersichtliche Vielzahl an Widgets. Allerdings bietet Learning-Apps auch fachspezifische, für den Unterricht erstellte Widgets (z.B. ein Puzzle zu den Gefahrstoffsymbolen). Ebenso interessant ist die Möglichkeit, kooperatives Lernen durch integrierte Chats zu implementieren. Durch kleine Chatrooms können die einzelnen Schülerbücher vernetzt werden, sodass die Schülerinnen und Schüler auch ortungebunden miteinander über das fachbezogene Lernen kommunizieren können, ohne auf Facebook, WhatsApp oder SnapChat ausweichen zu müssen. Allerdings erfordern alle Widgets von Learning-Apps eine aktive Internetverbindung.

<sup>2</sup> <https://learningapps.org>

## FAZIT UND AUSBLICK

Streng genommen handelt sich bei frei gestaltbaren Multitouch Learning Books nicht um ein Schulbuch im Sinne der gesetzlichen Definition. Dieses wird ausschließlich von externen Autoren für Verlage erstellt und von den Kultusbehörden geprüft und genehmigt. Somit ist die Bezeichnung eines Lernbegleiters im Sinne eines Lernportfolios mit integrierten Gestaltungselementen eher passend (Huwer & Seibert, 2017). Als Lernbegleiter hat das Multitouch Learning Book Potenzial, materialgebundene Hürden statischer Medien zu überwinden, wie die Vorwegnahme von Ergebnissen und fehlende Möglichkeiten der Anpassung durch die Lehrkraft. Großes Potenzial sehen wir auch für Vernetzungsmöglichkeiten von schulischem Lernen und aktuellen, außerschulischen Informationsangeboten und Aktivitäten, welche von traditionellen Medien aufgrund des mannigfaltigen, aber sehr unterschiedlichen Angebotes an außerschulischen Informations- und Lernangeboten nicht geleistet werden kann. Um den zeitlichen Aufwand und die anderen erwähnten Nachteilen selbst erstellter Inhalte zu verringern, wäre es wünschenswert, wenn den Lehrkräften Materialbausteine in Form einer »Bildungscloud« zur Erstellung eigener Multitouch Learning Books zur Verfügung gestellt würden. Hier könnten auch die Schülerlabore eine Rolle spielen, indem sie aktuelle Themen experimentell und medial aufarbeiten und entsprechende Medienelemente für die Nutzung in Multitouch Learning Books bereitstellen. Diese Bildungscloud könnte, ähnlich wie Schulbücher auch, von externen Autoren, etwa von Fachdidaktikern oder Schülerlaboren, gefüllt und von den jeweiligen Kultusbehörden überprüft werden. Entsprechende Elemente könnten dann von der Lehrkraft ausgewählt, arrangiert und durch weitere aktuelle oder regionalspezifische Medien ergänzt werden, wie dies auch bisher in einer kombinierten Nutzung von Schulbüchern mit anderen Medien der Fall ist. Hier entsteht eine vernetzte Darstellung in einem Medium, die hoffentlich zu einem besser vernetzten Lernen durch unterschiedliche Aktivitäten führt.

## LITERATUR

- Affeldt, F., Markic, S., Siol, A., Fey, S., Huwer, J., Hempelmann, R. & Eilks, I. (2016). Chemie, Umwelt und Nachhaltigkeit im Schülerlabor – Lernangebote für *alle* Schülerinnen und Schüler. *LeLa Magazin*, 14, 12 – 13.
- Affeldt, F., Weitz, K., Siol, A., Markic, S. & Eilks, I. (2015). A non-formal student laboratory as a place for innovation in education for sustainability for all students. *Education Sciences*, 5, 238 – 254.
- Bayerisches Staatsministerium für Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst. (2016). *Kriterien zur Begutachtung von Lernmitteln*. Verfügbar unter [https://www.km.bayern.de/download/7432\\_allgemeiner\\_kriterienkatalog\\_stand\\_mai\\_2016.pdf](https://www.km.bayern.de/download/7432_allgemeiner_kriterienkatalog_stand_mai_2016.pdf) [01.05.2017]
- Beerenwinkel, A. & Gräsel, C. (2005). Texte im Chemieunterricht: Ergebnisse einer Befragung von Lehrkräften. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 11, 21 – 39.
- Coll, R. K., Gilbert, J. K., Pilot, A. & Streller, S. (2013). How to benefit from the informal and interdisciplinary dimension of chemistry in teaching. In I. Eilks & A. Hofstein (Hrsg.), *Teaching Chemistry – A Studybook* (S. 241 – 268). Rotterdam: Sense.
- Eilks, I. & Möllering, J. (2001). Neue Wege zu einem fächerübergreifenden Verständnis des Teilchenkonzepts. *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht*, 54, 240 – 247.
- Eilks, I., Pietzner, V. & Witteck, T. (2010). Multimedia aus dem Internet – Motivierend, aber immer auch lernförderlich? *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule*, 59(4), 31 – 24.
- Garner, N., Hayes, S. & Eilks, I. (2014). Linking formal and non-formal learning in science education – a reflection from two cases in Ireland and Germany. *Sisyphos Journal of Education*, 2(2), 10 – 31.
- Garner, N., Huwer, J., Siol, A., Hempelmann, R. & Eilks, I. (2015). On the development of non-formal learning environments for secondary school students focusing sustainability and Green Chemistry. In V. Gomes Zuin & L. Mammino (Hrsg.), *Worldwide trends in green chemistry education* (S. 76 – 92). Cambridge: RSC.
- Haupt, O., Domjahn, J., Martin, U., Skiebe-Corrette, P., Vorst, S. & Hempelmann, R. (2013). Schülerlabor – Begriffsschärfung und Kategorisierung (eine Kurzfassung). *LeLa Magazin*, 5, 2 – 4.
- Hopkins, C. & McKeown, R. (2002). Education for sustainable development: An international perspective. In D. Tilbury, R. B. Stevenson, J. Fein, & D. Schreuder (Hrsg.), *Environmental education for sustainability: Responding to the global challenge* (S. 13 – 24). Gland: IUCN Commission on Education and Communication.
- Huwer, J., Hempelmann, R. & Brünken, R. (2014). Nachhaltigkeit und Chemie: Forschendes Experimentieren im Naturwissenschaftsunterricht der Klassenstufe 5 – Eine Studie über Kognition und aktuelle Motivation. In S. Bernholt (Hrsg.), *Heterogenität und Diversität – Vielfalt der Voraussetzungen im naturwissenschaftlichen Unterricht* (S. 555 – 557). Münster: Lit.
- Huwer, J. & Seibert, J. (2017). EXPLAINistry – Dokumentation, Erklärung und Visualisierung

chemischer Experimente mithilfe digitaler Medien in Schülerlabor und Schule. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 160, 42 – 48.

Mayer, R. (2009). *The Cambridge handbook of multimedia learning*. Cambridge: Cambridge University Press.

Pawek, C. (2009). *Schülerlabore als interessefördernde außerschulische Lernumgebungen für Schülerinnen und Schüler aus der Mittel- und Oberstufe*. Dissertation, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel.

Ulrich, N. & Schanze, S. (2015). Das eChemBook – Einblicke in ein digitales Chemiebuch. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 26(145), 44 – 47.

Zehren, W. (2009). *Forschendes Experimentieren im Schülerlabor*. Dissertation, Universität des Saarlands, Saarbrücken.

Zehren, W., Neber, H. & Hempelmann, R. (2013). Forschendes Experimentieren im Schülerlabor. *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht*, 66(7), 416 – 423.

## ÜBER DIE AUTOREN



---

Dr. **Johannes Huwer** studierte Chemie und Geschichte für das Lehramt an Gymnasium und promovierte im Arbeitskreis für Physikalische Chemie (Prof. Dr. Rolf Hempelmann) über das Forschende Experimentieren in Schülerlaboren im Kontext einer MINT-Umweltbildung. Nach dem Referendariat übernahm er die Leitung der Didaktik der Chemie und des Schülerlabors NanoBioLab an der Universität des Saarlandes.



---

Prof. Dr. **Ingo Eilks** studierte Chemie und Mathematik für das Lehramt an Gymnasien. Seit 2004 ist er Professor für Chemie-didaktik an der Universität Bremen.

---

Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen – Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer (2017), J. Meßinger-Koppelt, S. Schanze & J. Groß (Hrsg.), Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag

# BioBook NRW – EIN PROTOTYP EINES DIGITALEN SCHULBUCHS

*Monique Meier, Ralph Aßent & Daniel Schaub*

Schulen stehen fortwährend vor großen Herausforderungen auf organisatorischer und (erziehungs)pädagogischer Ebene: Die Schülerschaft unterliegt einem stetigen Wandel. Bedingt durch äußere gesellschaftliche Einflüsse wird sie u. a. (auch an Gymnasien) immer heterogener. Zudem wird die Kluft zwischen der Schulwelt und der Freizeit- bzw. Berufswelt immer deutlicher: Die Digitalisierung ist in den Schulen nur teilweise angekommen, während sie im Alltag omnipräsent ist. Themen wie Smartphones und Handys, Internet und Computer sowie Computerspiele nehmen bei den jungen Menschen einen besonderen Stellenwert ein und wachsen hinsichtlich ihrer Bedeutung mit zunehmendem Alter (Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest, 2015).

## DIGITALISIERUNG VON SCHULBÜCHERN

Digitalisierung von Lehr-Lern-Prozessen in der Schule sollte auch im Fachunterricht ankommen und curricular eingebunden werden. Mit der Strategie der Kultusministerkonferenz zur »Bildung in der digitalen Welt« werden in diesem Kontext neue Maßstäbe und Anforderungen an schulische Medienbildung/-pädagogik gestellt. Nicht in einem eigenen Fach, sondern als »integrativer Teil der Fachcurricula aller Fächer« (KMK, 2016, S. 11) sollen für die Teilhabe in einer digitalen Welt Kompetenzen mit (fach)spezifischer Ausprägung erworben werden (KMK, 2016). Diese Forderungen und Leitgedanken prägen auch die Entwicklungen im Schulbuchsektor. Das Schulbuch übernimmt eine Vielzahl von Funktionen (vgl. auch Beitrag [Ulrich & Huwer](#), S. 63). Als zentrales Lehrmittel des Unterrichts (Fuchs, Niehaus & Stoletzki, 2014) besitzt es eine bedeutende Rolle zur Vorbereitung und Strukturierung

für Lehrende und Lernende. Als Lern- und Arbeitsbuch enthält es für die Schülerinnen und Schüler eine Vielzahl von Informationen, die über Instruktionen und verschiedene multimediale Repräsentationen erschlossen werden sollen (Schiller, 2001). In dem vielfältigen Aufgabenspektrum von Schulbüchern und einer Relativierung des Schulbuchs als Leitmedium (Höhne, 2003) liegt das Potenzial, welches in verschiedenen Formen der Digitalisierung von Schulbüchern bis hin zur Entwicklung neuer interaktiver Formate zum Ausdruck kommt. Viele Argumente sprechen für den Einsatz digitaler Schulbücher, wobei hier zwischen verschiedenen Stufen des digitalen Schulbuchs unterschieden werden kann (Nosko, 2017). Digitalisierte Schulbücher, die einer Replikation des gedruckten Schulbuchs entsprechen (Stufe 1.0 nach Sanguo, Xuehai & Chenglin, 2012), werden inzwischen von vielen Verlagen angeboten.<sup>1</sup> Über die gesammelte Darstellung von E-Books auf einem Lesegerät werden zuweilen auch das Portemonnaie sowie der Rücken der Lernenden entlastet, die oftmals viel zu schwere Schultaschen tragen (Ott, 2013). In sogenannten Enhanced Books bekommen umfangreiche Repräsentationsformate, wie beispielsweise Videos und Bildserien, einen besonderen Stellenwert, indem sie die Unterrichtsvorbereitung positiv beeinflussen können (Ott, 2013). Auf der nächsthöheren Stufe in der Entwicklung von digitalen Schulbüchern kommen Interaktivität über Animationen und Simulationen sowie Adaptivität und Feedback hinzu (Nosko, 2017), welche alle gleichsam auch Bestandteil von Enhanced Books sein können. In der Zuspitzung des Entwicklungsprozesses zu einem digitalen Schulbuch entfernt sich dieses zunehmend von der Buchvorlage (Bonitz, 2013) und wird in seiner Anwenderindividualität und -variabilität offener.

---

1 <http://digitale-schulbuecher.de>

## MULTIMEDIALES LERNEN MIT EINEM DIGITALEN SCHULBUCH: BioBook NRW

Um Innovationen auf dem (digitalen) Schulbuchmarkt anzustoßen, hat die Medienberatung NRW in Zusammenarbeit mit dem FWU Institut für Film und Bild in Wissenschaft und Unterricht GmbH das BioBook NRW für den Biologieunterricht in den 5. und 6. Klassen an Gymnasien entwickeln lassen. Dieses digitale Schulbuch soll als Prototyp einen potenziellen Mehrwert aufzeigen und so Wege in die Zukunft des Schulbuchs anbahnen. Die Umsetzung fand in enger Abstimmung mit den Fachreferaten des Ministeriums für Schule und Weiterbildung, den Bezirksregierungen und der Qualitäts- und Unterstützungsagentur des Landes NRW beim FWU, dem gemeinsamen Medieninstitut der Länder, statt. Intention dieses Zusammenwirkens war es, ein digitales Lehr-/Lernmittel zur Förderung von kompetenzorientiertem Lernen unter Berücksichtigung von Binnendifferenzierung und Barrierearmut konzeptionell aufzuarbeiten, inhaltlich zu füllen und technisch umzusetzen. Wesentliche Basis bildet der Kernlehrplan NRW (2008), der in Gänze als digitales Schulbuch für die ausgewählten Jahrgangsstufen Lernenden in der Wissenskonstruktion und Lehrenden bei der Gestaltung von kompetenzorientiertem Unterricht mit multimedialen Elementen unterstützen soll. Der Einsatz des BioBook NRW sollte weiterhin auf technischer Ebene nicht nur einen eingeschränkten Nutzerkreis bedienen. Mit der Umsetzung in drei Versionen, HTML-Webversion (HTML5), Android- und iOS-Version (über FWU-Reader-App), wurde diesem Umstand Rechnung getragen und das BioBook NRW einer Vielzahl von Lehrkräften mit ihren Schülerinnen und Schülern zugänglich gemacht. Die Bereitstellung erfolgt über die zentrale Single-Sign-On-Infrastruktur LOGINEO NRW, die ebenfalls einen digitalen Schreibtisch zur Verfügung stellt, in dem unterrichtsorganisatorische Materialien für einzelne Lernende und Schülergruppen organisiert werden können. Komplettiert wird dieser Prototyp in seiner Funktion als Lehrwerk durch eine integrierte Lehrerversion. Lehrkräfte erhalten einen Log-in zum erweiterten BioBook L, in dem direkt zu jedem Kapitel und Abschnitt integrierte didaktische Hinweise, Lösungen und alternative sowie weiterführende Unterrichtsideen zur Umsetzung der Inhalte und Methoden gegeben werden.

## Multimediale Lehr-/Lernelemente

Der Einsatz von neuzeitlichen Technologien führt in der Regel zu einer Modernisierung der Lernumgebung und sollte die institutionellen Bedingungen an die zeitgenössische Kultur anpassen. Multimedialität bekommt hierbei als Funktions- und Gestaltungsmerkmal digitaler Lernumgebungen einen besonderen Stellenwert. Im Begriff vereinen sich sowohl multimediale Darstellungen hinsichtlich der Codierungen (Multikodalität) und Modalität als auch Medialität im Sinne der Auswahl und des Einsatzes eines Mediums in Kombination mit anderen Medien (Klebl, 2006; Weidenmann, 2002). Unter Kodierungen werden Symbolsysteme zusammengefasst, wodurch unterschiedliche Sinneskanäle des Lerners zur Wissenskonstruktion angeregt werden können und das Lernangebot facettenreicher gestaltet wird (Weidenmann, 2002). In der Kombination von z. B. Text, Bild, Audio, Video und Animation werden verschiedene Sinnesmodalitäten angesprochen. Modalität beschreibt infolgedessen die Wahrnehmung der Kodierung auf der Seite des Empfängers bzw. Lerners, wobei unterschiedliche Wahrnehmungsmodi als multimodal bezeichnet werden (Dölling, 2001) – so werden beispielsweise (vertonte) Videos über den visuellen und auditiven Sinn erfasst.

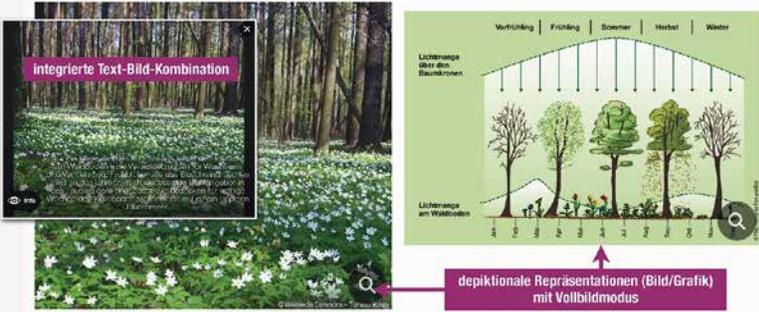
Kognitive Verarbeitungsprozesse in einer komplexen medialen Informationsvielfalt sowie das langfristige Behalten von neuen Wissensaspekten sollen durch die Einbettung und Kombination von multikodalen Materialien innerhalb von Lehr-Lern-Prozessen induziert werden (Hasselhorn & Gold, 2013). In der Gestaltung derartiger digitaler Lernumgebungen und der damit einhergehenden Forschung zum Erkenntnisgewinn über digitale Lernumgebungen nehmen die Cognitive Load Theory (CLT) von Chandler und Sweller (1991) und die kognitive Theorie multimedialen Lernens (CTML) von Mayer (2005), neben weiteren Modellen und Theorien (siehe auch Beitrag [Kuhn, Ropohl & Groß](#), S. 11), einen hohen Stellenwert ein. In ihrer kognitionspsychologischen Anlage und ihren Anforderungen an Lehr-Lern-Medien zeigen sie Gestaltungsprinzipien auf, die teilweise auch für den hier vorgestellten Prototyp eines multimedialen Schulbuchs konzeptionell leitend waren. Multikodalität und -modalität werden im BioBook NRW durch die didaktische und technische Einbettung von textlichen Darstellungen und etwa 200 Filmen, Audioaufnahmen sowie rund 350 Interaktionen, etwa 1000 Realbildern und über 600 Grafi-

**Frühblühern auf der Spur**

Kaum ist der Schnee verschwunden, beginnen die Frühblüher zwischen den Heckensträuchern zu blühen. Manche blühen sogar bereits, wenn noch immer Schnee liegt. Aber nicht nur an Hecken, sondern auch an Wegrändern und vor allem im Laubwald findest du viele Arten.

deskriptionale Repräsentationen (Text)

Lies dir die Infos zum Bild durch und sieh dir die Grafik zur Lichtmenge im Wald genau an.



The screenshot shows a digital learning interface. At the top, there is a title 'Frühblühern auf der Spur' and a text block describing early spring flowers in a forest. Below the text are two main visual elements: a photograph of a forest floor covered in white flowers, and a line graph showing light intensity ('Lichtmenge') over the year. The graph has two y-axes: 'Lichtmenge über den Baumkronen' (top) and 'Lichtmenge am Waldboden' (bottom). The x-axis shows months from April to March. The top curve shows high light intensity in summer (June-August) and low in winter (December-February). The bottom curve shows light intensity reaching the forest floor, which is lower than the top curve. The graph is divided into seasons: Vorfrühling, Frühling, Sommer, Herbst, and Winter. A purple box labeled 'integrierte Text-Bild-Kombination' is overlaid on the flower photo. Another purple box labeled 'depiktionale Repräsentationen (Bild/Grafik) mit Vollbildmodus' is overlaid on the graph. A task instruction 'Aufgabe 3' is at the bottom, asking the user to create a diagram in a biology notebook based on the graph.

**integrierte Text-Bild-Kombination**

**depiktionale Repräsentationen (Bild/Grafik) mit Vollbildmodus**

**Aufgabe 3**

**Instruktion**

a. Erstelle in deinem Biologieheft mithilfe der Grafik ein Diagramm, das die Lichtmenge am Waldboden im Laufe des Jahres darstellt. Markiere darin mit unterschiedlichen Farben die jeweiligen Blühezeiträume der Pflanzen aus der Bildergalerie im Abschnitt 1.

Abb. 1: Repräsentationen in Kombination am Beispiel Bild und Text

ken geschaffen (Meier, Weiß, Schaub, Thielmann, Schumacher & Aßent, 2017). Entsprechend dem Multimedia- und Kontiguitätsprinzip werden vorzugsweise Kombinationen von Repräsentationen als Bearbeitungsquellen von Instruktionen genutzt, die nahe beieinander präsentiert werden und infolgedessen in direkter Verbindung zueinander stehen (Mayer, 2005; Sweller, 1994). Hierbei werden nahezu ausschließlich lernzielrelevante Aspekte über die jeweiligen Repräsentationsformate strukturiert und abgebildet, um einer lernirrelevanten Belastung des Arbeitsgedächtnisses entgegenzuwirken (Kohärenz-Prinzip, Mayer, 2005, Abb. 1).

Der inhaltliche Aufbau im BioBook NRW folgt einer segmentierten Struktur, die in jedem Kapitel umgesetzt ist und dem Lerner in der Verarbeitung der dargebotenen Informationen helfen soll (Segmentierungsprinzip, Mayer & Chandler, 2001). Aufgeteilt in Inhaltsabschnitte, Methodenabschnitte (»Forsche selbst«) und vertiefte Wissensabschnitte (»Wissen plus«), erfolgt die Erarbeitung und Festigung von Wissen aufgabenbasiert (Meier et al., 2017). In

vielerlei Hinsicht ermöglicht das BioBook NRW einen kreativen, methodisch variablen und binnendifferenzierten Einsatz im Unterricht. Als individuelles Lernmedium bestimmt der Lernende das Lerntempo, die Spezialisierung in vertiefte Wissensbereiche, die Einbindung von Notizen und Lösungen zu den Aufgaben, die Nutzung von Expertenarbeitsblättern sowie die Kontrolle der Geschwindigkeit der Darbietung der multimedialen Botschaften (Selbststeuerungsprinzip, Clark & Mayer, 2002).

Das BioBook NRW nimmt in der Entwicklung im Schulbuchsektor die Stufe 2 bis 3 (nach Nosko, 2017) ein, indem es multimediale Informationstypen in umfangreichem Maße in sich vereint und interaktive Elemente aufnimmt. Im Gegensatz zum digitalisierten Schulbuch der Stufe 1 bietet ein online-basiertes Schulbuch, wie es das BioBook NRW darstellt, die Möglichkeit, Inhalte, Aufgaben, Medien etc. kurzfristig zu aktualisieren. Diese Möglichkeit entspricht auch der Lebenswirklichkeit der Kinder und Jugendlichen, die aktuelle Informationen im multimedialen Format gewöhnt sind und ein gewisses Maß an Variabilität aufgrund von Aktualität (z. B. zu aktuellen Forschungsthemen) voraussetzen.

### Pilotphase zum BioBook NRW

Im Schuljahr 2015/16 haben zwölf Pilotschulen aus Nordrhein-Westfalen aus dem städtischen und aus dem ländlichen Umfeld, das BioBook NRW im schulpraktischen Einsatz getestet. Diese Pilotphase wurde von der Medienberatung NRW durchgeführt und ausgewertet. Voraussetzung für die Teilnahme an der Pilotierung war die Einstellung der Lehrkräfte (*»Ich bin sehr interessiert und denke, dass das in einigen Jahren nicht mehr wegzudenken ist aus dem Schulalltag – zum Glück!«*, weibliche Lehrkraft, sechs Jahre Berufserfahrung), dass eine kontinuierliche Arbeit mit einem digitalen, online-basierten Lehrwerk als möglich eingeschätzt und der Einsatz von der Schulleitung unterstützt wird.

Begleitet wurde die Einführung mit erstem Praxistest über aufeinander aufbauende Workshops (inkl. Begleitbefragungen) zu Beginn, in der Mitte und am Ende des Schuljahres, die jeweils an die Erfahrungen im Unterricht beim Einsatz des BioBook NRW angepasst wurden. Bei diesen Veranstaltungen waren auch die redaktionell verantwortlichen Autoren des Buchs anwesend, so-

dass Fragen geklärt und Innovationsvorschläge unmittelbar diskutiert werden konnten. Die Vorschläge konnten bei Bedarf dann in aktualisierten Versionen des Buchs im Laufe des Schuljahres eingepflegt und im Unterricht fortwährend umgesetzt werden. Im Rahmen der Workshops haben die Lehrkräfte kooperativ beispielhafte Unterrichtsstunden und -reihen entwickelt und den Einsatz eines digitalen Schulbuchs hinsichtlich des Mehrwerts reflektiert sowie bei Problemen gemeinsam nach Lösungen gesucht. Themen waren dabei vor allem (fach)didaktischer Natur, neben Fragen nach einer möglichst gelingenden Nutzung der individuell in den Schulen vorhandenen IT-Ausstattung.

Im Anschluss an das Schuljahr konnte das BioBook NRW in den Pilotschulen weiter genutzt werden. Die Erkenntnisse aus den Workshops wurden in die jeweiligen Fachgruppen der Schulen getragen.

Im Rahmen der Begleitung der Pilotschulen hat sich gezeigt, dass Erwartungen der Lehrkräfte<sup>2</sup> an die Arbeit mit einem multimedialen Schulbuch einerseits erfüllt worden sind, andererseits aber auch Einschätzungen revidiert wurden. Letzteres umfasst z. B. die Verknüpfung von Hand- und Kopfarbeit beim Arbeiten und Lernen mit dem Schulbuch – *»Für einige Kinder ist das Blättern im Buch, das Finden im Buch wichtig für einen Lernerfolg«*. Zudem birgt das Aufbrechen bekannter Strukturen im Aufbau von Text und Bild im multimedialen Schulbuch im Vergleich zu der direkt sichtbaren Fülle an Informationen im gedruckten Schulbuch (*»Das Print-Buch ist im Informationsgehalt umfangreicher.«*) ein Umdenken im didaktischen Einsatz des BioBook NRW. Einheitlich ist das Feedback der Lehrkräfte jedoch zur motivationalen Wirkung des BioBook NRW: Anschauliche Materialien, insbesondere in Form von Bildern und Filmen, wirken hierbei auf die Lernenden ebenso motivational wie die Tatsache per se, mit einem digitalen Schulbuch zu arbeiten – *»Kinder mögen den Umgang mit dem Rechner«*. Wichtige Voraussetzung für den gelingenden Einsatz ist eine gute digitale Ausstattung der PC-Räume. Veraltete oder zu wenige Rechner behindern den Umgang. Diese Geräte benötigen zum Teil sehr lange, bis sie hochgefahren sind und von den Lernenden eingesetzt werden können. Zudem sind der Umsetzung verschiedener Unterrichtsmethoden, insbesondere jener mit kooperativer Ausrichtung, Grenzen gesetzt –

---

2 Im nachfolgenden Text sind beispielhafte Aussagen von Lehrkräften kursiv eingefügt.

»Partner-/Gruppenarbeit an einem Rechner ist wenig sinnvoll«. Umgekehrt wirkt sich der Einsatz des BioBook NRW in Partner-/Gruppenarbeit durch die fehlende 1:1-Ausstattung an digitalen Endgeräten in den Schulen auch negativ auf Konzepte zur Individualisierung im Unterricht aus – »Es liegen nicht für alle Schülerinnen und Schüler eigene Rechner vor, d. h., die Bearbeitung erfolgt immer in Gruppen«. Die im BioBook NRW umgesetzten Elemente zur Binnendifferenzierung (z. B. Wissen plus, Arbeitsblätter für Experten) können somit in derartigen Settings nur wenig genutzt und lernwirksam werden.

Die Möglichkeit zum Austausch in den Workshops wurde von den Lehrkräften als sehr förderlich empfunden. Im schulischen Alltag ist die kollaborative Unterrichtsvorbereitung zeitlichen und organisatorischen Grenzen unterlegen. Diesbezüglich kann dieses Projekt auch einen Anstoß zur Unterrichts- und Schulentwicklung geben.

Durch die kontinuierliche Arbeit mit einem multimedialen Lehrwerk als Leitmedium in der Unterrichtsplanung und -durchführung zeigte sich auch, welche IT-Ausstattung und welche Anbindung an das Internet lernförderlich sind und welche Bedarfe es noch an den Schulen in diesem Feld gibt. Dies stellt eine Basis für den Dialog mit dem Schulträger bezüglich einer zukünftigen Ausstattung dar und hilft bei der Einschätzung des Fortbildungsbedarfs. Ab dem Schuljahr 2017/18 können die Lehrkräfte an den Schulen in NRW das BioBook NRW als Prototyp eines multimedialen Schulbuchs über die Basis-IT-Infrastruktur LOGINEO NRW kennenlernen und sich nach der offiziellen Zulassung des Schulbuchs und der Aufnahme in die Liste der zugelassenen Lernmittel für die Einführung des BioBook NRW an der Schule entscheiden.

## LITERATUR

- Bonitz, A. (2013). Digitale Schulbücher in Deutschland – ein Überblick. In E. Matthes, S. Schütze & W. Wiater (Hrsg.), *Digitale Bildungsmedien im Unterricht* (S. 127 – 138). Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt.
- Chandler, P. & Sweller, J. (1996). Cognitive load while learning to use a computer program. *Applied Cognitive Psychology*, 10(2), 151 – 170.
- Clark, R. E. & Mayer, R. E. (2002). *E-Learning and the Science of Instruction*. San Francisco: Pfeiffer.

- Dölling, E. (2001). Multimediale Texte. Multimodalität und Multicodalität. In E. W. B. Hess-Lüttich (Hrsg.), *Medien, Texte und Maschinen: Angewandte Mediensemiotik* (S. 35 – 50). Wiesbaden: Westdeutscher Verlag.
- Fuchs, E., Niehaus, I. & Stoletzki, A. (2014). *Das Schulbuch in der Forschung*. Göttingen: V&R unipress.
- Hasselhorn, M. & Gold, A. (Hrsg.). (2013). *Pädagogische Psychologie. Erfolgreich lernen und lehren*. Stuttgart: W. Kohlhammer GmbH.
- Höhne, T. (2003). *Schulbuchwissen. Umrisse einer Wissens- und Medientheorie des Schulbuches*. Frankfurt am Main: Johann Wolfgang Goethe-Universität.
- Klebl, M. (2006). *Nachhaltiges Design digitaler Lernmedien*. Innsbruck: Studienverlag.
- KMK/ Sekretariat der Kultusministerkonferenz. (2016). *Bildung in der digitalen Welt. Strategie der Kultusministerkonferenz*. Berlin: KMK. Verfügbar unter [https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/PresseUndAktuelles/2016/Bildung\\_digitale\\_Welt\\_Webversion.pdf](https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/PresseUndAktuelles/2016/Bildung_digitale_Welt_Webversion.pdf) [22.04.2017]
- Mayer, R. E. (2005). Cognitive Theory of Multimedia Learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (S. 31 – 48). Cambridge, U.K.: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. & Chandler, P. (2001). When learning is just a click away: Does simple user interaction foster deeper understanding of multimedia messages? *Journal of Educational Psychology*, 93(2), 390 – 397.
- Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest (Hrsg.). (2015). *KIM-Studie 2014 – Kinder + Medien, Computer + Internet – Basisuntersuchung zum Medienumgang 6- bis 13-Jähriger in Deutschland*. Stuttgart. Verfügbar unter [https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/KIM/2014/KIM\\_Studie\\_2014.pdf](https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/KIM/2014/KIM_Studie_2014.pdf) [22.04.2017]
- Meier, M., Weiß, S., Schaub, D., Thielmann, G., Schumacher, F. & Aßent, R. (2017). Das »BioBook NRW« – Lehren und Lernen mit einem digitalen Schulbuch. In M. Schuhen, M. Froitzheim & K. Schuhen (Hrsg.), *Das Elektronische Schulbuch 2016. Fachdidaktische Anforderungen und Ideen treffen auf Lösungsvorschläge der Informatik* (S. 43 – 59). Münster: LIT Verlag.
- Nosko, C. (2017). Entwicklungschancen und Sackgassen. Das digitale Schulbuch kommt zu sich selbst. In M. Schuhen, M. Froitzheim & K. Schuhen (Hrsg.), *Das Elektronische Schulbuch 2016. Fachdidaktische Anforderungen und Ideen treffen auf Lösungsvorschläge der Informatik*. Münster: LIT Verlag.
- NRW / Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen. (Hrsg.). (2008). *Kernlehrplan für das Gymnasium – Sekundarstufe I in Nordrhein-Westfalen. Biologie*. Frechen: Ritterbach Verlag.
- Ott, O. (2013). Trends bei digitalen Schulbüchern. *Unterricht + Computer*, 89, 46 – 50.
- Sanguo, C., Xuehai, M., & Chenglin, L. (2012). The Pace of Ebook Development in China. *LOGOS: The Journal of the World Book Community*, 23(2), 14 – 20.
- Schiller, G. (2001). Mit dem Schulbuch arbeiten. In G. Schweizer & H. M. Selzer (Hrsg.), *Methodenkompetenz lehren und lernen – Beiträge zur Methodendidaktik in Arbeitslehre, Wirtschaftslehre, Wirtschaftsgeographie* (S. 199 – 206). Dettelbach: Röhl.

Sweller, J. (1994). Cognitive Load Theory, Learning Difficulty, and Instructional Design. *Learning and Instruction*, 4, 295 – 312.

Weidenmann, B. (2002). Multicodierung und Multimedialität im Lernprozess. In L. Issing & P. Klimsa (Hrsg.), *Informationen und Lernen mit Multimedia und Internet* (3. Auflage, S. 45 – 64). Weinheim: Beltz, Psychologie Verlags Union.

## ÜBER DIE AUTOREN



---

Dr. **Monique Meier** ist wissenschaftliche Mitarbeiterin im Fachgebiet Didaktik der Biologie und Leiterin der Experimentier-Werkstatt Biologie (FLOX) an der Universität Kassel. Ihre Forschungsinteressen liegen im Bereich von scientific inquiry, des Einsatzes digitaler Medien beim Experimentieren sowie der Förderung von Diagnosekompetenz zum Experimentieren.



---

**Ralph Aßent** ist pädagogischer Mitarbeiter bei der Medienberatung NRW. Er hat an Schulen in NRW, Hamburg und England unterrichtet.



---

**Daniel Schaub** ist Fachredakteur für Biologie und Chemie im FWU Institut für Film und Bild. Dort betreut er fachlich, didaktisch und organisatorisch die Produktion von Schulfilmen.

---

Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen – Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer (2017), J. Meßinger-Koppelt, S. Schanze & J. Groß (Hrsg.), Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag

# Digitale Unterstützung beim Experimentieren und bei der Erkenntnisgewinnung



# PHYSIK LEHREN UND LERNEN MIT MOBILEN KOMMUNIKATIONSMEDIEN VON HEUTE UND MORGEN

*Jochen Kuhn*

Smartphone und Tablet-PC gehören mittlerweile zum alltäglichen Werkzeug speziell der jungen Generation und halten auch immer mehr Einzug in den Unterricht. Darüber hinaus wird verstärkt diskutiert, dass auch Zukunftstechnologien große Mehrwerte für Lehren und Lernen in Schule und Hochschule bieten können. So verbinden beispielsweise Smartglasses wie Google Glass, Epson MOVERIO oder Microsoft HoloLens reale Messwerterfassung in Echtzeit mit Augmented Reality (AR) Möglichkeiten, ohne experimentelle Handlungsmöglichkeiten der Lernenden einzuschränken (Kuhn et al., 2016). Zudem ermöglicht die Ausstattung von Tablet-PCs mit mobilen Eyetracking-Systemen, dass digitale Schulbücher die individuellen, kognitiven Fähigkeiten und Präferenzen der Lernenden diagnostizieren und sich daran anpassen können (Ishimaru et al., 2016).

Dieser Beitrag gibt einen Überblick über den aktuellen Stand von Entwicklung und Forschung zu den adressierten Themen (Smartphone-/Tablet-Experimente, Integration von Smartglasses in die naturwissenschaftliche Lehre, Entwicklung eines sensorbasierten, adaptiven Schulbuches). Im Anschluss daran werden exemplarische Beispiele zu den drei Themen aus dem Bereich Physik ausgeführt.

Theoretisch fußen die hier beschriebenen Projekte auf dem in diesem Buch einleitend beschriebenen Theorierahmen (siehe Beitrag [Kuhn, Ropohl & Groß, S. 11](#)).

## MOBILE KOMMUNIKATIONSMEDIEN: MOBILE MINILABORE UND BERÜHRUNGSLOSE INTERAKTION

Die Einsatzmöglichkeiten mobiler Kommunikationsmedien als Experimentiermittel sind gerade im Physikunterricht sehr vielfältig, da sie mit diversen internen Sensoren ausgestattet sind, die physikalische Daten erfassen. Dazu gehören zum Beispiel Mikrofon und Kamera, Beschleunigungs-, Magnetfeldstärke- und Beleuchtungs- bzw. Helligkeitsstärkesensor, Gyroskop, GPS-Empfänger und teils sogar Temperatur-, Druck- und Luftfeuchtesensor. Der ursprüngliche Grund für den Einbau der Sensoren war allerdings nicht das Experimentieren: Der Beschleunigungssensor wird z. B. genutzt, um die Neigung des Geräts zu bestimmen und den Bildschirm an die Geräteorientierung anzupassen, der Magnetfeldstärkesensor findet Verwendung als Kompass zur Unterstützung der Navigation mit dem Smartphone oder zur Information des Nutzers mit positionsspezifischen (Wetter-)Umgebungsdaten (Temperatur, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit usw.). Die mit den internen Sensoren erfassten physikalischen Daten lassen sich aber über ihre eigentliche Funktion hinaus mithilfe von Apps auslesen, sodass sowohl qualitative als auch quantitative Experimente in vielfältigen Themenbereichen möglich sind. Smartphones und Tablet-PCs stellen somit kleine, transportable Messlabore dar, die unübersichtliche Versuchsanordnungen ersetzen können. Weiterhin sind sie den Lernenden aus ihrem Alltag gut bekannt, wodurch eine hohe Vertrautheit mit ihrer Bedienung erwartet werden kann. Durch die intuitive Bedienbarkeit der Apps können Experimente einfacher durchgeführt und ausgewertet werden, sodass eine stärkere Fokussierung auf die physikalischen Inhalte möglich ist.

Analog zu Smartphone und Tablet-PC sind auch Smartglasses tragbare Computer, die Informationen direkt in das Sichtfeld des Benutzers einblenden können. Auf das Display projizierte digitale Bilder können somit eine visuelle Überlagerung des Sichtfelds erzeugen (vgl. auch Beitrag von [Thyssen](#), S. 177). Smartglasses können potenziell alle Funktionen eines Smartphones in sich vereinen.

Neben dem Experiment gilt bis heute das Schulbuch als das »Leitmedium« auch des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts mit großer bildungspolitischer und gesellschaftlicher Relevanz (vgl. auch Beitrag von [Ulrich & Huwer](#), S. 63). In dem Projekt HyperMind (Ishimaru et al., 2016) wird

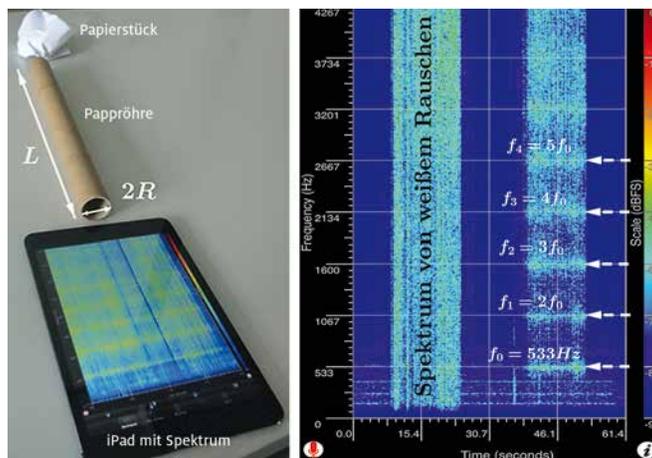
ein intelligentes Physikschulbuch entwickelt, das als PDF auf einem Tablet-PC lesbar ist und sensorbasiert mittels Eyetracking mit den Lernenden aktiv und dynamisch interagiert. Es stellt den Inhalt für die Lernenden orientiert an deren Voraussetzungen und Präferenzen individuell bereit. Dazu wird mittels Eyetracking berührungslos und sensorbasiert erfasst, wann und wie z. B. ein Wort gelesen oder ein Diagramm bzw. eine Formel betrachtet wird. Mittels dieser Technologie kann das System durch das Blickverhalten der Leserin oder des Lesers auf deren oder dessen Präferenzen reagieren und in Abhängigkeit von verschiedenen personalen Faktoren (wie z. B. Expertisegrad, kognitive Belastung oder Interesse) das Schulbuch mit verschiedenen, individuell lernförderlichen, statischen oder dynamischen Repräsentationsformen augmentieren. So können z. B. Begriffserklärungen, Übersetzungen oder visuelle Erläuterungen wenn nötig eingeblendet werden und so das Lernen unterstützen.

## BEISPIELE AUS DEM THEMENBEREICH AKUSTIK

In diesem Abschnitt werden drei Beispiele zu jedem der o. g. Themen exemplarisch aus dem Themenbereich Akustik skizziert. Für eine ausführliche Darstellung wird an den zugehörigen Stellen auf die Originalarbeiten verwiesen.

### Bestimmung der Schallgeschwindigkeit mit Smartphone bzw. Tablet-PC

Hirth und Kollegen (Hirth, Kuhn & Müller, 2015; Hirth et al., 2015a; 2005b) beschreiben die Ermittlung der Schallgeschwindigkeit mit Low-Cost-Materialien. Breiten sich Schallwellen geeigneter Frequenz in einer beidseitig oder einseitig offenen Röhre aus, bilden sich in der Röhre durch Mehrfachreflexionen an den Enden stehende Schallwellen mit jeweils charakteristischer Resonanzfrequenz aus. Neben der Geometrie der Röhre ist für die Resonanzfrequenz der Wert der Schallgeschwindigkeit maßgeblich. Der Experimentvorschlag demonstriert einen einfachen Freihandversuch zur Ermittlung der



**Abb. 1:** Bestimmung der Schallgeschwindigkeit; links: Experimentaufbau; rechts: Sonogramm, aufgenommen mit der App SpectrumView (<https://itunes.apple.com/de/app/spectrumview/id472662922?mt=8> [07/2017])

Schallgeschwindigkeit in Luft. Ein Blatt Papier, eine Pappröhre und ein mobiles Endgerät – wie z. B. ein Tablet-PC – werden in der genannten Reihenfolge hintereinander gelegt (siehe Abb. 1 links). Das Mikrofon sollte in unmittelbarer Nähe zu einer Öffnung der Röhre positioniert sein. Im Vorfeld sollten die Länge  $L$  der Röhre und der Röhrenradius ermittelt werden. Man raschelt mit dem Papier oder einer Plastiktüte an einem Ende der Pappröhre und zeichnet am anderen Ende der Röhre mit einem mobilen Endgerät den von der Röhre emittierten Schall auf.

Verwendet wurde eine Pappröhre mit der Länge  $L = 30,5$  cm und dem Querschnittsradius  $R = 1,35$  cm. Wird das bloße Rascheln aufgenommen, kann im Sonogramm ein kontinuierliches Spektrum nachgewiesen werden, bei dem kein Frequenzpeak oder Frequenzband mit einer erhöhten Intensität auftritt. Wird zwischen Papier und Smartphone die Röhre gehalten, können deutlich Resonanzbänder mit eindeutig höherer Intensität beobachtet werden, wohingegen dazwischenliegende Frequenzbereiche eine geringere Intensität als vorher haben. Die Resonanzbänder sind harmonisch angeordnet: Neben einer Grundfrequenz von ca. 533 Hz findet man intensive Frequenzbänder, denen

Frequenzen mit ganzzahligen Vielfachen der Grundfrequenz zugeordnet werden können (siehe Abb. 1 rechts).

Raschelt man mit Papier oder knistert mit einem Plastikbeutel, generiert man Schall mit kontinuierlichem und bezüglich der Intensität fast gleichmäßigem Spektrum. Gelangt Schall mit diesem Spektrum in eine Röhre, können sich dort stehende Wellen ausbreiten, wenn für die zugehörigen Frequenzen die folgende Bedingung erfüllt ist:

$$f_n = (n + 1) \cdot v_{\text{Schall}} / (2 \cdot L + 4a) \text{ (beidseitig offene Röhre).}$$

Dabei ist  $L$  die Länge der Röhre, und  $a = 0,61 \cdot R$  ( $R$ : Rohrradius) bezeichnet die Endkorrektur, die beidseitig berücksichtigt werden muss, da die Reflexionen der Schallwellen nicht genau an den offenen Enden stattfinden. Die Druckknoten bilden sich etwas außerhalb der Röhre aus. Mit der Grundfrequenz 533 Hz ( $L = 30,5$  cm,  $R = 1,35$  cm) folgt für die Schallgeschwindigkeit nach obiger Gleichung  $v_{\text{Schall}} = 343$  m/s.

#### gPhysics: Verwendung der Google Glass zum Darstellen erfasster Messwerte

Aus dem Alltag ist das Phänomen gut bekannt: Je höher der Füllstand in einem mit Wasser gefüllten Glas, desto tiefer der Ton, der beim Anschlagen erklingt. Um dieses Phänomen experimentell zu untersuchen, kann die Schwingungsfrequenz eines Wasserglases in Abhängigkeit von seinem Füllstand bestimmt werden. Der Versuchsablauf beginnt damit, ein gegebenes Wasserglas im leeren Zustand anzuschlagen und dessen Schwingungsfrequenz zu bestimmen. Nun füllt man im Laufe des Experiments nach und nach Wasser in das Glas ein und misst jeweils erneut die Schwingungsfrequenz abhängig des aktuellen Füllstandes (siehe Abb. 2). Das Ziel des Experiments ist herauszufinden, in welcher Form die Schwingungsfrequenz von der Füllhöhe abhängt. Die Lernenden sollen mittels des Experiments erkennen, dass die Abnahme der Frequenz nicht wie von den meisten vermutet linear ist, sondern mit zunehmender Füllhöhe immer stärker erfolgt.

Dazu bestimmt eine App auf der Google Glass bei jeder Veränderung der Füllstandhöhe zunächst mittels der Kamera der Google Glass die aktuelle



**Abb. 2:** Experimentiermaterialien (links) und Versuchsdurchführung (rechts) zur Bestimmung der Schwingungsfrequenz in Abhängigkeit des Füllstandes eines Wasserglases

Füllhöhe des Wasserglases durch Objekterkennung des Wasserfüllstandes. Die visuelle Füllstanderkennung arbeitet auf Basis von farbigen Markierungen auf dem Glas sowie eingefärbtem Wasser. Danach erfasst die App die Frequenz des Tones, welcher durch Anschlagen des Wasserglases erzeugt wird, mittels des Mikrofons. Die erfassten Messwerte von Füllstandhöhe und Frequenz werden danach auf dem Display der Google Glass zur Kontrolle eingeblendet. Sind alle Werte in dem erwarteten Rahmen, erzeugt die Brille einen Graphen aller bisher aufgenommenen Messwerte. Anhand dieses Graphen können die Lernenden nun mit einer ausreichenden Anzahl von Messungen die Auswertung des Experimentes durchführen (siehe Abb. 3).

Da der wesentliche Unterschied des Experimentierens mit einer Smartglass zu dem mit einem Smartphone die Möglichkeit der Steuerung ist, liegt der Fokus der App insbesondere auf unterschiedlichen Bedienarten. Neben der Sprachsteuerung ist eine Bedienung sowohl über das Touchpad als auch durch Kopfbewegungen in Kombination mit doppeltem Blinzeln möglich. Letzteres ermöglicht eine Bedienung komplett ohne Einsatz der Hände, welche somit zum Experimentieren zur Verfügung stehen und einen großen Vorteil der Verwendung einer Smartglass zeigt.



**Abb. 3:** Erfasstes Füllstand-höhe-Frequenz-Diagramm der Google Glass-App

### HyperMind: Das intelligente Physikschulbuch

Ein Schulbuch zu lesen, ist ein wichtiger Weg, um neues Wissen zu erlangen. Allerdings wenden Schülerinnen und Schüler ihre Augen beim Lesen eines Schulbuchs oft ab. Ein Grund hierfür könnte sein, dass es statisch ist. Es ist anzunehmen, dass die Orientierung in einem statischen Dokument eine kognitive Anforderung bedeutet, die durch eine dynamische Struktur reduziert werden könnte. Ein möglicher Ansatz ist es daher, ein digitales Schulbuch zu entwickeln, das die Lernmaterialien und Instruktionen adaptiv und dynamisch auf einem Tablet-PC zur Verfügung stellt. Die statische Struktur des klassischen Buches wird aufgelöst. Stattdessen werden die Buchinhalte portioniert und die resultierenden Wissensbausteine assoziativ verlinkt. Zusätzlich werden die Bausteine mit multimedialen Lerninhalten ergänzt, die auf Basis von Aufmerksamkeits(blick)daten abrufbar sind. Sowohl statische als auch dynamische, multimediale Repräsentationen – wie Geräusche, eingebundene Bilder oder Filmsequenzen – bereichern damit das individuelle Bearbeiten des Schulbuchinhaltes und vereinen so gleichzeitig das Angebot individuellen, adaptiven Lernens mit den Vorzügen verschiedener Medien (wie Schrift, Film; vgl. Beitrag [Ulrich & Huwer](#), S. 63).

Im Physikunterricht ist es sehr effizient, Phänomene, Experimente, Repräsentationen (wie Text, Diagramme, Formeln etc.) und 3D-Modelle als dynamische Inhalte zu präsentieren. Die Integration und Präsentation dieser multimedialen Inhalte erfolgt dabei unter Berücksichtigung der Cognitive Affective Theory of Learning with Media (Moreno, 2007). Durch aktive Informationsverarbeitung soll die kohärente Verwendung und Konstruktion mul-

tipler mentaler Repräsentationen gefördert werden. Repräsentationen bzw. die Fähigkeit der Konstruktion und Interpretation von Repräsentationen sowie der Transferierung von einer in andere Repräsentationen (sog. Repräsentationskompetenz) spielen eine Schlüsselrolle für erfolgreiches mathematisch-naturwissenschaftliches Lernen (De Cook, 2012). Darüber hinaus bietet die Kombination eines Schulbuchs mit Aktivitätserkennung (z. B. Erkennung von Arbeitsbelastung, Über- oder Unterforderung, Verständnisproblemen und Interesse der Schülerinnen und Schüler) die Möglichkeit, dynamisch generierte Inhalte individuell für Lernende sowie kontextoptimiert zur Verfügung zu stellen (vgl. auch Beitrag Ulrich, S. 71). Zudem lassen sich Wirkungsgrad von und Nachfrage nach bestimmten Inhalten auf diese Weise verifizieren. Zentraler Sensor für die Aktivitätserkennung ist ein Eyetracker zur Erfassung der Blickposition und der sakkadischen Blickpfade der Lernenden. Daneben werden auch Sensorstifte zur Repräsentationserkennung, Smartwatches zur Messung von Pulsfrequenzen und Smartglasses für Instruktionen zum Einsatz kommen.

Somit setzt HyperMind an der Mikroebene des Physikschulbuchs an, die die einzelnen Repräsentationsformen eines Schulbuches wie z. B. den Schulbuchtext mit einem gewissen Anteil an Fachbegriffen, Formeln, Diagrammen oder Bildern umfasst (Rezat, 2011). Sowohl statische als auch dynamische multimediale Repräsentationen bereichern das individuelle Bearbeiten des Schulbuchinhaltes und schaffen eine neue Form individuellen, adaptiven Lernens.

In einer ersten Pilotstudie wurden den teilnehmenden Schülerinnen und Schülern eine Schulbuchseite zum Thema akustische Schwingungen und eine Seite mit Aufgaben präsentiert. Mittels Eyetracking wurde die Verweildauer des Blicks auf den verschiedenen Abschnitten (Einleitung, Definitionen, Anwendungsbeispiele) während der verschiedenen Testphasen (Lesen des Textes, Lösen der Aufgaben) gemessen. Diese Zeiten korrelierten mit dem Expertise-Level (Anfänger, Fortgeschrittene, Experten) der Schülerinnen und Schüler (siehe Ishimaru et al., 2016). Die Verweildauer des Blicks wurde mittels sogenannten Heatmaps visualisiert.

## ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK – LEHRERBILDUNG UND ZUKUNFTSTECHNOLOGIEN

In diesem Beitrag wurden Beispiele und Chancen des Einsatzes von Smartphone und Tablet-PC als mobile Minilabore im Physikunterricht beschrieben und diskutiert. Neben dem Einsatz mobiler Kommunikationsmedien von heute wird verstärkt diskutiert, dass auch Zukunftstechnologien große Mehrwerte für Lehren und Lernen in Schule und Hochschule bieten können.

Alle drei hier vorgestellten Projekte weisen erste positive Effekte auf kognitive und affektive Variablen auf (Kuhn & Vogt, 2015; Klein et al., 2015; Kuhn et al., 2016; Ishimaru et al., 2016).

Allerdings zeigen Ergebnisse aktueller vergleichender empirischer Studien wie ICILS 2013 (vgl. Bos et al., 2014) Vorbehalte deutscher Lehrkräfte gegenüber dem Einsatz digitaler Medien in Schulen (vgl. auch Kommer, 2010; Brüggemann, 2013 sowie Beitrag [Becker & Nerdel](#), S. 36). Zurückgeführt wird der zurückhaltende Einsatz medienbezogener Innovationen im Unterricht auf den Habitus von Lehrenden (vgl. Kommer, 2010; Brüggemann, 2013). Dieser sei geprägt von Ressentiments digitalen Medien gegenüber und erschwere den didaktisch sinnvollen, bildenden Umgang mit Medien. Ein Grund hierfür liegt darin, dass sich Lehrkräfte auf den Einsatz digitaler Medien im Unterricht nur ungenügend vorbereitet fühlen und folglich zunächst einmal Qualifizierungsangebote fordern (Forsa, 2014). Ein Befund, der auch von Schülerinnen und Schülern bestätigt und unterstützt wird (BITKOM, 2011). Lehrkräfte treffen auf Kinder und Jugendliche, die zwar häufig im Umgang mit digitalen Medien geübt sind, jedoch noch nicht als medienkompetent im umfassenden Sinne bezeichnet werden können (Bennett et al., 2008). Daher wünschen sie sich Lehrkräfte, die entsprechende Kompetenzen mitbringen. Notwendig ist also einerseits die Arbeit an Haltungen von (angehenden und etablierten) Lehrkräften, um digitalen Medien unter Professionalisierungsaspekten mehr Raum zu geben, und andererseits die Möglichkeit, digitale Medien in allen Phasen der Lehrkräftebildung mit dem Anspruch der Professionalisierung einzusetzen, um die Potenziale und Grenzen für Lehr- und Lernprozesse in Schule und Unterricht zu ergünden. In Bildungsprozessen sind digitale Medien folglich sowohl als Thema wie auch als didaktisches Element zu integrieren. Es müssen zielgruppen- und kontextspezifische Konzepte zum Leh-

ren und Lernen mit und in digitalen Medien bereitgestellt und kontinuierlich weiterentwickelt werden.

Digitalisierung im Bereich der Lehrkräftebildung betrifft insbesondere auch den Einsatz von digitalen Medien beim Lehren und Lernen in der universitären Ausbildung, aber auch in der Umsetzung im schulischen Unterricht und insbesondere in der Lehrerfortbildung. Hierbei hat die digitale Transformation Konsequenzen für die Bildungsbeteiligten, indem Medienkompetenz zu einer elementaren Kernkompetenz unserer digitalen Gesellschaft avanciert und die grundlegende Voraussetzung für einen selbstbestimmten Umgang mit Medien in einer vernetzten Gesellschaft darstellt. Bezogen auf Schule und Unterricht ist sie damit eine der aktuellen Kernaufgaben der Lehrerbildung.

Mit dieser Aufgabe beschäftigt sich unter Einbindung der Intention der Digitalen Agenda 2014 – 2017 der Bundesregierung (Digitale Agenda, 2014) das Projekt »U.EDU: Unified Education – Medienbildung entlang der Lehrerbildungskette« der TU Kaiserslautern, das ein Entwicklungs- und Organisationskonzept zum Lehren und Lernen mit digitalen Medien erstellt. Dieses berücksichtigt sowohl den Ausbau struktureller Maßnahmen (horizontale Vernetzung) als auch forschungsbasierte didaktisch-methodische Entwicklungen über alle Phasen der Lehrerbildung hinweg (vertikale Vernetzung). Dabei wird gleichzeitig auch die neue Digitalisierungsstrategie des BMBF »Bildungsoffensive für die digitale Wissensgesellschaft« (2016) aufgegriffen. Im Fokus stehen hierbei die Fragen, wie digitale Medien dazu verhelfen können, grundlegende Kompetenzen zur optimalen und kritischen Nutzung neuer Technologien in Bildungsprozessen zu erwerben, und wie sich mobile digitale Medien sinnvoll in die drei Phasen der Lehrerbildung integrieren lassen, um die Professionalisierung und den Aufbau einer reflexiven Lehrpersönlichkeit zu unterstützen.

## DANKSAGUNG

HyperMind ist Teilprojekt von »U.EDU: Unified Education – Medienbildung entlang der Lehrerbildungskette« (Förderkennzeichen: 01JA1616), das im Rahmen der gemeinsamen »Qualitätsoffensive Lehrerbildung« von Bund und Ländern aus Mitteln des BMBF gefördert wird.

## LITERATUR

- Bennett, S., Maton, K. & Kervin, L. (2008). The ›digital natives‹ debate: A critical review of the evidence. *British Journal of Educational Technology*, 39(5), 775 – 786.
- BITKOM. (Hrsg.). (2011). *Schule 2.0: Eine repräsentative Untersuchung zum Einsatz elektronischer Medien an Schulen aus Lehrersicht*. Berlin: Eigenverlag. Verfügbar unter <https://www.bitkom.org/noindex/Publikationen/2011/Studie/Studie-Schule-2-0/BITKOM-Publikation-Schule-20.pdf> [18.07.2017]
- Bos, W., Eickelmann, B., Gerick, J., Goldhammer, F., Schaumburg, H., Schwippert, K., Senkbeil, M., Schulz-Zander, R. & Wendt, H. (Hrsg.). (2014). *ICILS 2013. Computer und informationsbezogene Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern in der 8. Jahrgangsstufe im internationalen Vergleich*. Münster: Waxmann.
- Brüggemann, M. (2013). *Digitale Medien im Schulalltag. Eine qualitativ rekonstruktive Studie zum Medienhandeln und berufsbezogenen Orientierungen von Lehrkräften*. München: kopaed.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Bundesministerium des Innern, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.). (2014). *Digitale Agenda 2014 – 2017*. München: PRpetuum GmbH. Verfügbar unter [https://www.digitale-agenda.de/Content/DE/\\_Anlagen/2014/08/2014-08-20-digitale-agenda.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=6](https://www.digitale-agenda.de/Content/DE/_Anlagen/2014/08/2014-08-20-digitale-agenda.pdf?__blob=publicationFile&v=6) [07/2017]
- De Cook, M. (2012). Representation use and strategy choice in physics problem solving. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*, 8(2), 020117.
- Forsa. (2014). *IT an Schulen. Ergebnisse einer Repräsentativbefragung von Lehrern in Deutschland*. Berlin. Verfügbar unter [http://www.vbe.de/fileadmin/vbe-presse Dienste/Studien/IT\\_an\\_Schulen\\_-\\_Bericht\\_gesamt.pdf](http://www.vbe.de/fileadmin/vbe-presse Dienste/Studien/IT_an_Schulen_-_Bericht_gesamt.pdf) [18.07.2017]
- Hirth, M., Gröber, S., Kuhn, J. & Müller, A. (2015a). Untersuchung stehender akustischer Wellen mit Smartphone und Tablet-PC – Mobile Experimentiermittel inner- und außerhalb des Physikunterrichts. *PhyDid A – Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 14(1), 12 – 25.
- Hirth, M., Kuhn, J. & Müller, A. (2015). Measurement of sound velocity made easy using harmonic resonant frequencies with everyday mobile technology. *The Physics Teacher*, 53(2), 120 – 121.
- Hirth, M., Kuhn, J., Müller, A. & Gröber, S. (2015b). Stehende Wellen in der Papprolle – Schallgeschwindigkeitsbestimmung einfach und präzise. *Naturwissenschaften im Unterricht (NiU) – Physik*, 145, 33 – 35.
- Ishimaru, S., Bukhari, S. S., Heisel, C., Kuhn, J. & Dengel, A. (2016). Towards an Intelligent Textbook: Eye Gaze Based Attention Extraction on Materials for Learning and Instruction in Physics. In *UBICOMP/ISWC '16 Adjunct Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing* (S. 1041 – 1045). New York, NY: ACM.
- Klein, P., Kuhn, J., Müller, A. & Gröber, S. (2015). Video analysis exercises in regular introductory mechanics physics courses: Effects of conventional methods and possibilities

- of mobile devices. In W. Schnotz, A. Kauertz, H. Ludwig, A. Müller & J. Pretsch (Hrsg.), *Multidisciplinary Research on Teaching and Learning* (S. 270 – 288). Basingstoke, UK: Palgrave Macmillan.
- Kommer, S. (2010). *Kompetenter Medienumgang? Eine qualitative Untersuchung zum medialen Habitus und zur Medienkompetenz von SchülerInnen und Lehramtsstudierenden*. Opladen: Budrich
- Kuhn, J., Lukowicz, P., Hirth, M., Poxrucker, A., Weppner, J. & Younas, J. (2016). gPhysics – Using Smart Glasses for Head-Centered, Context-Aware Learning in Physics Experiments. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 9(4), 304 – 317.
- Kuhn, J. & Vogt, P. (2015). Smartphone & Co. in Physics Education: Effects of Learning with New Media Experimental Tools in Acoustics. In W. Schnotz, A. Kauertz, H. Ludwig, A. Müller & J. Pretsch (Hrsg.), *Multidisciplinary Research on Teaching and Learning* (S. 253 – 269). Basingstoke, UK: Palgrave Macmillan.
- Moreno, R. (2007). Optimizing learning from animations by minimizing cognitive load: cognitive and affective consequences of signaling and segmentation methods. *Applied Cognitive Psychology*, 21, 765 – 781.
- Rezat, S. (2011). Wozu verwenden Schüler ihre Mathematikschulbücher? Ein Vergleich von erwarteter und tatsächlicher Nutzung. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 32, 153 – 177.

## ÜBER DEN AUTOR



---

**Jochen Kuhn** studierte die Fächer Physik und Mathematik für das Lehramt an der Universität Koblenz-Landau. Nach dem Referendariat promovierte er in Physik, arbeitete acht Jahre lang an einer Realschule in Rheinland-Pfalz, habilitierte sich in Didaktik der Physik und wurde 2008 zum Akademischen Rat an der Universität Koblenz-Landau ernannt. Seit 2012 ist er Universitätsprofessor und Leiter der Arbeitsgruppe Didaktik der Physik an der Technischen Universität Kaiserslautern. Seit November 2016 ist er wissenschaft-

licher Leiter des Projekts »Unified Education: Medienbildung entlang der Lehrerbildungskette« (U.EDU) der TU Kaiserslautern, das im Rahmen der gemeinsamen »Qualitäts-offensive Lehrerbildung« von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert wird.

---

Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen – Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer (2017), J. Meßinger-Koppelt, S. Schanze & J. Groß (Hrsg.), Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag

# TECHNOLOGIE-UNTERSTÜTZTES LERNEN IM PHYSIK- UNTERRICHT MITTELS MOBILER VIDEOANALYSE

*Sebastian Becker, Pascal Klein, Alexander Gößling & Jochen Kuhn*

Es ist unbestritten, dass die Digitalisierung unserer Gesellschaft die Lehr- und Lernkultur insbesondere auch an den Schulen verändern wird. Dies eröffnet den Lehrkräften neue gestalterische Möglichkeiten, führt aber zugleich auch zu neuen Anforderungen, welche die Lehrkräfte erfüllen müssen, um ihren Bildungs- und Erziehungsauftrag in unserer heutigen Lebenswelt erfüllen zu können. So gibt die Strategie der Kultusministerkonferenz »Bildung in der digitalen Welt« (KMK, 2016) als Ziel für den schulischen Bereich vor, dass bei der Gestaltung von Lehr- und Lernprozessen digitale Lernumgebungen systematisch eingesetzt werden sollen. Es obliegt nun der fachdidaktischen Forschung, empirisch gesichertes Wissen über die fachspezifischen Bedingungsfaktoren sowie die Lernwirksamkeit von digitalen Lernumgebungen zu gewinnen, um die Lehrkräfte bei der Implementation in den alltäglichen Unterricht zu unterstützen.

Dieser Beitrag stellt ein Forschungsvorhaben zur wissenschaftlichen Untersuchung einer digitalen Lernumgebung aus dem Bereich Mobile Learning mit dem Tablet im Mechanikunterricht der Sekundarstufe II vor.

## MOTIVATION

Das Themenfeld der Mechanik wird sowohl im Physikunterricht als auch im Physikstudium sehr intensiv behandelt, stellt es doch ein wichtiges Gebiet der klassischen Physik dar und bildet somit die Grundlage für weitere Teilgebiete der Physik. So sehen es auch die Autoren der Studie »Physik in der Schule« (DPG, 2016, S. 55), fragen aber gleichzeitig: »wer erinnert sich nicht an Schulstunden voller Langeweile mit der schiefen Ebene oder dem schrägen Wurf?«

Dies ist Ausgangspunkt zur Entwicklung einer digitalen Lernumgebung, welche die Möglichkeiten moderner Technologie nutzt, um die Lerninhalte der Mechanik zeitgemäß, lernwirksam und lernmotivationsfördernd zu vermitteln.

## DAS DIGITALE WERKZEUG »MOBILE VIDEOANALYSE«

Bei der physikalischen Videoanalyse handelt es sich um ein Verfahren zur berührungslosen Messung der Orts- und Zeitkoordinaten von bewegten Körpern. Die Position des bewegten Objekts bezüglich eines zweidimensionalen Koordinatensystems wird dabei in jedem Einzelbild gespeichert. Aus den ermittelten Zeit- und Ortskoordinaten kann die (Durchschnitts-)Geschwindigkeit und die (Durchschnitts-)Beschleunigung berechnet werden.

Dieses Verfahren ist grundsätzlich nicht neu und findet im Physikunterricht national und international Einsatz (Beichner, 1996; Klein, 2016; Wilhelm, 2005). Während bei den bisherigen Verfahren die Aufnahme (meist mit herkömmlicher Digitalkamera) und die Auswertung der Bewegung (meist am PC) getrennt und nacheinander stattgefunden hat (häufig verbunden mit technischen Hürden wie z. B. der Konvertierung des Videoformats o. Ä.), verbinden Tablets die bisher unabhängig voneinander und nacheinander stattfindenden Aktionen. Denn sie verfügen über eine Kamera, mit der Videos in sehr guter Qualität aufgenommen werden können. Mit speziell dafür entwickelten Apps ergibt sich zudem die Möglichkeit, den gesamten Prozess der physikalischen Videoanalyse auf einem mobilen Gerät zu vereinen, von der Aufnahme des Videos über dessen Auswertung bis hin zur Visualisierung der relevanten physikalischen Größen. Durch die Möglichkeit der Videoaufnahme in Zeitlupe kann auch die Bewegung von sich sehr schnell bewegenden Körpern physikalisch untersucht werden. Somit können Lernende mit diesem digitalen Werkzeug Bewegungen von beliebigen Körpern aufnehmen und bezüglich der physikalischen Zusammenhänge eigenständig mit einem mobilen Endgerät experimentell untersuchen – und das alles nahezu in Echtzeit. Dies kombiniert die Vorteile der unterrichtlichen Nutzung von mobilen Endgeräten und die Möglichkeiten der physikalischen Videoanalyse. Somit ist

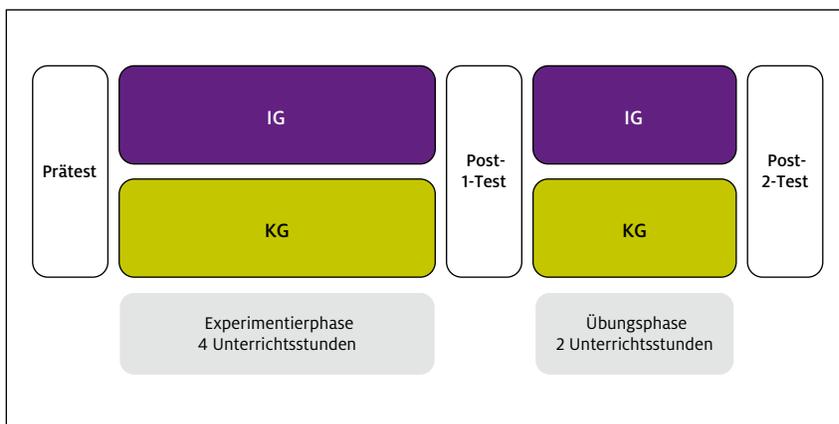
ein kontinuierliches Wechselspiel zwischen Theorie und Experiment möglich.

## LERNTHEORETISCHER HINTERGRUND

Die mobile Videoanalyse ermöglicht es, dass alle benötigten Messdaten automatisch von dem digitalen Endgerät generiert werden. Dadurch wird die extrinsische kognitive Belastung der Lernenden reduziert und ein kontinuierliches Wechselspiel zwischen Theorie und Experiment ermöglicht. Nach der CATLM-Theorie (Cognitive-Affective Theory of Learning with Media) von Moreno (2005) und Moreno und Mayer (2007) erleichtert eine reduzierte extrinsische kognitive Belastung den Lernenden die Wissenskonstruktion und -vernetzung sowie die Entwicklung physikalischer Kompetenzen, was zu einer Steigerung der Effektivität des Lernprozesses führen kann. Die daraus resultierende vertiefte Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand könnte so bei Verwendung des digitalen Werkzeugs zu einem besseren konzeptuellen Verständnis führen als bei traditionellem Unterricht. Die verwendete App bietet den Schülerinnen und Schülern verschiedene Repräsentationsformen (Realbild, Stroboskop-Abbildung und Diagramm) quasisimultan dar, d. h. nahezu in Echtzeit ohne merkliche Zeitverzögerung. Die Lernenden haben so die Möglichkeit, zwischen den einzelnen Repräsentationsformen nach Belieben zu wechseln. Dieser aktive Umgang mit multiplen Repräsentationsformen könnte dazu führen, dass unterschiedliche Repräsentationsformen besser miteinander im jeweiligen Kontext verknüpft werden können. Durch eine solche Steigerung der Repräsentationskompetenz kann in der Regel auch eine Verbesserung des konzeptuellen Verständnisses erreicht werden (Ainsworth, 2006; Kohl & Finkelstein, 2005; Mayer, 2002). Zusammenfassend kann von dem unterrichtlichen Einsatz des digitalen Werkzeugs »Mobile Videoanalyse« erwartet werden, dass das konzeptuelle Verständnis und die Repräsentationskompetenz der Lernenden besser gefördert werden kann im Vergleich zu traditionellem Unterricht. Empirisch untersucht wird diese zentrale Forschungshypothese in quasiexperimentellen Interventionsstudien im Mechanikunterricht der Sekundarstufe II.

## FORSCHUNGSDESIGN DER PILOTSTUDIE

Die Pilotstudie wurde als quasiexperimentelle Feldstudie mit einem Prä-Post-Design angelegt. Dazu wurden Leistungs- und Grundkurse der gymnasialen Jahrgangsstufe 11 zufällig in Kontroll- und Interventionsgruppe eingeteilt. Insgesamt waren sechs Lehrkräfte von vier Gymnasien beteiligt. Um einen möglichst fairen Vergleich von traditionellem und einem durch das digitale Werkzeug unterstützten Unterricht zu gewährleisten, wurde bei der Planung der Unterrichtsszenarien für Kontroll- und Interventionsgruppe auf Sozialformgleichheit, Methodengleichheit und ein vergleichbares Instruktions- und Übungsmaterial geachtet. Essenziell für einen fairen Vergleich ist die Durchführung identischer Freihandversuche in Kontroll- (KG) und Interventionsgruppe (IG). Um dies zu gewährleisten, entschieden wir uns für Freihandversuche zum Themengebiet der gleichförmigen Bewegung. Die Interventionsphase wurde in einen experimentellen Teil von vier Unterrichtsstunden und einen Übungsteil von zwei Unterrichtsstunden untergliedert (siehe Abb. 1).



**Abb. 1:** Forschungsdesign der Pilotstudie (IG: Interventionsgruppe, KG: Kontrollgruppe)

In der Experimentierphase führten die Schülerinnen und Schüler selbstständig, durch Instruktionsmaterial angeleitet, Freihandversuche durch. In der Interventionsgruppe nutzten sie dazu das digitale Werkzeug, in der Kontrollgruppe führten sie die Versuche mit Stoppuhr und Maßband durch. In der Übungsphase bearbeiteten die Schülerinnen und Schüler selbstständig Übungsaufgaben mit der Möglichkeit zur Selbstkontrolle. In der Interventionsgruppe basierten die Übungsaufgaben auf vorgefertigten Videos, in der Kontrollgruppe auf gegebenen Messwerten. Die Unterrichtsszenarien für beide Phasen wurden so konzipiert, dass der Anteil der Lehrer-Schüler-Interaktion möglichst gering gehalten wurde und die Lehrkraft so die Funktion eines Lernbegleiters bei einem selbst entdeckenden Lernen der Schülerinnen und Schüler übernahm. Die an der Pilotstudie beteiligten Lehrkräfte wurden vor Beginn der Studie sowohl für die Unterrichtsszenarien der Interventions- als auch der Kontrollgruppe geschult, da erst kurz vor der Studie entschieden wurde, welche Lehrkraft in einer Kontroll- bzw. einer Interventionsgruppe unterrichtet. Um den Lernfortschritt in jeder der beiden Interventionsphasen zu ermitteln, wurde vor Beginn der Intervention und nach jeder Phase ein Leistungstest im Multiple-Choice-Design (vgl. Lichtenberger, 2017) durchgeführt. Ergänzend füllten die Schülerinnen und Schüler Fragebögen aus, mit welchen lernmotivationale Faktoren, persönliche Einstellungen (Kuhn, 2010, adaptiert) und die kognitive und emotionale Belastung (NASA-TLX, adaptiert, Hart, 1988) erfasst wurden.

## AUSGEWÄHLTE ERGEBNISSE DER DESKRIPTIVEN DATENANALYSE

Nach Durchführung der Pilotstudie konnten die Daten von insgesamt 131 Schülerinnen und Schülern ausgewertet werden. Darin enthalten sind nur die Daten der Schülerinnen und Schüler, die an den Tests zu allen drei Erhebungszeitpunkten teilgenommen haben (»matched samples«). Die Interventionsgruppe bildeten insgesamt 72 Schülerinnen und Schüler. Die Kontrollgruppe bildeten insgesamt 59 Schülerinnen und Schüler.

Einstellungen der Schülerinnen und Schüler der Interventions- und Kontrollgruppe vor der Interventionsphase ( $N = 131$ )

Die Fragebögen zur Ermittlung der persönlichen Einstellung enthielten Items des Likert-Typs mit einer Ordinalskala, bestehend aus den Kategorien 1: Ich stimme der Aussage voll und ganz zu bis 6: Ich stimme der Aussage gar nicht zu.

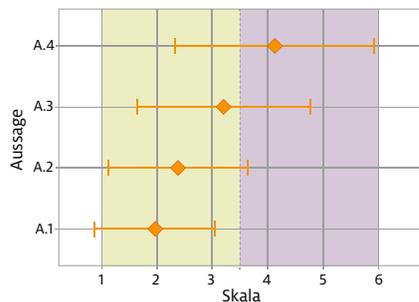
### NUTZUNG NEUER MEDIEN

**A4:** Ich nutze ein Tablet auch schon mal als Hilfsmittel beim Lernen.

**A3:** Ich nutze Apps auch schon mal als Hilfsmittel beim Lernen.

**A2:** Es gibt viele Tätigkeiten, bei denen ein Tablet hilfreich sein kann.

**A1:** Es gibt viele Tätigkeiten, die ich durch Apps leichter und schneller erledigen kann.



**Fazit:** Die Schülerinnen und Schüler sehen Tablet und Apps als Hilfsmittel an, die Verwendung als Hilfsmittel beim Lernen ist aber noch wenig verbreitet (insbesondere bei Tablets).

## BEDIENUNG NEUER MEDIEN

**A5:** Die Verwendung von Apps gehört für mich heutzutage zum Alltag dazu.

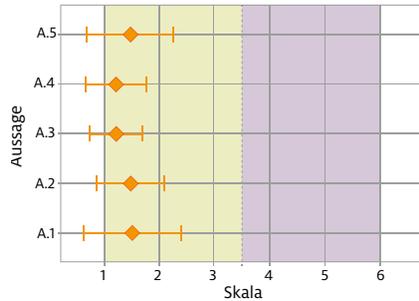
**A4:** Videos mit dem Smartphone oder dem Tablet aufzunehmen bereitet mir keine Schwierigkeiten.

**A3:** Habe ich verstanden, wie man eine App verwendet, dann kann ich die App auch nach einiger Zeit sicher verwenden.

**A2:** Die Verwendung neuer Apps kann ich schnell erlernen.

**A1:** Im Allgemeinen bereitet mir die Nutzung eines Tablets wenig Probleme.

**Fazit:** Wie erwartet stellt die Bedienung von moderner Medientechnologie keinerlei Probleme für die Schülerinnen und Schüler dar und ist ein selbstverständlicher Bestandteil ihrer Lebenswelt.



## TABLET ALS LERNMITTEL

**A5:** Würden Tablets und Apps im Physikunterricht verwendet werden, würde ich vermutlich selbstständiger lernen können.

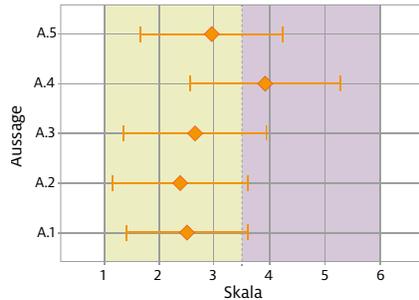
**A4:** Durch die Verwendung von Tablets und Apps wäre ich nicht mehr so konzentriert im Physikunterricht.

**A3:** Durch die Verwendung von Tablets und Apps im Physikunterricht wäre ich motivierter zu lernen.

**A2:** Würden Tablets und Apps im Physikunterricht eingesetzt werden, würde ich mehr Freude am Physikunterricht haben.

**A1:** Mithilfe eines Tablets und spezieller Apps würde mir das Lernen im Physikunterricht leichter fallen.

**Fazit:** Die Schülerinnen und Schüler schätzen die Verwendung des Tablets als Lernmittel selbst als motivationsfördernd ein. Negative Auswirkungen auf die Konzentration, wie Kritiker des Medieneinsatzes dies oft erwarten, sehen die Schülerinnen und Schüler eher nicht. Dagegen ist bei der Mehrheit von ihnen die Erwartung vorhanden, mit dem Tablet selbstständiger lernen zu können.



Einstellungen der Interventionsgruppe nach der Interventionsphase ( $N = 72$ )

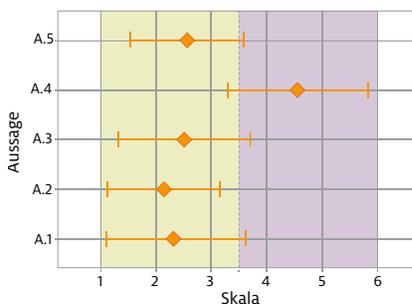
**A5:** Durch die Verwendung von Tablets und Apps konnte ich im Physikunterricht selbstständiger lernen.

**A4:** Durch die Verwendung von Tablets und Apps war ich nicht mehr so konzentriert im Physikunterricht.

**A3:** Durch die Verwendung von Tablets und Apps im Physikunterricht war ich motivierter zu lernen.

**A2:** Durch die Verwendung von Tablets und Apps im Physikunterricht hatte ich mehr Freude am Physikunterricht.

**A1:** Mithilfe eines Tablets und spezieller Apps ist mir das Lernen im Physikunterricht leichter gefallen.



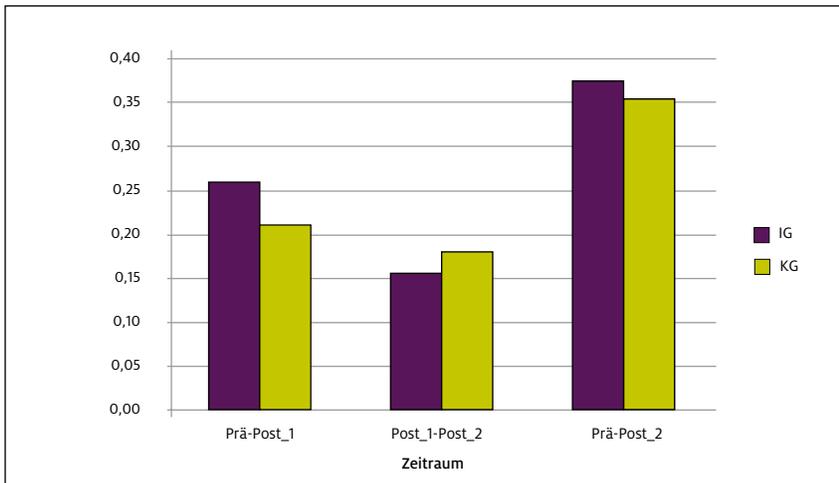
**Fazit:** Die von den Schülerinnen und Schülern selbst erwartete motivationsfördernde Wirkung des digitalen Werkzeugs konnte bestätigt werden. Ebenso wie das Ausbleiben von negativen Auswirkungen auf die Konzentration und die Möglichkeit, mit dem digitalen Werkzeug selbstständig zu lernen.

## Ergebnisse der Leistungstests

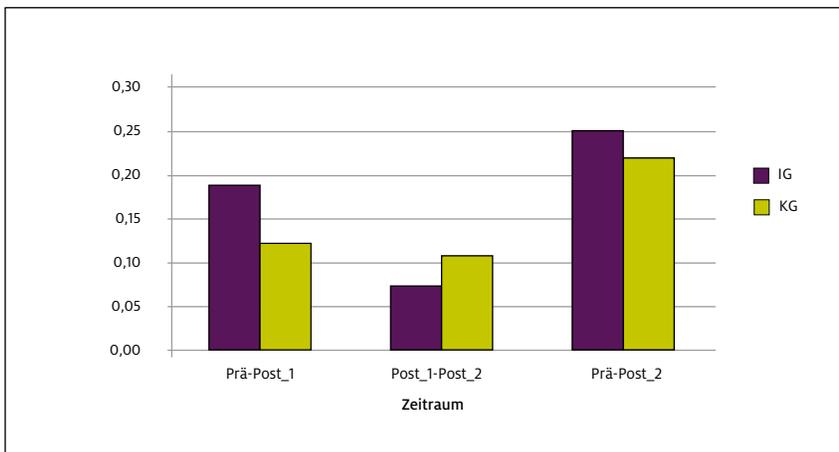
Der Leistungstest bestand aus einem Teil, der das konzeptuelle Verständnis prüft, und einem Teil, der die Repräsentationskompetenz prüft. Eingesetzt wurde der Test als Vorwissenstest vor Beginn der Intervention (Prä-Zeitpunkt), nach der Experimentierphase (Post\_1-Zeitpunkt) und nach der Übungsphase (Post\_2-Zeitpunkt). Aus Gründen der optimalen Vergleichbarkeit wurde bei allen drei Testzeitpunkten der identische Test verwendet. Als Maß zur Beurteilung des Lernerfolgs wurde der von Richard Hake eingeführte »average normalized gain« oder »Hake Index«  $\langle g \rangle$  (Hake, 1998) berechnet. Dieser ist definiert als

$$\langle g \rangle = \frac{\langle P_{final} \rangle - \langle P_{initial} \rangle}{1 - \langle P_{initial} \rangle}$$

Dabei bezeichnet  $\langle P_{initial} \rangle$  den mittleren Anteil richtiger Lösungen zum initialen Testzeitpunkt und  $\langle P_{final} \rangle$  zum finalen Testzeitpunkt. Die Abbildungen 2 und 3 zeigen die Lernerfolge für das konzeptionelle Verständnis sowie für die Repräsentationskompetenz.



**Abb. 2:** Lernzuwachs beim konzeptuellen Verständnis (IG: Interventionsgruppe, KG: Kontrollgruppe)



**Abb. 3:** Lernzuwachs bei der Repräsentationskompetenz (IG: Interventionsgruppe, KG: Kontrollgruppe)

Die Schülerinnen und Schüler profitieren besonders in der Experimentierphase vom digitalen Werkzeug, sowohl beim konzeptuellen Verständnis als auch bei der Repräsentationskompetenz. Bei der Repräsentationskompetenz ist der Unterschied im Lernzuwachs zur Kontrollgruppe deutlicher ausgeprägt als beim konzeptuellen Verständnis. Dies ist konsistent zum lerntheoretischen Hintergrund, aus dem sich eine Förderung der Repräsentationskompetenz durch die quasisimultane Darbietung multipler Repräsentationen ableiten lässt. In der Übungsphase scheinen die traditionellen Aufgaben den mit vorgefertigten Videos angereicherten Übungsaufgaben überlegen zu sein. Kritisch anzumerken ist allerdings, dass die Schülerinnen und Schüler der Interventionsgruppe zu Beginn der Übungsphase bereits einen höheren Leistungsstand erreicht hatten und damit der mögliche Lernzuwachs geringer ausfällt als für die Schülerinnen und Schüler der Kontrollgruppe. Eine Rückführung des gesteigerten Lernzuwachses auf die Qualität der Intervention in der Übungsphase ist damit nicht eindeutig möglich.

## ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die Einstellung der Schülerinnen und Schüler gegenüber Tablets und Apps als Lernmittel war mehrheitlich positiv. Bedenken, dass die Bedienung mobiler digitaler Endgeräte die Schülerinnen und Schüler überfordern könnte und die Konzentration im Unterricht negativ beeinflusst, besteht auf Schülerseite weitestgehend nicht. Vielmehr schätzen sie die Wirkung von Tablets als Lernmittel als motivationsfördernd ein und erwarten auch, dass mit den Tablets ein selbstständigeres Lernen ermöglicht wird. Diese Einschätzungen werden von den Schülerinnen und Schülern der Interventionsgruppe, welche mit dem digitalen Werkzeug gelernt haben, komplett bestätigt.

Die Auswertung des Leistungstests zeigt, dass das digitale Werkzeug im thematischen Kontext der »gleichförmigen Bewegung« lernwirksam in den regulären Unterricht implementiert werden konnte. Insbesondere konnten die Schülerinnen und Schüler in der Experimentierphase von den Möglichkeiten des digitalen Werkzeugs profitieren.

Aufbauend auf den Ergebnissen der Pilotstudie, werden die Unterrichts-

materialien, der Leistungstest und die Fragebögen für die folgende Hauptstudie optimiert. In der Hauptstudie soll die Anzahl der teilnehmenden Schülerinnen und Schüler sowie der unterrichtenden Lehrkräfte erhöht werden, um die Aussagekraft der Ergebnisse zu verstärken. Dazu werden Lehrkräfte sowohl in Rheinland-Pfalz als auch in Nordrhein-Westfalen ausgewählt. Dies ermöglicht es, empirisch gesicherte Aussagen über Bedingungsfaktoren zur Implementation des digitalen Werkzeugs auf drei Ebenen zu gewinnen, (1) auf der Ebene der Schülerinnen und Schüler, (2) auf der Ebene der Lehrkräfte und (3) auf Landesebene. Im Hinblick auf die Forderung der KMK nach einem systematischen Einsatz von digitalen Lernumgebungen sind dies sicherlich wertvolle empirische Ergebnisse, welche in Handlungsempfehlungen für Lehrkräfte und damit in eine nachhaltige Implementation des digitalen Werkzeugs in den regulären Unterricht umgesetzt werden könnten.

## LITERATUR

- Ainsworth, S. (2006). DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction*, 16(3), 183 – 198.
- Beichner, R. (1996). The impact of video motion analysis on kinematic graph interpretation skills. *American Journal of Physics*, 64(10), 1772 – 1777.
- DPG. (2016). *Physik in der Schule. Eine Studie der Deutschen Physikalischen Gesellschaft e.V.* Verfügbar unter <http://www.dpg-physik.de/veroeffentlichung/broschueren/studien/schulstudie-2016/schulstudie-hauptteil-2016-11-17.pdf> [18.07.2017]
- Hake, R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64 – 74.
- Hart, S. G. & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. *Human Mental Workload*, 52, 139 – 183. doi:10.1016/S0166-4115(08)62386-9
- Klein, P. (2016). *Konzeption und Untersuchung videobasierter Aufgaben im Rahmen vorlesungsbegleitender Übungen zur Experimentalphysik (Mechanik)*. Dissertation, Technische Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern.
- KMK. (2016). *Strategie der Kultusministerkonferenz »Bildung in der digitalen Welt«*. Verfügbar unter [https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/PresseUndAktuelles/2016/Bildung\\_digitale\\_Welt\\_Webversion.pdf](https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/PresseUndAktuelles/2016/Bildung_digitale_Welt_Webversion.pdf) [18.07.2017]
- Kohl, P. & Finkelstein, N. (2005). Students' representational competence and self-assess-

- ment when solving physics problems. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*, 1, 010104. doi:10.1103/PhysRevSTPER.1.010104
- Kuhn, J. (2010). *Authentische Aufgaben im theoretischen Rahmen von Instruktions- und Lehr-Lern-Forschung*. Wiesbaden: Vieweg und Teubner Verlag.
- Lichtenberger, A., Wagner C., Hofer, S. I., Stern, E. & Vaterlaus, A. (2017). Validation and structural analysis of the kinematics concept test, *Physical Review Physics Education Research*, 13, 010115. doi:10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.010115
- Mayer, R. (2002). Multimedia learning. *Psychology of Learning and Motivation*, 41, 85 – 139.
- Moreno, R. (2005). Instructional technology: Promise and pitfalls. In L. Pytlik Zillig, M. Bodvarsson & R. Bruning (Hrsg.), *Technology-based education: Bringing researchers and practitioners together* (S. 1 – 19). Greenwich, CT: Information Age Publishing.
- Moreno, R. & Mayer, R. (2007). Interactive multimodal learning environments. *Educational Psychology Review*, 19(3), 309 – 326.
- Wilhelm, T. (2005). *Konzeption und Evaluation eines Kinematik/Dynamik-Lehrgangs zur Veränderung von Schülervorstellungen mit Hilfe dynamisch ikonischer Repräsentationen und graphischer Modellbildung*. Dissertation, Bayerische Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Würzburg.

## ÜBER DIE AUTOREN



---

**Sebastian Becker** absolvierte den Diplom-Studiengang Physik an der Technischen Universität Kaiserslautern. Nach dem Seiteneinstieg in das Lehramt an Gymnasien in Rheinland-Pfalz wurde er zum Studienrat ernannt und war sechs Jahre lang an einem Gymnasium in Rheinland-Pfalz als Mathematik- und Physiklehrer sowie als Ausbildungsleiter für Referendarinnen und Referendare tätig. Seit 2016 promoviert er zu dem Thema »Technologie-unterstütztes Lernen im Physikunterricht« in der AG Didaktik der Physik von Prof. Jochen Kuhn an der Technischen Universität Kaiserslautern.



---

**Pascal Klein** (\*1987) ist seit 2012 wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe Didaktik der Physik an der Technischen Universität Kaiserslautern, wo er 2016 promoviert hat. Seine Forschungsschwerpunkte umfassen das aufgabenbasierte Lernen mit mobilen Medien im tertiären Bildungsbereich (Physik).



---

**Alexander Gößling** studierte an der TU Berlin Diplom-Physik und promovierte an der Universität zu Köln im Jahr 2007. Danach arbeitete er bis 2009 als Postdoc an der FH Münster. Nach einem Seiteneinstieg ins Lehramt unterrichtet er seit 2011 als Lehrer für Physik und Mathematik an der Marienschule Bielefeld. Seit 2016 ist er an die Technische Universität Kaiserslautern in die Arbeitsgruppe von Herrn Prof. Kuhn teilabgeordnet.



---

**Jochen Kuhn** studierte die Fächer Physik und Mathematik für das Lehramt an der Universität Koblenz-Landau. Nach dem Referendariat promovierte er in Physik, arbeitete acht Jahre lang an einer Realschule in Rheinland-Pfalz, habilitierte sich in Didaktik der Physik und wurde 2008 zum Akademischen Rat an der Universität Koblenz-Landau ernannt. Seit 2012 ist er Universitätsprofessor und Leiter der Arbeitsgruppe Didaktik der Physik an der Technischen Universität Kaiserslautern. Seit November 2016 ist er wissenschaftlicher Leiter des Projekts »Unified Education: Medienbildung entlang der Lehrerbildungskette« (U.EDU) der TU Kaiserslautern, das im Rahmen der gemeinsamen »Qualitäts-offensive Lehrerbildung« von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert wird.

---

Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen – Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer (2017), J. Meßinger-Koppelt, S. Schanze & J. Groß (Hrsg.), Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag

# DIGITAL-GESTÜTZTE LERNUMGEBUNGEN ZUM EXPERIMENTIEREN ANHAND EINER »EXPERIMENTIER-APP«

*Monique Meier & Marit Kastaun*

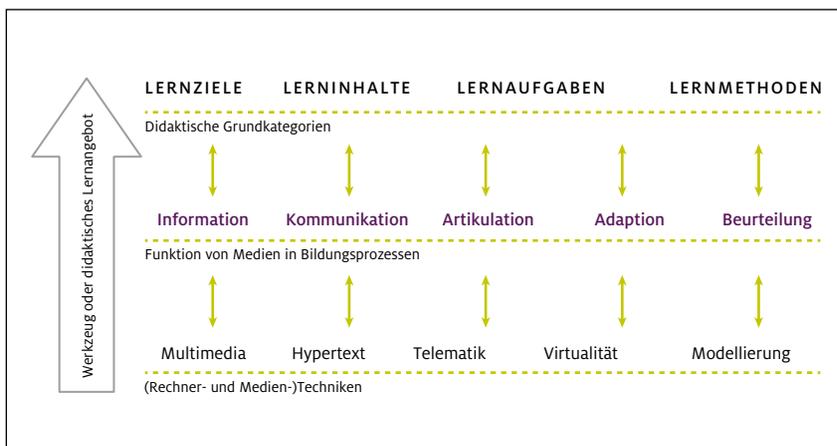
Im schulischen Lehr-Lern-Geschehen steckt der didaktisch-zielorientierte Einsatz von neuen Technologien und digitalen Werkzeugen noch in den Anfängen. Sie können jedoch dazu beitragen, die Lücke zwischen der digital vernetzten Lebenswirklichkeit der Schülerinnen und Schüler und dem Lehr-Lern-Alltag in der Institution Schule zu schließen (Friedrich, Schiller & Treber, 2015). Erwartungen hinsichtlich des Einsatzes und der Nutzung digitaler Medien und Werkzeuge bestehen in der Steigerung von Lernmotivation, -erfolg und -effizienz sowie der Flexibilität von Lernen (Kerres, 2003). Ein rein technologiebezogener Wirkfaktor neuer, digitalisierter Medien kann die Wissensvermittlung und -konstruktion per se jedoch nicht revolutionieren. Grundsätzlich gilt es zu beachten, dass in einer gestaltungsorientierten Mediendidaktik Lernen nicht durch das jeweilige Medium beeinflusst wird, sondern »the use of adequate instructional methods will influence learning« (Clark, 1994, S. 27). Das Potenzial von neuen Medien erstreckt sich über die Schaffung neuer und/oder erweiterter Gestaltungsspielräume, die zumeist einem konstruktivistischen Verständnis von Lehren und Lernen folgen (Blömeke, 2003). In einer sich wandelnden Lernkultur mit digitalen Medien wird neben eigenaktiven, wissenskonstruierenden Lehr-Lern-Elementen – begleitet durch eine moderierende, strukturierende und beratende Lehrperson – kooperatives Lernen didaktisch eingebunden (Schulz-Zander, 2005). Einhergehend mit diesem didaktischen Prinzip wird forschendes Lernen als eine zentrale, instruktionale Unterrichtsform angeführt (Schulz-Zander, 2005), die sowohl der Vermittlung von Fachinhalten als auch von Fähigkeiten und Fertigkeiten im Bereich wissenschaftsmethodischer Denk- und Arbeitsweisen dient (Mayer & Ziemek, 2006; Hmelo-Silver, Duncan & Chinn, 2007). In der Zusammenführung forschend angelegter Unterrichtsabläufe, in denen mit den Lernenden Problemstellungen aufgegriffen und mit digitalen Medien

und/oder Werkzeugen untersucht werden, kann eine andere Qualität von Lehren und Lernen erreicht werden. Dies bedingt eine didaktisch geplante Kombination unterschiedlicher medialer und methodischer Aufbereitungen der Lerninhalte in sogenannten hybriden Lernarrangements (Kerres, 2002). Als add-in können digitale Medien die offenen, selbstregulierten Lernstrukturen in einem forschend-prozessorientierten, naturwissenschaftlichen Unterricht durch Integration adaptiv-individualisierter Unterstützungsmaßnahmen (scaffolds) neue Lehrmöglichkeiten und Lernräume bieten.

Mit dem Anliegen, eine lernförderliche Situation zu schaffen, in der alle unterrichtsrelevanten Komponenten planvoll in ein Gesamtarrangement gebracht werden (Möller, 1999), ist das Funktionsspektrum, in Kombination mit den technischen Möglichkeiten, von digitalen Medien in multimedialen Lernumgebungen vielfältig.

## MULTIMEDIALE LERNUMGEBUNGEN GESTALTEN

Medien besitzen meist einen instruktionalen Charakter. In ihrer Nutzung ist es möglich, die zu vermittelnden Wissensinhalte in unterschiedlichen Formaten wiederzugeben und hierbei kognitive Verarbeitungsprozesse auf den Lerner abzustimmen. Verschiedene Prinzipien und Modelle aus der Kognitionspsychologie (siehe Beitrag [Kuhn, Ropohl & Groß](#), S. 11), die die Kapazität und Leistung des menschlichen Gedächtnisses verdeutlichen und erforschen, sind zur Gestaltung von multimedialen Lernumgebungen mit digitalen Medien konzeptionell leitend. Die Cognitive Load Theory (CLT; u. a. Chandler & Sweller, 1991, 1992; Sweller, 2005) und die Cognitive Theory of Multimedia Learning (CMTL; Mayer, 2003; Mayer, 2005) erklären die kognitiven Belastungen beim Lernen sowie die Codierungsmöglichkeiten der wahrgenommenen Inhalte (siehe [Kuhn, Ropohl & Groß](#), S. 11). Im Cognitive Load spiegelt sich die Gesamtbelastung des Nutzers bei der Verwendung oder Betrachtung von unterschiedlichen Materialien wider (Sweller, 2005). Eine Belastung kann hierbei zum einen von der Komplexität des Lernmaterials (intrinsic load) sowie seiner Gestaltungs- und Darstellungsweise (extraneous load) ausgehen (Chandler & Sweller, 1996; Sweller, 1994; Kalyuga, 2011). Zum anderen wird die



**Abb. 1:** Funktion und Techniken von digitalen Bildungsmedien in Lehr-Lern-Prozessen (erweitert und verändert nach Klebl, 2006; Pekto, 2014)

Beanspruchung bei der Inkludierung des neuen Wissens in das eigene Langzeitgedächtnis als germane load zusammengefasst, eine Belastungsform, die nur schwer vom Entwickler des Lernmaterials beeinflusst werden kann (Sweller, 2010).

Digitale Medien bieten durch ihre Formatvielfalt bestmögliche Voraussetzungen, kognitionspsychologisch begründete Gestaltungsprinzipien für den individuellen Lernprozess zu adaptieren und möglichen Belastungsformen entgegenzuwirken, um ein lernförderliches Lehr-Lern-Arrangement zu erschaffen. Durch den technischen Fortschritt stehen dem Entwickler verschiedene Umsetzungsmöglichkeiten zur Verfügung. Entscheidend dabei ist, die digitale Technik in einen konstruktiven Zusammenhang mit der Funktion und dem Ziel in der geplanten Lernumgebung zu stellen. Bei der Auswahl digitaler Medien und ihrer Funktion kann unterschieden werden, ob das Medium innerhalb des Lehr-Lern-Prozesses ein didaktisch gestaltetes Lernangebot für den Nutzer darstellt oder ob es als ein Werkzeug innerhalb einer Lernsituation verwendet wird. Abbildung 1 zeigt das Zusammenwirken von Techniken, Funktionen digitaler Medien und didaktischen Grundkategorien

auf, die bei der Entwicklung von (multimedialen) Lernumgebungen Beachtung finden sollten.

Für die in diesem Beitrag exemplarisch näher ausgeführte multimediale und digital-gestützte Lernumgebung zum Experimentieren (Abschnitt 2) sind, neben den Gestaltungsprinzipien der CLT und CTML (siehe Beitrag [Kuhn, Ropohl & Groß](#), S. 11), ausgewählte Komponenten mediengestützter Bildungsprozesse auf der Ebene der Funktionen und Techniken konzeptionell und didaktisch leitend. Die Grundintention, eine multimediale Lernumgebung zu schaffen, zieht eine Integration unterschiedlicher Medienarten und -formate nach sich. Hierbei sollten, entsprechend der Annahme der CTML von einem dual codierten Gedächtnis, unterschiedliche Kanäle (auditiv und visuell) zur Informationsaufnahme sowie -weitergabe beim Lerner angesprochen werden (Mayer, 2005). Demnach müssen Informationen in Text und Zahlenkombinationen integriert sowie tonale und auditive Sequenzen wiedergegeben, aber auch Grafiken und bewegte Bilder dargestellt oder abgespielt werden können (Kerres, 2001). Die Funktion der Artikulation beschreibt die Möglichkeiten der Gliederung, Abbildung und Steuerung von Lehr-Lern-Prozessen im Zuge der Nutzung von Techniken auf der Multimedia-Ebene. Ein Artikulationsschema unterstützt die Schülerinnen und Schüler innerhalb ihres Vorgehens durch eine Strukturierung ihrer Handlungsweisen. Sie sind abstrahierbar und meist formal, legen aber keinen determinierten Lernprozess fest, sondern können selbstregulierte und individuelle Lernprozesse fördern (Klebl, 2006). Die individuelle Passung zwischen medial gestütztem Lernangebot und Lerner wird durch die Adaptionsfähigkeit von technischen Bildungsmedien realisiert. Um die Adaption von Lernangeboten zu ermöglichen, muss eine Datensammlung bzw. Beurteilung zum Lerner hinsichtlich lernzielbedingter Merkmale (z. B. Vorstellungen, Vorwissen) vorausgehen. Für die Lehrperson können formative und summative Diagnosen von individuellen Lern- und Leistungsständen durch digitale Medien ermöglicht und vereinfacht werden (Petko, 2014).

## EINSATZ DIGITALER MEDIEN IN LERNUMGEBUNGEN ZUM EXPERIMENTIEREN

Mit der Umsetzung von digitalen Technologien zur Übernahme von Lehr-Lern-Funktionen in unterrichtlichen Lernumgebungen können digitale Medien als Werkzeuge dem Lerner als Arbeitsmittel dienen oder diesem ein didaktisch gestaltetes (themengebundenes) Lernangebot zur Verfügung stellen. Zu Letzterem zählen computerbasierte Angebote wie beispielsweise Lehr- und Übungsprogramme, offene Lehrsysteme und Lernspiele sowie auch Experimentier- und Simulationsumgebungen (Tulodziecki & Herzig, 2010). Mit der fortschreitenden Entwicklung technischer Systeme hin zu mobilen Endgeräten werden mögliche Funktionen digitaler Medien umfangreicher und damit entsprechende Lernangebote vielseitiger. Neben der Simulation von Experimentierprozessen nimmt der Einsatz verschiedener digitaler Werkzeuge, insbesondere durch die Technologie von Smartphones und Tablets, in Lernumgebungen zum Experimentieren im Unterrichtsalltag einen wichtigen Stellenwert ein.

Eine Unterstützung und Erarbeitung von Experimenten durch digitale Werkzeuge ist bereits im physikalischen und chemischen Unterricht üblich (Kuhn & Vogt, 2014; Lühken, Weiß & Wigger, 2014). Es werden Messungen über Smartphones und /oder externe Messsensoren durchgeführt, Videos von Experimenten mittels Tablets erstellt und als Auswertungs- oder Protokollgrundlage genutzt (Diederich, Bruckermann, Schlüter & Edelman, 2015), Fotos von Aufbauten analysiert und viele »Einzelfeatures« der mobilen Technologien zur Digitalisierung von Experimenten verwendet (siehe Beitrag [Kuhn, Ropohl & Groß](#), S. 11). Die Einbettung bzw. Nutzung erfolgt hierbei werkzeugspezifisch an bestimmten Punkten im Experimentierprozess. Zwischen der Virtualisierung von Experimenten und der umfangreichen Einbettung und Nutzung von Funktionen digitaler Geräte beim Experimentieren zeichnen sich Bestrebungen zur Entwicklung von Applikationen zum Experimentieren ab. Letztere übernehmen eine Begleiter-/Betreuerfunktion, die den Experimentierprozess vorstrukturieren und ggf. Hilfen für den Lerner anbieten (z. B. NaWi Lab: Ostwinkel, Raufeisen & Ortlieb, 2015). Das Entwicklerangebot auf diesem Gebiet ist bis dato jedoch vergleichsweise gering. Mit der Kombination einer instruktional begleitenden Vorstrukturierung des Experimen-

tierprozesses mit Möglichkeiten zur Dokumentation und Nutzung technischer Funktionen sowie mit der praktischen Umsetzung von Experimenten im realen Lehr-Lern-Raum kann ein didaktischer Mehrwert durch digitale Medien angebahnt werden.

## DIVOX – EIN DIGITALER BEGLEITER IN FORSCHEND ANGELEGTEN EXPERIMENTIERSETTINGS

Forschende, prozessorientiert angelegte Lernsettings zum Experimentieren sind in der Regel (ergebnis)offen, durch einen hohen Grad an Schüleraktivität gekennzeichnet und vorzugsweise auf die Umsetzung von naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen ausgerichtet (Meier, 2014). Experimentieren als zentrales Element forschenden Lernens im Unterricht stellt die Lernenden zumeist vor eine hohe kognitive Belastung (Kirschner et al., 2006), die die begrenzte Kapazität des Arbeitsgedächtnisses ausreizt. In der Einbindung digitaler Medien beim Experimentieren sowie der Entwicklung digital gestützter Lernumgebungen zum Experimentieren sollte diese bereits von der Methodik des Experimentes ausgehende Belastung Beachtung finden. Die Förderung von Kompetenzen im Bereich naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung (KMK, 2004), verbunden mit der integrativen Nutzung digitaler Werkzeuge, ist eine wesentliche Intention der Experimentier-Werkstatt Biologie FLOX der Universität Kassel. In curricular angebotenen Experimentiermodulen werden vorzugsweise Lernende der Mittelstufe in Kleingruppen dabei betreut, selbstständig biologische Phänomene über die Entwicklung von eigenen Experimenten zu erforschen, Hypothesen zu prüfen und Ergebnisse zu präsentieren (Meier & Wulff, 2013). Lehrkräfte bekommen in der Ausgestaltung der FLOX-Experimentiermodule und mittels der Beobachtungen ihrer Schülerinnen und Schüler beim Experimentieren Anreize und didaktische Impulse zur Anlage von offenen Experimenten auch im Schulalltag (siehe hierzu auch Beitrag [Huwert & Eilks](#), S. 81). Im Bestreben, Lehrenden im regulären Unterricht die Möglichkeit zu geben, als Einzelbetreuer in Klassen mit bis zu 30 Lernenden offene, klassen- und lernerangepasste Experimentierphasen umsetzen zu können und gleichsam die kognitive Belastung durch den Einsatz einer

multimedialen Lernumgebung zu reduzieren, kam die Idee zur Entwicklung einer instruktional-prozessorientiert-adaptiven Experimentier-App auf. Es bestand hierbei der Anspruch, ein themenvariables Grundgerüst zu schaffen, das im Rahmen einer digital gestützten Lernumgebung zum Experimentieren Anwendung finden kann.

### Intention und Konzeption zu DiVoX

Mit der Application DiVoX (Diagnostizieren im offenen Experimentieren) ist ein multimedialer Wegbegleiter entstanden, der Schülerinnen und Schüler bei der Untersuchung naturwissenschaftlicher Phänomene unterstützt. Mit dieser App können die einzelnen Schritte des naturwissenschaftlichen Erkenntniswegs beim Experimentieren zu unterschied-

lichsten Fachinhalten in kooperativen Forscherteams oder auch in individuellen Arbeitsphasen durchgeführt werden. In der Anlage einer interdisziplinären App hat die Lehrperson freie Gestaltungsmöglichkeiten der einzubettenden Fachinhalte.

Die didaktischen Planungselemente zu den angestrebten Lern-/Kompetenzziele und angelegten Lern-/Arbeitsmethoden sind durch die Grundanlage einer prozessorientierten Experimentier-App vorskizziert.

Aber auch hier hat der Lehrende durch die Wahl des Öffnungsgrades im Experiment verschiedene Möglichkeiten der Fokussierung auf bestimmte Ziele und einzelne, methodische Schritte. In die Konzeption von DiVoX wurden wesentliche Entscheidungen in den ausgewählten Funktionsfeldern der Artikulation, Adaption und Beurteilung sowie auf Technik-ebene zur Umsetzung von Multimedia getroffen (Abb. 2 Bezug nehmend auf das Gerüst in Abb. 1).

Mit der Applikation ist ein multimedialer Wegbegleiter entstanden, der Schülerinnen und Schüler bei der Untersuchung naturwissenschaftlicher Phänomene unterstützt.

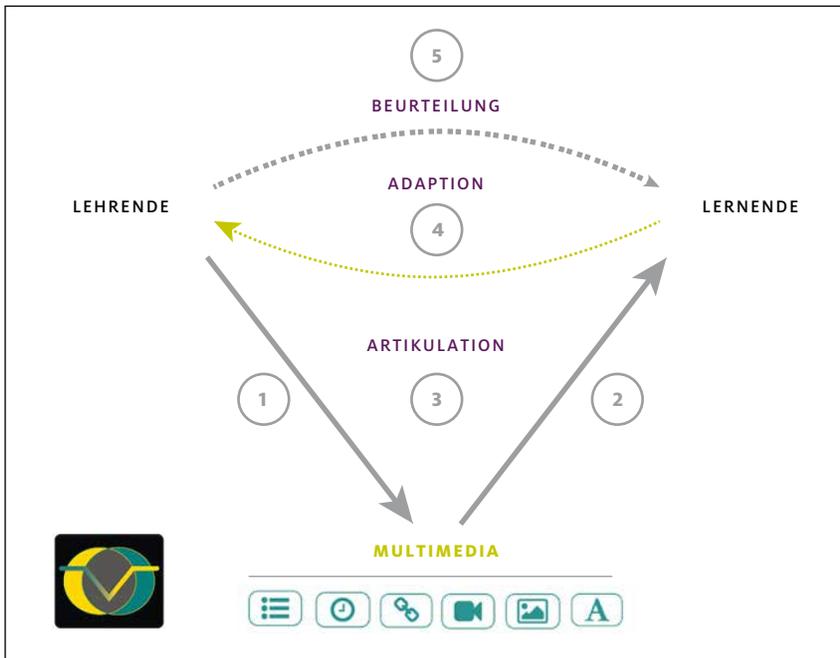


Abb. 2: Konzeptionelle Ausgestaltung von DiVoX

In ihrer dualen Anlage wird die App von der Lehrperson als Werkzeug in der Planung und Ausgestaltung von Experimentalunterricht sowie in der Diagnose von Experimentierfähigkeiten genutzt und dient den Schülerinnen und Schülern als Lern- und Arbeitsinstrument in folgenden experimentell ausgerichteten Lernangeboten:

- Lehrende gestalten unter Nutzung verschiedener Tools die Arbeitsoberfläche der Lernenden und legen den Grad an Multimedia in der Lernumgebung fest.
- Lernende arbeiten in der ihnen zur Verfügung gestellten Oberfläche und führen Experimente eigenverantwortlich durch.
- Gegliedert und vorstrukturiert wird der Lehr-Lern-Prozess über die Schritte

der Erkenntnisgewinnung (z. B. Phänomen, Hypothese), wobei die Anzahl und Ausgestaltung dieser Schritte vom Lehrenden festgelegt werden kann.

- In dem Zusammenspiel von dokumentierten Arbeitsprodukten der Lernenden in der App und dem Rücklauf dieser in die Lehreroberfläche können individuelle Informationen zum Lern- und Leistungsstand generiert und in ein daraufhin adaptiertes Lernangebot überführt werden. Zudem bieten verschiedene in-App-Funktionen, gebunden an Bausteine, wie z. B. Einblenden von Hilfen oder Drop-down-Felder mit Informationen, weitere Möglichkeiten der Adaption an den Lerner.
- Im Bereich der Statusdiagnostik können die gewonnenen Schülerergebnisse gleichsam für eine Beurteilung und Diagnostik von Fähigkeiten und Fertigkeiten zum Experimentieren herangezogen werden. Die Lehreroberfläche bietet weiterführend verschiedene Möglichkeiten der Prozessdiagnostik: Beobachtungen können lernerspezifisch offen oder über ein Kriterienraster erfasst werden, die Arbeitsergebnisse können gesammelt angezeigt und mit den Lernenden z. B. im Plenum diskutiert werden und/oder Lernende können Videos ihres Experimentierprozesses anfertigen, die der Lehrkraft zur Auswertung zur Verfügung stehen.

DiVoX ist eine Software, die in Experimentalsettings als methodischer und didaktischer Begleiter fungieren soll und sich über die Einbettung verschiedener Bausteine bestimmte Funktionen des Tablets zunutze macht. Sie ermöglicht keine virtuelle Laboraktivität, sondern stellt die direkte Verbindung zwischen Diagnostizieren, Beraten und Fördern im phänomengestützten, forschenden Unterricht dar. Inwieweit dieses Medium auf Akzeptanz in der Schüler- und Lehrerschaft stößt, ob es sich praktikabel in kooperative Arbeitsprozesse einfügt und jedem Lerner in seinen Bedürfnissen gerecht werden kann, muss in zukünftigen Evaluations- und Wirkungsstudien geprüft werden.

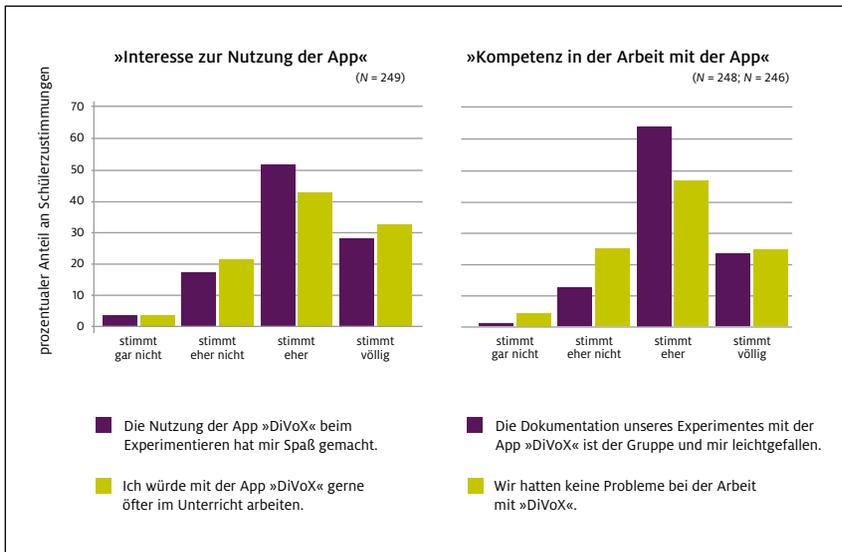
## EVALUATION ZUM EINSATZ ALS DIDAKTISCHES MEDIUM IN EXPERIMENTEN

Die (langfristige) Motivation und der Lernerfolg, die durch digitale Bildungsmedien erzielt werden können, hängen wesentlich von der Akzeptanz des Mediums und der Selbstlernfähigkeit ab (Kerres, 2003). In diesem Zusammenhang wird DiVoX im Rahmen einer systemisch angelegten Evaluationsstudie näher untersucht. Eingebettet in zwei FLOX-Experimentiermodule, wird DiVoX im Klasseneinsatz mit  $N = 256$  ( $\varphi = 63\%$ ) von Lernenden der Klassenstufen 8, 9 und 11 der Realschule (35%) und des Gymnasiums (65%) getestet und durch Angaben der Schülerinnen und Schüler vor und nach der Experimentaleinheit evaluiert.

Mittels Fragebogen werden neben der Rückmeldung zu Design und Funktionalität der App übergreifende Konstrukte wie Fach- und Sachinteresse zur Biologie (adaptiert nach Rakoczy, Buff & Lipowsky, 2005), zum Arbeiten mit der App, zur Selbstwirksamkeit beim Experimentieren, zu Vorerfahrung und Einstellungen zu digitalen Medien (adaptiert nach Schaumburg et al., 2007) sowie zur wahrgenommenen Kompetenz und Wahlfreiheit im Arbeiten mit der App (adaptiert nach Wilde et al., 2009) erhoben.

Die Einschätzungen der Schülerinnen und Schüler werden nach der Experimentaleinheit über jeweils drei Items zum »Interesse zur Nutzung der App« ( $\alpha = 0,89$ ) und zur »Wahrgenommenen Kompetenz in der Arbeit mit der App« ( $\alpha = 0,62$ ) auf einer 4-stufigen Likertskala erfasst. Das Interesse an der Nutzung der App sowohl in der durchgelaufenen Einheit als auch mit Blick auf den zukünftigen Unterricht ist bei den Lernenden mehrheitlich hoch ausgeprägt. Auch hinsichtlich der Kompetenz geben die Probanden vorwiegend an, generell und, bezogen auf die Dokumentation des Arbeitsprozesses (> 80%), wenig bis keine Probleme (> 70%) gehabt zu haben (vgl. auch die Ergebnisse im Beitrag von Becker, Klein, Gößling & Kuhn, S. 119).

Neben den Schülerinnen und Schülern, die die multimediale Lernumgebung für geeignet halten, zeigen die Befunde auch gegenteilige Meinungen bzw. Einschätzungen (siehe Abb. 3). Mehr als 20% der Probanden wünschen sich beispielsweise eher keinen weiteren Einsatz von DiVoX im Unterricht. Hierbei stellt sich die Frage, ob sich diese Einstellung auf die App als digitales Instrument selbst oder auf die damit umgesetzte Methodik des Experimen-



**Abb. 3:** Deskriptive Befunde zum Interesse und Kompetenzerleben mit der App

terens bezieht. Ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem auf die App bezogenen und dem experimentbezogenen Interesse (4 Items,  $\alpha = 0,77$ ) kann als erste Antwort darauf interpretiert werden ( $r = 0,70$ ,  $p < 0,001$ ). Schülerinnen und Schüler, denen das Experimentieren Spaß macht, die es gerne im Unterricht machen und die die in den FLOX-Modulen phänomengebundenen Experimente interessant fanden, empfinden ebenso die App interessanter. Auch hinsichtlich der wahrgenommenen Kompetenz in der Arbeit mit der App und dem Kompetenzerleben beim Experimentieren (6 Items,  $\alpha = 0,75$ ) kann ein positiver Zusammenhang empirisch bestätigt werden ( $r = 0,47$ ,  $p < 0,001$ ). Das Interesse an der App hängt zudem signifikant mit der Kompetenz zur Nutzung der App zusammen ( $r = 0,41$ ,  $p < 0,05$ ). Als ein weiterer einflussnehmender Faktor zeigt sich die Klassenstufe, da sich die an dem Projekt teilnehmenden Klassenstufen (8, 9 und 11) signifikant voneinander unterscheiden ( $F(1, 246) = 15,36$ ,  $p < 0,01$ ). Eine anschließende Post-hoc-Analyse zeigt, dass die Schülerinnen und Schüler der 8. und 9. Jahrgangsstufe die App interessanter finden

( $p < 0,05$ ) als die Oberstufenschülerinnen und -schüler. Jungen und Mädchen unterschieden sich in Bezug auf das Interesse an der App nicht signifikant voneinander. In der Kompetenz zur Nutzung der App wird jedoch deutlich, dass sich die Jungen ( $M = 3,12$ ,  $SE = 0,52$ ) signifikant kompetenter fühlen als die Mädchen ( $M = 2,95$ ,  $SE = 0,55$ ),  $t(194) = -2,43$ ,  $p < 0,05$ ,  $d = 0,32$ . Damit knüpfen die in dieser Evaluation zu einem digitalen Medium gewonnenen Ergebnisse an die Befunde der International Computer and Information Literacy Study (ICILS) im Bereich computer- und informationsbezogener Kompetenzen an. Obwohl sich Mädchen auf Kompetenzebene durch einen Leistungsvorsprung gegenüber den Jungs auszeichnen, schätzen diese ihre Leistung und Fähigkeiten eher niedriger ein (Eickelmann, Gerick & Bos, 2014). Inwieweit Leistungen der Schülerinnen und Schüler in der Durchführung von Experimentaleinheiten mit DiVoX mit dem Interesse und Kompetenzerleben zusammenhängen, bleibt für das vorliegende Projekt offen und ist in anschließenden Studien weiter zu klären. Auch muss überprüft werden, ob die Arbeit mit DiVoX über einen möglichen existenten Neuigkeitseffekt (Kerres, 2002) hinausgeht, d. h., ob auch eine mehrmalige Nutzung über einen längeren Lernprozess hinweg als interessant und lernmotivierend angesehen wird. Zentrale Aspekte multimedialer Systeme, wie Interaktivität und Adaptivität, die Ansatzmöglichkeiten zur intensiven Beschäftigung mit einem Thema geben und infolgedessen motivational wirksam sein können (Deimann, 2002), wurden in DiVoX auch mit Blick auf eine langfristig motivierende Implementierung in den Unterricht berücksichtigt.

Es wird sich in der Zukunft zeigen, ob digitale Medien einen Einfluss auf langfristige Experimentierkompetenzen besitzen. Entscheidend ist die konstruktive, zielorientierte Einbettung innerhalb von naturwissenschaftlichen Lehr-Lern-Arrangements und die möglichst volle Ausschöpfung der Leistungsfähigkeiten dieser neuen Technologien. Zur Unterstützung der praxisnahen Umsetzung sollten Konzepte und exemplarische Beispiele zum konkreten Einsatz entwickelt und das Spektrum an Möglichkeiten den Lehrerinnen und Lehrern verdeutlicht werden, um einen verantwortungsbewussten Umgang sowie sachgerechten Einsatz bei den Schülerinnen und Schülern zu fördern und ihnen naturwissenschaftliches Kompetenzerleben zu gewährleisten.

## LITERATUR

- Blömeke, S. (2003). Lehren und Lernen mit neuen Medien – Forschungsstand und Forschungsperspektiven. *Unterrichtswissenschaft*, 31(1), 57 – 82.
- Chandler, P. & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, 8, 293 – 332.
- Chandler, P. & Sweller, J. (1992). The split-attention effect as a factor in the design of instruction. *British Journal of Educational Psychology*, 62, 233 – 246.
- Chandler, P. & Sweller, J. (1996). Cognitive load while learning to use a computer program. *Applied Cognitive Psychology*, 10(2), 151 – 170.
- Clark, R. E. (1994). Media will never influence learning. *Educational Technology: Research & Development*, 42(2), 21 – 29.
- Deimann, M. (2002). Motivationale Bedingungen beim Lernen mit Neuen Medien. In W.-G. Bleek, D. Krause, H. Oberquelle & B. Pape (Hrsg.), *Medienunterstütztes Lernen – Beiträge von der WissPro-Wintertagung 2002*. wisspro.
- Diederich, A., Bruckermann, T., Schlüter, K. & Edelmann, H. G. (2015). Photosynthese Digital – Befunde zum Tableteinsatz in einem Photosynthese-Experiment. In A. Bresges, L. Mähler & A. Pallack (Hrsg.), *Herausforderung Schulalltag: Praxischeck Tablets & Co.* (MNU Themenspezial MINT, S. 81 – 90). Seeberger.
- Eickelmann, B., Gerick, J. & Bos, W. (2014). Die Studie ICILS 2013 im Überblick – Zentrale Ergebnisse und Entwicklungsperspektiven. In W. Bos, B. Eickelmann, J. Gerick, F. Goldhammer, H. Schaumburg, K. Schwippert, M. Senkbeil, R. Schulz-Zander & H. Wendt (Hrsg.), *ICILS 2013. Computer- und informationsbezogene Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern in der 8. Jahrgangsstufe im internationalen Vergleich* (S. 9 – 31). Münster: Waxmann.
- Hmelo-Silver, C. E., Duncan, R. G. & Chinn, C. A. (2007). Scaffolding and Achievement in Problem-Based and Inquiry Learning: A Response to Kirschner, Sweller, and Clark (2006). *Educational Psychologist*, 42(2), 99 – 107.
- Kalyuga, S. (2011). Cognitive Load Theory: How Many Types of Load Does It Really Need? *Educational Psychology Review*, 23(1), 1 – 19.
- Kerres, M. (2003). Wirkungen und Wirksamkeit neuer Medien in der Bildung. In R. K. Keill-Slawik, M. (Hrsg.), *Education Quality Forum. Wirkungen und Wirksamkeit neuer Medien*. Münster: Waxmann.
- Kerres, M. (2002). Bunter, besser, billiger? Zum Mehrwert digitaler Medien in der Bildung. *Informationstechnik und Technische Informatik*, 44(4), 187 – 192.
- Kerres, M. (2001). *Multimediale und telemediale Lernumgebungen*. München: Oldenbourg.
- Klebl, M. (2006). *Nachhaltiges Design digitaler Lernmedien*. Innsbruck: Studienverlag.
- Kuhn, J. & Vogt, P. (2014). Mobile Endgeräte als Experimentiermittel im naturwissenschaftlichen Unterricht. In J. Maxton-Küchenmeister & J. Meßinger-Koppelt (Hrsg.), *Digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht* (S. 46 – 62). Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag.

- Lühken, A., Weiß, S. & Wigger, N. (2014). Smartphones im Chemieunterricht. Recherchieren und Experimentieren mit Apps. *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule*, 63(4), 22–27.
- Mayer, R. E. (2003). *Learning and instruction*. Upper Saddle River, NJ / Columbus, OH: Merrill Prentice Hall.
- Mayer, R. E. (2005). Cognitive Theory of Multimedia Learning. In Mayer, R. E. (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (S. 31–48). Cambridge, U.K.: Cambridge University Press.
- Mayer, J. & Ziemek, H.-P. (2006). Offenes Experimentieren – Forschendes Lernen im Biologieunterricht. *Unterricht Biologie*, 30(317), 4–12.
- Meier, M. (2014). Wie lassen sich Experimentierfähigkeiten von Schülerinnen und Schülern diagnostizieren und beschreiben? In A. Fischer, C. Hößle, S. Jahnke-Klein, H. Kiper, M. Komorek, J. Michaelis, V. Niesel & J. Sjuts (Hrsg.), *Diagnostik für lernwirksamen Unterricht* (S. 127–143). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Meier, M. & Wulff, C. (2013). Experimentier-Werkstatt Biologie FLOX. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 66(8), 485–490.
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63(2), S. 81–97.
- Möller, R. (1999). Lernumgebung und selbstgesteuertes Lernen. In D. M. Meister & U. Sander (Hrsg.), *Multimedia. Chancen für die Schule* (S. 140–154). Neuwied: Luchterhand.
- Ostwinkel, C., Raufeisen, J. & Ortlieb, D. (2015). NaWi Lab – Die App für den forschend-entwickelnden Unterricht. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 68(6), 351–356.
- Paivio, A. (1986). *Mental representations: A Dual Coding Approach*. New York: Oxford University Press.
- Petko, D. (2014). *Einführung in die Mediendidaktik. Lehren und Lernen mit digitalen Medien*. Weinheim: Beltz.
- Rakoczy, K., Buff, A. & Lipowsky, F. (2005). Befragungsinstrumente. In E. Klieme, C. Pauli & K. Reusser (Hrsg.), *Dokumentation der Erhebungs- und Auswertungsinstrumente zur schweizerisch-deutschen Videostudie »Unterrichtsqualität, Lernverhalten und mathematisches Verständnis«, Teil 1* (Materialien zur Bildungsforschung, Bd. 13). Frankfurt am Main: Gesellschaft zur Förderung Pädagogischer Forschung GFPE, Deutsches Institut für Internationale Pädagogische Forschung DIPF.
- Schaumburg, H., Prasse, D., Tschackert, K. & Blömeke, S. (2007). *Lernen in Notebook-Klassen. Endbericht zur Evaluation des Projekts »1000mal1000: Notebooks im Schulranzen«*. Bonn: Schulen ans Netz e.V.
- Schulz-Zander, R. (2005). Veränderung der Lernkultur mit digitalen Medien im Unterricht. In H. Kleber (Hrsg.), *Perspektiven der Medienpädagogik in Wissenschaft und Bildungspraxis* (S. 125–140). München: kopaed.
- Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty and instructional design. *Learning and Instruction*, 4, 295–312.

- Sweller, J. (2005). Implications of Cognitive Load Theory for Multimedia Learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (S. 19–30). Cambridge, U.K.: Cambridge University Press.
- Sweller, J. (2010). Element Interactivity and Intrinsic, Extraneous, and Germane Cognitive Load. *Educational Psychology Review*, 22(2), 123–138.
- Tulodziecki, G. & Herzig, B. (2010). *Mediendidaktik: Medien in Lehr- und Lernprozessen verwenden* (Handbuch Medienpädagogik, Band 2). München: Kopaed-Verlag.
- Wilde M., Bätz K., Kovaleva A. & Urhahne, D. (2009). Überprüfung einer Kurzsкала intrinsischer Motivation (KIM). *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 15, 31–45.

## ÜBER DIE AUTORINNEN



---

Dr. **Monique Meier** ist wissenschaftliche Mitarbeiterin im Fachgebiet Didaktik der Biologie und Leiterin der Experimentier-Werkstatt Biologie (FLOX) an der Universität Kassel. Sie beendete ihr Studium für das Lehramt an beruflichen Schulen an der FU und TU Berlin mit dem ersten Staatsexamen und absolvierte nach ihrer Promotion an der Universität Kassel erfolgreich das Referendariat im Studienseminar Kassel. Ihre Forschungsinteressen liegen im Bereich von scientific inquiry, des Einsatzes digitaler Medien beim Experimentieren sowie der Förderung von Diagnosekompetenz zum Experimentieren.



---

**Marit Kastaun** hat an der Universität Kassel Biologie und Geschichte auf Lehramt an Gymnasien studiert. Seit 2017 ist sie wissenschaftliche Mitarbeiterin im Fachgebiet Didaktik der Biologie und promoviert im Bereich digital gestützter Lernumgebungen zum Experimentieren.

---

Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen – Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer (2017), J. Meßinger-Koppelt, S. Schanze & J. Groß (Hrsg.), Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag

# ENTSCHLEUNIGEN BIOLOGISCHER UND CHEMISCHER ABLÄUFE DURCH ZEITLUPENAUFNAHMEN

*Dagmar Hilfert-Rüppell & Bernhard F. Sieve*

Zeitlupenaufnahmen sind aus dem Alltag bekannt: Kein Fußballspiel und fast kein Werbespot kommen ohne die Wiedergabe von mit hoher Bildfrequenz aufgenommenen Sequenzen aus. Die digitale Technik bietet hier enorme Vorteile, denn sie ermöglicht die einfache Aufnahme und sofortige Wiedergabe. Allerdings findet sie bisher wenig Beachtung im Unterricht, obwohl technische Voraussetzungen dafür oft gegeben sind: Die aktuelle Basisstudie zum Medienumgang (JIM, 2016) zeigt, dass 97 % der 12- bis 19-jährigen ein eigenes Mobiltelefon besitzen, wobei davon wiederum 95 % Smartphones mit Touchscreen und Internetzugang sind. Smartphones sind in vielen Fällen fürs Zeitlupenfilmen ausgerüstet. Aber auch andere Aufnahmegeräte wie Digitalkameras, Camcorder oder Actioncams mit Zeitlupenfunktion sind einfach zu bedienen (Sieve, 2016). Der Vorteil beim Einsatz von Smartphones ist, dass die Schülerinnen und Schüler diese selbst besitzen und sich entsprechend in der Handhabung auskennen. Die Nachteile liegen zum einen in der geringen Bildrate – die meisten bringen es nur auf ca. 120 fps (frames per second), nur wenige auf 240 fps und mehr – und zum anderen in den Weitwinkelobjektiven, die Großaufnahmen nicht ermöglichen. Aktuelle Modelle von Actionkameras sind ebenfalls nur bedingt geeignet, da sie nur mit 240 fps aufnehmen und ebenfalls keine Teleobjektive haben. Digitalkameras mit Zeitlupenfunktion machen diese Nachteile wett, sind aber extra anzuschaffen und gut geeignete Modelle nicht ganz preiswert. Je nach Phänomen, das sichtbar gemacht werden soll, werden unterschiedlich hohe Bildraten benötigt, einen Überblick geben Hilfert-Rüppell (2011; 2013) für biologische Objekte und Sieve et al. (2015) für die Chemie.

## DER MEHRWERT DER ZEITLUPENTECHNIK

In den naturwissenschaftlichen Fächern bilden häufig Prozesse den Anlass für Lerngelegenheiten. Die schnellen Abläufe zu erfassen, stellt für Lernende zumeist eine Hürde dar. Hier liegen die Potenziale von Zeitlupenaufnahmen auf der Hand. Zusätzlich ist das Experiment ein zentrales Element des naturwissenschaftlichen Unterrichts. Nach Mayer (2007) findet Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlösen statt, wobei dem Bereich der Prozessvariablen die Kategorien »Wissenschaftliche Fragen aufwerfen«, »Hypothesen generieren«, »Untersuchungen planen« sowie »Schlussfolgerungen ziehen« zugeordnet werden können. In den hier vorgestellten Projekten hat die Zeitlupentechnik zugleich eine didaktische Funktion »Welche Phänomene können wir erfahrbar machen mit welchem Ziel?« und eine methodische Funktion »Wie können wir uns die Phänomene der Welt erfahrbar machen?«. Zum einen dient sie dazu, unsichtbare Phänomene sichtbar zu machen, zum anderen aber durch hypothesengeleitetes Experimentieren dem Anbahnen bzw. Vertiefen des Experimentierverständnisses und der Erkenntnisgewinnung. Dies können Zeitlupenfilme den Schülerinnen und Schülern durch das beliebig häufige Wiederabspielen und das analytische Auswerten und Vergleichen von verschiedenen Beispielen desselben Phänomens ermöglichen (Yuan et al., 2014). Dabei wird der Umgang mit den Kameras bzw. Handys und die Weiterverarbeitung der Daten mit digitalen Geräten selbst zum Lerninhalt und erweitert letztendlich die Medienkompetenz der Schülerinnen und Schüler. Die selbst von den Lernenden hergestellten Zeitlupenfilme können im Sinne der Sachfilmerschließung (Gutenberg, 2010) unter Nutzung weiterer digitaler Geräte wie interaktiver Whiteboards oder Notebooks und Tablets im Unterricht ausgewertet werden.

## TECHNIK DER ERSTELLUNG DIGITALER ZEITLUPENVIDEOS

In Zeitlupenfilmen werden alle Bewegungen verlangsamt dargestellt. Dadurch ergeben sich für die Aufnahme verschiedene Herausforderungen: Werden Experimente wie das des Flammensprungs, der Explosion eines Feuerwerkskörpers oder das Herausschleudern der Fangmaske einer Libellenlarve aufgenommen, bei denen der Ort des Vorgangs feststeht und die Schärfe vorher eingestellt werden kann, ist die Verwendung eines Stativs hilfreich (Tipps und Hinweise siehe Sieve, 2016). Beim Filmen von sich schnell bewegenden Objekten wie z. B. fliegenden Vögeln kann darauf verzichtet werden. Ein Problem stellen generell plötzliche, schwer vorhersehbare Ereignisse dar (z. B. der Sprung eines Frosches, Explosion eines wasserstoffgefüllten Ballons), da der Zeitpunkt des Auslösens der Kamera meist nicht passt. Hier bieten digitale Zeitlupenkameras mit Vorwegaufnahmefunktion (pre-record mode) eine enorme Hilfe. Nach Einstellen dieser Funktion filmt die Kamera ununterbrochen schon vor dem Auslösen der Aufnahme. Die Filmbilder laufen kontinuierlich in den Speicher hinein und wieder hinaus. Wird dann die Aufnahme ausgelöst, wird dieser Vorgang gestoppt und die schon vorher gemachten Aufnahmen gespeichert. So ist selbst nach verspätetem Auslösen durch die Schrecksekunde, wenn der Frosch plötzlich losgesprungen ist oder der Ballon platzt, die Szene festgehalten.

Eine weitere Herausforderung stellt die Belichtung dar. Herkömmliche Leuchtquellen mit Wechselspannung sind ungeeignet, da man in den Filmen die 50-Hz-Frequenz als Flackern sieht. LED-Lampen enthalten Gleichrichter, die die Wechselspannung in Gleichspannung umwandeln. Ein Flackern ist hierdurch nicht mehr störend.

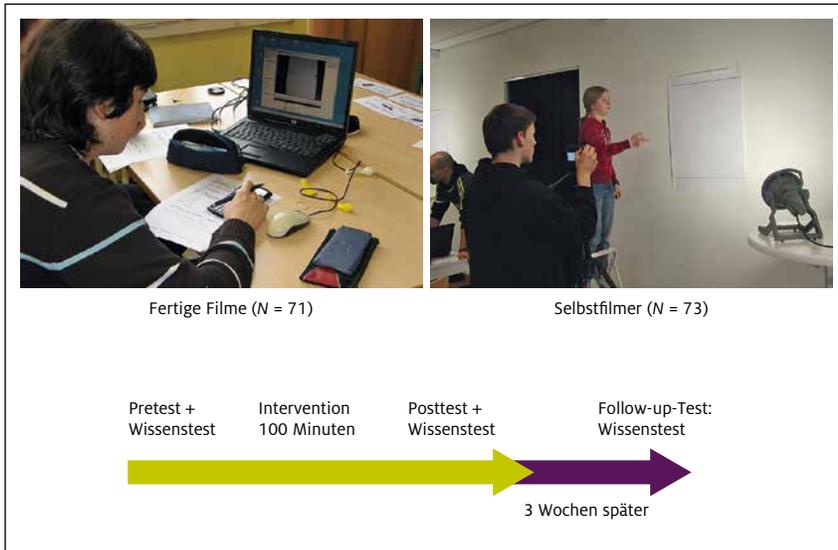
Die Analyse der Filmsequenzen erfolgt mit dem Quick Time Player oder dem VLC Media Player. Neben der genauen Beschreibung des Phänomens lassen sich mithilfe von Bild-für-Bild-Analysen z. B. Bewegungsabläufe erforschen. Frequenzen von Bein- oder Flügelbewegungen sind leicht aus der Bildanzahl und der jeweiligen Aufnahmefrequenz bzw. Geschwindigkeiten unter Ausmessen der zurückgelegten Strecke zu errechnen. Referenzmaßstäbe erhält man aus Maßen von Tieren oder Teilen davon aus der Literatur. Genauer kann gearbeitet werden, wenn man die Objekte selber vermisst oder Maßeinheiten mitfilmt (Hilfert-Rüppell, 2011).

## ZUR WIRKUNG VON ZEITLUPENFILMEN

Zeitlupenfilme sind in den naturwissenschaftlichen Fachdisziplinen bereits anerkannte Hilfsmittel, um Prozesse genauer zu untersuchen. Für den Unterricht in den naturwissenschaftlichen Fächern verspricht diese Art der Entschleunigung lernförderliche Potenziale auf verschiedenen Ebenen. In Braunschweig und Hannover wurden Schulprojekte durchgeführt und wissenschaftlich begleitet. Die Forschungsfokusse lagen dabei jeweils auf der Motivation und vor allem der Wirksamkeitsprüfung mit Blick auf die fallbezogene Lernleistung bzw. Konzeptentwicklung.

Naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen sollen im Kontext eines vertiefenden Verständnisses über den Prozess des Forschens einsichtig gemacht werden (Möller et al., 2011). Zu diesen zählen das systematische Beobachten, das Untersuchen, das Experimentieren sowie das Arbeiten an Modellen. Höttecke und Rieß (2015) kritisieren, dass Teile der jüngeren Lehr-Lern-Forschung beim Experimentieren den Fokus auf die Planbarkeit, Wiederholbarkeit und Variablenkontrollstrategien im Rahmen von Hypothesentests (z. B. Hammann et al., 2006; Rieß, 2012) legen, wobei der konkreten Durchführung unter Anwendung praktisch-manueller Fähigkeiten nur geringe Bedeutung zugestanden wird. Die hier vorgestellten Projekte in Schulen erfordern das eigene Experimentieren und Dokumentieren im Zeitlupenfilm sowie die Analyse der Filme. Forschendes Lernen stellt ein zentrales Bildungsziel zur Förderung der wissenschaftsmethodischen Kompetenzen sowohl in der Lehrerbildung als auch im naturwissenschaftlichen Unterricht in der Schule dar. Dabei wird das Vorgehen an das Prinzip des hypothetisch-deduktiven Erkenntnisprozesses angelehnt.

Im Folgenden werden Studien aus den Fächern Biologie bzw. Arbeit, Wirtschaft, Technik (Bionik) und Chemie vorgestellt. Der Einsatz der Zeitlupenkameras als digitale Werkzeuge ist das gemeinsame Merkmal der Forschungsprojekte. Während in den Studien von Hilfert-Rüppell die Schülerinnen und Schüler Phänomene sichtbar machen und anhand der Zeitlupenvideos wissenschaftliche Daten generieren (Zeitlupenfilmen und -analysieren), geht es in den Projekten von Sieve um die Beschreibung von Phänomenen und die dabei verwendete Argumentationsstruktur, um die Wirksamkeit von Zeitlupenfilmen für die Erklärung chemischer Phänomene zu prüfen.



**Abb. 1:** Forschungsdesign im Projekt »Zeitlupen filmen und -analysieren«

In einer in Braunschweig durchgeführten Untersuchung filmte und analysierte die Hälfte der Schülerinnen und Schüler ( $N = 144$ ) fallende Ahornsamen in einem hypothesengeleiteten Experiment, die andere Hälfte analysierte bereits fertige Filme des gleichen Inhalts mit Computern. Der Wissenstest (durchgeführt im pre-post Design, Abb. 1) zeigte in beiden Gruppen eine Progression an. Die Schülerinnen und Schüler, die selbst gefilmt hatten (Selbstfilmer), erreichten im Mittel eine höhere Punktzahl im Follow-up-Test (derselbe Wissenstest drei Wochen nach der Intervention) als die Schülerinnen und Schüler, die die fertigen Filme angesehen hatten (im Mittel 3 % mehr Punkte) (Hilfert-Rüppell et al., 2012).

In einem primär qualitativen Forschungszugang zeigten sich in einer Untersuchung aus Hannover vergleichbare Ergebnisse. Dort wurden in vier Klassen ( $N = 98$ ) aus zwei Jahrgängen des Chemie-Anfangsunterrichts Vermittlungsexperimente in Zweiergruppen durchgeführt (Abb. 3). In allen Klassen wurde eine eigens entwickelte sechsstündige Unterrichtseinheit zur Einfüh-

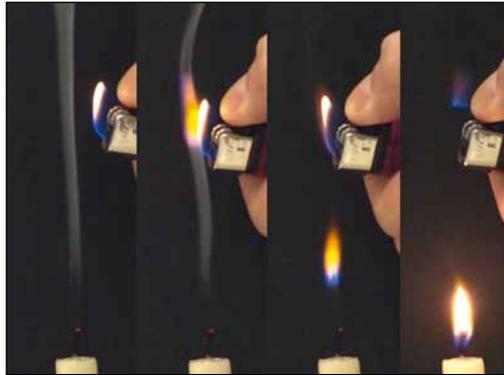


Abb. 2: Einzelbilder zum »Flammensprung«

rung in das Verbrennungskonzept durchgeführt und mit einem Wissenstest abgeschlossen. Dieser diente zur Prüfung der Vergleichbarkeit der Klassen. Das eigentliche Vermittlungsexperiment gestaltete sich in den A-Klassen wie folgt: Die Lernenden führten das Experiment zum »Flammensprung« (Entzünden der Rauchfahne einer erloschenen Kerzenflamme, Abb. 2) in Zweiergruppen durch und werteten es durch lautes Denken aus. Die Äußerungen der Lernenden wurden videografiert, weitere Artefakte lagen in Form von Zeichnungen der Lernenden vor. Im Anschluss an die Auswertung betrachteten die Lernenden ein Zeitlupenvideo vom o. g. Experiment, in dem der Vorgang mit etwa 20-facher Verlangsamung präsentiert wurde. Die Auswertung wurde wie bereits zuvor videografiert und durch erklärende Zeichnungen ergänzt. Das Vermittlungsexperiment wurde in den B-Klassen vergleichbar durchgeführt, mit dem Unterschied, dass zwischen dem Realexperiment und dem Zeitlupenvideo noch die Auswertung eines Videos erfolgte, das den »Flammensprung« in normaler Geschwindigkeit zeigte. So konnte der Einfluss von Zeitlupenvideos von denen in Normalgeschwindigkeit differenziert werden.

Der überwiegende Teil der Lernenden aller Gruppen beschreibt nach dem Realexperiment einen »Sprung« der Flamme auf den Docht (88 %). Erklärende Ansätze z. B. durch die Nennung des Brennstoffes fehlen komplett (Abb. 4). Nach der Betrachtung des Videos zum Versuch in Realzeit bleiben die Lernen-

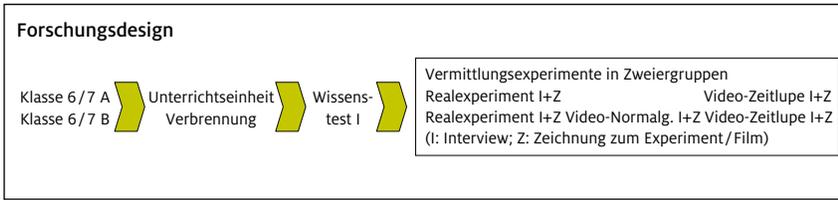


Abb. 3: Forschungsdesign zum Versuch »Flammensprung«

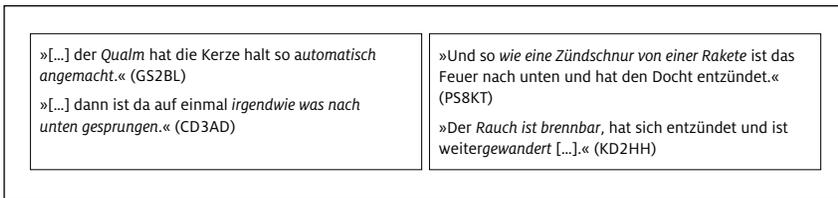


Abb. 4: Beispielhafte Äußerungen von Lernenden (links: Video Normalgeschwindigkeit; rechts: Zeitlupenvideo)

den bei der Beschreibung, diese ist vereinzelt differenzierter, was vermutlich auf die erneute Betrachtung des Phänomens zurückzuführen ist. Die Auswertung des digitalen Zeitlupenvideos zum Experiment liefert einen höheren Anteil an Erklärungsversuchen. Etwa die Hälfte der A-Gruppen (42 %) formuliert Analogien, die das »Wandern« der Flamme zeigen, mehr als ein Drittel gibt die Brennbarkeit des Wachsdampfes als Begründung an. Es zeigt sich, dass das Zeitlupenvideo über die zusätzlichen Beobachtungen an das Verbrennungskonzept anschlussfähigere Begründungen ermöglicht, wodurch die Wirksamkeit dieses digitalen Mediums für die Auswertung des Experiments »Flammensprung« für diese Lerngruppen bestätigt werden konnte.

Die differenzierte Analyse der Argumentationsstrukturen der Lernenden beider Gruppen offenbart hierbei, dass das Zeitlupenvideo die Lernenden animiert, prozessorientiert zu denken und die Dynamik zu erfassen (Caspari et al., 2017). Dabei bleiben die Lernenden jedoch noch auf einer eher deskriptiven und weniger kausalen Ebene (Wenn-Dann-Beziehung). Um diesen

Denkschritt zu unterstützen, haben sich in den untersuchten Lerngruppen Legespiele mit expliziten Wenn-Dann-Formulierungen bewährt. Erst dadurch konnte ein größerer Teil der Lernenden von der deskriptiv-statischen Auswertung des Versuchs zum Flammensprung den Schritt zu einer kausal-dynamischen Argumentation gehen.

In beiden Untersuchungen wurden unabhängig voneinander und mit unterschiedlichen Instrumentarien auch die Faktoren Motivation und die Einschätzung zur Bedeutung der Filmerstellung erhoben. Die Lernenden bewerten die Erstellung der Zeitlupenvideos generell als positiv und motivierend und sahen darin Vorzüge gegenüber dem reinen Betrachten der Filme. Voraussetzungen für erfahrungs- und handlungsorientiertes Lernen nach der Selbstbestimmungstheorie von Deci und Ryan (1993) sind, dass die Lernenden sich eigene Ziele setzen können, den Lernprozess selbstständig planen, steuern und evaluieren können und sich dabei als selbstbestimmt erleben. Die Motivation der Schülerinnen und Schüler im Biologieprojekt wurde daher mit einer Adaptation der Short Scale Intrinsic Motivation (Wilde et al., 2009), einer zeitökonomischen Version des »Intrinsic Motivation Inventory« von Deci und Ryan (1993) erhoben. Um den multiplen Zusammenhangskomplex zwischen den unabhängigen Variablen (Geschlecht, Lieblingsfach, Note im Fach Biologie, Selbsteinschätzung der Kenntnisse und Leistungen im Fach Biologie, Interesse am Fach Biologie, Alter, Klasse, Gruppe: Selbstfilmer oder fertige Filme) und den abhängigen Variablen der Fragen zur Motivation zu prüfen, wurde eine Kanonische Korrespondenzanalyse (CCA) durchgeführt (ausführlichere Darstellung siehe Hilfert-Rüppell et al., 2012). Im Variablenplot wird die Gruppierung der abhängigen Variablen aus »Druck, Anspannung, Interesse und Gelingen« gebildet. Demgegenüber bildet sich eine andere Gruppe aus »Spaß beim Betrachten der Filme, Spaß beim Auswerten der Filme, eigenverantwortliches Vorgehen, selbstständige Auswertung, Geschicklichkeit bei der Auswertung sowie Zufriedenheit mit der eigenen Leistung«. In dieser zweiten Gruppe wurden in der CCA diejenigen Lernenden eingeordnet, die selbst Zeitlupenfilme herstellen konnten. Es zeigte sich, dass solche Schülerinnen und Schüler, die selbst gefilmt hatten, signifikant mehr Spaß beim Ansehen, jedoch weniger beim Auswerten der Filmabschnitte hatten. Auch das eigenverantwortliche Vorgehen erlebten sie signifikant positiver als die Schülerinnen und Schüler, die nur die fertigen Zeitlupenfilme analysierten.

Das Medieninteresse hatte keinen Einfluss auf die Ergebnisse. Die eigene, engagierte Aktivität bewirkt eine höhere Lernqualität und fördert zugleich die Entwicklung des individuellen Selbst (Deci & Ryan, 1993). Auf die Frage, wie den Schülerinnen und Schülern das eigene Filmen mit der Kamera gefallen habe, antworteten diese signifikant positiver als diejenigen auf die entsprechende Frage, wie ihnen die Arbeit mit den fertigen Zeitlupenfilmen gefallen habe. Dies spricht dafür, dass die hier durchgeführten Lerngelegenheiten, die die Autonomiebestrebungen des Lerners unterstützen und die Erfahrung individueller Kompetenz ermöglichen, die Entwicklung einer auf Selbstbestimmung beruhenden Motivation fördern. Beim Experimentieren scheint neben dem Sachinteresse auch die Herausforderung, das Experiment erfolgreich durchzuführen, ein wichtiger Motivationsfaktor zu sein, was Mézes und Erb (2011) für den Physikunterricht zeigen konnten. Ein großes Maß an Selbstbestimmtheit beim Experimentieren unter Einsatz von Zeitlupenkameras auf der einen Seite und auf der anderen Seite dem Druck bzw. der Befürchtung zu versagen, wurden in einem weiteren Projekt in drei Jahren an 36 Schülerinnen und Schülern im Alter zwischen 17 und 20 Jahren einer niedersächsischen IGS<sup>1</sup> untersucht. Diese bearbeiteten in ihren Seminararbeiten Themen zur Bionik in hypothesengeleiteten Experimenten, die ein längerfristiges eigenständiges wissenschaftliches Arbeiten erforderten (Abb. 5, Abb. 6).

---

1 Das Projekt wurde an einer Integrierten Gesamtschule (IGS) in Niedersachsen im Rahmen der Seminararbeit im Fach Arbeit, Wirtschaft, Technik in Kooperation mit dem Institut für Fachdidaktik der Naturwissenschaften der Technischen Universität Braunschweig durchgeführt. Dank gilt den Kooperationspartnern Dagmar Hinrichs und Dieter König.

Termin	Maßnahme
Anfang November	Vorbereitungstreffen Kooperationspartner Schule / Universität
November	Erarbeitung von bionischen Fragestellungen / Experimenten durch die Studierenden
November / Dezember	Erarbeiten des Erwartungshorizontes mit Studierenden
November – Februar	Erarbeitung der Versuchsaufbauten durch die Studierenden
Anfang Februar	Vorstellung der Themen und Hinweise zu den Versuchsaufbauten bei den Schülerinnen und Schülern durch die Studierenden
Februar – April	Recherche, Erarbeitung der Experimente durch die Schülerinnen und Schüler
Mai	Herstellung von Zeitlupenfilmen durch die Schülerinnen und Schüler, Verfassen der Seminararbeit nach den Kriterien einer wissenschaftlichen Forschungsarbeit
Juni	Abgabe der Seminararbeit
Mitte Juli	Evaluation des Kooperationsprojektes mittels Fragebögen

**Abb. 5:** Ablauf des Kooperationsprojektes »Seminararbeit zu bionischen Themen mit der Zeitlupenkamera erforscht«

▪ Kräfte am Vogelflügel	▶ Flugzeuge, Lüftermotoren
▪ Haftungsvermögen von Insektenfüßen	▶ Reifenoberflächen, Roboter
▪ Sprungkraft der Pomelofrucht	▶ Fahrrad-, Motorradhelme; Schutzhüllen Handys
▪ Stabilität von Spinnenseide	▶ Medizinischer Bereich, Nerven
▪ Abnutzung von Nagerzähnen	▶ Selbstschärfende Klingen

**Abb. 6:** Themen der Schülerforschungsprojekte im Rahmen ihrer Seminararbeit zur Bionik

In einer anschließenden anonymen schriftlichen Befragung gaben 83,7% der Schülerinnen und Schüler an, Zeitlupenfilme hätten das Thema ihrer Seminararbeit verständlicher gemacht, und 81 % waren der Meinung, dass sie ziemlich viel bzw. viel durch das Erarbeiten der Experimente gelernt hätten. Zwar fanden 86,5 % der Schülerinnen und Schüler das Erarbeiten der Experimente spannend und 83,9 % die Datenaufnahme mit der Kamera interessant, jedoch fühlte sich knapp ein Drittel dabei angespannt, und 58,3 % hatten Bedenken, ob ihnen die Datenaufnahme gut gelänge (Abb. 7).

	Spaß	Interesse	Anspannung	Gelingen
	»Die Datenaufnahme im Experiment hat mir Spaß gemacht.«	»Ich fand die Datenaufnahme im Experiment vollkommen uninteressant.«	»Bei der Datenaufnahme im Experiment fühlte ich mich angespannt.«	»Ich hatte Bedenken, ob mir die Datenaufnahme im Experiment gut gelingt.«
trifft gar nicht zu	0	66,7 (24)	35,1 (13)	16,7 (6)
trifft wenig zu	8,3 (3)	17,4 (7)	24,3 (9)	19,4 (7)
trifft ziemlich zu	30,6 (11)	2,8 (1)	30,6 (11)	38,9 (14)
trifft völlig zu	44,4 (16)	11,1 (4)	2,8 (1)	19,4 (7)
weiß nicht	16,7 (6)	0	5,6 (2)	5,6 (2)

**Abb. 7:** Antwortverteilung der Schülerinnen und Schüler in einem anonymen Fragebogen nach Abschluss der Seminararbeit zur Datenaufnahme im Experiment (in Prozent, absolute Anzahlen in Klammern;  $N = 36$ )

In ihrer Untersuchung fanden Gröger und Schmitz (2011) in Einschätzungen von Schülerinnen und Schülern über eigenständiges Experimentieren heraus, dass die Lernenden mit der experimentellen Methode im naturwissenschaftlichen Unterricht wenig vertraut gemacht werden und 13% der Befragten

Schwierigkeiten hatten, aus Experimenten Informationen zu gewinnen. Die Schülerinnen und Schüler forderten wie auch in der hier beschriebenen Untersuchung, dass das eigenständige Experimentieren häufiger durchgeführt werden solle. Dafür bietet die Zeitlupentechnik bei entsprechender Themenwahl einen guten Ansatz.

## FAZIT

Mithilfe von Zeitlupenfilmen können Schülerinnen und Schüler für das menschliche Auge nicht erfassbare Phänomene sichtbar und damit erfahrbar machen, beliebig oft ansehen und dabei differenziert analysieren. Die hier angeführten Ergebnisse zeigen einen Mehrwert dieses Mediums für die differenzierte Beschreibung und Erfassung von Prozessen und können damit die sachgerechte Entwicklung zentraler biologischer und chemischer Konzepte fördern. Die Zeitlupenkameras bzw. die damit erstellten Filme dienen dabei als digitale Werkzeuge, die die Schülerinnen und Schüler zum fachlichen Lernen nachhaltig nutzen. Durch Einbettung dieses Werkzeugs in eine forschende Erkenntnislogik können darüber hinaus die Kompetenzen der Lernenden im Bereich der Prüfung von Hypothesen gefördert werden (deduktive Vorhersageprüfung). In der Praxis hat sich gezeigt, dass das Erstellen von Zeitlupenfilmen für die Lernenden motivierend ist und zudem die Beobachtungsgabe zu schulen vermag.

Die Zeitlupenkameras bzw. die damit erstellten Filme dienen als digitale Werkzeuge, die die Schülerinnen und Schüler zum fachlichen Lernen nachhaltig nutzen.

## LITERATUR

- Caspari, I., Graulich, N., Lieber, L. & Rummel, L. (2017): »Die Flamme geht da runter«. Prozessbeschreibungen von Lernenden analysieren. *Naturwissenschaften im Unterricht-Chemie*, 160, 19 – 24.
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (1993). Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. *Zeitschrift für Pädagogik*, 39, 223 – 238.

- Gröger, M. & Schmitz, J. (2011). Was Schüler über Experimente in Facharbeiten denken. *Praxis der Naturwissenschaften, Chemie in der Schule*, 60(7), 33–35.
- Gutenberg, U. (2010). Sachfilmerschließung. Sachfilme mithilfe digitaler Werkzeuge analysieren. *Computer & Unterricht*, 79, 24–27.
- Hammann, M., Phan, T. T. H., Ehmer, M. & Bayrhuber, H. (2006). Fehlerfrei Experimentieren. *MNU*, 59(5), 292–299.
- Hilfert-Rüppell, D. (2011). Unsichtbares sichtbar machen durch Zeitlupenfilm – Herstellung und Analyse als neue Aufgabe in der Schule. *Praxis der Naturwissenschaften, Biologie in der Schule*, 60(2), 37–42.
- Hilfert-Rüppell, D., Hinrichs D. & Looß, M. (2012). Zeitlupenfilmen und -analysieren als neue Methoden im naturwissenschaftlichen Unterricht – eine empirische Studie. In U. Harms & F. X. Bogner (Hrsg.), *Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik* (Band 5, S. 203–216). Innsbruck, Wien, Bozen: StudienVerlag.
- Hilfert-Rüppell, D. (2013). Zeitlupenfilme. Bioskop SI – Arbeitshefte. Braunschweig: Westermann Schulbuch Verlag.
- Höttecke, D. & Rieß, F. (2015). Naturwissenschaftliches Experimentieren im Lichte der jüngeren Wissenschaftsforschung – Auf der Suche nach einem authentischen Experimentbegriff der Fachdidaktik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 21(1), 127–139.
- JIM. (2016). Jugend, Information, (Multi-)Media. Basisstudie zum Medienumgang 12- bis 19-Jähriger in Deutschland. Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest (Hrsg.). Verfügbar unter [https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/JIM/2016/JIM\\_Studie\\_2016.pdf](https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/JIM/2016/JIM_Studie_2016.pdf) [23.03.2017]
- Mayer, J. (2007). Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlösen. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung*. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- Mézes, C. & Erb, R. (2011). Zur Motivation beim naturwissenschaftlichen Computerunterstützten Experimentieren. Frühjahrstagung Didaktik der Physik, Münster. Verfügbar unter <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/viewFile/241/297> [22.03.2017]
- Möller, K., Kleickmann, T., & Sodian, B. (2011). Naturwissenschaftlich-technischer Lernbereich. In W. Einsiedler, M. Götz, A. Hartinger, F. Heinzel, J. Kahlert & U. Sandfuchs (Hrsg.), *Handbuch Grundschulpädagogik und Grundschuldidaktik*. 3. Aufl. (S. 509–517). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Rieß, W. (2012). Ein (fachdidaktisches) Rahmenmodell zum Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht. In W. Rieß, M. Wirtz, B. Barzel & A. Schulz (Hrsg.), *Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht. Schüler lernen wissenschaftlich denken* (153–164). Münster: Waxmann.
- Sieve, B. F. (2016). Mit Zeitlupenaufnahmen chemischen Phänomenen auf die Spur kommen. *Chemie & Schule*, (31)4, 5–9.
- Sieve, B. F., Struckmeier, S., Taubert, C. & Netrobenko, C. (2015). Unsichtbares sichtbar machen – Chemische Phänomene anhand von Zeitlupenaufnahmen verstehen. *Naturwissenschaften im Unterricht – Chemie*, 145, 23–27.

- Wilde, M., Bätz, K., Kovaleva, A. & Urhahne, D. (2009). Überprüfung einer Kurzskala intrinsischer Motivation (KIM). *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 15, 31–45.
- Yuan, M., Kim, N. J., Drake, J., Smith, S. & Lee, V. R. (2014). Examining How Students Make Sense of Slow-Motion Video. *ITLS Faculty Publications*. Paper 489. Verfügbar unter [http://digitalcommons.usu.edu/itls\\_facpub/489](http://digitalcommons.usu.edu/itls_facpub/489) [23.03.2017]

## ÜBER DIE AUTOREN



---

**Dagmar Hilfert-Rüppell** absolvierte ihr Biologiestudium, welches sie mit der Promotion abschloss. Zunächst war sie freiberuflich tätig, stellte wissenschaftliche Filme für das Institut für den wissenschaftlichen Film in Göttingen und Naturfilme für das Fernsehen her, die zahlreiche Preise erhielten. Derzeit ist sie wissenschaftliche Mitarbeiterin im Institut für Fachdidaktik der Naturwissenschaften an der Technischen Universität Braunschweig, Mitglied im Arbeitskreis digitaler Medien im Biologieunterricht und führt regelmäßig Lehrerfortbildungen zum Einsatz digitaler Medien im Biologieunterricht durch.



---

**Bernhard F. Sieve** ist seit 1994 Gymnasiallehrer für Chemie und Biologie und war von 2010 bis 2017 als wissenschaftlicher Mitarbeiter an das Institut für Didaktik der Naturwissenschaften an der Leibniz Universität Hannover abgeordnet. Aktuell ist er mitwirkender Fachleiter für Chemie am Studiensseminar Hannover I und führt zusätzlich regelmäßig Lehrerfortbildungen zum Einsatz digitaler Medien im Chemie- und Biologieunterricht durch. Seine Forschungsschwerpunkte sind die Implementation und Wirksamkeitsprüfung digitaler Werkzeuge im naturwissenschaftlichen Unterricht.

---

Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen – Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer (2017), J. Meßinger-Koppelt, S. Schanze & J. Groß (Hrsg.), Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag

# INFRAROTKAMERAS ZUR ERWEITERUNG DER SINNESWAHRNEHMUNG SEHEN

*Larissa Greinert & Susanne Weißnigk*

Digitale Medien wie Tablets oder Smartphones sind aus dem alltäglichen Leben nicht mehr wegzudenken – sie sind fester Bestandteil unserer Lebenswelt. Sie gestalten Abläufe wie Synchronisationsvorgänge von Daten effizienter, sie erleichtern und strukturieren Informationsbeschaffung und -verarbeitung, und nicht zuletzt eröffnen sie eine andere Art der Kommunikation (Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V. BITKOM, 2014). Doch nicht nur unsere Alltagswelt hat sich verändert: Digitale Medien werden als Lehr-Lern-Werkzeuge vermehrt im Unterricht eingesetzt (vgl. Beitrag [Kuhn, Ropohl & Groß](#), S. 11) – die Digitalisierung an den Schulen hat in den letzten Jahren spürbar zugenommen (BITKOM, 2015; vgl. auch Beitrag [Becker & Nerdel](#), S. 36). Dies umfasst computerbasierte Anwendungen zur Unterstützung des Lernens wie beispielsweise webbasierte Anwendungen oder E-Books (Krajcik, Blumenfeld, Marx & Soloway, 2000). Obwohl Lehrkräfte sowie Schüler und Schülerinnen deutliche Vorteile in der Nutzung digitaler Werkzeuge im Unterricht sehen, werden die Potenziale digitaler Lehr-Lern-Mittel nicht zufriedenstellend ausgeschöpft (BITKOM, 2015). Dies betrifft die Möglichkeiten des Mediums selbst, aber auch die gestaltungsorientierte Mediendidaktik. Der Einsatz von digitalen Lehr-Lern-Medien führt aber nicht per se zu einer Verbesserung des Lernerfolgs (Kerres, 2003). Beispielsweise führt der Einsatz digitaler Schulbücher auf Tablets nicht unweigerlich zu einem Nutzen der zahlreichen Möglichkeiten wie der dynamischen Gestaltung von Lernprozessen (Meier et al., 2016).

Für das Erreichen von Lernwirksamkeit ist eine Abstimmung der Technologien auf den Lehr-Lern-Prozess sowie eine fach- und mediendidaktische Aufbereitung notwendig (Kerres, 2003; Mayer, 2014). Es kann nicht von einer Lernwirksamkeit eines Mediums selbst ausgegangen werden (Clark, 1994). Dagegen kann ein geeigneter Einsatz von digitalen Werkzeugen unter Berücksichtigung relevanter Kontexte zu einer Unterstützung in der Verständnis-

entwicklung eines Konzepts führen (für das Energiekonzept siehe Krajcik & Mun, 2014). Insgesamt gesehen scheint es notwendig, medial gestützte didaktische Konzepte unter fach- und mediendidaktischer Aufbereitung in einem entsprechenden Kontext auszuarbeiten, um eine Steigerung des Lernerfolgs erzielen zu können (Kerres, 2003).

In den naturwissenschaftlichen Fächern werden digitale Lehr-Lern-Medien z. B. zur Verdeutlichung von Mechanismen eingesetzt, die komplexen Phänomenen zugrunde liegen (Edelson & Reiser, 2006, Linn & Eylon, 2011). Im Zusammenhang mit dem Energiekonzept ist es daher interessant, Wärmetransfervorgänge mithilfe von Infrarotkameras sichtbar zu machen, um einen Einblick in diesen meist unsichtbaren Vorgang geben zu können. In diesem Beitrag wird die Infrarotkamera als digitales Messinstrument mit ihren Einsatzbereichen, Möglichkeiten und Grenzen vorgestellt sowie ausgewählte fach- und mediendidaktische Möglichkeiten für ihren Einsatz im Physikunterricht beschrieben.

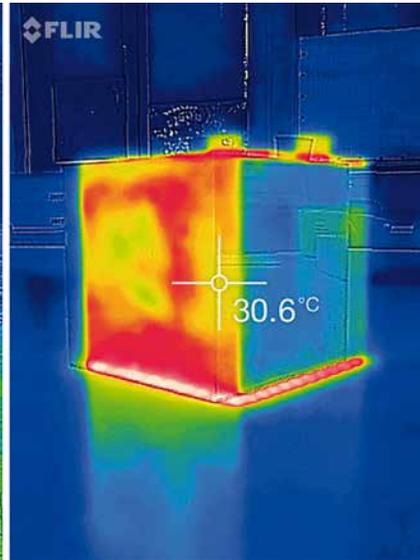
## DIE INFRAROTKAMERA ALS DIGITALES MESSINSTRUMENT

Jeder Körper, dessen Temperatur größer als 0 K ist, sendet elektromagnetische Strahlung im Infrarotwellenlängenbereich aus. Diese Wärmestrahlung oder auch thermische Strahlung wird von Infrarotkameras detektiert und in eine zweidimensionale, digitale, visuelle Darstellung der Oberflächentemperatur übersetzt (Vollmer & Möllmann, 2010). Dabei werden Bereiche und Objekte unterschiedlicher Temperaturen farblich skaliert. Die Änderung der Oberflächentemperaturverteilung während eines Prozesses wird nahezu simultan auf dem Bildschirm der Kamera dargestellt. Ein klassischer Farbcode stellt die höchste Oberflächentemperatur im betrachteten Bereich als weiß bzw. rot und die niedrigste Temperatur als dunkelblau dar. Aus Abbildung 1 kann entnommen werden, dass die rot dargestellte Motorhaube des Autos gegenüber den umgebenden Fahrzeugteilen eine erhöhte Temperatur hat. Die größte Temperatur im Untersuchungsbereich hat der Kühler des Autos (hier weiß).

Neben der Temperatur eines Körpers hat der Emissionsgrad des betrachteten Objekts Einfluss auf die ausgesendete Wärmestrahlung. Dieser hängt



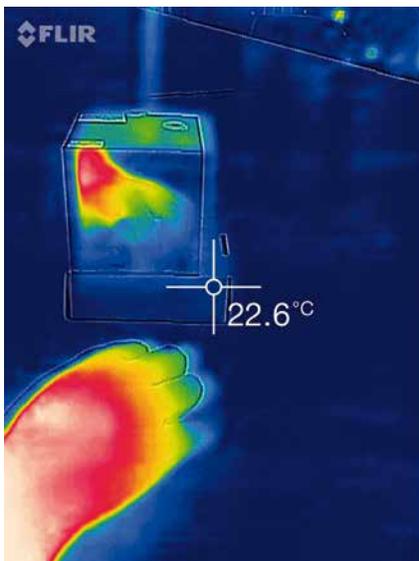
**Abb. 1:** Aufnahme eines Autos mit der Infrarotkamera (Nummernschild geschwärzt)



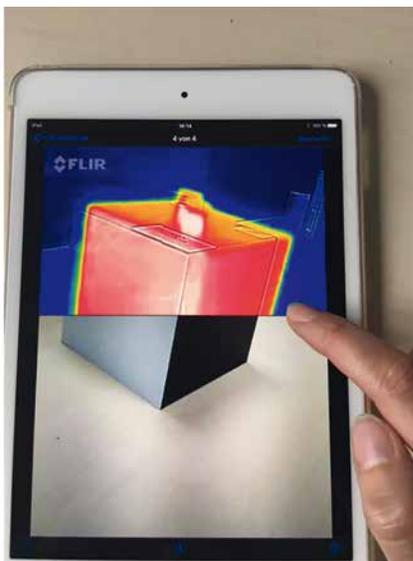
**Abb. 2:** Infrarotbild eines Leslie-Würfels aus Aluminium (polierte und unbehandelte Fläche)

sowohl von der Oberfläche als auch dem Material des Körpers ab (Karstädt, Möllmann, Pinno & Vollmer, 1998). Ein Objekt, das die Materialabhängigkeit der Strahlung verdeutlicht, ist der Leslie-Würfel. Ein Leslie-Würfel ist ein Aluminiumhohlwürfel, dessen vier Seiten der Mantelfläche sich in ihrer Oberflächenstruktur unterscheiden: eine schwarz lackierte, eine weiß lackierte, eine polierte und eine unbehandelte Fläche. Der Würfel wird mit heißem Wasser befüllt und nach Einstellung des Temperaturgleichgewichts von Wasser und Seitenflächen durch die Infrarotkamera betrachtet. Alle Flächen des Würfels haben die gleiche Temperatur, die Infrarotkamera stellt jedoch scheinbare Unterschiede in der Temperatur fest (Abb. 2). Die metallische, auf Hochglanz polierte Fläche emittiert am wenigsten Strahlung, während die schwarze Fläche am meisten Strahlung aussendet (Möllmann & Vollmer, 2007).

Ein weiterer wichtiger Aspekt sind thermische Reflexionen, bei denen der Einfluss wärmerer Körper auf ein benachbartes Messobjekt niedrigerer Temperatur zu beobachten ist. Hält man zum Beispiel eine Hand in die Nähe einer



**Abb. 3:** Infrarotbild einer thermischen Reflexion einer Hand, an der unbehandelten Fläche des Würfels



**Abb. 4:** Überlagerung des digitalen Bildes und des Infrarotbildes, aufgenommen mit der Flir One Kamera bei Unterschreitung des Mindestabstands

reflektierenden Oberfläche und betrachtet dies durch eine Infrarotkamera, so sieht man die Hand auf dem Infrarotbild ebenfalls auf der Oberfläche (Abb. 3).

Dieser Effekt ist auch bei Objekten zu beobachten, deren Spiegelungseigenschaften im sichtbaren Spektralbereich nicht ausgeprägt sind, zum Beispiel die raue Metalloberfläche des Leslie-Würfels. Das Aufnehmen eines Infrarotbilds von Objekten mit spiegelnden Oberflächen wie Glas und Metall ist daher insbesondere mit Schwierigkeiten verbunden, da zum einen die Reflexion minimiert und zum anderen der Emissionsgrad berücksichtigt werden muss (Karstädt et al., 1998).

Zusätzlich zu den genannten Schwierigkeiten beeinflussen die thermische und die geometrische Auflösung des Detektors einer Infrarotkamera das Ergebnis der Messung. Unter der thermischen Auflösung versteht man den kleinsten Temperaturunterschied, den die Kamera erfassen kann. Die geometrische Auflösung entscheidet über die Auflösung des Bilds. Bei einer hohen

geometrischen Auflösung können kleinere Bereiche innerhalb eines großen Untersuchungsbereichs auch aus größerer Entfernung identifiziert werden, wie beispielsweise dünne Drähte.

Neben den hochqualitativen Infrarotkameras im oberen Preissegment sind seit einigen Jahren auch Kameras erhältlich, die in Verbindung mit einem Smartphone oder Tablet verwendet werden. Diese Kameras sind gegenüber den Profigeräten deutlich preisgünstiger und liegen im Bereich zwischen ca. 300 € bis 600 €. Beispielhaft zu nennen sind hier die Produkte der Hersteller Flir und Seek, die eine thermische Auflösung ab 70 mK erreichen. Der Messbereich der Seek CompactPro Kamera liegt bei max.  $-40\text{ °C}$  bis  $330\text{ °C}$  mit einer thermischen Auflösung von weniger als 70 mK (Seek thermal, 2017). Die Kamera Flir One hat gegenüber der Seek-Kamera eine etwas geringere thermische Auflösung von 100 mK und einen kleineren Messbereich von  $-20\text{ °C}$  bis  $120\text{ °C}$ . Sie ist zusätzlich zum Infrarotdetektor mit einem weiteren Sensor ausgestattet, der »sichtbare« Strahlung registriert. Hier werden per MSX-Technik über das Infrarotbild visuelle Details wie der Umriss von Gegenständen gelegt, die das Erkennen von Objekten erleichtert (MSX: Multi Spectral Dynamic Imaging; FLIR Systems, 2017; vgl. dazu Abb. 4, Leslie-Würfel). Zugleich birgt dieses Verfahren aber die Besonderheit, dass es bei der Unterschreitung des empfohlenen Mindestabstands von ca. 1 m zu einer Verschiebung der Überlagerung des Digitalkamerabildes und des Infrarotbildes kommt. Die temperaturerhöhten Bereiche werden dann versetzt zu den Umrissen der Objekte dargestellt (vgl. Abb. 4). Ursache dieses Darstellungsfehlers sind die unterschiedlich positionierten Detektoren der Flir One.

Bei Fotoaufnahmen wird bei der Flir One Kamera zusätzlich zum Infrarotbild ein Foto aufgenommen. Beide Bilder werden vom Tablet bzw. Smartphone übereinandergelegt und können durch Wischen ineinander umgewandelt werden (Abb. 4).

Die gemachten Video- und Fotoaufnahmen lassen sich bei diesen Kameraarten auf dem Tablet oder Smartphone speichern. Damit können schnell ablaufende Prozesse als Video aufgezeichnet und zu einem späteren Zeitpunkt erneut abgespielt oder bearbeitet werden. Hier zeigt sich eine Überlegenheit von Tablets gegenüber statischen Medien: die Darstellung von komplexen naturwissenschaftlichen Prozessen durch Videos (Ulrich, Richter, Scheiter & Schanze, 2014).

## DER EINSATZ VON INFRAROTKAMERAS IN TECHNIK UND FORSCHUNG

Den wohl bekanntesten Einsatzbereich von Infrarotkamas stellt die Gebäudetechnik dar. Zum Beispiel wird die Kamera genutzt, um zugemauerte Fenster oder verputzte Fachwerkhäuser zu erkennen, welche durch normale optische Betrachtung nicht wahrnehmbar wären. Auch werden Infrarotkamas im Rahmen von Energieberatung eingesetzt (Vollmer & Möllmann, 2010) oder auch um über Oberflächentemperaturmessung Lecks in Rohrleitungen oder den Verlauf von elektrischen Leitungen aufzuspüren (Karstädt et al., 1998).

Ein Vorteil der Infrarotthermographie ist die berührungsfreie und damit auch zerstörungsfreie Messung (Xie, 2011). Infrarotkamas werden bei der Qualitätskontrolle von Bauteilen verwendet und können sowohl während der Fertigung des Bauteils als auch nach Fertigstellung zur Prüfung verwendet werden. Auch in der Medizin ist die berührungsfreie Untersuchung des menschlichen Körpers ein nicht invasives und damit schonendes Diagnosewerkzeug. Mit Infrarotkamas lassen sich Regionen im Körper mit erhöhter oder gestörter Durchblutung identifizieren, die z. B. auf Entzündungen, Thrombosen oder krankhaftes Gewebe hindeuten können. Damit stellt die Infrarotkamera zum Beispiel im Bereich der Brustkrebsfrüherkennung gegenüber der Mammographie, bei der Röntgenstrahlung eingesetzt wird, eine ungefährliche Alternative dar (Müllges, 2000).

Ein anderer Einsatzbereich ist die Botanik: Mithilfe der Infrarotthermographie können neue Erkenntnisse im Rahmen botanischer Forschung gewonnen werden. Dabei werden sogenannte thermogene Pflanzen untersucht, die sich während der Blütephase für unterschiedlich lange Perioden erwärmen. Zu diesen Pflanzen zählt die Titanwurz (*Amorphophallus titanum*). Sie treibt aus einer großen unterirdischen Knolle ein einzelnes Blatt aus, das nach einigen Jahren den Blütenstand bildet. Infrarotthermographie zeigt, dass die verschiedenen Arten der Titanwurz sich nicht nur bezüglich der Dauer der Temperaturerhöhung stark unterscheiden, auch die Lokalität der Temperaturerhöhung variiert (Abb. 5). So ist bei einigen Arten zum Beispiel lediglich eine Temperaturerhöhung bei den männlichen Blüten festzustellen (Lamprecht & Seymour, 2010).



**Abb. 5:** Infrarotthermographie in der botanischen Forschung

Zusammengefasst wird die Infrarotkamera in Technik und Forschung genutzt, um Informationen über die Temperaturtopographie von Objekten zu erhalten oder Wirkzusammenhänge zu gewinnen. Neben diesen Einsatzbereichen hat die Infrarotkamera mittlerweile auch Einzug in Orte informellen Lernens wie Museen, Ausstellungen oder Science Center gefunden und ermöglicht auch hier einen »anderen Blick« auf ein Objekt. Dieser »andere Blick« ergibt sich dadurch, dass die Infrarotkamera elektromagnetische Strahlung detektieren kann, die wir mit unseren Augen nicht mehr wahrnehmen können – Infrarotstrahlung.

## DIE INFRAROTKAMERA ALS ERWEITERUNG DES SEHBEREICHS

Für das menschliche Auge ist der sichtbare Spektralbereich auf Strahlung der Wellenlängen von 380 nm bis 780 nm begrenzt. Die von Objekten ausgesendete Infrarotstrahlung erstreckt sich über einen Wellenlängenbereich von

780 nm bis 1 mm und ist somit für uns nicht wahrnehmbar. Mit der Entwicklung von Infrarotkameras hat für den Menschen eine Erweiterung des Sehbereichs in den Infrarotbereich stattgefunden (Karstädt et al., 1998). Ihr intuitiver, benutzerfreundlicher Zugang verschiebt den

In Bezug auf Lernprozesse bietet sich ihr Einsatz als erweitertes Auge in Kontexten an, in denen das Sichtbarmachen von thermischen Prozessen zum Erkenntnisgewinn beitragen kann.

Fokus von der bisher quantitativen Erfassung thermischer Prozesse auf einen eher qualitativen Ansatz (Haglund, Jeppsson, Hedberg & Schönborn, 2015), der für Lernende überzeugender und verständlicher sein kann (Xie, 2011). Die Infrarotkamera erlaubt somit eine erweiterte Sinneswahrnehmung. In Bezug auf Lernprozesse bietet sich ihr Einsatz als erweitertes Auge in Kontexten an, in denen das Sichtbarmachen von thermischen Prozessen zum Erkenntnisgewinn beitragen kann. Gerade

die Konzeptualisierung von thermischen Phänomenen hat sich für Lernende als schwierig herausgestellt (Yeo & Zadnik, 2001). Viele thermische Phänomene sind in Lernsituationen nur unter großem experimentellem Aufwand wahrnehmbar. Das kann dazu führen, dass Lernende solche Phänomene nicht erklären können oder nur teilweise zutreffende Erklärungen entwickeln.

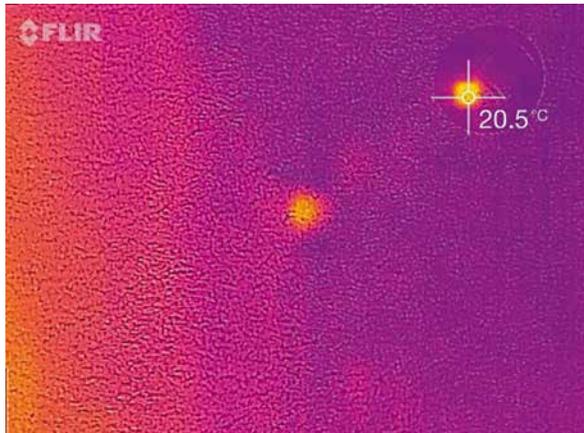
## THERMISCHE PHÄNOMENE IN LERNKONTEXTEN

Infrarotkameras ermöglichen einen Echtzeitzugriff auf ansonsten unsichtbare, thermische Phänomene (Haglund et al., 2015). Man denke beispielsweise an den Wärmetransport in Festkörpern und Gasen. Ein bekanntes Alltagsphänomen ist, dass sich Metalle bei gleicher Temperatur kälter anfühlen als andere Materialien wie z. B. Schaumstoff (Xie, 2012). Hierin liegt eine große Herausforderung für Lernende, da diese den zugrunde liegenden Wärmetransport in Metallen nicht sehen können, das Sichtbarmachen des Wärmetransports aber zur Überwindung der Lernhürden führen kann (Clough & Driver, 1985). Allerdings trägt der alleinige Einsatz einer Infrarotkamera nicht dazu bei, das Phänomen »Metalle fühlen sich kälter an als Schaumstoff« zu verstehen: Eine fachdidaktische und mediendidaktische vorbereitete Einbettung der digitalen Medien ist wichtig (Haglund et al., 2015).

Die Notwendigkeit der Abstimmung der Technologien auf den Lehr-Lern-Prozess (Kerres, 2013) sowie eine fach- und mediendidaktische Aufbereitung für das Erreichen von Lernwirksamkeit (Mayer, 2014) ist daher auch für einen gewinnbringenden Einsatz von Infrarotkameras in Lernprozessen erforderlich. Dies konnte im Zusammenhang zur Förderung eines Verständnisses für Energieentwertung gezeigt werden (Nordine & Weßnigk, 2016; Weßnigk & Nordine, angenommen).

## LERNKONTEXT ENERGIEENTWERTUNG

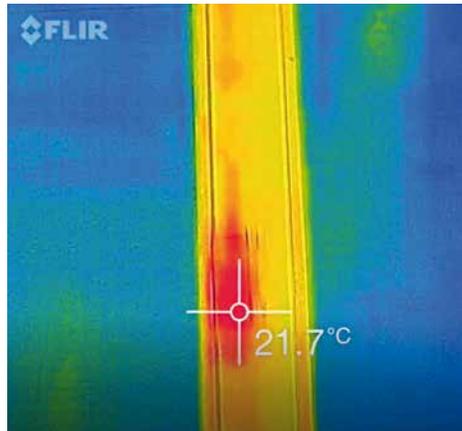
Im Rahmen fachdidaktischer Forschung zur Verständniserwicklung bezüglich des Energiekonzepts ist hinlänglich bekannt, dass Lernende Schwierigkeiten in Bezug auf die Aspekte Energieentwertung und insbesondere Energieerhaltung haben (Chabalengula, Sanders & Mumba, 2012; Duit, 1981; Neumann, Viering, Boone & Fischer, 2012). Viele Lernende können zwar das Energieerhaltungsprinzip nennen, ein Transfer auf Phänomene und Prozesse im Alltag stellt sich aber häufig als schwierig dar (Chabalengula, Sanders & Mumba, 2012; Driver & Warrington, 1985): Zum Beispiel fällt es schwer, eine Verbindung zum Thema Energieentwertung bei bekannten Prozessen wie einem »fallenden Stein, der auf den Boden aufkommt«, herzustellen. Ebenso wenig wird die Energieerhaltung im betrachteten System »erkannt« (Lindner, 2014). Demzufolge ist es eine Herausforderung für Lehrkräfte zu zeigen, dass bei jedem real ablaufenden Prozess ein Teil der Energie eines Systems in innere Energie umgewandelt wird und dem System zwar nicht mehr als nutzbare Energie zur Verfügung steht, aber auch gleichzeitig nicht verschwunden ist. Sie ist entweder in eine weniger wertige Energieform umgewandelt und/oder aus dem System heraus »transferiert« worden. Wird der Fall einer Kugel zu Boden durch eine Infrarotkamera beobachtet, kann die durch den Aufprall sowohl bei der Kugel als auch an der Auftreffstelle stattgefundenen Temperaturerhöhung erkannt werden (Abb. 6). Auf diese Weise gibt die Infrarotkamera Evidenz darüber, dass Energie in innere Energie umgewandelt und teilweise aus dem System Kugel in die Umgebung, hier den Boden, transferiert worden ist (Kröger, 2012).



**Abb. 6:** Infrarotbild nach dem Aufprall einer Kugel (Kriks, 2016)

## EIN LEHRGANG ZUR ENERGIEENTWERTUNG GESTÜTZT DURCH INFRAROTKAMERAS

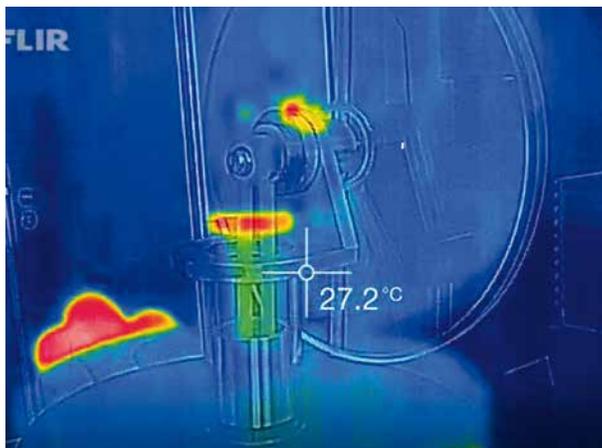
Bei der Betrachtung von Energieübertragungs- und Reibungsprozessen können Infrarotkameras unterstützend bei der Verständniseentwicklung von Energieentwertung wirken (Nordine & Weßnigk, 2016; Weßnigk & Nordine, angenommen) und sogar eine signifikante Steigerung im Verständnis für Energieentwertung erzielen. Anknüpfend daran wurde ein Lehrgang für den Erstunterricht Physik mit dem Fokus auf Entwertungsprozessen entwickelt, der gleichzeitig eine Vorstellung von Energieerhaltung anbaut. In dem Projekt »Infrarotkamera in der Schule« geht es um die Ausgestaltung einer entsprechenden Lernumgebung mit dem Ziel, Energieentwertungsvorgänge in bekannten Prozessen Schülerinnen und Schülern transparent zu machen und gleichzeitig ein Verständnis für Erhaltung zu ebnet. Die Einführung der Energieentwertung neben der Energieerhaltung kann dazu führen, die Erhaltung für Lernende besser erkennbar zu machen – es kann leichter eine Beziehung zwischen den Alltagsvorstellungen und -beobachtungen und dem fachlichen Konstrukt der Erhaltung hergestellt werden (Millar, 2014). So auch Schlichting



**Abb. 7:** Infrarotkameraaufnahme des Experiments  
»Wagen auf schiefer Ebene«

und Backhaus: Eine möglichst frühe Betrachtung der Aspekte Entwertung und Erhaltung im Zusammenhang mit unterschiedlichsten Phänomenen soll helfen, Entwertung und Erhaltung als »komplementäre Aspekte ein und derselben Klasse von Erfahrung« aufzufassen, sodass die Schwierigkeiten der Lernenden umgangen werden können (Schlichting & Backhaus, 1987, S. 15).

Der genetische Aufbau des Lehrgangs ist sowohl an den Vorgaben des niedersächsischen Kerncurriculums als auch an empirischen Ergebnissen der fachdidaktischen Forschung orientiert (Liu & McKeough, 2005; Neumann et al., 2013). Demnach entwickelt sich das Verständnis des Energiekonzepts bei Lernenden entlang einer Sequenz von aufeinander aufbauenden Konzeptualisierungen: Energieformen, Energieumwandlung und -transfer, Energieentwertung und Energieerhaltung. Innerhalb des Lehrgangs werden zunächst die Energieformen herausgestellt. Anschließend werden darauf aufbauend Energieumwandlungsprozesse sowie das Konzept der Energieübertragung näher betrachtet. Zum Sichtbarmachen der Energieübertragung in die Umgebung, z. B. bei Entwertungsvorgängen, verwenden die Schülerinnen und Schüler Infrarotkameras und beobachten damit verschiedene Prozesse (in Anlehnung an Nordine & Weßnigk, 2016).



**Abb. 8:** Infrarotbild eines handbetriebenen Stirlingmotors

Ein Experiment dieser Reihe ist der »Wagen auf der schiefen Ebene« (adaptiert nach IQWST, Questioning our World Through Science and Technology (IQWST) energy curriculum, siehe Krajcik, Reiser, Fortus & Sutherland, 2015). Bei diesem Experiment lassen die Lernenden einen Wagen eine schiefe Ebene hinabrollen und im nächsten Versuchsschritt durch Umdrehen auf das Wagendach die schiefe Ebene hinuntergleiten. Dabei erkennen sie, dass der rollende Wagen am Ende der schiefen Ebene eine größere Menge an Bewegungsenergie besitzt als der gleitende. Mithilfe einer Infrarotkamera und der Beobachtung der »Wärmespuren« auf der schiefen Ebene sowie der Betrachtung der Temperaturerhöhung auf dem Wagen gelingt es den Lernenden, die geringere Bewegungsenergie des herabrutschenden Wagens zu erklären (Abb. 7) und zu verstehen, dass nicht die gesamte anfangs vorhandene Lageenergie am Ende des Prozesses in Bewegungsenergie umgewandelt wurde.

Anhand dieser Erfahrungen sollen die Lernenden die Temperaturerhöhung als Indikator für die Umwandlung von Energie in innere Energie benennen. Energie wird vom Wagen auf die Rampe übertragen, wodurch der Vorgang mithilfe eines Energietransfers beschrieben werden kann. Aufbauend auf dem Energietransfer in die Umgebung bei Umwandlungsprozessen, werden

im Lehrgang auch Energieübertragungsketten mithilfe der Infrarotkamera untersucht. Eine der Übertragungsketten ist ein durch Handwärme betriebener Stirlingmotor. Die Schülerinnen und Schüler sollen zunächst vorhersagen, welche Bereiche im Infrarotbild als erwärmt dargestellt werden, und dies im Anschluss mit der Infrarotkamera experimentell überprüfen.

Im Infrarotbild des Motors (Abb. 8) ist die Lokalität der temperaturerhöhten Stellen deutlich auszumachen: die Auflageflächen der Keilriemen (links im Bild die haltende Hand).

Unter der Fragestellung »Wohin geht die innere Energie?« lässt sich mit der Infrarotkamera beobachten, dass die in die Umgebung übertragene Energie weitertransportiert wird und ein Temperatúrausgleich mit der Umgebung stattfindet. Dieser Prozess lässt sich nicht aufhalten. Ein Aspekt des Entwertungskonzepts, der Energiestrom vom höheren zum energetisch niedrigeren Niveau, lässt sich durch die Infrarotkamera unmittelbar erfassen.

Dennoch können nicht alle mit der Energieentwertung verbundenen fachlichen Konstrukte ermittelt werden: Es gelingt nicht, die durch Wärme hervorgerufene Erhöhung der Entropie eines Systems mit der Infrarotkamera wahrzunehmen.

Zusammengefasst bietet die Infrarotkamera in Forschung und Technik, aber auch in Kontexten formellen und informellen Lernens zahlreiche Einsatzmöglichkeiten. Sie erweitert die Sinneswahrnehmung von Lernenden und unterstützt bei der Entwicklung eines elaborierten Verständnisses von Energieentwertung. Für ein umfassendes Verständnis müssen diese Erfahrungen jedoch durch weitere tragfähige Modelle und Größen wie die Entropie ergänzt werden.

## LITERATUR

- BITKOM. (2014). *Jung und vernetzt: Kinder und Jugendliche in der digitalen Gesellschaft*. Verfügbar unter <https://www.bitkom.org/Bitkom/Publikationen/Jung-und-vernetzt-Kinder-und-Jugendliche-in-der-digitalen-Gesellschaft.html> [20.03.2017]
- BITKOM. (2015). *Digitale Schule – vernetztes Lernen. Ergebnisse repräsentativer Schüler- und Lehrerbefragungen zum Einsatz digitaler Medien im Schulunterricht*. Verfügbar unter

- <https://www.bitkom.org/Publikationen/2015/Studien/Digitale-SchulevernetztesLernen/BITKOM-Studie-Digitale-Schule-2015.pdf> [20.03.2017]
- Chabalengula, V. M., Sanders, M. & Mumba, F. (2012). Diagnosing students' understanding of energy and its related concepts in biological context. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 10(2), 241 – 266.
- Clark, R. E. (1994). Media Will Never Influence Learning. *Educational Technology Research and Development*, 42(2), 21 – 29.
- Clough, E. E. & Driver, R. (1985). Secondary students' conceptions of the conduction of heat: bringing together scientific and personal views. *Physics Education*, 20, 176 – 182.
- Driver, R. & Warrington, L. (1985). Students' use of the principle of energy conservation in problem situations. *Physics Education*, 20(4), 171 – 176.
- Duit, R. (1981). Understanding energy as a conserved quantity. *European Journal of Science Education*, 3, 291 – 301.
- Edelson, D. C. & Reiser, B. (2006). Making authentic practices accessible to learners: Design challenges and strategies. In R. K. Sawyer (Hrsg.), *Cambridge handbook of the learning sciences* (S. 335 – 354). New York: Cambridge University Press.
- FLIR Systems. (2017). *Flir One*. Verfügbar unter <http://www.flir.de/flirone/ios/> [17.04.2017]
- Haglund, J., Jeppsson, F., Hedberg, D. & Schönborn, K. J. (2015). Thermal cameras in school laboratory activities. *Physics Education*, 50(4), 424 – 430.
- Karstädt, D., Möllmann, K.-P., Pinno, F. & Vollmer, M. (1998). Sehen im Infrarot – Grundlagen und Anwendungen der Thermographie. *Physik in unserer Zeit*, 29(1), 6 – 15.
- Kerres, M. (2003). Wirkungen und Wirksamkeit neuer Medien in der Bildung. In M. Nelting (Hrsg.), *Hyperakusis* (S. 1 – 12). Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Kerres, M. (2013). *Mediendidaktik: Konzeption und Entwicklung mediengestützter Lernangebote* (4. Auflage). München: Oldenbourg.
- Krajcik, J. S., Blumenfeld, P., Marx, R. & Soloway, E. (2000). Instructional, curricular, and technological supports for inquiry in science classrooms. In J. Minstrell & E. van Zee (Hrsg.), *Inquiry into inquiry: Science learning and teaching* (S. 283 – 315). Washington, D.C.: American Association for the Advancement of Science Press.
- Krajcik, J. S. & Mun, K. (2014). Promises and Challenges of Using Learning Technologies to Promote Student Learning of Science. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Hrsg.), *Handbook of research on science education*. Mahwah, N. J., New York: Lawrence Erlbaum Associates; Routledge.
- Krajcik, J. S., Reiser, D., Fortus, D. & Sutherland, L. (2015). *Investigating and Questioning Our World Through Science and Technology (IQWST)*. Greenwich, CT: Activate Learning.
- Kriks, S. (2016). *Untersuchung zum Verständnis von Energieentwertung mit Hilfe von Wärmebildkameras*. Unveröffentlichte Masterarbeit zur Erlangung des Grades Master of Education, Leibniz Universität Hannover, Hannover.
- Kröger, J. (2012). *Entwicklung von Experimenten zur Einführung der Energieentwertung und Energieerhaltung im Physikunterricht der Mittelstufe*. Unveröffentlichte Masterarbeit zur Erlangung des Grades Master of Education, IPN – Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik, Kiel.

- Lamprecht, I. & Seymour, R. S. (2010). Thermologic investigations of three species of Amorphophallus. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 102(1), 127 – 136.
- Lindner, K. (2014). *Erfassung des Verständnisses von Energie im Rahmen einer Interviewstudie*. Unveröffentlichte Masterarbeit zur Erlangung des Grades Master of Education, IPN – Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik, Kiel.
- Linn, M. C. & Eylon, B. S. (2011). *Science learning and instruction: Taking advantage of technology to promote knowledge integration*. London: Routledge, Taylor and Francis Group.
- Liu, X., & McKeough, A. (2005). Developmental growth in students' concept of energy: Analysis of selected items from the TIMSS database. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(5), 493 – 517.
- Mayer, R. E. (2014). *The Cambridge handbook of multimedia learning* (2. Auflage). New York: Cambridge University Press.
- Meier, M., Ulrich, N., Assent, R., Richter, J., Schanze, S., Schaub, D., Scheiter, K. & Weiß, S. (2016). Lernen mit einem digitalen Schulbuch. *MNU Journal*, 6, 417 – 424.
- Millar, R. (2014). Towards a Research Informed Teaching Sequence for Energy. In R. F. Chen, A. Eisenkraft, D. Fortus, J. Krajcik, K. Neumann, J. Nordine, & A. Scheff (Hrsg.), *Teaching and Learning of Energy* (S. 187 – 201). Schweiz: Springer International Publishing.
- Möllmann, K.-P. & Vollmer, M. (2007). Infrared thermal imaging as a tool in university physics education. *European Journal of Physics*, 28(3), 37 – 50.
- Müllges, K. (2000). Medizintechnik: Tumor im Wärmebild. *Deutsches Ärzteblatt*, 47.
- Neumann, K., Viering, T., Boone, W. J. & Fischer, H. E. (2012). Towards a learning progression of energy. *Journal of research in science teaching*, 50(2), 162 – 188.
- Nordine, J. & Weßnig, S. (2016). Exposing Hidden Energy Transfers with Inexpensive Thermal Imaging Cameras. *Science Scope*, 39(7), 25 – 32.
- Schlichting, H. J. & Backhaus, U. (1987). Energieentwertung und der Antrieb von Vorgängen. *Naturwissenschaften im Unterricht – Physik*, 35(24), 15 – 20.
- Seek thermal. (2017). *Compact Pro Statistic*. Verfügbar unter <https://static1.squarespace.com/static/54d4e995e4b08c8065ddef4c/t/57ac8d22ff7c5057707a3b8e/1470926115045/CompactPRO-Datasheet-web.pdf> [17.04.2017]
- Ulrich, N., Richter, J., Scheiter, K. & Schanze, S. (2014). Das digitale Schulbuch als Lernbegleiter. In J. Maxton-Küchenmeister & J. Meßinger-Koppelt (Hrsg.), *Digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht* (S. 75 – 82). Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag.
- Vollmer, M. & Möllmann, K.-P. (2010). *Infrared Thermal Imaging: Fundamentals, Research and Applications*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.
- Weßnig, S. & Nordine, J. (angenommen). Die Bedeutung von Unterrichtslehrgängen für die Entwicklung von Kompetenz. *Plus Lucis*.
- Xie, C. (2011). Visualizing Chemistry With Infrared Imaging. *Journal of Chemical Education*, 88, 881 – 885.
- Xie, C. (2012). *Transforming science Education with IR Imaging*. The Concord Consortium, USA.
- Yeo, S. & Zadnik, M. (2001). Introductory thermal concept evaluation: Assessing students' understanding. *The Physics Teacher*, 39(8), 496.

## ÜBER DIE AUTORINNEN



---

**Larissa Greinert** ist Lehrerin für die Fächer Mathematik und Physik an einem Gymnasium in Hannover. Als Doktorandin am Institut für Didaktik der Mathematik und Physik (IDMP) der Leibniz Universität Hannover in der AG Physikdidaktik promoviert sie zum Thema Unterstützung von Lernprozessen durch Infrarotkameras, insbesondere im Bereich der Energieentwertung.



---

**Susanne Weßnigk** ist seit April 2015 Juniorprofessorin in der AG Physikdidaktik an der Leibniz Universität Hannover. Nach dem Studium und Referendariat für höheres Lehramt (Mathematik/Physik) arbeitete sie bis 2007 an verschiedenen Gymnasien in Deutschland und den USA. 2012 promovierte sie am Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik (IPN) in Kiel. Ihre Forschungsschwerpunkte sind außerschulisches Lernen, Energieverständnisentwicklung und digitale Medien, insbesondere Infrarotkameras.

---

Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen – Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer (2017), J. Meßinger-Koppelt, S. Schanze & J. Groß (Hrsg.), Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag

# AUGMENTED REALITY (AR) IM PRAKTISCHEN UNTERRICHT

*Christoph Thyssen*

## AUGMENTED REALITY ALS NEUES TOOL BZW. WERKZEUG

Das Potenzial digitaler Werkzeuge und somit auch das der Augmented Reality (AR) ist hinsichtlich konkreter Mehrwerte in der Regel nicht universell abzuschätzen, sondern vom konkreten Werkzeug und dem tatsächlichen Anwendungsfall (Adressaten, didaktisches Ziel etc.) abhängig. AR weist theoriebasiert insbesondere mit Bezug zu situiertem Lernen und dem Konstruktivismus vielversprechende Potenziale auf (Dunleavy & Dede, 2014 und Specht et al., 2011; vgl. auch den Beitrag von [Kuhn](#), S. 107), die im Einzelfall ggf. empirisch zu untersuchen sind.

### Prinzip der Augmented Reality

AR definiert sich als interaktives Konzept zur Fusion virtueller Information mit der Realität, d. h. mit der Umgebung, mit Objekten bzw. generell Medien verschiedenen Aufbereitungsgrades (Azuma, 1997). Vergleichbar mit einem Hyperlink können damit im Lernprozess selbstgesteuert zusätzliche Informationen zugänglich gemacht werden.

Abhängig vom Softwaresystem fungieren spezielle Marker oder die Realität selbst als Trigger, durch welche die Einblendung von Informationen als visuelles Overlay in das Sichtfeld einer Brille oder in ein Display ausgelöst wird. AR setzt im Gegensatz zur Virtual Reality (VR) gezielt auf eine sinnstiftende Fusion realer Komponenten aus der Umgebung und virtueller Informationen, die als Overlays in einem Display die Realität ergänzen. Entsprechend liefert eine Recherche zur Bedeutung des englischen »to augment« als deutsche Entsprechungen »anreichern«, »erweitern« oder auch »verbessern«. Im fachdidaktischen Kontext umreißen diese Begriffe die didaktischen und

methodischen Mehrwerte, die mit dieser Technik in Lehrsequenzen erzielt werden können.

Die Anreicherung bzw. Erweiterung ergibt sich direkt aus dem in AR-Umgebungen eingesetzten Prinzip, reale Objekte bzw. die Umwelt durch virtuelle Komponenten interaktiv und mit räumlichem Bezug zu ergänzen. In Bezug auf die vorhandene Informationsmenge wird die Realität dadurch angereichert bzw. erweitert. Relativ klar erkennbar ist, dass Originale und /oder andere Medien im Hinblick auf die didaktische Tauglichkeit bzw. Reichweite mit diesem Prinzip auch gezielt verbessert werden können, was der dritten Wortbedeutung entspricht.

Abseits der reinen Informationsinhalte, also über den didaktischen Aspekt hinaus, können mit AR jedoch auch Verbesserungen im methodischen Bereich erzielt werden. So können z. B. Informationsgehalte papierbasierter Medien virtuell und mit direktem Bezug zum Lerngegenstand im Sinne einer räumlichen Zuordnung implementiert werden. Dies kann die Wahrnehmung verbessern und den Cognitive Load verringern (Küçük et al., 2016). Mit der Entwicklung entsprechend gut verfügbarer, bezahlbarer und schneller informatischer Systeme (PC, Tablets, Smartphones) mit breiter technischer Ausstattung sowie gut nutzbaren Displays steigt die Anzahl möglicher Einsatzbereiche und -szenarios auch im schulischen Bereich, insbesondere durch Bring-Your-Own-Device(BYOD)-Konzepte. Mit der neuen Initiative für AR von Apple mit iOS 11 und der Entwicklung entsprechend einfacher Softwareumgebungen ist zudem zu erwarten, dass die Entwicklung und Implementation solcher AR-Systeme auch in schulischen Kontexten zukünftig auf iPads u. Ä. deutlich vereinfacht werden.

## Unterschiede der AR zu anderen Arten virtueller Informationseinbindung

Aus dem grundlegenden Konzept der AR, mit der Umgebung zu interagieren, ergeben sich mehrere zentrale Unterschiede zur üblichen Informationsbereitstellung über Hyperlinks bzw. auch QR-Codes:

- A) Das Vorhandensein von »AR-Verlinkungen« ist nicht zwingend unmittelbar erkennbar. Es muss ggf. darauf hingewiesen werden oder die Informationen erscheinen bei der Auseinandersetzung des Lernenden mit definierten Bereichen der Umgebung oder eines Mediums automatisch, sozusagen »unvorhergesehen« beim Entdecken (und werden somit virtueller Teil seiner Realität).
- B) Die angezeigte virtuelle Zusatzinformation steht, anders als z. B. beim QR-Code, nicht nur über dem inhaltlichen Link und Trigger (im Idealfall ein Medium /Original), sondern über die Overlays auch in der Wahrnehmung in einem direkten räumlichen Bezug zur erfassten Umgebung bzw. ihren Objekten.
- C) Es werden ggf. Kamera- und /oder GPS-gestützte Systeme zur Ortsbestimmung benötigt (z. B. location-aware and vision-based AR mit Smartphones oder Tablets, zukünftig vermehrt über Bluetooth-Systeme).

Damit verknüpft bietet AR folgende Vorteile:

- D) Mit Bezug zu A) muss die Realität für die Informationsbereitstellung und Einbindung in der Realität nicht verändert werden, was das Arbeiten mit (sensiblen) Objekten ermöglicht, die nicht verändert werden dürfen oder können. Die Medien bleiben auf der nicht virtuellen Ebene authentisch.
- E) Die virtuelle Information ist hinsichtlich ihrer Modalität und ihres Abstraktionsgrades frei wählbar.

Daraus lassen sich Potenziale ableiten, die AR als Technik /Werkzeug bietet:

- Originale können a) auf der visuell direkt zugänglichen Ebene durch Hervorhebungen oder Ergänzungen didaktisch strukturiert werden, b) um eine nicht direkt zugängliche Systemebene, die das Original nicht zeigt, mit en-

gem Bezug ergänzt werden (z. B. »Yo-Yo-Learning« durch Vernetzung der verschiedenen Systemebenen) und c) virtuell direkt in Beziehung zu anderen virtuellen Vergleichsobjekten gesetzt werden.

- Overlays zur Informationspräsentation im Sichtfeld vermeiden sogenannte Split-Attention-Effekte.

AR bietet so zum einen neue Möglichkeiten im Hinblick darauf, bereits vorhandene Medien bzw. Originale so aufzubereiten, dass sie mit geringerem Cognitive Load effizient im Lernprozess wirksam sind (Küçük et al., 2016), und zum anderen im Hinblick auf den Einsatz von Medien, die mit herkömmlichen analogen Mitteln nicht aufbereitet werden können. Selbststeuerung von Lernprozessen und Binnendifferenzierung sind weitere didaktische Bereiche, die von AR als digitalem Werkzeug profitieren können. Dabei bleiben prinzipielle Vorteile digitaler Medien erhalten. Studien haben gezeigt, dass die Immersion in eine digitale Umgebung unter drei Aspekten Vorteile bietet: Variation von Perspektiven, situiertes Lernen und Transfer (Dunleavy & Dede, 2014).

## ORGANISATORISCHE ÜBERLEGUNGEN ZUR INTEGRATION IN DEN UNTERRICHT

### Anforderungen an Hard- bzw. Software und Infrastruktur

Eine Einbindung von AR in den Unterricht setzt die Verfügbarkeit der benötigten technischen Ausstattung voraus. Mangels flächendeckender Finanzierung für eine schulseitige Geräteversorgung sollten aktuell auch BYOD-Konzepte zuverlässig umsetzbar sein. BYOD-Konzepte können allerdings hinsichtlich der verschiedenen Betriebssysteme kritisch sein: Zum einen sind nicht alle Apps für jedes Betriebssystem verfügbar, zum anderen macht dies einen höheren Aufwand zur Erstellung von Apps notwendig. Darüber hinaus ist benötigte Software trotz vorheriger Hinweise bzw. Anweisungen auf den schüler-eigenen Geräten unter Umständen nicht installiert (und demnach auch noch nicht eingeübt). Sogar die Bedienungskonzepte einer App unterscheiden sich zwischen den Betriebssystemen, was für Hilfestellungen und Anleitungen ein

dichotomes Fließschema oder völlig getrennte Versionen erforderlich macht. Prinzipiell kann auch die unterschiedlich leistungsfähige Hardware Probleme bereiten. Eine schultaugliche Softwarelösung sollte also geringe Hardwareanforderungen stellen, kostengünstig für eine breite Palette an Betriebssystemen verfügbar sein und die Lehrkräfte hinsichtlich der Erstellung von AR-Lernumgebungen nicht vor unüberwindbare Hindernisse stellen. Gerade hier wird für AR in der Literatur (z. B. Dunleavy & Dede, 2014) ein potenzieller Zielkonflikt zwischen dieser Technik und etablierten Unterrichtsformen gesehen. AR eignet sich besonders für selbstgesteuerte, forschend-entdeckende – also zeitaufwendigere – Aktivitäten. Individuelle AR-Settings sind damit insbesondere für den Fall, dass die AR-Szenarien noch erstellt werden müssen, zeitlich und organisatorisch betrachtet aufwendiger als eine »klassische Instruktion«.

Ein bereits in eigenen Arbeiten getestetes und unter diesen Kriterien für tauglich bewertetes AR-Framework ist die Plattform Aurasma. Die technische Realisierbarkeit ist mit Aurasma auch ohne besondere Vorkenntnisse betreffend der Hard- und Software möglich. Entsprechende Apps zur Einbindung der virtuellen Overlays sind für Android und iOS kostenlos in den jeweiligen App-Stores erhältlich.

Die Erstellung von Augmentierungen kann über ein Web-Portal im Browser unabhängig vom Betriebssystem erfolgen. Hierzu ist eine Internetverbindung erforderlich. Eine Visualisierung mittels Smartphone oder Tablet ist allerdings mit einigen App-Versionen auch ohne aktuell existierende Webanbindung möglich. Dazu müssen die Inhalte vorab abonniert und heruntergeladen werden. Aufgrund der im Zuge der Weiterentwicklung der Apps zu erwartenden Änderungen ist angeraten, diese Funktionalität vorab mit den jeweils auf den Endgeräten installierten Versionen zu testen.

Im Vergleich zu anderen AR-Systemen bzw. -Frameworks, die eine Offline-Funktionalität durch eine Erstellung individueller Apps für jeden Anwendungsfall strukturell implementiert haben, ist dies ggf. ein Nachteil, der jedoch durch die sehr einfache Bedienung ohne die Notwendigkeit von Programmierkenntnissen mehr als kompensiert wird. Aufgrund der Gesamtcharakteristika von Aurasma sind einfache AR-Szenarien für den schulischen Einsatz selbst für Anfänger in 30 Minuten zu erstellen und mit Schülerinnen und Schülern einsetzbar (Zimmer & Thyssen, 2017).

## Didaktische und methodische Nutzungsmöglichkeiten und -prinzipien

Basierend auf didaktischen Zielsetzungen, kann über entsprechende methodische Überlegungen zur spezifisch sinnvollen Mediengestaltung mittels AR eine Konstruktion von geeigneten »halbdigitalen« bzw. »halbvirtuellen« Medien, im Sinne von Informationsträgern bzw. -vermittlern, erfolgen, um Inhalte schülerauglich eigenständiger erschließbar zu machen. So können mittels AR z. B. grundlegende didaktische Probleme beim Einsatz von Originalen gelöst oder zumindest gemildert werden. Über AR kann am Original eine didaktische Fokussierung und Aufbereitung, wie sie in der Regel bei der Anfertigung von z. B. Struktur- oder Anschauungsmodellen vorgenommen wird, erzielt werden.

Über Augmented Reality kann am Original eine didaktische Fokussierung erzielt werden.

Durch den technikbasierten Ansatz, über Overlays Informationen zu ergänzen oder die Wahrnehmung auf bestimmte Bereiche zu fokussieren, wird das Original hierbei vom Primärmedium zum Tertiär- oder sogar Quartärmedium (Pross, 1972 bzw. Faßler, 1997). Neben den Potenzialen, Originale aufzubereiten, die aus didaktischen oder organisatorischen Gründen nicht modifiziert werden können oder sollen, kann AR auch bei der Erstellung bzw. Ergänzung von Sekundär- und Tertiärmedien über bisherige Möglichkeiten hinausgehen.

Unabhängig davon, ob Primärmedien / Originale oder andere Medientypen augmentiert werden, können abhängig von der tatsächlichen Umsetzung unterschiedlich enge Verknüpfungen zwischen der Realität und den virtuellen Ergänzungen realisiert werden. Einen beispielhaften Überblick gibt Abb. 1. Abhängig vom Ziel der Lehrsequenz muss:

- A) die Sinnhaftigkeit einer Augmentierung und bei positiver Entscheidung
- B) ein geeigneter Augmentierungstyp für den jeweiligen Anwendungsfall gewählt werden.



**Abb. 1:** Unterschiedliche didaktische AR-Typen mit variierender Intensität des Bezuges zwischen virtueller und realer Komponente: Der Trigger kann ohne inhaltlichen Bezug die Augmentierung auslösen (A), Zusatzinformationen bzw. Vergleiche mit oder ohne Fokussierung auf einen Bereich liefern (B bis E), mittels X-Ray AR Einblicke ins Innere ermöglichen (F), durch Überdeckung oder Hinzufügung neue Bedeutungseinheiten erstellen (F & I) oder Originale strukturieren (H). [Das Android-Roboterlogo wurde aus einer von Google erstellten und geteilten Arbeit reproduziert oder geändert und wird gemäß den Bedingungen der Creative-Commons-3.0-Attributionslizenz verwendet.]

## EINSATZBEISPIEL AUGMENTIERUNG VON ORIGINALEN BZW. DER REALITÄT

In der Realität vorkommende Originale weisen aufgrund der meist nicht vorgenommenen, schlecht zu realisierenden oder unpassenden didaktischen Aufbereitung häufig Probleme auf. Es fehlt, im Gegensatz zu Modellen, eine gezielte, auf den Lernprozess abgestimmte mediale Gestaltung, weshalb Zusammenhänge oder Informationen schlechter erschließbar sind. Schülerinnen und Schüler müssen deshalb am Original ohne bzw. mit weniger Führung relevante Inhalte selbst identifizieren und erschließen, weshalb diese schwerer oder gar nicht erkannt werden. Als Ursachen hierfür können sowohl die Komplexität bzw. Unkenntnis vorhandener Strukturen als auch Einschränkungen bezüglich der tatsächlichen Sichtbarkeit infrage kommen. Als Beispiele seien hier z. B. Skelette als Exponate eines Museums genannt, an denen relevante anatomische Strukturen oder Knochenmerkmale nicht offensichtlich erkennbar oder gar markiert sind, oder auch farblich problematische Objekte mit zu wenig Kontrast bzw. einer für Farbenblinde schwierigen Farbgebung. In beiden Fällen kann AR unterstützend eingesetzt werden. Im ersten Fall durch Hinweise auf relevante Bereiche am Objekt oder im zweiten Beispiel durch Umkodieren bzw. Hervorheben der vorhandenen Information.

### AR zur Erschließung von anatomischen Merkmalen von Dinosauriern

Exemplarisch kann dies anhand eines fachwissenschaftlich aktuellen Beispiels mit dem Frankfurter Senckenbergmuseum als außerschulischem Lernort aufgezeigt werden: Die Systematik bzw. der Stammbaum der Dinosaurier (und damit auch der Vögel) orientiert sich nach bisheriger fachwissenschaftlicher Auffassung an Beckenstrukturen und führt zur systematischen Einteilung in Vogelbecken- und Echsenbeckendinosaurier. Mit einer angenommenen Abstammung der Vögel von den Theropoda (mit Echsenbecken) wären Vögel demnach enger mit den gigantischen Sauropoden als mit den Vogelbeckendinosauriern verwandt. Neben der Beckenstruktur gibt auch die interne Knochenstruktur Hinweise auf mögliche Verwandtschaftsbeziehungen. Beides sind Zusammenhänge, die prinzipiell an originalen Exponaten unter-

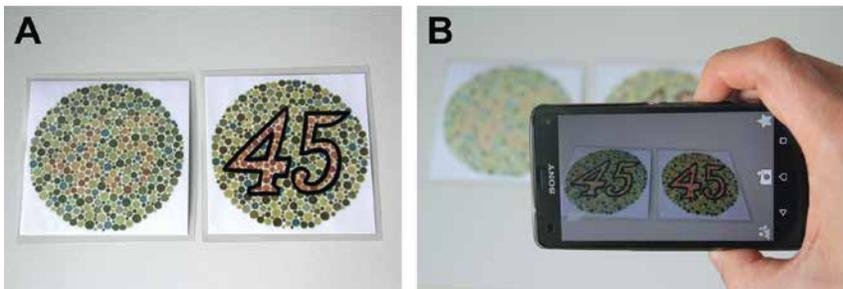


**Abb. 2:** T-Rex-Skelett mit interaktiven AR-Informationen zur Beckenstruktur bzw. -anatomie

suchbar und erschließbar sind und im Rahmen aktueller Publikationen, die sich mit dieser Thematik beschäftigen (Baron et al., 2017), mit Schülerinnen und Schülern diskutiert werden können. Ohne personelle Unterstützung, mediale Aufbereitung und /oder anatomische Hinweise ist dies im Museum von Schülerinnen und Schülern jedoch nicht zu leisten. Hier kann AR sinnvoll eingesetzt werden und auf relevante Strukturen an Skeletten hinweisen (Abb. 2) bzw. Informationen zu knocheninternen Strukturen liefern, welche ohne Hilfsmittel nicht zu erkennen sind.

Mittels Overlays können anatomisch relevante Strukturen auf Skelette geblendet werden. Mit Overlays im Stile der X-Ray-AR können Informationen zu internen Strukturen der fossilisierten Knochen zugänglich gemacht werden. Mit dieser Unterstützung kann eine Erkenntnisgewinnung im Museum direkt an den Originalen erfolgen. Transparente Overlays mit »X-Ray«-Charakter scheinen hier in bestimmten Anwendungssituationen vorteilhaft zu sein.

X-Ray-AR-Techniken selbst haben wiederum unterschiedliche Wirkungen beim Nutzer (Santos et al., 2016).



**Abb. 3:** Ishihara-Tafeln als Paar mit Lösung (A) und mit Augmentierung (B), sodass eine Karte ausreicht, weil direkt am Original gearbeitet wird. Farbunterschiede sind so sicher ausgeschlossen.

### AR zur Unterstützung bzw. Kontrolle der Sinneswahrnehmung

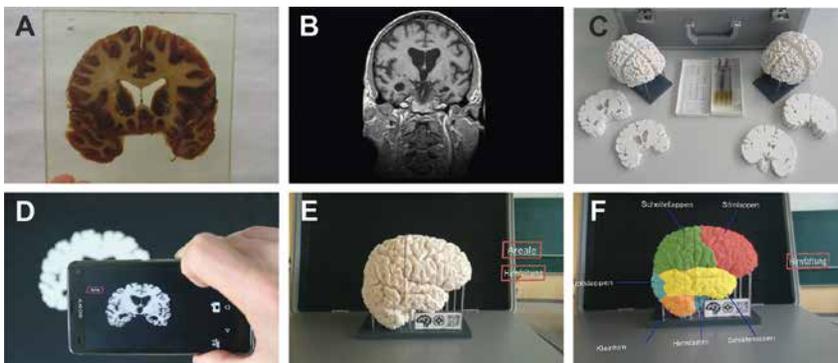
Als zweites Beispiel soll der AR-Einsatz in einer Lehrsequenz im Bereich des Farbsehens betrachtet werden. Im Kontext von Farbsehschwächen kann AR die von den Schülerinnen und Schülern wahr- bzw. nicht wahrnehmbare Realität unterstützend aufbereiten. Dazu werden Ishihara-Farbtafeln (Abb. 3) eingesetzt, die die Schülerinnen und Schüler in Eigenregie zur Durchführung eines individuellen Sehtests verwenden. Der AR kommt hierbei die Rolle zu, die eigene Wahrnehmung im Test mit dem »Soll-Ergebnis« im Sinne einer Diagnose vergleichbar zu machen. Dies geschieht beim Einsatz von AR direkt am Original, also der wahrgenommenen Realität, und nicht anhand einer zweiten, dinglich separaten Ishihara-Karte mit aufgedruckter Musterlösung, die auch sinneswahrnehmungstechnisch nicht der Originalkarte entsprechen würde. AR kann das erwartete Ergebnis als Overlay konkret an der Testtafel verdeutlichen, ohne Replikate einsetzen zu müssen. Dadurch ist jedwede Manipulation sicher ausgeschlossen, die Wahrnehmung ist zweifelsfrei passend zum mit den eigenen Augen immer noch fokussierten Realobjekt (Abb. 3). Alternative Umsetzungen mit Vergleichsbildern sind unabhängig von der Realisierung als Bilder am PC oder mit »Lösungskarten« (Abb. 3A) nicht wirklich an einen dinglichen Sinneseindruck aus der realen Welt gekoppelt und greifen auf ein zweites Bild oder eine virtuelle Abbildung zurück. Bezüglich

der Verbindung zum Original würde einzig eine Umsetzung mit transparenten Folien, mit denen zu erwartende Wahrnehmungen über die Ishihara-Karte gelegt werden können, an die AR-Umsetzung heranreichen. Für diese methodische Variante müssten die Farbtafeln jedoch so modifiziert werden, dass Markierungen ein Auflegen der Lösungsfolien in korrekter Orientierung gewährleisten. Im Falle der AR-Integration leistet die Software das automatisch, weshalb das Realobjekt nicht mit eigentlich für das Phänomen irrelevanten Merkmalen ergänzt bzw. verändert werden muss.

## EINSATZBEISPIEL AUGMENTIERUNG VON MODELLEN BZW. MEDIEN

Als ein in der Praxis getestetes Beispiel können Augmentierungen im Rahmen des Alzheimer-Koffers (Kins et al., 2016) betrachtet werden. Der Alzheimer-Koffer setzt digitale Medien nicht nur im Bereich der AR ein. Sein Konzept basiert darauf, mittels kombinierter digitaler Verfahren, Tools und Medien die Alzheimer-Erkrankung für Schülerinnen und Schüler zugänglich zu machen. Ausgehend von digitalen MRT-Daten von gesunden und erkrankten Personen, werden mittels 3D-Druck die entsprechenden, visuell nicht zugänglichen Gehirne quasi aus dem Schädel extrahiert und »begreifbar« gemacht. Prinzipiell können so Veränderungen des Gehirns zugänglich gemacht werden, die am Original aus nachvollziehbaren Gründen nicht zu erschließen sind. In Abb. 4 sind Komponenten des Koffers und Ausgangsdaten bzw. Repräsentationen zusammengefasst. Wie gut zu erkennen ist, können mittels 3D-Druck abstrakte, virtuelle Repräsentationen in eine reale Darstellung überführt werden, deren Erschließung somit als Realobjekt erst ermöglicht wird.

Die Nutzung solcher Modelle vereinfacht die Bearbeitung, da die Auseinandersetzung und Wahrnehmung der alltäglichen Informationserfahrung entspricht und nicht ausschließlich virtuell erfolgen muss. Der Ausdruck als Scheiben ermöglicht, anders als massive Modelle, auch eine Sichtung von innen liegenden Veränderungen des Gehirns, genauso wie der Einsatz virtueller Schnitte in den MRT-Daten. Mangelnde Übung beim Arbeiten mit entsprechender Software und Repräsentationen bedingt in der Regel jedoch, dass die räumliche Vorstellung im Falle der virtuellen Erschließung schwerer fällt. Die



**Abb. 4:** Konzept des Alzheimer-Koffers: Plastinierte Hirnscheibe (A), MRT Daten (B), Kofferinhalt (C) mit AR-MRT unterstützten Hirnscheiben (D) und Hirnmodellen mit augmentierten Hirnarealen (E & F)

3D-Drucke als Medium erleichtern die räumliche Auseinandersetzung zwar, enthalten im Vergleich zu den MRT-Daten jedoch weniger Informationen. Die im Rahmen des Ausdrucks erfolgte Umkodierung und die zu verwendenden Werkstoffe führen mit diesem Verfahren bei der Modellerstellung zum Verlust von visuellen Informationen, die die graue und weiße Hirnsubstanz unterscheidbar machen. Durch Alzheimer bedingte Veränderungen wie Gewebeerluste lassen sich auf dieser Ebene also nicht mehr hinreichend auflösen bzw. zuordnen.

Augmented Reality kann hier die prinzipiell vorteilhaften, jedoch mit diesem Mangel behafteten 3D-Drucke deutlich aufwerten. Die in Hirnpräparaten und den MRT-Daten vorhandenen Informationen zur grauen und weißen Substanz können mittels Overlay-Techniken ergänzt werden. Darüber hinaus können so auch zusätzliche, didaktisch hilfreiche Informationen in den Lern- bzw. Erschließungsprozess eingebunden werden.

Die didaktischen Einbindungsmöglichkeiten lassen sich über die virtuelle Inhaltsebene theoretisch fast unbegrenzt erweitern. Über methodische Analysen mit Passung zum geplanten Einsatz sollten deshalb sinnvolle Augmentierungen im Vergleich zu alternativen Medien und Methoden einen stimmigen AR-Einsatz gewährleisten.

## ERSTE EMPIRISCHE DATEN ZUM EINSATZ UND FAZIT

Zu den hier genannten Beispielen liegen bislang noch keine belastbaren Ergebnisse empirischer Studien vor. Zu den einzelnen Szenarien und Lernumgebungen bzw. -situationen werden deshalb im Folgenden beispielhaft einige Daten diskutiert, die sich auf die Befragung von Studierenden bzw. Schülerinnen und Schülern im Rahmen eines universitären Ausbildungsmoduls sowie der Durchführung einer Stunde zum Farbsehen (vgl. 3.2) beziehen. Ein Ziel der jeweils zugehörigen Befragung war es, mit Kurzskalen (2 bis 6 Items) einen Einblick zur Einschätzung der Tauglichkeit von mit Aurasma erstellten Lernumgebungen im Hinblick auf die Einfachheit der Bedienung, das didaktisch-methodische Potenzial und zu motivationalen Aspekten zu bekommen.

Eine Befragung von Lehramtsstudierenden ( $N = 23$ ) eines Ausbildungsmoduls mittels 5-stufigen Skalen (mit den Werten 1 bei negativer Einschätzung bis 5 bei positiver Einschätzung) nach einer 90-minütigen Ausbildungseinheit zur AR-Erstellung und Anwendung im Biologieunterricht erfasste deren Sichtweise in Bezug auf drei Aspekte: wie hilfreich/binnendifferenziert AR für Schülerinnen und Schüler sein kann (2 Items, Cronbachs  $\alpha = 0,762$ ,  $MW = 4,26$ ,  $SD = 0,61$ ), wie einfach die Bedienung ist (2 Items, Cronbachs  $\alpha = 0,830$ ,  $MW = 3,37$ ,  $SD = 0,92$ ) und wie groß der didaktisch-methodische Nutzen von AR eingeschätzt wird (2 Items, Cronbachs  $\alpha = 0,697$ ,  $MW = 4,19$ ,  $SD = 0,58$ ). Das Potenzial für den Biologieunterricht wird demnach bei tendenziell einfacher Bedienung hoch bis sehr hoch eingeschätzt.

Zur Betrachtung der Schülerperspektive dient beispielhaft die Befragung einer Klasse ( $N = 24$ ) nach erstmaligem praktischem Einsatz von AR in einer 45-minütigen Lerneinheit zum Farbsehen mit einer 4-stufigen Skala (mit den Werten 1 bei negativer Einschätzung bis 4 bei positiver Einschätzung) zur Einfachheit der Bedienung/Anwendung (2 Items, Cronbachs  $\alpha = 0,699$ ,  $MW = 2,85$ ,  $SD = 0,81$ ). Aus Schülersicht wird der Einsatz also auch bei erstmaligem Einsatz als eher einfach bewertet. Eine Erfassung der externalen (6 Items, Cronbachs  $\alpha = 0,781$ ,  $MW = 1,87$ ,  $SD = 0,63$ ) und intrinsischen Motivation (6 Items, Cronbachs  $\alpha = 0,698$ ,  $MW = 2,87$ ,  $SD = 0,42$ ) mit einem Fragebogen des Programms SINUS-Transfer (Seidel et al., 2003) zeigt, dass die Schülerinnen und Schüler in der Lernsituation unter AR-Einsatz eher intrinsisch motiviert waren bzw. wurden.

Diese Fallbeispiele zeigen, dass AR auch für Anfänger, sowohl auf der Seite der Lehrenden als auch der Lernenden, als ein Werkzeug zur Optimierung von Medien bzw. Lernumgebungen grundsätzlich geeignet und praxistauglich ist. Der Einsatz sollte wie bei jeder didaktisch-methodischen Planung überlegt und ziel- bzw. zielgruppengerecht erfolgen.

## LITERATUR

- Azuma, R. T. (1997). A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), 355 – 385.
- Baron, M. G., Norman, D. B. & Barrett, P. M. (2017): A New Hypothesis of Dinosaur Relationships and Early Dinosaur Evolution, *Nature*, 543(7646), 501 – 506.
- Dunleavy, M. & Dede, C. (2014). Augmented reality teaching and learning. In J. M. Spector, M. D Merrill, J. Elen & M. J. Bishop (Hrsg.), *The Handbook of Research for Educational Communications and Technology* (4. Edition, S. 735 – 745). New York: Springer.
- Faßler, M. (1997), *Was ist Kommunikation?* München: Fink.
- Kins, S., Sternheim E., Würkner A. & Thyssen C. (2016). *3D printing technology in teaching Alzheimer's Disease. 1st International Conference on 3D Printing in Medicine*. Mainz.
- Kins S., Thyssen, C., Lutz, P. & Sternheim, E. (2017). *Über das Vergessen lernen – Alzheimer Demenz im Biologieunterricht*. Heidelberg: Springer Spektrum.
- Küçük, S., Kapakin, S. & Göktaş, Y. (2016). Learning anatomy via mobile augmented reality: Effects on achievement and cognitive load. *Anatomical Sciences Education*, 9(5), 411 – 421.
- Pross, H. (1972). *Medienforschung*. Darmstadt: Habel.
- Santos, M. E. C., de Souza Almeida, I. & Yamamoto, G. (2016). Exploring legibility of augmented reality X-ray. *Multimedia Tools and Applications*, 75(16), 9563 – 9585. doi:10.1007/s11042-015-2954-1
- Seidel, T., Prenzel, M., Duit, R. & Lehrke, M. (2003a): *Technischer Bericht zur Videostudie »Lehr-Lern-Prozesse im Physikunterricht«*. Kiel: IPN.
- Specht, M., Ternier, S. & Greller, W. (2011). Mobile Augmented Reality for Learning: A Case Study. *Journal Of The Research Center For Educational Technology*, 7(1).
- Thyssen, C., Kins, S., Sternheim, E. & Lutz, P. (2017): *Didaktik und Methodik zu Originalen, Augmented Reality und 3D-Drucken im Unterricht: digital + analog = Unterricht 4.0* (MNU Junglehrtag). Aachen.
- Zimmer, D. & Thyssen, C. (2017). Augmented Reality – Neue Möglichkeiten Originale in der Realität noch besser zu machen. *MNU Themenspezial MINT 2017*. Neus: Verlag Klaus Seeberger (in press).

## ÜBER DEN AUTOR



---

Im Anschluss an das Staatsexamen in Biologie und Chemie und an eine fachwissenschaftliche Promotion in Biologie absolvierte Dr. **Christoph Thyssen** das Referendariat. Nach mehrjähriger Schultätigkeit und dem Erwerb der Unterrichtserlaubnis in Informatik ist er seit 2008 Leiter der Arbeitsgruppe Fachdidaktik im Fachbereich Biologie der TU Kaiserslautern. Neben digitalen Medien bilden außerschulische Lernorte und interdisziplinäre Ansätze einen Schwerpunkt seiner Arbeiten.

---

Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen – Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer (2017), J. Meßinger-Koppelt, S. Schanze & J. Groß (Hrsg.), Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag

# BEEINFLUSST E-LEARNING-GESTÜTZTER UNTERRICHT AM AUSSERSCHULISCHEN LERNORT KOGNITIVES LERNEN?

*Jessica Langheinrich @ Franz X. Bogner*

Lernen am außerschulischen Lernort Labor zeichnet sich vor allem durch schülerzentriertes und experimentelles Arbeiten in einer authentischen Lernumgebung aus und soll einen langfristigen und nachhaltigen Wissenszuwachs vermitteln. Durch zusätzliches Einbinden von E-Learning kann beispielsweise ein altersgerechtes Sichtbarmachen ansonsten nicht sichtbarer molekularer Ebenen genetischer Phänomene einen zusätzlichen Wert beisteuern. In diesem Fall kann die Kombination von E-Learning-Ansätzen mit schülerzentrierten Experimenten synergistisch effektiver sein als jede der beiden Methoden für sich allein. Gerade im Fachbereich Genetik können nicht sichtbare Phänomene auf molekularer Ebene, beispielsweise in Form von interaktiven Modellen, sichtbar gemacht werden (Levy, 2013). Diese haben zudem den Vorteil, die Aufmerksamkeit beim Arbeiten mit dem Modell nur auf bestimmte, programmspezifische Interaktionen zu bündeln (Barrett, Stull, Hsu & Hegarty, 2015). Dies könnte unter anderem der Grund dafür sein, dass Arbeiten mit interaktiven Modellen ein sehr viel umfassenderes Verständnis erbringt und sogenanntes »träges Wissen«, also theoretisch vorhandenes, aber nicht anwendbares Wissen, eher verhindert (Ryoo & Linn, 2012). Des Weiteren ermöglicht ein Arbeiten mit interaktiven Modellen die Förderung konzeptuellen Verständnisses (Lewis & Wood-Robinson, 2000). An einem konkreten Unterrichtsbeispiel soll das Einbringen eines interaktiven Modells der DNA-Struktur im schülerzentrierten Unterricht einer 11. Jahrgangsstufe am außerschulischen Lernort Labor vorgestellt werden.

## EINFÜHRUNG EINES MESSWERKZEUGES FÜR DIE EVALUATION DES UNTERRICHTS

Hier geht es noch nicht um fachdidaktische Mehrwerte durch die Einführung von digitalen Werkzeugen, sondern zunächst um die Entwicklung eines Messinstruments zu deren sicherer Erhebung. Der Einsatz von Computern im Unterricht bietet zahlreiche Lernmöglichkeiten und -methoden. Ein positives Computerselbstkonzept ermöglicht den Schülerinnen und Schülern, diese Lernumgebung auch vollständig zu nutzen, da das Selbstkonzept neben dem eigenen Verhalten im Umgang mit dem Medium auch die resultierenden Noten beeinflusst (Markus & Nurius, 1986; Zimmermann, 2000; Denissen et al., 2007; Janneck et al., 2013). Ein entsprechendes valides Messinstrument für das Computerselbstkonzept ist nötig. Dieses muss, um den unterrichtlichen Einsatz eines wissenschaftlichen Fragebogens zu ermöglichen, möglichst kurz sein und sollte den täglichen Unterrichtsverlauf wenig unterbrechen.

Für die Validierung der hierfür zu entwickelnden Skala wurden exemplarisch Schülerinnen und Schüler der 8. und 11. Jahrgangsstufe sowie Studierende verschiedener Fachrichtungen befragt ( $N = 488$ ). Eine PC-Faktorenanalyse (Varimax-Rotation, Kaiser-Meyer-Olkin-Wert = 0,80) sicherte die Validierung. Alle Items, die Cronbachs  $\alpha$  erhöhen würden, Items mit zu geringer Trennschärfe ( $< 0,30$ ), Mehrfachladungen und Ladungen unter 0,40 wurden als unzureichend bewertet und aus der Skala entfernt (Nunnally & Bernstein, 1994). Zur Analyse der Skalenhomogenität wurde eine Inter-Item-Korrelationsmatrix erstellt und analysiert. Mithilfe einer einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) und eines anschließenden Tukey-Post-hoc-Tests wurden die Computerselbstkonzeptwerte der drei Altersstufen gegenübergestellt. Vergleiche des Computerselbstkonzeptes zwischen den Geschlechtern wurden mit dem t-Test errechnet. Die Skalenhomogenität erzielte mit 0,47 einen zufriedenstellenden Wert. Die Faktorstruktur war für alle Stichproben sowie die Geschlechter identisch und erreichte gute Reliabilitäten (Cronbachs  $\alpha_{\text{Studierende}} = 0,84$ ; Cronbachs  $\alpha_{\text{Jgst. 11}} = 0,84$ ; Cronbachs  $\alpha_{\text{Jgst. 8}} = 0,85$ ; Kline, 1999).

Item	Faktorladung	$r_{it}$	$\alpha^*$
Es ist mir sehr wichtig, mit dem Computer zu arbeiten.	0,664	0,603	0,822
Am Computer zu spielen oder zu arbeiten, macht mir richtig Spaß.	0,774	0,704	0,803
Ich benutze den Computer, weil mich das sehr interessiert.	0,844	0,756	0,790
Beschäftigung mit Computerprogrammen ist mir sehr wichtig.	0,760	0,682	0,806
Für die Beschäftigung mit dem Computer verzichte ich gerne auf andere Aktivitäten.	0,518	0,476	0,846
Im Umgang mit Computern stelle ich mich sehr geschickt an.	0,575	0,527	0,836

**Abb. 1:** Item-Kennwerte der validierten Kurzskala zur Messung des Computerselbstkonzeptes; Anmerkungen: Stichprobe 1,  $N = 488$ ,  $r_{it}$  = Trennschärfe,  $\alpha^*$  = Cronbachs  $\alpha$ , wenn Item gelöscht

Die Ergebnisse der Analyse der verschiedenen Stichproben (Schülerinnen und Schüler der 8. und 11. Jahrgangsstufen sowie Studierende) zeigten ein Abfallen des Computerselbstkonzeptes mit zunehmendem Alter. Hierbei ist lediglich das mittlere Computerselbstkonzept der Jahrgangsstufe 8 signifikant höher als das der älteren Teilnehmer. Dieser Trend folgt der Literatur (Comber et al., 1997). Das gilt auch für das mittlere Computerselbstkonzept der Geschlechter: Lediglich zwischen weiblichen und männlichen Teilnehmern der Jahrgangsstufen 8 und 11 zeigten sich signifikante Unterschiede. Über die verschiedenen Altersgruppen hinweg näherten sich die mittleren Computerselbstkonzeptwerte der Geschlechter gegenseitig an. Dies impliziert eine Erhöhung des Selbstkonzeptes der weiblichen Teilnehmer und ein Absinken des Selbstkonzeptes der männlichen.

Da das Selbstkonzept neben kognitivem Lernen auch Interesse und Motivation beeinflussen kann (Christoph et al., 2015; Morris et al., 2009; Denissen et al., 2007), ist es wichtig, interindividuelle Unterschiede in einzelnen Klassen zu kennen und den Unterricht entsprechend anzupassen. Die entwickelte valide Skala soll Lehrkräften die Chance ermöglichen, auf schnellem Weg ei-

nen Überblick über den Stand des Computerselbstkonzeptes der Klasse zu erhalten und den Unterricht, angepasst an die Schülerinnen und Schüler, möglichst lernförderlich zu gestalten.

## FORSCHUNGSFRAGEN IM FOKUS DER FACHDIDAKTISCHEN LEHRLERN-FORSCHUNG

Schülerzentriertes Arbeiten hat schon mehrfach sein besonderes Potenzial beim Lernen gezeigt, nicht nur im Hinblick auf das bloße kognitive Erweitern individuellen Wissens, sondern auch bezüglich eigentlich »weicher« Variablen wie Interesse, Motivation oder Emotionen (z. B. Schaal & Bogner, 2005; Tran, 2007; Sturm & Bogner, 2008, 2010; Randler & Bogner, 2009; Geier & Bogner, 2010; Gerstner & Bogner, 2010). Vor allem die langfristig mögliche Steigerung von einmal erlerntem Wissen sticht hier als Wert heraus. Jüngste Studien konnten sogar einen Bestand dieses neu erlernten Wissens über einen Zeitraum eines ganzen Jahres nachweisen (Schmid & Bogner, 2015; Schumm & Bogner, 2016). Diese erfreulichen Zusammenhänge scheinen auch für den außerschulischen Lernort Labor zu gelten (Scharfenberg & Bogner, 2008, 2010, 2011, 2013a, 2013b; Franke & Bogner, 2011; Schönborn et al., 2011; Goldschmidt & Bogner, 2016).

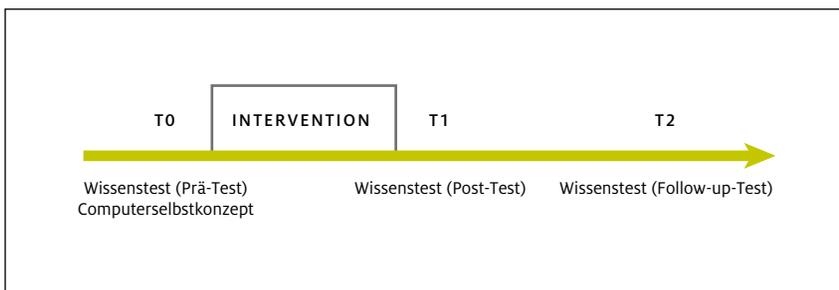
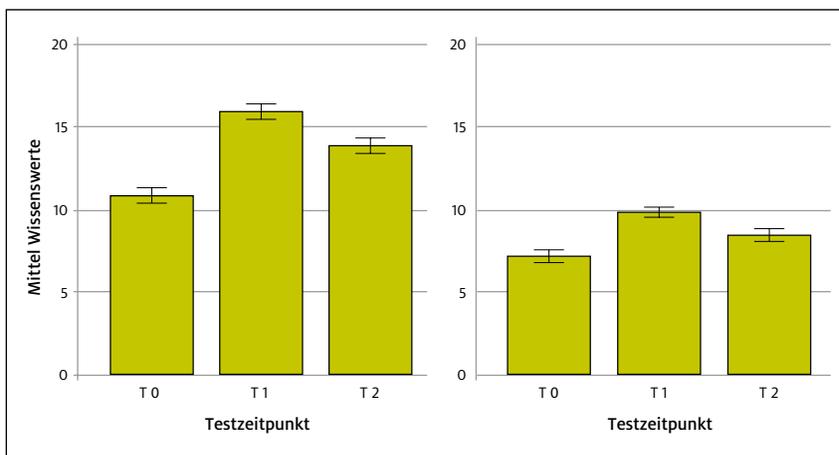


Abb. 2: Zeitliche Positionierung der jeweiligen Testerhebungen

Ein zusätzliches Einbinden von digitalen 3D-Visualisierungen würde dem Unterricht vor allem in einem molekularen Bereich zahlreiche neue Möglichkeiten eröffnen, da es hier molekulare und nicht sichtbare Phänomene zu veranschaulichen gilt (Gelbart & Yarden, 2006; Stern et al., 2008; Yarden & Yarden, 2010; Sotiriou & Bogner, 2008; Gialouri et al., 2011). Hierbei kann das Selbstkonzept einen großen Einfluss auf erlerntes Wissen haben (Guay, Marsh, & Boivin, 2003; Marsh, 1990; Marsh et al., 2005; Marsh & Craven, 2006). Dabei wurden in der Vergangenheit diverse Ansätze verfolgt: Es wurden der Einsatz von Animationen gegenüber Standbildern untersucht (Höfler & Leutner, 2007; Rotbain et al., 2008; Huk et al., 2010), 3D-Objekte eingesetzt (Huk, 2006; Korakakis et al., 2009) oder auf das Einbetten von geeigneten Simulationen im Unterricht gesetzt (Kiboss et al., 2004).

Basierend auf diesen bisherigen Erkenntnissen, ergaben sich zwei Forschungsfragen: (1) Können Schülerinnen und Schüler durch ein E-Learning-gestütztes Unterrichtsmodul am außerschulischen Lernort Labor kurz- und langfristig dazulernen? (2) Ist ein zu erwartender Wissenszuwachs durch die Computer-Lerneinheit abhängig vom individuellen Computerselbstkonzept?



**Abb. 3:** Wissenswerte der drei Testzeitpunkte, Links: Durchschnittswerte des Gesamtmoduls, Rechts: Durchschnittswerte der Evaluation der E-Learning-Einheit (95% Konfidenz-Intervall)

Da ein Einfluss des Computerselbstkonzeptes nur auf den Wissenszuwachs in computergestützten Lernsituationen zu erwarten war, wurde erworbenes Wissen zwischen der E-Learning-Phase und der projektorientierten Phase unterschieden. Insgesamt nahmen 162 Schülerinnen und Schüler der 11. Jahrgangsstufe teil. Die Stichprobe bestand aus 79 Mädchen und 81 Jungen (1 unbekannt) mit einem Altersdurchschnitt von 17,05 Jahren ( $SD = 0,68$ ). Zur Bewertung des Wissenszuwachses wurde ein Multiple-Choice-Wissenstest mit jeweils vier Antwortmöglichkeiten pro Frage eingesetzt. Jede Frage bestand aus einer richtigen und drei nicht korrekten Antworten. Der Test beinhaltete insgesamt 20 Wissensfragen (Cronbachs  $\alpha > 0,63$ ), zwölf Fragen bezüglich der Computer-Lerneinheit und acht bezüglich des projektorientierten Wissens. Inhaltsvalidität des Fragebogens war durch Anlehnung des Unterrichtes im Schülerlabor und der Fragen an den Lehrplan gegeben. Das Wissen der Schülerinnen und Schüler wurde eine Woche vor Teilnahme am Unterrichtsmodul (T0), direkt nach dem Kurstag (T1) und neun Wochen nach der Intervention (T3) abgefragt. Die Analyse der Wissensfragen erfolgte mit Summenwerten der richtigen Antworten. Um Aussagen über den Einfluss des Computerselbstkonzeptes auf den Wissenszuwachs treffen zu können, wurde im Vortest (T0) zusätzlich die Computerselbstkonzeptskala eingesetzt.

	Mittelwert Computer- selbstkonzept		T0 – T1	T0 – T2
Alle	2,50 ± 0,63	Korrelationskoeffizient Sig. (2-seitig)	-0,054 0,495	-0,014 0,860
Mädchen	2,28 ± 0,53	Korrelationskoeffizient Sig. (2-seitig)	-0,104 0,361	-0,152 0,181
Jungen	2,76 ± 0,65	Korrelationskoeffizient Sig. (2-seitig)	-0,038 0,739	0,098 0,382

**Abb. 4:** Korrelationen zwischen dem Computerselbstkonzept und dem kurzfristigen (T1 – T0) und dem langfristigen Wissenszuwachs (T2 – T0) in der E-Learning-Phase

Laut Literatur beeinflusst das Selbstkonzept schulische Leistungen und kann sich daher in den Noten widerspiegeln (Guay et al., 2003, Marsh et al., 2005), sobald E-Learning-gestützter Unterricht verwendet wird. Diese Erwartungen konnten in dieser Studie nicht bestätigt werden: Die Evaluation des E-Learning-gestützten Unterrichts am außerschulischen Lernort Labor ergab einen kurz- und langfristigen Wissenszuwachs – über die ganze Intervention hinweg. Ein Zuwachs der vermittelten Inhalte während der E-Learning-Einheit erwies sich als unabhängig vom individuellen Computerselbstkonzept. Schülerinnen und Schüler mit hohen und mit niedrigen Computerselbstkonzeptwerten lernten also gleichwertig. Die Unterschiede im Wissenszuwachs verursachten folglich andere Variablen. Beispiele hierfür könnten themenbezogene Einstellungen, die Selbstwirksamkeitserwartung oder, für das Arbeiten mit interaktiven Modellen relevant, das räumliche Vorstellungsvermögen sein (Fremerey & Bogner, 2015).

Die Erhöhung des Schülerwissens durch Unterricht am außerschulischen Lernort sowie durch Arbeiten mit E-Learning ist durch die Literatur mehrfach bestätigt (Meissner & Bogner, 2011; Bissinger & Bogner, 2013). Für das gesamte Selbstkonzept konnten bereits Auswirkungen auf das Lernen nachgewiesen werden (Guay et al., 2003). Dennoch blieb der zu erwartende Einfluss des Computerselbstkonzeptes auf den Wissenszuwachs in der Computer-Lerneinheit aus. Das Computerselbstkonzept zeigt also zumindest in der vorliegenden Studie keine Auswirkungen auf den schulischen Lernerfolg.

## SCHLUSSFOLGERUNG

Die Studie beruht auf einem schülerzentrierten und E-Learning-gestützten Unterrichtsmodul am außerschulischen Lernort Labor. Der gemessene Wissenszuwachs – unabhängig vom Computerselbstkonzept – ist ein überraschendes, aber auch beruhigendes Ergebnis. Die Kopplung von schülerzentrierten, experimentellen Unterrichtseinheiten mit E-Learning-Modulen zeigte sich demzufolge als sehr effektiv. Diese Methoden sind keineswegs an den außerschulischen Lernort Labor gebunden, sondern können auch im Unterricht verwendet werden. Die Verdeutlichung molekularbiologischer Phäno-

mene ist daher nur ein Beispiel für den begründeten Einsatz von E-Learning. Dieser eignet sich beispielsweise für das Durchführen von Versuchen in virtuellen Laboratorien, die aus Sicherheitsgründen oder aus Mangel an Utensilien nicht in der Schule durchgeführt werden können, für Veranschaulichung via Zeitraffer oder Zeitlupe (vgl. Beitrag [Hilfert-Rüppell & Sieve](#), S. 147) sowie für das Erlernen und Durchführen wissenschaftlicher Kalkulationen.

In dieser Studie zeigte sich kein Einfluss des Computer selbstkonzeptes auf den Wissenszuwachs. Infolgedessen sind Unterschiede im Lernerfolg durch andere Faktoren begründet, die in dieser Studie nicht untersucht worden sind. Zudem können keine Aussagen über durch den experimentellen Unterricht erworbene Fähigkeiten und Fertigkeiten getroffen werden, da diese nicht abgefragt wurden. In weiteren Studien sollten auch diese Bereiche genauer untersucht und empirisch evaluiert werden.

Die Kopplung von schülerzentrierten, experimentellen Unterrichtseinheiten mit E-Learning-Modulen zeigte sich als sehr effektiv.

## LITERATUR

- Barrett, T. J., Stull, A. T., Hsu, T. M. & Hegarty, M. (2015). Constrained interactivity for relating multiple representations in science: when virtual is better than real. *Computers and Education*, 81, 69 – 81.
- Bissinger, K. & Bogner, F. X. (2015). Student's Quality perception and learning outcomes when using an open accessible eLearning-resource. *eLearning Papers*, 40, 23 – 31.
- Christoph, G., Goldhammer, F., Zylka, J. & Hartig, J. (2015). Adolescents' computer performance: the role of self-concept and motivational aspects. *Computers and Education*, 81, 1 – 12. doi:10.1016/j.compedu.2014.09.004
- Comber, C., Colley, A., Hargreaves, D. J. & Dorn, L. (1997). The effects of age, gender and computer experience upon computer attitudes. *Educational Research*, 39(2), 123 – 133.
- Denissen, J. J. A., Zarrett, N. R. & Eccles, J. S. (2007). I Like to Do It, I'm Able, and I Know I Am: Longitudinal Couplings between Domain-Specific Achievement, Self-Concept, and Interest. *Child Development*, 78(2), 430 – 447.
- Franke, G. & Bogner, F. X. (2011). Cognitive influences of students' alternative conceptions within a hands-on gene technology module. *Journal of Educational Research*, 104, 158 – 170.

- Fremerey, C. & Bogner, F. X. (2015). Cognitive learning in authentic environments in relation to green attitude preferences. *Studies in Educational Evaluation*, 44, 9–15. doi:10.1016/j.stueduc.2014.11.002
- Geier, C. S. & Bogner, F. X. (2010). Student-centered anti-smoking education: Comparing a classroom-based and an out-of-school setting. *Learning Environments Research*, 13(2), 147–157. doi:10.1007/s10984-010-9069-4
- Gelbart, H. & Yarden, A. (2006). Learning genetics through an authentic research simulation in bioinformatics. *Journal of Biological Education*, 40, 107–112.
- Gerstner, S. & Bogner, F. X. (2010). Cognitive achievement and motivation in hands-on and teacher-centered science classes: Does an additional hands-on consolidation phase (concept mapping) optimize cognitive learning at work stations? *International Journal of Science Education*, 32(7), 849–870. doi:10.1080/09500690902803604
- Gialouri, E., Uzunoglou, N., Gargalakos, M., Sotiriou, S. & Bogner, F. X. (2011). Teaching real-life science in the lab of tomorrow. *Advanced Science Letters*, 4(11–12), 3317–3323. doi:10.1166/asl.2011.2041
- Goldschmidt, M. & Bogner, F. X. (2016). Learning about genetic engineering in an outreach laboratory: Influence of motivation and gender on students' cognitive achievement. *International Journal of Science Education*, 6(2), 166–187. doi:10.1080/21548455.2015.1031293
- Guay, F., Marsh, H. W. & Boivin, M. (2003). Academic self-concept and academic achievement: developmental perspectives on their causal ordering. *Journal of Educational Psychology*, 95(1), 124–136. doi:10.1037/0022-0663.95.1.124
- Höfler, T. N. & Leutner, D. (2007). Instructional animation versus static pictures: A meta-analysis. *Learning and Instruction*, 17(6), 722–738. doi:10.1016/j.learninstruc.2007.09.013
- Huk, T. (2006). Who benefits from learning with 3D models? The case of spatial ability. *Journal of computer assisted learning*, 22(6), 392–404. doi:10.1111/j.1365-2729.2006.00180.x
- Huk, T., Steinke, M. & Floto, C. (2010). The educational value of visual cues and 3D-representational format in a computer animation under restricted and realistic conditions. *Instructional Science*, 38(5), 455–469. doi:10.1007/s11251-009-9116-7
- Janneck, M., Vincent-Höper, S. & Ehrhardt, J. (2013). The computer-related self-concept: A gender-sensitive study. *International Journal of Social and Organizational Dynamics in IT*, 3(3), 1–16. doi:10.4018/ijsoedit.2013070101
- Kiboss, J. K., Ndirangu, M. & Wekesa, E. W. (2004). Effectiveness of a Computer-Mediated Simulations Program in School Biology on Pupils' Learning Outcomes in Cell Theory. *Journal of Science Education and Technology*, 13(2), 207–213. doi:10.1023/B:JOST.0000031259.76872.f1
- Korakakis, G., Pavlatou, E. A., Palyvos, J. A. & Spyrellis, N. (2009). 3D visualization types in multimedia applications for science learning: A case study for 8<sup>th</sup> grade students in Greece. *Computers and Education*, 52(2), 69–81. doi:10.1016/j.compedu.2008.09.011
- Levy, D. (2013). How dynamic visualization technology can support molecular reasoning. *Journal of Science Education and Technology*, 22(5), 702–717. doi:10.1007/s10956-012-9424-6

- Lewis, J. & Wood-Robinson, C. (2000). Genes, chromosomes, cell division and inheritance—do students see any relationship? *International Journal of Science Education*, 22(2), 177–195.
- Markus, H. & Nurius, P. (1986). Possible selves. *American Psychologist*, 41(9), 954–969.
- Marsh, H. W. (1990). Causal ordering of academic self-concept and academic achievement: A multiwave, longitudinal panel analysis. *Journal of Educational Psychology*, 82(4), 646–656. doi:10.1037/0022-0663.82.4.646
- Marsh, H. W. & Craven, R. G. (2006). Reciprocal effects of self-concept and performance from a multidimensional perspective: Beyond seductive pleasure and unidimensional perspectives. *Perspectives on Psychological Science*, 1(2), 133–163. doi:10.1111/j.1745-6916.2006.00010.x
- Marsh, H. W., Trautwein, U., Lüdtke, O., Köller, O. & Baumert, J. (2005). Academic self-concept, interest, grades, and standardized test scores: Reciprocal effects models of causal ordering. *Child development*, 76(2), 397–416.
- Meissner, B. & Bogner, F. X. (2011). Enriching students' education using interactive workstations at a salt mine turned science center. *Journal of Chemical Education*, 88(4), 510–515. doi:10.1021/ed1006103
- Morris, S. A., Gullekson, N. L., Morse, B. J. & Popovich, P. M. (2009). Updating the attitudes toward computer usage scale using American undergraduate students. *Computers in Human Behavior*, 25(2), 535–543. doi:10.1016/j.chb.2008.11.008
- Nunnally, J. C. & Bernstein, I. H. (1994). *Psychometric Theory* (3. Auflage). New York: McGraw-Hill.
- Randler, C. & Bogner, F. X. (2009). Efficacy of two different instructional methods involving complex ecological content. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 7(2), 315–337. doi:10.1007/s10763-007-9117-4
- Rotbain, Y., Marbach-Ad, G. & Stavy, R. (2008). Using a computer animation to teach high school molecular biology. *Journal of Science Education and Technology*, 17(1), 49–58. doi:10.1007/s10956-007-9080-4
- Ryoo, K. & Linn, M. C. (2012). Can dynamic visualizations improve middle school students' understanding of energy in photosynthesis? *Journal of Research in Science Teaching*, 49(2), 218–243. doi:10.1002/tea.21003
- Schaal, S. & Bogner, F. X. (2005). Human visual perception – learning at workstations, *Journal of Biological Education*, 40(1), 32–37.
- Scharfenberg, F.-J. & Bogner, F. X. (2013a). Teaching gene technology in an outreach Lab: Students' assigned cognitive load clusters and the clusters' relationship to learner characteristics, laboratory variables, and cognitive achievement. *Research in Science Education*, 43(1), 141–161. doi:10.1007/s11165-011-9251-4
- Scharfenberg, F.-J. & Bogner, F. X. (2013b). Instructional efficiency of tutoring in an outreach gene technology laboratory. *Research in Science Education*, 43(3), 1267–1288.
- Scharfenberg, F.-J. & Bogner, F. X. (2011). A new two-step approach for hands-on teaching of gene technology: Effects on students' activities during experimentation in an outreach gene technology lab. *Research in Science Education*, 41(4), 505–523.

- Scharfenberg, F.-J. & Bogner, F. X. (2010). Instructional efficiency of changing cognitive load in an out-of-school laboratory. *International Journal of Science Education*, 32(6), 829 – 844.
- Scharfenberg, F.-J. & Bogner, F. X. (2008). A category-based video-analysis of students' activities in an out-of-school hands-on gene technology lesson. *International Journal of Science Education*, 30(4), 451 – 467.
- Schmid, S. & Bogner, F. X. (2015). Effects of Students' Effort Scores in a Structured Inquiry Unit on Long-Term Recall Abilities of Content Knowledge. *Education Research International*, Volume 2015. doi:10.1155/2015/826734
- Schönborn, K. J., Bivall, P. & Tibell, L. A. E. (2011). Exploring relationships between students' interaction and learning with a haptic virtual biomolecular model. *Computers and Education*, 57(3), 2095 – 2105. doi:10.1016/j.compedu.2011.05.013
- Schumm, M. & Bogner, F. X. (2016). The impact of science motivation on cognitive achievement within a 3-lesson unit about renewable energies. *Studies in Educational Evaluation*, 50, 14 – 21. doi:10.1016/j.stueduc.2016.06.002
- Sotiriou, S. & Bogner, F. X. (2008). Visualizing the invisible: Augmented reality as an innovative science education scheme. *Advanced Science Letters*, 1, 114 – 122. doi:10.1166/asl.2008.012
- Stern, L., Barnea, N. & Shauli, S. (2008). The Effect of a Computerized Simulation on Middle School Students' Understanding of the Kinetic Molecular Theory. *Journal of Science Education and Technology*, 17(4), 305 – 315. doi:10.1007/s10956-008-9100-z
- Sturm, H. & Bogner, F. X. (2008). Student-oriented versus teacher-centered: The effect of learning at workstations about birds and bird flight on cognitive achievement and motivation. *International Journal of Science Education*, 30(7), 941 – 959. doi:10.1080/09500690701313995
- Sturm, H. & Bogner, F. X. (2010). Learning at workstations in two different environments: A museum and a classroom. *Studies in Educational Evaluation*, 36, 14 – 19. doi:10.1016/j.stueduc.2010.09.002
- Tran, L. U. (2007). Teaching science in museums: The pedagogy and goals of museum educators. *Science Education*, 91(2), 278 – 297. doi:10.1002/sce.20193
- Yarden, H. & Yarden, A. (2010). Learning Using Dynamic and Static Visualizations: Students' Comprehension, Prior Knowledge and Conceptual Status of a Biotechnological Method. *Research in Science Education*, 40, 375 – 402.
- Zimmermann, B. J. (2000). Self-efficacy: An essential motive to learn. *Contemporary Educational Psychology*, 25(1), 82 – 91. doi:10.1006/ceps.1999.1016

Dieser Beitrag fußt im Wesentlichen auf den Originalarbeiten der Dissertation von Dr. Langheinrich:

Langheinrich, J. & Bogner, F. X. (2015). Student conceptions about the DNA structure within a hierarchical organizational level: Improvement by experiment- and computer-based outreach learning. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 43(6), 393 – 402.

Langheinrich, J. & Bogner, F. X. (2016). Computer-related self-concept: The impact on cognitive achievement. *Studies in Educational Evaluation*, 50, 46 – 52.

Langheinrich, J., Schönfelder, M. & Bogner, F. X. (2016). Measuring the computer-related self-concept. *Journal of Educational Computing Research*, 54(3), 352 – 370. doi:10.1177/0735633115621066

## ÜBER DIE AUTOREN



---

**Jessica Langheinrich** studierte an der Universität Bayreuth im Rahmen des Modellstudiengangs MINT-Lehramt. Sie promovierte anschließend am Lehrstuhl für Biologiedidaktik innerhalb des dreijährigen EU-Forschungsverbundes »Inspiring Science Education« mit einem Forschungsthema im Schülerlabor. Unmittelbar danach wurde sie von der ALPLA Werke Alwin Lehner GmbH & Co KG, einem der weltweit führenden Unternehmen im Bereich Verpackungslösungen, übernommen und ist für den Bereich E-Learning und die internationale Trainerausbildung verantwortlich.



---

**Franz X. Bogner**, Ordinarius an der Universität Bayreuth, leitet den Lehrstuhl für Didaktik der Biologie und ist gleichzeitig Geschäftsführer des Z-MNU (Zentrum zur Förderung des math.-naturwissenschaftlichen Unterrichts). Er hat in der letzten Dekade knapp 20 EU-Forschungsverbände eingeworben, von denen mehrere digitales Lernen im MINT-Bereich im expliziten Forschungsfokus hatten.

---

Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen – Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer (2017), J. Meßinger-Koppelt, S. Schanze & J. Groß (Hrsg.), Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag



# Digital gestützte Lernumgebungen gestalten



# LERNVIDEOS IN DER CHEMIEDIDAKTIK – DER ZUSAMMENHANG VON STOFF- UND TEILCHENEbene

*Timo Fleischer & Claudia Nerdel*

Die Digitalisierung in Form von Internet, Smartphone und Tablet hat mittlerweile nahezu alle Lebensbereiche erreicht. Um in Alltag und Beruf bestehen zu können, müssen insbesondere (angehende) Lehrkräfte den Umgang mit digitalen Medien und deren sinnvollen Einsatz im Unterricht beherrschen (Hanekamp, 2014; Monitor Lehrerbildung, 2016). Werden Informationen mit elektronischen Geräten digital übertragen und gespeichert sowie in geschriebenen (z. B. Symbole, Bilder) und gesprochenen Formaten wiedergegeben, spricht man von digitalen Medien (Mähler & Pallack, 2014; Finnemann, 2011). Der Grundstein für das Arbeiten mit ihnen wird u. a. an den Schulen und Universitäten gelegt. Entsprechend wird die digitale Medienbildung an Schulen und somit auch in der Lehrerbildung immer bedeutsamer. Jedoch ist dabei zu beachten, dass der Einsatz dieser innovativen Medien nur in Kombination mit guten fachdidaktischen Konzepten zu einem Erfolg werden kann (Hanekamp, 2014; Monitor Lehrerbildung, 2016).

In der repräsentativen Allensbach-Studie 2013 der Deutsche Telekom Stiftung (siehe Hanekamp, 2014) wurde erhoben, wie digitale Medien in der Schule eingesetzt werden. Insgesamt stimmen die Ergebnisse optimistisch, da ca. 90 % der befragten Lehrkräfte digitale Medien zur Unterrichtsgestaltung nutzen, davon 18 % häufig. Bezogen auf den Unterricht sehen sowohl die Lehrkräfte als auch die Schülerinnen und Schüler mehr Vor- als Nachteile. So finden 73 % der Schülerinnen und Schüler sowie 62 % der Lehrkräfte, dass der Unterricht durch den Einsatz digitaler Medien abwechslungsreicher wird. Nachteile werden von beiden Gruppen in der Technikabhängigkeit sowie der möglichen Überforderung einzelner Lernender gesehen. Dennoch wird das große Potenzial der digitalen Medien insbesondere im naturwissenschaftlichen Unterricht noch nicht hinreichend ausgeschöpft. Sie werden am häufigsten zur Präsentation von Inhalten oder zum Aufrufen von Internetseiten eingesetzt. Das aktive Arbeiten mit ihnen im Rahmen einer konstruktivistisch orientierten

Unterrichtsgestaltung nimmt jedoch einen weitaus geringeren Stellenwert ein. Nur sporadisch werden beispielsweise Fachinhalte mit digitalen Medien aufgearbeitet (z. B. als Mind-Maps) oder eigene Lernvideos erstellt. Daher besteht noch großes Optimierungspotenzial hinsichtlich der Mediennutzung im Unterricht (Hanekamp, 2014).

Auch in der Lehrerbildung stellt die zunehmende Digitalisierung des Bildungssystems eine aktuelle Herausforderung dar. Bund- und Länder reagierten hierauf u. a. mit der Qualitätsoffensive Lehrerbildung als gemeinsames Förderprogramm (Monitor Lehrerbildung, 2016). Jedoch ist das Thema Digitalisierung in der Qualitätsoffensive unterrepräsentiert, obwohl dieses in der Breite wenig erforscht ist und sich nur einige Universitätsveranstaltungen explizit mit dieser Thematik beschäftigen (9 von 59 Hochschulen; Monitor Lehrerbildung, 2016). Entsprechend besteht auch an den Universitäten großes Optimierungspotenzial, damit die deutsche Lehrerbildung in der Digitalisierung und dem mediengestützten Lernen im Fachunterricht international anschlussfähig wird (Monitor Lehrerbildung, 2016).

Der Fokus des vorliegenden Beitrags liegt auf dem Einsatz von Lernvideos in der Chemiedidaktik am Beispiel des Zusammenhangs von Stoff- und Teilchenebene. Bei der Gestaltung und beim Lernen mit Videos werden drei Aspekte berücksichtigt, um das didaktische Potenzial von Lernvideos sowie die angenommene Wirksamkeit von multimedialen Lernumgebungen auf das Konzeptverständnis einzuschätzen: die technische Umsetzung, die Codierung und der Modus der verwendeten Repräsentationen. Bei der Codierung werden Texte, Bilder und Symbole unterschieden, der Modus kann insbesondere bei Texten und Symbolen geschrieben/visuell oder gesprochen/auditiv sein.

Mit Blick auf das Studien- und Unterrichtsfach Chemie gibt es in der Forschung keinen Konsens über die Existenz einer eigenen Repräsentationsebene. Vielmehr wird diskutiert, ob diese sich in die chemische Teilchenebene bzw. submikroskopische Ebene integrieren lässt (Gabel, 1999; Hoffmann & Laszlo 1991; Johnstone, 2006; Talanquer, 2011). Dieser Ansatz wird auch von den Autoren des Beitrags favorisiert. Daher wird im Folgenden nur die Stoff- und Teilchenebene unterschieden. Makroskopische Phänomene der Stoffebene, z. B. chemische Reaktionen, werden mithilfe der Teilchenebene erklärt. Weil die zur Erklärung erforderlichen Teilchen, d. h. Moleküle, Protonen, Elektronen,

nicht sichtbar sind, werden diese durch chemische Modelle bzw. Repräsentationen dieser Modelle zugänglich gemacht, sodass die Phänomene der Stoffebene mithilfe dieser Repräsentationen erklärt werden können (Talanquer, 2011; Treagust et al., 2003). Durch die Existenz verschiedener Betrachtungsebenen gilt die Chemie als schwieriges und abstraktes Unterrichtsfach. Die erforderliche Abstraktionsfähigkeit bei Lernenden aufzubauen, ist daher eine zentrale Aufgabe der Lehrkräfte an Schulen und Universitäten.

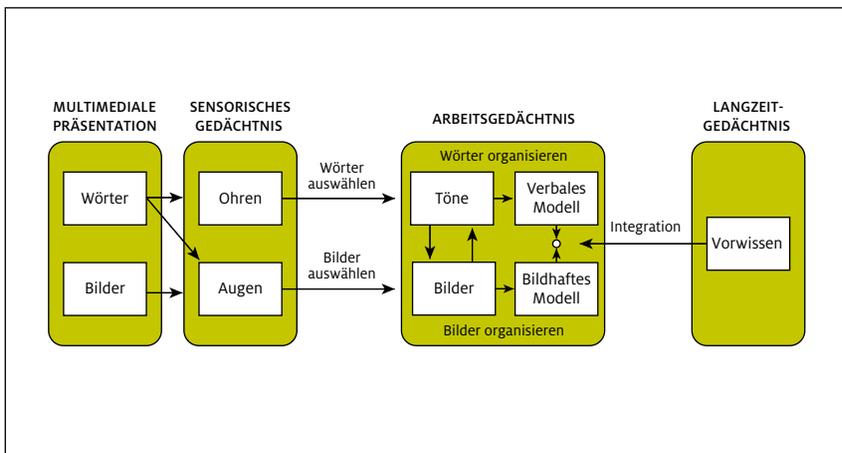
Neben Modellen werden hierzu auch andere Medien eingesetzt. Mit den klassischen Varianten wie Büchern, Arbeitsblättern und Tafelanschrieb können allerdings nur statische Zustände oder Momentaufnahmen von Prozessen in Form von Bildern und Symbolen auf Teilchenebene dargestellt werden. Mit digitalen Medien besteht dagegen die Möglichkeit, bewegte bzw. animierte Repräsentationen und Audioformate in Lernvideos und Simulationen zu nutzen, um insbesondere die Visualisierung von Prozessen in den Naturwissenschaften zu realisieren (Mayer, 2014a). Animationen können statischen Darstellungen im Hinblick auf den Lernerfolg überlegen sein, weil sie eher der Alltagswahrnehmung entsprechen als Texte oder Bilder (Höffler & Leutner, 2007).

## COGNITIVE THEORY OF MULTIMEDIA LEARNING UND GESTALTUNGSMERKMALE VON LERNVIDEOS

Die kognitionspsychologische und fachdidaktische Lehr-Lern-Forschung deutet darauf hin, dass die Lernwirksamkeit von Lernvideos von deren Gestaltung sowie von zentralen Lernmerkmalen abhängt (Horz, 2009).

Die Cognitive Theory of Multimedia Learning (Mayer, 2014b) ist ein gut etabliertes Modell zur Erklärung dieser Beobachtungen. Sie beschreibt, dass sich Lernende aktiv mit den gegebenen Informationen auseinandersetzen müssen, damit eine schlüssige mentale Repräsentation – und damit ein Lernerfolg – erzielt werden kann (Schmeck, 2011; Mayer, 2014b). Die Verarbeitung von Texten, Symbolen und Bildern erfolgt sukzessive und/oder parallel in drei Gedächtnisspeichern (siehe Abb. 1). Der sensorische Speicher nimmt Informationen in Form von statischen oder dynamischen Bildern und geschriebenen

bzw. gesprochenen Wörtern über die Sinnesorgane auf. Essenzielle Bilder und Wörter der externen Repräsentationen werden anschließend im Arbeitsgedächtnis verarbeitet. Diese können durch mentale Transformationsprozesse ineinander umgewandelt werden. Die Weiterverarbeitung findet durch mentale Organisationsabläufe statt. Das Resultat sollten in sich schlüssige verbale bzw. pikturale Modelle im Arbeitsgedächtnis sein. Abschließend wird aus dem text- und dem bildbasierten mentalen Modell eine integrierte Repräsentation generiert. Dies ist der schwierigste mentale Schritt. Durch Rückgriff auf das Vorwissen aus dem Langzeitgedächtnis und dessen Integration kann dieser Schritt jedoch erleichtert werden (Mayer, 2014b; Rey, 2009).



**Abb. 1:** Cognitive Theory of Multimedia Learning (verändert nach Mayer, 2014b), abgedruckt mit Erlaubnis der Cambridge University Press

Die Cognitive Theory of Multimedia Learning berücksichtigt auch die begrenzte Aufnahmefähigkeit von Informationen im Arbeitsgedächtnis. Daher sollten Medien so gestaltet sein, dass die Lernenden nicht durch zu viele Informationen kognitiv überlastet werden. Für das multimediale Lernen wurden daher mehrere Gestaltungsprinzipien ausgearbeitet (Mayer, 2014b; Seery & O'Connor, 2015).

**Multimedia-Prinzip:** Texte in Kombination mit Bildern sind lernwirksamer als Texte allein (Mayer, 2014a, 2014b). Dieses Prinzip lässt sich gut mithilfe von Lernvideos umsetzen.

**Modalitäts-Prinzip:** Medien sind lernwirksamer, wenn Bilder mit gesprochenem anstatt geschriebenem Text ergänzt werden, da der visuelle und der auditive Kanal zur Informationsverarbeitung aktiviert werden (Mayer, 2014a, 2014b; siehe Abb. 1). Im Gegensatz zu klassischen Medien mit statischen Repräsentationen lässt sich dieses Prinzip bei Lernvideos leicht umsetzen, so dass Lernschwierigkeiten abgebaut werden können. Gesprochene Sprache und Bilder können hier kombiniert werden, bei statischen Repräsentationen wird hingegen nur der visuelle Kanal angesprochen.

**Kontiguitäts-Prinzip:** Text-Bild-Kombinationen sind lernwirksamer, wenn beide Repräsentationen in räumlicher und zeitlicher Nähe integriert dargestellt werden. Werden sie getrennt, z. B. separat untereinander, dargestellt, muss der Lernende mehrere Darstellungen gleichzeitig beachten. Hierdurch kann das Arbeitsgedächtnis überfordert werden, da die Aufmerksamkeit geteilt werden muss (split-attention effect). Die zeitliche Nähe sollte insbesondere bei der Kombination Bild mit gesprochenem Text eingehalten werden (Mayer, 2014a, 2014b).

**Kohärenz-Prinzip:** Überschüssige Details in Texten und Bildern sollten aus dem Lernmaterial entfernt werden (Mayer, 2014a, 2014b).

Die Realisierung des Kontiguitäts- und des Modalitäts-Prinzips ist mit Blick auf die Lernwirksamkeit besonders bei Lernvideos unbedingt erforderlich.

## LERNVIDEOS UND TABLETS

Wissenserwerb beruht auf aktiver Konstruktion. Daher besteht allgemeiner Konsens darüber, dass Lernende zum selbstständigen Lernen befähigt werden und beim Produzieren von Lernvideos integriert werden sollten. Ferner sollten sie eigenständig Entscheidungen über die Menge, Abfolge und Art des Instruktionsmaterials treffen (Leutner, 2001). Die eigenständige Erstellung von Lernvideos ist technisch nur mithilfe von digitalen Medien, z. B. in Form des Tablets, realisierbar. Vorteile von Tablets sind die integrierte Audio-Video-Ausstattung in Form von Mikrofon, Kamera und Lautsprecher. Über entsprechende Apps werden Standardprogramme wie Internetbrowser, Textverarbeitung oder spezifische Programme, z. B. zum Erstellen von Molekülzeichnungen, bereitgestellt. Das Betriebssystem wird in der Regel speziell für diesen mobilen Einsatz auf den Geräten entwickelt (Scheiter, 2015).

Tablets haben sich seit der Markteinführung im Jahr 2010 weltweit sehr stark verbreitet und werden mittlerweile öfter verkauft als Notebooks oder stationäre Computer. Am gängigsten sind dabei Geräte mit Android-Betriebssystem oder das iPad von Apple. International spiegelt sich dieser Trend auch an den Schulen und Universitäten wider. Länder wie Großbritannien, Australien, Südkorea oder die Niederlande setzen das Tablet bereits in großem Umfang ein, um Computer oder Notebooks zu ersetzen. In Deutschland setzte dieser Trend mit Verspätung ein. Inzwischen sind aber auch zahlreiche Initiativen zu verzeichnen, die eine 1:1-Versorgung in Schulen fordern oder fördern. Ein wichtiger Grund hierfür ist, dass der Umgang mit dem Tablet in der Arbeitswelt inzwischen so wichtig geworden ist, dass dieser bereits an den Bildungsinstitutionen geschult werden sollte (Krause & Eilks, 2014; Scheiter, 2015).

Wie schon bei anderen technischen Innovationen wird auch beim Tablet davon ausgegangen, dass es den Wissenserwerb, das forschende Lernen sowie die Lernmotivation fördern kann. In den wenigen bereits existierenden Evaluationsstudien zeichnet sich auch ein positives Bild über das didaktische und praktische Potenzial von Tablets im Unterricht ab (Haßler et al., 2016; Scheiter, 2015). Jedoch zeigen die Ergebnisse eines systematischen Reviews bisher kein eindeutiges Bild in Bezug auf den Lernerfolg (Haßler et al., 2016).

## DAS IPAD ALS DIGITALE WERKZEUG ZUM ERSTELLEN VON LERNVIDEOS

Zur Implementation und Gestaltung der Lernvideos wurde im hier vorgestellten Projekt das iPad von Apple als digitales Medium eingesetzt. Dies hat mehrere Gründe: Zum einen gibt es in vielen Schulen bereits die sogenannten iPad-Klassen, welche sich immer mehr zu etablieren scheinen (Krause & Eilks, 2014; Scheiter, 2015). Daher sollte auch in der Lehrerbildung mit der gleichen Technologie gearbeitet werden. Zum anderen stammen die Hard- und Software bei Apple von einem Hersteller. Die verschiedenen Komponenten sind daher gut aufeinander abgestimmt. Weiterhin existiert ein sehr großes schulisch orientiertes App- und Zubehörangebot für das iPad. Da das iPad Mobilität ermöglicht, können sich die Lernenden beim Generieren der Lernvideos zudem frei im Raum bewegen (Krause & Eilks, 2014; Scheiter, 2015).

Vor allem bietet das iPad für das hier untersuchte Projekt den Vorteil, dass die Schritte Filmen, Schneiden und Vertonen mit nur einem einzigen Gerät realisierbar sind und somit effektiv gearbeitet werden kann, ohne umständlichen Geräte- oder Softwarewechsel. So können z. B. Experimente und ihre Erklärungen aufgenommen (Bilder und /oder Video) und abgespeichert werden. Mit passenden Apps wie beispielsweise Explain Everything oder iMovie können diese dann weiter bearbeitet werden, indem erklärende Texte (schriftlich und /oder sprachlich), Bilder und Symbole in das Lernvideo integriert werden (Krause & Eilks, 2014; Bresges et al., 2014). So ist also das iPad ein geeignetes digitales Werkzeug für das Erstellen von Lernvideos in der Chemie. Solche Lernvideos können beispielsweise dazu eingesetzt werden, um den Zusammenhang von Stoff- und Teilchenebene zu erklären.

## IMPLEMENTATION VON IPADS IN DIE UNIVERSITÄRE LEHRE AM BEISPIEL VON LERNVIDEOS

Der Übergang von der Stoff- zur Teilchenebene bereitet vielen Schülerinnen und Schülern im Chemieunterricht große Schwierigkeiten. Damit dieser Ebenwechsel plausibel wird, werden in der Chemie häufig Modelle eingesetzt, die die Abläufe auf der Teilchenebene anschaulich darstellen.

In einem neuen Lehrkonzept sollten Studierende des beruflichen Lehramts (Chemie) eigenständig und praxisbezogen Experimente durchführen (Stoffebene) und dazu passende Modelle entwickeln und bauen (Abläufe auf submikroskopischer Ebene). Die Verknüpfung beider Ebenen erfolgt durch das eigenständige Erstellen von Lernvideos, in denen sowohl die Abläufe auf der Stoffebene (Experiment) als auch auf der Teilchenebene (Modell) dargestellt werden und deren Zusammenhang erklärt wird.

Hierzu werden geeignete Experimente aus den Themengebieten Säure-Base-Reaktionen und Redox-Reaktionen ausgewählt, erprobt und schließlich mit dem iPad aufgenommen. Passend zu den jeweiligen Experimenten werden materielle Modelle hergestellt. Ein besonderer Fokus liegt hierbei auf der Praxisorientierung für den späteren Schulalltag. Dafür müssen Modelle schnell herzustellen, preiswert, gut handhabbar und robust sein sowie eine gute Optik aufweisen. Diese Prämissen werden aufgegriffen, indem den Studierenden zu Beginn des Seminars der Bau von Modellen mit Holz-, Styropor-, Plastik- bzw. Zellstoffkugeln, mit Maischips, mit Draht (Moletomics-Technik), mit Teppichfliesen, mit Magnetfolien und mit Magneten vorgestellt wird. Für das Erstellen des Lernvideos müssen die materiellen Modelle mithilfe des Tablets digitalisiert werden. So können von diesen Modellen beispielsweise Fotos, Videos und /oder Stop-Motion-Filme generiert werden. Weiterhin können die Abläufe der Stoffebene mithilfe von chemischen Symbolen (z. B. Elementsymbole, Reaktionsgleichungen), Strukturformeln und bildhaften Repräsentationen erklärt werden.

Das Bearbeiten bzw. Generieren der einzelnen Elemente der drei- bis fünfminütigen Lernvideos sowie des gesamten Lernvideos erfolgt mithilfe entsprechender Apps. Im Folgenden werden für diese Funktion wichtige Apps kurz beschrieben.

**iMovie:** Videos und Bilder können bearbeitet und zusammengefügt werden. Es ist möglich, diese Medien zu schneiden, Ton zum Lernvideo zu sprechen und Musik hinzuzufügen. Das Gesamtvideo kann mit dieser App erstellt werden.

**Explain Everything / Educreations:** Kurze Videosequenzen und Standbilder können erstellt werden. Darüber hinaus können durch das Zufügen von Text- und Symbolelementen z. B. auch Reaktionsgleichungen formuliert und erklärt werden.

**iMotion / LEGO Movie:** Stop-Motion-Filme können generiert werden. Zum Beispiel können so Teilchenbewegungen dargestellt werden.

**TextVideo:** Texte können zum Video hinzugefügt und für eine bestimmte Zeit eingeblendet werden.

**Snapseed:** Bilder können bearbeitet werden. Beispielsweise kann man sie zuschneiden und ihre Farbe ändern.

**Tellagami:** Inhalte können mit einer animierten Person erklärt werden. So kann zum Beispiel explizit der Übergang von der Stoff- zur Teilchenebene angekündigt werden.

Das Konzept wurde erstmals im Wintersemester 2016 / 2017 erprobt. Am Ende des Seminars wurde mithilfe der Methode des Lauten Denkens erhoben, inwieweit das Erstellen der Lernvideos zum Zusammenhang von Stoff- und Teilchenebene einen Einfluss auf das Experimentieren, das Modellieren und die Anwendung einer adäquaten Fachsprache hat. Bezüglich des Experimentierens wurde erfasst, welchen Einfluss das Erstellen des Lernvideos auf die Erarbeitung des fachlichen Inhalts, die Planung, den Aufbau und die Durchführung des Experiments hat. In Bezug auf das Modellieren wurde gefragt, ob viel Wert auf eine gute Planung sowie eine anschauliche und korrekte Darstellung der Teilchenebene gelegt wurde. Bezüglich der Fachsprache wurde erhoben, inwieweit das Erstellen des Lernvideos zur Anwendung einer korrekten Fachsprache beigetragen hat.

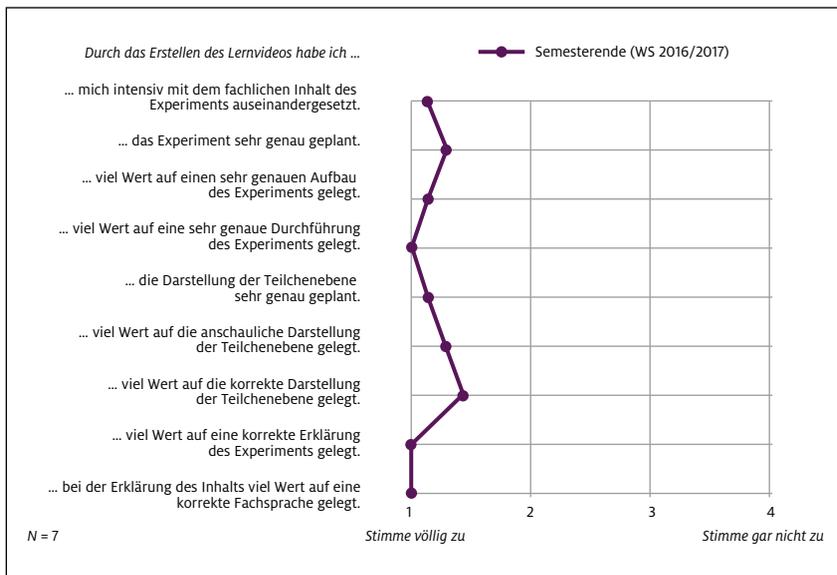


Abb. 2: Einfluss von Lernvideos auf das Experimentieren, Modellieren und die Fachsprache

In Abbildung 2 ist das Profildiagramm der Datenerhebung dargestellt. Die Stichprobe umfasst sieben Studierende des beruflichen Lehramts Chemie.

Die Studierenden legen durch das Erstellen des Lernvideos sehr viel Wert auf das genaue und sorgfältige Experimentieren (siehe Abb. 2, Frage 1–4). Als Begründung hierfür wurde einerseits genannt, dass als Endprodukt ein schönes, anschauliches und fachlich korrektes Lernvideo entstehen soll. Andererseits liefert nach Aussage der Studierenden nur eine korrekte Durchführung die richtigen Ergebnisse (Reaktion sollte erwartungskonform verlaufen), die dann im Lernvideo erklärt werden können. Bezüglich der Planung des Experiments wurde angegeben, dass nur wichtige Teile des Experiments in das Video integriert werden sollten. Überschüssige Details sind zu entfernen bzw. zu reduzieren. Dies entspricht dem Kohärenz-Prinzip. Zudem wurde beschrieben, dass das Experiment anschaulich aufgebaut werden sollte, damit es im Lernvideo auch gut zu sehen ist.

Genauso viel Wert wird auf eine anschauliche und korrekte Darstellung der Teilchenebene (Modellieren) gelegt (siehe Abb. 2, Frage 5–7). Bezüglich der Planung wurde angegeben, dass auch hier überschüssige Details reduziert werden sollten und genau zu überlegen ist, was dargestellt werden soll. Dabei ist den Studierenden wichtig, die Teilchenebene möglichst verständlich darzustellen, sodass der Bezug zur Stoffebene (also dem Experiment) deutlich wird. Hierbei wurde argumentiert, dass die Teilchendarstellungen im Lernvideo gut sichtbar sein sollen (Farbe, Formen, Größen), um den Lernenden das Erstellen mentaler Modelle über die Teilchenebene zu erleichtern. Diese Begründungen tendieren in Richtung des Multimedia-Prinzips. Darüber hinaus sollte die Teilchenebene korrekt dargestellt werden (z. B. Differenzieren der Teilchengrößen), da nur so die Abläufe des Experiments richtig erklärt werden können und die Entwicklung von Fehlkonzepten seitens der Lernenden minimiert wird. Allerdings wurde konstatiert, dass auch hier eine Reduktion der Darstellung sinnvoll sein kann (z. B. keine Differenzierung der Teilchengröße), wenn diese die wesentlichen Erklärungen nicht beeinflusst.

Sehr viel Wert wurde schließlich auch auf die Erklärung des dargestellten Experiments, also die Verknüpfung beider Ebenen, mittels korrekter Fachsprache gelegt (siehe Abb. 2, Frage 8–9). Dabei wurde argumentiert, dass nur durch das Anwenden korrekter Fachsprache (ist dem Fachsprachniveau der Lernenden anzupassen) das Entstehen von fachlich inadäquaten Konzepten minimiert werden kann und eine gute Erklärung der beiden Ebenen möglich ist. Entsprechend achten die Studierenden beim Erstellen des Lernvideos auf eine korrekte Fachsprache. Hier kommt also sowohl das Modalitäts-Prinzip als auch das Kontiguitätsprinzip (zeitliche Nähe) zum Tragen.

Die Ergebnisse der Befragung deuten darauf hin, dass selbst erstellte Lernvideos, mit denen der Zusammenhang der Stoff- und Teilchenebene erklärt wird, zum Erkenntnisgewinn in der Chemie beitragen sowie das Anwenden einer korrekten Fachsprache fördern können.

## LITERATUR

- Bresges, A., Hoffmann, S., Schadschneider, A. & Weber, J. (2014). Learning by Design: Kompetenzaufbau beim Entwickeln digitaler Medien. In J. Maxton-Küchenmeister & J. Meßinger-Koppelt (Hrsg.), *Digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht* (S. 29 – 45). Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag.
- Finnemann, N. O. (2011). Mediatization theory and digital media. *Communications*, 36, 67 – 89.
- Gabel, D. (1999). Improving Teaching and Learning through Chemistry Education Research: A Look to the Future. *Journal of Chemical Education*, 76(4), 548 – 554. doi:10.1021/ed076p548
- Hanekamp, G. (2014). Zahlen und Fakten: Allensbach-Studie 2013 der Deutsche Telekom Stiftung. In J. Maxton-Küchenmeister & J. Meßinger-Koppelt (Hrsg.), *Digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht* (S. 21 – 28). Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag.
- Haßler, B., Major, L. & Hennessy, S. (2016). Tablet use in schools: a critical review of the evidence for learning outcomes. *Journal of Computer Assisted Learning*, 32(2), 139 – 156.
- Höffler, T. N. & Leutner, D. (2007). Instructional animation versus static pictures: A meta-analysis. *Learning and Instruction*, 17, 722 – 738.
- Hoffmann, R. & Laszlo, P. (1991). Darstellungen in der Chemie – die Sprache der Chemiker. *Angewandte Chemie*, 103(1), 1 – 16. doi:10.1002/ange.19911030104
- Horz, H. (2009). Medien. In E. Wild & J. Möller (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (S. 104 – 133). Heidelberg: Medizin Verlag Springer.
- Johnstone, A. H. (2006). Chemical education research in Glasgow in perspective. *Chemistry Education Research in Practice*, 7(2), 49 – 63. doi:10.1039/B5RP90021B
- Krause & Eilks (2014). Tablet-Computer im Chemieunterricht. *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule*, 63(4), 17 – 21.
- Leutner, D. (2001). Instruktionspsychologie. In D. H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (2., überarb. Auflage, S. 521 – 530). Weinheim: PVU.
- Mähler, L. & Pallack, A. (2014). Tablet-Computer im naturwissenschaftlichen Unterricht. In J. Maxton-Küchenmeister & J. Meßinger-Koppelt (Hrsg.), *Digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht* (S. 119 – 133). Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag.
- Mayer, R. E. (2014a). Introduction to Multimedia Learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 1 – 14). Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2014b). Cognitive Theory of Multimedia Learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 43 – 71). Cambridge University Press.
- Monitor Lehrerbildung (2016). *Qualitäts offensive Lehrerbildung – zielgerichtet und nachhaltig?!* Bertelsmann Stiftung, CHE Zentrum für Hochschulentwicklung gGmbH, Deutsche Telekom Stiftung & Stifterverband (Hrsg.)
- Rey, G. D. (2009). *E-Learning: Theorien, Gestaltungsempfehlungen und Forschung*. Bern: Huber.
- Scheiter, K. (2015). Besser lernen mit dem Tablet? Praktische und didaktische Potenziale sowie Anwendungsbedingungen von Tablets im Unterricht. In H. Buchen, L. Horster & H.-G. Rolff (Hrsg.), *Schulleitung und Schulentwicklung* (3. Aufl., S. 1 – 14). Stuttgart: Raabe-Verlag.

- Schmeck, A. (2011). *Visualisieren naturwissenschaftlicher Sachverhalte. Der Einsatz von vorgegebenen und selbst generierten Visualisierungen als Textverstehenshilfen beim Lernen aus naturwissenschaftlichen Sachtexten*. Essen: Universität Duisburg-Essen [Elektronische Dissertation].
- Seery, M. K. & O'Connor, C. (2015). E-Learning and Blended Learning in Chemistry Education. In J. Garcia-Martinez, & E. Serrano-Torregrosa (Hrsg.), *Chemistry education: Best practices, opportunities and trends* (S. 651–669). John Wiley & Sons.
- Talanquer, V. (2011). Macro, Submicro, and Symbolic: The many faces of the chemistry »triplet«. *International Journal of Science Education*, 33(2), 179–195. doi:10.1080/09500690903386435
- Treagust, D., Chittleborough, G. & Mamiala, T. (2003). The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1353–1368. doi:10.1080/0950069032000070306

## ÜBER DIE AUTOREN



---

**Timo Fleischer**, MEd. ist wissenschaftlicher Mitarbeiter und Doktorand an der Professur für Fachdidaktik Life Sciences (Chemiedidaktik) bei Prof. Dr. Claudia Nerdel an der TUM School of Education, Technische Universität München.



---

**Claudia Nerdel** ist seit 2009 Professorin für Biologie- und Chemiedidaktik an der Technischen Universität München und in der universitären Lehrerbildung für das gymnasiale und berufliche Lehramt tätig. Ihre Forschungsinteressen beziehen sich auf die Lernwirksamkeit von Lehr-Lern-Umgebung mit multiplen externen Repräsentationen, den Einsatz digitaler Medien im Unterricht sowie auf die Modellierung von professionellen Kompetenzen von Lehrkräften in diesem Kontext.

---

Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen – Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer (2017), J. Meßinger-Koppelt, S. Schanze & J. Groß (Hrsg.), Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag

# MÖGLICHKEITEN DIGITALER UNTERSTÜTZUNG VON LEHRE: DIE METHODE DES INVERTED CLASSROOM

*Cornelia Borchert, Axel Eghtessad & Kerstin Höner*

## EINLEITUNG

Der vorliegende Beitrag widmet sich der Methode des Inverted Classroom im Kontext der universitären Lehre. Dabei sollen folgende Fragen adressiert werden:

- Was ist Inverted Classroom, und welche Konsequenzen resultieren aus der Umstrukturierung einer Lehrveranstaltung auf diese Methode?
- Welche Möglichkeiten der digitalen Unterstützung von Vermittlungsprozessen ergeben sich im Inverted Classroom?
- Wie kann universitäre Lehre nach dieser Methode konzipiert werden?

Konkret wird ein Beispiel aus der Lehrerbildung im Fach Chemie vorgestellt. Eine bestehende Lehrveranstaltung zur Wiederholung und Vernetzung grundlegender, schulrelevanter Fachinhalte wurde invertiert, um ein Online-Lernangebot bereichert und die Vernetzungsphase um eine Strukturierung entlang schulischer Basiskonzepte erweitert.

Was ist Inverted Classroom?

Inverted, Flipped oder Umgedreht – die Terminologie für die Methode ist ebenso vielfältig wie deren Ausgestaltungsmöglichkeiten in der Lehre. Oftmals differenzieren die Termini Inverted bzw. Flipped Classroom lediglich das Einsatzszenario: Verbindet man den Flipped Classroom vor allem mit Bergmann und Sams (2012), die mit ihrem umgedrehten Schulunterricht der Methode internationale Bekanntheit und Beachtung verliehen, so dient dieser Terminus vielfach der Beschreibung der Methode bei der Umsetzung in der

Schule (Schäfer, 2012). Universitäre Lehre hingegen erhält häufig die Bezeichnung Inverted Classroom. Letztlich zeigt sich jedoch, dass die Terminologie für diese junge Methode noch nicht trennscharf ausdifferenziert ist, da unterschiedliche Lehrende gleichzeitig ähnliche Ideen entwickelt haben und die Definition dessen, was unter derartige Lehrmethoden fällt, stark variiert.

Für die vorliegende Abhandlung nutzen wir daher zunächst die Arbeitsdefinition, dass für den Inverted Classroom eine vollständige oder teilweise stattfindende Phasenvertauschung charakteristisch ist und dass dessen Vorbereitungsphase mit digitalen Lernmaterialien unterstützt wird.

Die Methode des Inverted Classroom zeichnet sich demnach durch eine zeitliche und räumliche Vertauschung der Phasen einer Lehrveranstaltung aus. In einer traditionellen Lehrsituation findet in der Präsenzphase die Inhaltsvermittlung statt, das heißt, während die Studierenden z. B. in der Vorlesung sitzen. Anwendung und Vernetzung der Fachinhalte müssen von den Studierenden außerhalb der Lehrveranstaltung geleistet werden; die komplexere Anforderung findet also außerhalb der Präsenzphase statt und damit ohne direkte Austauschmöglichkeit mit der Lehrperson. Zudem wird die wertvolle Zeit, die Studierende und Lehrende zusammen vor Ort verbringen, durch eine interaktionsarme, frontale Vortragssituation zur Weitergabe des Lehrstoffs ausgefüllt. An diesem Punkt setzt die Methode des Inverted Classroom an: Die Inhaltsvermittlung des klassischen Vorlesungssettings, für das die gemeinsame physische Anwesenheit von Vortragenden und Hörschaft kaum nötig ist, wird in die Vorbereitung der Studierenden ausgelagert. Dadurch steht die Präsenzzeit den Lernenden und Lehrenden für komplexere Prozesse der Wissenskonstruktion zur Verfügung.

Da sich die Fachinhaltsvermittlung ausschließlich in der Vorbereitungsphase des Inverted Classroom abspielt, müssen den Studierenden hierfür qualitativ hochwertige, didaktisch durchdachte Materialien zur Verfügung gestellt werden. In Zeiten von 4K-Monitoren und achtkernigen Smartphone-Prozessoren erscheint die Faustformel »Do I need this video perfect, or do I need it Tuesday?«, die Bergmann und Sams (2012, S. 43) ursprünglich prägten, nicht mehr zeitgemäß. Entgegen üblichen Erwartungen gilt weiterhin bei den Überlegungen zum Vorbereitungs-material: Es müssen nicht immer Videos sein. Der Materialpool für die Vorbereitung im Inverted Classroom darf multimedial und abwechslungsreich gestaltet werden. Während einige Lehrende in

ihren Veranstaltungen auf Vorlesungsaufzeichnungen aus dem Hörsaal setzen (z. B. Spannagel, 2012), schwören andere auf eigens für die Veranstaltung produzierte Videos auf Basis von Screencasts (z. B. Bergmann & Sams, 2012), aber auch Experteninterviews sind hier denkbar. Wieder andere geben Texte zur Vorbereitung aus – je nach Anforderung und Einbindungsgrad kann auch dies eine Form des Inverted Classroom sein (Schäfer, 2012). Das Materialangebot muss didaktisch sinnvoll auf den zu vermittelnden Inhalt abgestimmt werden (vgl. Abschnitt »Digitale Lernmedien für die Vorbereitungsphase«, S. 226 ff.).

### Potenziale und Gefahren des Inverted Classroom

Obleich bisher lediglich ein Vergleich zur klassischen Hochschulvorlesung gezogen wurde, können mit der Inverted-Classroom-Methode unterschiedliche Lehrformate bereichert werden – im vorliegenden Fall ist es ein Seminar. Offensichtlichster Vorteil der Methode ist die produktive und interaktionsreiche Nutzung der Präsenzzeit. Denn auch wenn Inverted Classroom oft zuerst mit Videolernen assoziiert wird, ist es viel mehr als das. Ziel des Inverted Classroom ist es nämlich gerade nicht, Präsenzzeiten zu verringern. Ganz im Gegenteil: Die wichtigste Zeit im Inverted Classroom ist genau jene, die Lehrende und Lernende zusammen im Unterrichtsraum verbringen.

Gerade deswegen kommt der Zielorientierung bei der Auswahl von Inhalten ein besonderer Stellenwert zu. Seitens der Lehrenden erfordert die Methode also eine intensive Auseinandersetzung mit Auswahl und Abfolge der zu vermittelnden Fachinhalte: Vor Ausgabe des Vorbereitungsmaterials ist es nötig zu bestimmen, welche Inhalte für die Vorbereitung der Sitzung von Bedeutung sind und welche besser in der Präsenzphase eingesetzt werden können. Je nach gewähltem Medium für die Vorbereitung muss die Breite der Inhalte ggf. zugunsten der Erklärtiefe gekürzt werden – man denke hier beispielsweise an Erklärvideos, denen Lernende u. a. Exemplarität, Prägnanz und das Aufzeigen von Zusammenhängen abverlangen (z. B. Wolf & Kulgemeyer, 2016). Schlussendlich trägt die Inverted-Classroom-Methode dadurch der Abkehr von der Input- hin zur Output-Orientierung in der Lehre Rechnung.

Der zeitliche Aufwand für Lehrende bei der Erstellung der Materialien für die Instruktionsphase kann folglich sehr hoch sein, vor allem bei Veranstal-

tungen mit regelmäßig zu aktualisierenden Inhalten. Um diesem Problem zu begegnen, sollte darauf geachtet werden, das Lernmaterial so zu sequenzieren, dass sowohl Wiederverwendbarkeit in derselben Lehrveranstaltung als auch Weiterverwendbarkeit einzelner Kapitel in weiteren Lehrveranstaltungen prinzipiell möglich sind.

Für die Lernenden ergibt sich durch Inverted Classroom im Idealfall kein zeitlicher Mehraufwand. Die Vorauswahl des Materials durch die Lehrperson trägt zur strukturierteren und fokussierteren Vorbereitung der Studierenden bei. Neben einer Vorentlastung wird so insbesondere bei heterogenen Lerngruppen eine individuellere Förderung durch variable Nutzungsmöglichkeiten realisierbar (Hussmann, Barzel, Leuders & Prediger, 2013). Die zeitliche und räumliche Flexibilität, die durch die Bereitstellung der Lernmaterialien entsteht, kann zudem auch Pendlern oder Studierenden mit Kindern zugutekommen.

Den Studierenden fordert die Methode des Inverted Classroom hohe Selbstdisziplin und Eigeninitiative ab: Sie müssen ihre Arbeitszeit außerhalb der universitären Präsenzveranstaltungen so einteilen, dass ihre Vorbereitung zeitnah zur jeweiligen Sitzung abgeschlossen ist und sie die Inhalte entweder verstanden oder geeignete Fragen für die Präsenz formuliert haben. Auch in der traditionellen Vorlesung ist Selbstdisziplin unerlässlich. Konsequenzen eines Mangels derselben werden den Studierenden aber zu einem wesentlich ungünstigeren Zeitpunkt bewusst: nämlich dann, wenn zum Beispiel die Prüfungsvorbereitung ansteht. Der Inverted Classroom nimmt Studierende hingegen bewusst in die Pflicht, kontinuierlich während des gesamten Semesters zu lernen.

Da die Vorbereitung der Studierenden auf die Präsenzphase für das Gelingen der Sitzungen unerlässlich ist, sollten Lehrende von Beginn der Veranstaltung an deutlich kommunizieren, dass in den Zeiten der gemeinsamen Zusammenkunft von Studierenden und Lehrenden keine Inhalte der Vorbereitung wiederholt werden. Kommt es vor, dass die Studierenden unvorbereitet erscheinen, sollten Lehrende also auf keinen Fall versuchen, dies dadurch abzufangen, dass sie den Lernstoff der Vorbereitung in der Präsenz vortragen, da dies das methodische Konzept des Inverted Classroom untergräbt.

## UNIVERSITÄRE LEHRE IM INVERTED CLASSROOM: EIN PRAXISBEISPIEL AUS DER CHEMIELEHRERBILDUNG

Vor der Umstrukturierung des hier vorzustellenden Seminars »Expedition durch die Chemie – Fachwissen vernetzen« auf Inverted Classroom war ein relativ hoher Anteil der Präsenzzeit durch Inputreferate belegt. Grundlegende chemische Themen und Konzepte sollten durch die Studierenden wiederholend erarbeitet und präsentiert werden. In der Überarbeitung des Konzepts auf Inverted Classroom wurden die Referatsthemen in die Vorbereitungsphase ausgelagert. Die Inhalte wurden seitens der Lehrenden sequenziert und als Materialbasis für das wiederholende Lernen im Lernmanagement-System Stud.IP bereitgestellt. In der Präsenzphase wurde durch die Auslagerung der Wiederholung von Fachtheorie wertvolle Zeit frei, die nun für umfangreichere Anwendung und Vernetzung des Wissens genutzt werden konnte. Die Lehrveranstaltung konnte dadurch zusätzlich auf die Betrachtung von Inhalten entlang der schulchemischen Basiskonzepte erweitert werden.

### Problemaufriss

Erfolgreich absolvierte Modulprüfungen sind kein Garant für ein fundiertes, vernetztes Grundwissen der Studierenden. Für die in zwei Phasen organisierte Lehrerbildung ergibt sich weiterhin die besondere Herausforderung, dass von den Elementen des Lehrerprofessionswissens (Baumert & Kunter, 2006; Shulman, 1987) das Fachwissen mit Ende der universitären Phase weitestgehend erworben sein muss (KMK, 2008) und idealerweise verknüpfenden Überblickscharakter hat (Eghtessad, 2014). Der Aufbau vernetzten Wissens ist vor dem Hintergrund modularisierter Studiengänge eine strukturelle Herausforderung: Wiederholendes und vergleichendes Lernen über die inhaltlichen Grenzen von einzelnen Lehrveranstaltungen bzw. Modulen hinaus, z. B. initiiert durch Zwischen- und Abschlussprüfungen, ist nicht mehr strukturimmanent vorgesehen.

An dieser Stelle setzt das durch die Chemiedidaktik angebotene fachwissenschaftliche Seminar »Expedition durch die Chemie – Fachwissen vernetzen« an. Ziele dieser Lehrveranstaltung sind die Festigung des Fachwissens

durch Wiederholung und seine Vertiefung durch Anwendung sowie Vernetzung. Grundlegende Theorien und Konzepte der Chemie werden anfangs wiederholt (Schritt 1, Instruktionsphase). Diese werden im Anschluss auf ausgewählte Aufgabenbeispiele aus den Bereichen der Grundvorlesungen in Anorganischer, Organischer und Physikalischer Chemie angewendet, wobei durch vergleichende Betrachtung der Wissens Elemente über die Grenzen einzelner Fachgebiete hinweg fachinhaltliche Verbindungen sichtbar werden (Schritt 2, Wissensanwendung und -vernetzung). Zur Strukturierung der vernetzenden Lerngelegenheiten werden die Basiskonzepte des Chemieunterrichts (KMK, 2004) genutzt. Zielgruppe sind Studierende höherer Semester sowohl des 2-Fächer-Bachelor mit Studienziel Lehramt an Gymnasien als auch des 1-Fach-Bachelor Chemie, für die die Lehrveranstaltung ebenfalls geöffnet werden konnte.

Im Vorläufer des mittlerweile erfolgreich durch die Inverted-Classroom-Methode überarbeiteten Seminars hatten noch die Studierenden die Aufgabe, die Wiederholungsphase zu gestalten. Neun Themen waren individuell vorzubereiten, in geeigneter medialer Form im Plenum zu präsentieren und mit von ihnen selbst erstellten Übungsaufgaben zu bearbeiten. Dieses Vorgehen war nicht nur zeitintensiv, es hatte auch Wissensunterschiede zwischen dem selbst aufbereiteten Thema und den restlichen, eher rezeptiv nachvollzogenen Themen zur Folge. Zudem war die Qualität der individuellen Themenaufarbeitung recht unterschiedlich, sodass das Plenum teils nur eingeschränkter Nutzen hatte. In der folgenden Anwendungsphase ergaben sich entsprechende Konsequenzen für den Lernzuwachs, auch aufgrund des geringeren Anteils von Anwendung und Vernetzung im Vergleich zum überarbeiteten Seminarkonzept.

Den Schlüssel zur Lösung der vorgenannten Probleme bietet die Inverted-Classroom-Methode; für den Lernprozess eröffnet sie strukturelle Möglichkeiten, um den individuellen Bedürfnissen auf unterschiedlichen Ebenen gerecht zu werden. Die selbstständige Erarbeitung von Teilen des fachlichen Inhalts wurde ersetzt. Leitend war hierbei die Erkenntnis, dass der didaktische Ort von selbstständiger Erarbeitung sinnvollerweise nicht in der

**Den Schlüssel zur Lösung der vorgenannten Probleme bietet die Inverted-Classroom-Methode; für den Lernprozess eröffnet sie strukturelle Möglichkeiten, um den individuellen Bedürfnissen auf unterschiedlichen Ebenen gerecht zu werden.**

Wiederholungs-, sondern in der Anwendungs- und Vernetzungsphase liegen sollte. Bei der Wiederholung von Inhalten ergeben sich durch die Materialbereitstellung Freiräume bei Zeit, Dauer und Ort der Auseinandersetzung mit den Themen. Die Seminarkonzeption berücksichtigt somit die Grundsätze in individualisierten Lernens (für weitere Details vgl. Kuhn, Ropohl & Groß, S. 11, Abschnitt »Mehrwert digitaler Medien für die Unterrichtsorganisation«).

### Digitale Lernmedien für die Vorbereitungsphase

Die Vorbereitungsphase wird aus einem Materialangebot bedient, das Erklär- und Experimentalvideos, Aufgaben, Animationen und Simulationen beinhaltet. Dabei können diese Elemente einzeln präsentiert werden, sie können jedoch auch Teil voneinander sein. So kann ein Erklärvideo beispielsweise eine Übungsaufgabe und deren Lösungsweg oder auch eine Videosequenz eines Experiments enthalten. Die digitale Lernumgebung ermöglicht es außerdem, unterschiedliche Repräsentationsformen nebeneinander zeigen zu können. Die genutzten Elemente werden im Folgenden beschrieben.

Da in der Vorbereitungsphase der Veranstaltung grundlegende Theorien und Konzepte der Chemie wiederholt werden, wurden diese in Lerneinheiten aufgeteilt und zu jeder Einheit ein bis drei Erklärvideos im Umfang von je maximal 15 Minuten produziert. Als Grundlage für die Videos dienen umfangreich animierte PowerPoint-Folien, die mit Camtasia, einer Screencapture-Software<sup>1</sup>, abgefilmt und mittels Audioaufnahme kommentiert wurden. Diese Basis kann in der Nachbearbeitung in der Screencapture-Software um weitere Elemente ergänzt werden. Vorteilhaft ist dabei, dass in der Software Video- und Bildelemente überlagert und auch nebeneinander angezeigt werden können. So kann der PowerPoint-Hintergrund mit unterschiedlichen weiteren Medien an beliebigen Stellen erweitert werden. Zu beachten bei der Produktion von Erklärvideos sind u. a. die Cognitive Theory of Multimedia Learning (CTML) und die Cognitive Load Theory (siehe auch [Kuhn, Ropohl & Groß](#), S. 11).

---

<sup>1</sup> Als Screencapture bezeichnet man den Vorgang, bei dem mithilfe einer geeigneten Software die Anzeige auf dem Monitor mitgeschnitten wird. Derartig produzierte Videos nennt man auch Screen-casts.

Es wurden weiterhin drei Arten von Aufgaben eingesetzt: Einerseits wurden in die Erklärvideos an geeigneten Stellen kurze **Denkaufgaben** zur kognitiven Aktivierung eingebaut. Sie dienen dazu, eine weiterführende Betrachtung der Inhalte anzubahnen und die Studierenden aus dem rezeptiven Konsum des Videos zu lösen (Beispiel: Wie verhalten sich Säurestärke und pH-Wert zueinander?). Weiterhin enthalten die Erklärvideos **Übungsaufgaben**, zu denen im Verlauf des Videos eine Beispiellösung und deren Lösungsschritte gezeigt werden. Diese Übungen werden immer dann eingesetzt, wenn Inhalte am besten in Form von Beispielen gezeigt werden können oder wenn das Handwerkszeug zur Bearbeitung des Lernziels darstellt (Beispiel: Aufstellen des Reaktionsschemas einer Redoxreaktion). Schließlich wird zu jeder Lerneinheit ein Aufgabenblatt mit **Überprüfungsaufgaben** ins Lernmanagement-System eingestellt, das nach Abschluss der Einheit bearbeitet wird. Die Lösungen zur Selbstkontrolle können zeitlich versetzt eingesehen werden.

Sowohl zur Verwendung in den Erklärvideos als auch für die abschließenden Überprüfungsaufgaben wurden Experimentalvideos gedreht. Dabei handelt es sich um videographische Aufnahmen von Experimenten, die je nach Bedarf mit digitalen Elementen in der Videobearbeitung erweitert werden können. Beispielsweise kann die Aufnahme eines quantitativen Experiments durch die gleichzeitige graphische Auftragung der gemessenen Daten im Video ergänzt werden. So kann der Fokus auf die für die Vermittlung wichtigen Aspekte des Experiments, z. B. dessen Auswertung, gelenkt werden.

Die Bereitstellung der Materialien in einer digitalen Umgebung ermöglicht die Nutzung unterschiedlicher Repräsentationsformen: So können alle bisher genannten Materialien um Animationen oder auch Simulationen ergänzt werden. Chemische Vorgänge und Zusammenhänge in Form von bewegten, zwei- oder dreidimensionalen Repräsentationen darstellen zu können, adressiert das räumliche Vorstellungsvermögen gerade im Fach Chemie, dessen Vorgänge auf submikroskopischer Ebene sich der direkten Betrachtung entziehen. Außerdem wirkt sich der Einsatz von Visualisierungen auf affektive Variablen wie die Selbstwirksamkeitserwartung aus (Bolten, 2014).

Zur Bereitstellung der digitalen Lernmaterialien für die Vorbereitungsphase wurde das an der TU Braunschweig übliche Lernmanagement-System »Stud.IP« genutzt. Es hat den Vorteil, dass es plattformunabhängig ist sowie Support und Fortentwicklung gewährleistet sind. Im Gegensatz zu YouTube

oder ähnlichen Videoportalen können in Stud.IP weiterhin multimediale Arbeitseinheiten, z. B. mit dem Plug-In MOOC.IP, gestaltet werden.

## FORSCHUNGSASPEKTE UND ERSTE TENDENZEN

Die Lehrveranstaltung wird hinsichtlich der Wirksamkeit der Inverted-Classroom-Methode und des Wissenszuwachses beforcht. Zu den untersuchten Aspekten zählen die Veränderung der Motivation (Wilde, Bätz, Kovaleva & Urhahne, 2009) und der Kompetenzerwerb in der Lehrveranstaltung (Braun, Gusy, Leidner & Hannover, 2008).

Die erste Erprobung des Konzepts im Sommersemester 2016 gibt Hinweise darauf, dass die Studierenden die Inverted-Classroom-Methode im Vergleich zu üblichen Lehrveranstaltungen in ihrem Studium hinsichtlich der Wahlfreiheit als motivierender empfinden. Des Weiteren schätzen sie ihren Kompetenzerwerb im Bereich der fachlichen und personalen Kompetenzen als eher hoch ein. Dies lässt sich möglicherweise auf die verstärkt zu eigenständiger Arbeit und Selbstdisziplin anhaltende Vorbereitungsphase des Inverted Classroom zurückführen.

Den Rückmeldungen der Studierenden lässt sich entnehmen, dass ihnen die Methode zunächst ungewohnt war, sie jedoch schnell Gefallen an den multimedialen Lernmaterialien fanden. Sowohl ihre Angaben zur Nutzung der vorbereitenden Materialien als auch die hohe Konstanz der Teilnahme an den Präsenzsitzungen verdeutlichen die motivationale Förderlichkeit der Inverted-Classroom-Methode. Entgegen der ursprünglichen Befürchtung der Lehrenden, die eingeforderte Vorbereitung würde den Studierenden zusätzlichen Arbeitsaufwand verursachen, gaben diese in der Abschlussevaluation an, dass ihr Arbeitsaufwand für das Seminar nicht höher als bei anderen Veranstaltungen war.

## FAZIT UND AUSBLICK

Die Erfahrungen und ersten Evaluationsergebnisse zeigen, dass die Inverted-Classroom-Methode im Vergleich zum ursprünglichen Seminarconcept für die vorgestellte Lehrveranstaltung einen deutlichen Mehrwert bringt. Durch die Auslagerung der Wiederholung der Fachinhalte in die Vorbereitungsphase konnte in den Präsenzsitzungen des Seminars mehr Zeit für eine tiefer gehende Betrachtung bis hin zur Vernetzung von Wissens-elementen erzielt werden. Zudem zeigen die ersten Einblicke in die Begleitforschung, dass die Methode hohes motivationales Potenzial bietet und den Kompetenz- bzw. Wissenszuwachs fördert.

In den folgenden Durchführungen des Seminars sollen weiter gehende Aspekte zur Nutzung der Vorbereitungs-materialien erhoben werden. Außerdem wäre zu untersuchen, ob und wie der Besuch einer Lehrveranstaltung nach Inverted-Classroom-Methode entsprechend den Implikationen von Kerres (2013) Einfluss auf die Konzepte der Studierenden von Organisation und Durchführung von Unterricht hat.

## LITERATUR

- Baumert, J. & Kunter, M. (2011). Das Kompetenzmodell von COACTIV. In M. Kunter, J. Baumert, W. Blum, U. Klusmann, S. Krauss & M. Neubrand (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften: Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV* (S. 29 – 53). Münster: Waxmann.
- Bergmann, J. & Sams, A. (2012). *Flip your classroom: Reach every student in every class every day*. Eugene, OR: ISTE.
- Bolten, M. (2014). *Entwicklung und Praxiseinsatz interaktiver Visualisierungen für Chemievorlesungen an einer japanischen Universität*. Dissertation, Universität Oldenburg.
- Braun, E., Gusy, B., Leidner, B. & Hannover, B. (2008). Das Berliner Evaluationsinstrument für selbsteingeschätzte, studentische Kompetenzen (BEvaKomp). *Diagnostica*, 54(1), 30 – 42.
- Eghtessad, A. (2014). *Merkmale und Strukturen von Professionalisierungsprozessen in der ersten und zweiten Phase der Chemielehrerbildung: Eine empirisch-qualitative Studie mit niedersächsischen Fachleiter\_innen der Sekundarstufenlehrämter*. Berlin: Logos.
- Hussmann, S., Barzel, B., Leuders, T. & Prediger, S. (2013). Fachspezifische Differenzierungsansätze für unterschiedliche Unterrichtsphasen. In G. Greefrath, F. Kämpnick &

- M. Stein (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht 2013 Digital*. Verfügbar unter <http://www.mathematik.uni-dortmund.de/ieem/bzmu2013/> [21.04.17]
- Kerres, M. (2013). *Mediendidaktik: Konzeption und Entwicklung mediengestützter Lernangebote* (4. Aufl.). München: Oldenbourg.
- Kultusministerkonferenz. (2004). *Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss*. Verfügbar unter [http://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen\\_beschluesse/2004/2004\\_12\\_16-Bildungsstandards-Chemie.pdf](http://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Chemie.pdf) [21.04.2017]
- Kultusministerkonferenz. (2008). *Ländergemeinsame inhaltliche Anforderungen für die Fachwissenschaften und Fachdidaktiken in der Lehrerbildung*. Verfügbar unter [http://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen\\_beschluesse/2008/2008\\_10\\_16-Fachprofile-Lehrerbildung.pdf](http://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2008/2008_10_16-Fachprofile-Lehrerbildung.pdf) [21.04.2017]
- Schäfer, A. (2012). Das Inverted Classroom Model. In J. Handke & A. Sperl (Hrsg.), *Das Inverted Classroom Model: Begleitband zur ersten deutschen ICM-Konferenz* (S. 3 – 11). München: Oldenbourg.
- Shulman, L. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1 – 22.
- Spannagel, C. (2012). Selbstverantwortliches Lernen in der umgedrehten Mathematikvorlesung. In J. Handke & A. Sperl (Hrsg.), *Das Inverted Classroom Model: Begleitband zur ersten deutschen ICM-Konferenz* (S. 71 – 81). München: Oldenbourg.
- Wilde, M., Bätz, K., Kovaleva, A. & Urhahne, D. (2009). Überprüfung einer Kurzskaala intrinsischer Motivation. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 15, 31 – 45.
- Wolf, K. & Kulgemeyer, C. (2016). Lernen mit Videos? Erklärvideos im Physikunterricht. *Naturwissenschaften im Unterricht – Physik*, 27(152), 36 – 41.

## ÜBER DIE AUTOREN



---

**Cornelia Borchert** absolvierte ihr Studium der Fächer Chemie und Englisch für gymnasiales Lehramt an der TU Braunschweig. Seit 2016 promoviert sie im Teilprojekt Pro-MINT des vom BMBF geförderten Projekts TU4Teachers an der TU Braunschweig über die Entwicklung und Erprobung eines Lehrprojekts zum Aufbau lehramtsbezogenen strukturierten Inhaltswissens im Fach Chemie. Sie arbeitet seit 2015 mit der Methode des Inverted Classroom in der Chemiedidaktik und im Küsteningenieurwesen.



---

**Axel Eghtessad** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Chemiedidaktik an der TU Braunschweig. Nach dem Studium der Fächer Chemie und Englisch für das Lehramt an Gymnasien absolvierte er 2009 das zweite Staatsexamen. Er wurde 2014 in Braunschweig promoviert. Seine Forschungsschwerpunkte sind die Entwicklung des Fachwissens von Chemie-Lehramtsstudierenden, die Evaluation diagnostischer Fähigkeiten Lehramtsstudierender der Naturwissenschaften sowie Aspekte der Sprachlichkeit im Fachunterricht.



---

**Kerstin Höner** ist seit 1999 Professorin für Chemiedidaktik an der TU Braunschweig. Sie hat das erste und zweite Staatsexamen für die Lehrämter der Sek. I und II in den Fächern Chemie und Mathematik in Bielefeld absolviert. Sie wurde 1992 an der Universität Bielefeld zum Dr. rer. nat. promoviert und hat sich 2001 habilitiert. Ihre Forschungsschwerpunkte sind zurzeit der Kompetenzzuwachs von Studierenden im Bereich vernetzten Fachwissens und die Diagnose experimenteller Problemlösefähigkeiten von Schülerinnen und Schülern in den MINT-Fächern.

---

Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen – Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer (2017), J. Meßinger-Koppelt, S. Schanze & J. Groß (Hrsg.), Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag

# CHOICE<sup>2</sup>INTERACT – INTERAKTIV LERNEN MIT TABLETS IM CHEMIEUNTERRICHT

*Björn Dellbrügge & Annette Marohn*

## MOTIVATION

Medien gewinnen einen immer höheren Stellenwert in unserer Gesellschaft. Mit dieser Entwicklung geht auch eine Veränderung des Medienbegriffs einher. Während früher zumeist Printmedien oder Tonträger gemeint waren, verschiebt sich die erste Assoziation des Begriffs »Medien« heute eher in Richtung der »digitalen Medien«. Vor dieser Entwicklung können sich auch Schulen nicht verschließen. Wenn »Medieneinsatz« im Unterricht gefordert wird, dann ist damit in der Regel nicht ein Bild oder eine OHP-Folie gemeint, sondern digitales Material. Die (digitale) Medienbildung wird von der Kultusministerkonferenz sogar als »Pflichtaufgabe schulischer Bildung« (KMK, 2012) verstanden.

Auch das tägliche Umfeld der Schülerschaft ist digital geprägt. Dies ist allein schon der Tatsache geschuldet, dass mittlerweile über 95 % der Jugendlichen im Alter zwischen 12 und 19 Jahren ein Smartphone besitzen (Rathgeb, 2016) und dieses auch mit in die Schule nehmen möchten.

Eine Möglichkeit, der Forderung nach einem verstärkten Einsatz digitaler Medien nachzukommen, ist die Etablierung von Tablet-Klassen, in denen die Schülerinnen und Schüler die Tablets selbst anschaffen oder diese von der Schule gestellt bekommen. Hat sich eine Schule zu diesem Schritt entschieden, führt dies natürlich nicht automatisch zu einem qualitativ besseren Medieneinsatz. Die Lehrkräfte stehen dann vor der großen Herausforderung, diese Tablets gewinnbringend im Unterricht einzusetzen. Doch wie kann dieser Aufgabe begegnet werden? Die bloße Digitalisierung von Arbeitsblättern oder Schulbüchern kann jedenfalls nicht die Antwort auf diese Frage sein. Es kann nicht von einem höheren Lernerfolg ausgegangen werden, nur weil die Lernenden ihre Notizen plötzlich auf einem Tablet statt in einem Heft machen.

Für die Vertreter der konstruktivistischen Didaktik ist das selbstbestimmte und aktive Handeln sowie die Interaktion mit der Umwelt das, was das Lernen ausmacht. Die Lernenden erschaffen so einen Teil ihrer eigenen Wirklichkeit (Reich, 2008). Für den Einsatz im Chemieunterricht gibt es hier einen sehr positiven Ansatz, das eChemBook (Ulrich, 2015). Dabei handelt es sich um ein digitales Schulbuch mit interaktiven Elementen, was dazu führen soll, dass sich die Schülerinnen und Schüler aktiv mit dem zur Verfügung gestellten Material beschäftigen und den Inhalt nicht nur passiv konsumieren.

Limitierend wirkt hierbei jedoch die Tatsache, dass es sich um vorgefertigtes Material handelt. Lehrkräfte können zwar die zu ihrem Unterricht passenden Ausschnitte auswählen, ihnen fehlt jedoch die Möglichkeit, selbst das Material zu bearbeiten oder gar zu erstellen, um es an ihren Unterricht anzupassen.

Aber wie soll Lehrkräften dies gelingen? Die durchschnittliche Lehrkraft verfügt nicht über ausgeprägte Programmierkenntnisse, sodass benötigte Apps nicht einfach selber erstellt werden können. Man könnte jedoch eine bereits vorhandene App als Basis verwenden und in dieser das Material ausarbeiten. Diesen Ansatz verfolgen auch Ingo Eilks und Moritz Krause, die das Präsentationprogramm Prezi nutzen, um darin eine Lernumgebung zu erstellen. Diese bietet den Lernenden die Möglichkeit, selbstbestimmt Lernpfade zu beschreiten und sich mit den präsentierten Inhalten zu beschäftigen (Krause & Eilks, 2014).

Die Ziele des Projekts choice<sup>2</sup>interact sind ähnlich gesteckt. Mithilfe der App Explain Everything wird eine digitale Lernumgebung erstellt, in der sich die Schülerinnen und Schüler selbstbestimmt und in beliebiger Reihenfolge mit den zu lernenden Inhalten auseinandersetzen können. Das Besondere daran ist, dass jeder Lernende an seiner eigenen Kopie des Materials arbeitet und jedes Element selbstständig erarbeiten und modifizieren kann. So können Aufgaben direkt auf dem Tablet bearbeitet werden, Versuche digital mit Fotos oder sogar Videos protokolliert und in das restliche Material integriert werden. Die gesamten Lerninhalte stehen überall dort zur Verfügung, wohin man das Tablet mitnehmen kann.

**Das Besondere daran ist, dass jeder Lernende an seiner eigenen Kopie des Materials arbeitet und jedes Element selbstständig erarbeiten und modifizieren kann.**

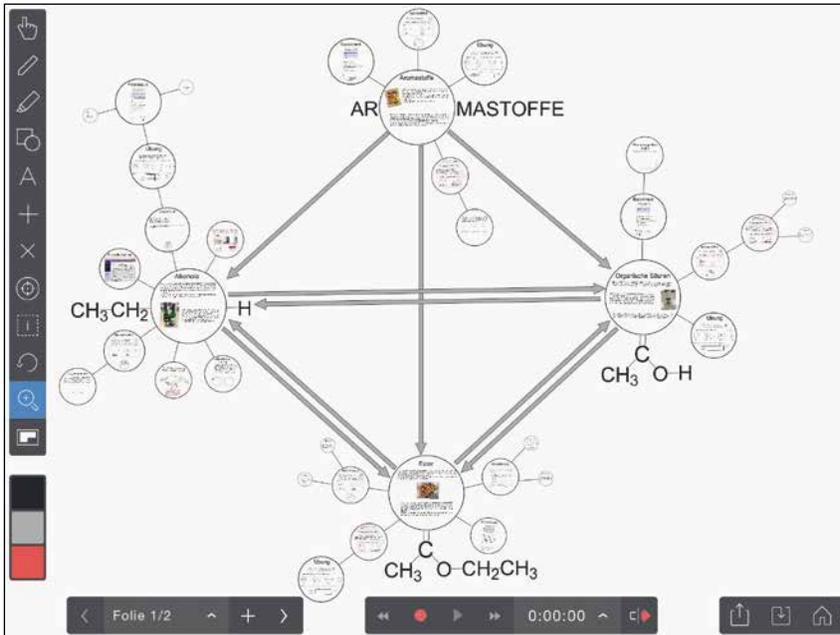


Abb. 1: Struktur der Lernumgebung in Explain Everything

## AUFBAU DER LERNUMGEBUNG

Explain Everything ist ähnlich aufgebaut wie Prezi. Innerhalb einer Folie kann der Benutzer unbegrenzt weit heraus- oder hineinzoomen. Durch dieses enorme Platzangebot kann das Arbeitsmaterial einer ganzen Unterrichtsreihe auf einer Folie untergebracht werden. Die Lernumgebung, die im Rahmen von choice<sup>2</sup>interact unter anderem erstellt wird, soll so alle Fachinhalte der Themenfelder Alkohole, organische Säuren und Ester der Jahrgangsstufe 9 an Gymnasien in NRW enthalten.

Abbildung 1 zeigt schematisch die Struktur der Themenfelder. Ausgehend von dem Kontext Aromastoffe dürfen die Schülerinnen und Schüler frei wählen, in welcher Reihenfolge sie weiter vorgehen wollen. Die einzelnen Themen sind so miteinander verknüpft, dass benötigte Vorkenntnisse auf den jewei-

ligen Pfaden zwischen den zentralen Knotenpunkten erworben werden können, um das folgende Material einordnen zu können. Die Schülerinnen und Schüler können die groben Inhalte der Lernumgebung und deren Zusammenhänge auf einen Blick erfassen. Dies bietet den Vorteil, dass das Material zugleich als eine Art Mind-Map zu verstehen ist. Um diesen Effekt zu unterstützen, wurden die Strukturformeln der primär behandelten Stoffe (Ethanol, Essigsäure und Essigsäureethylester) in die Oberfläche integriert.

Jeder Themenbereich wird in einem zentralen Knoten zunächst allgemein eingeführt. Von dort ausgehend können, ähnlich wie bei einem Baumdiagramm, andere Knotenpunkte, die über Äste miteinander verbunden sind, erreicht und bearbeitet werden. Ein wiederkehrendes Gestaltungselement ist ein Text zur Einbettung des Themenkomplexes in einen Kontext, der Bezüge zur Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler herstellt. Ein weiteres Element bildet ein Text mit fachlichen Basisinformationen (Ulrich, Richter, Scheiter & Schanze, 2014), der zum Erwerb eines anschlussfähigen Grundwissens beitragen soll. Nachdem dieser zentrale Knoten von den Lernenden bearbeitet wurde, können sie ihr weiteres Vorgehen eigenständig planen. An den Ästen sind kleine Informationsboxen positioniert, die Auskünfte über die Inhalte der entsprechenden Lernwege enthalten und so den Entscheidungsprozess erleichtern sollen.

Es gibt insgesamt acht verschiedene Arten von Knoten, die durch entsprechende Symbole für die Lernenden gekennzeichnet sind: Einführung, Theorie, Übung, Experimente, Recherche, Kontexte, Erklärvideos und Feedback. Beim Arbeiten in der Lernumgebung ist daher zu jedem Zeitpunkt klar, ob gerade beispielsweise neue Inhalte eingeführt, geübt oder Experimente durchgeführt und dokumentiert werden sollen.

Der Aufbau der Lernumgebung folgt sowohl didaktischen als auch formalen Gestaltungsprinzipien. Unter den didaktischen Kriterien steht die Interaktion an erster Stelle. Im Vordergrund steht dabei nicht nur die Interaktion der Lernenden mit der Lernumgebung, sondern auch die Interaktion zwischen einzelnen Schülerinnen und Schülern. Dies soll unter anderem dadurch erreicht werden, dass Explain Everything Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit bietet, eine Lernumgebung kollaborativ zu nutzen. Sie können sowohl zusammen am gleichen Material arbeiten als auch sich gegenseitig Aufgaben stellen und Feedback geben.

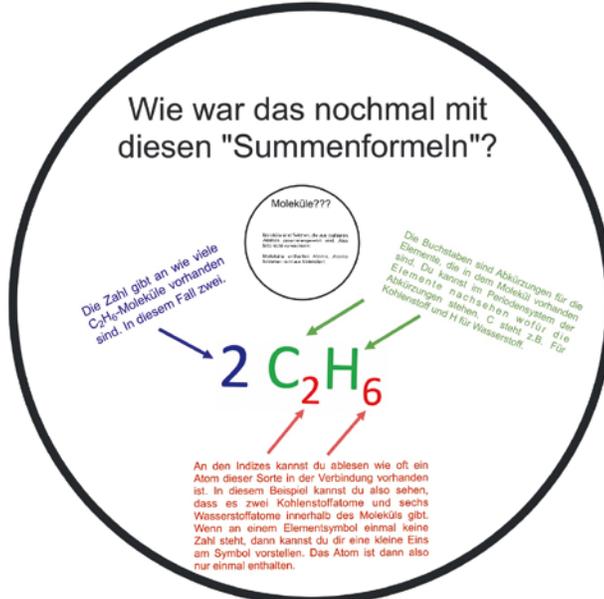


Abb. 2: Beispiel für die Umsetzung der Gestaltungsprinzipien

Die Interaktion mit dem Material reicht von einfachen Aufgaben wie dem Verschieben oder Markieren einzelner Elemente bis hin zum Erstellen von Protokollen mithilfe von Fotos oder sogar dem Drehen eines kleinen Erklärvideos; dieses kann in die Lernumgebung eingebettet und später anderen Schülerinnen und Schülern vorgeführt werden.

Die formale Gestaltung der Lernumgebung beruht unter anderem auf bereits validierten Kriterien, die aus der Cognitive Load Theory (Paas & Sweller, 2014) bzw. der Cognitive Theory of Multimedia Learning (Mayer, 2014a) abgeleitet wurden. Im Folgenden werden einige von ihnen kurz umrissen.

**Personalisierung:** Unter motivationalen Gesichtspunkten ist es vorteilhaft, die Lernenden in der Lernumgebung persönlich anzusprechen. Durch umgangssprachliche Formulierungen kann sogar ein tieferes Verständnis des Gelernten als durch formal formulierte Texte erreicht werden. Auch persönliche

Aussagen der Lehrperson haben einen positiven Effekt, wobei, wie so oft, ein gesundes Maß für die Frequenz des Einsatzes gefunden werden muss (Mayer, 2014b). Abbildung 2 zeigt, wie dieses Gestaltungsprinzip umgesetzt wurde. Die Überschrift wurde bewusst umgangssprachlich und aus Schülersicht formuliert. Erklärende Texte sind sprachlich einfach gestaltet und antizipieren Probleme der Schülerinnen und Schüler.

**Markierung zusammengehöriger Inhalte:** Gerade wenn größere Informationsmengen in örtlicher Nähe zueinander positioniert werden, stellt dies eine Herausforderung für die Schülerinnen und Schüler dar. Sie müssen Teile der Kapazität ihres Arbeitsgedächtnisses dafür aufwenden, die Informationen richtig einander zuzuordnen. Durch die farbliche Kodierung zusammengehöriger Inhalte kann die kognitive Belastung der Lernenden reduziert werden, wodurch sie sich besser auf die Inhalte konzentrieren können (van Gog, 2014; Mayer, 2014a). Abbildung 2 zeigt die Umsetzung dieses Gestaltungsprinzips in der Lernumgebung.

**Zeitliche und räumliche Nähe:** Räumliche Distanz zwischen zusammengehörigen Inhalten kann dazu führen, dass zum Beispiel durch das Umblättern einer Buchseite das Lernen erschwert wird. Direkt nebeneinander befindliche Informationsquellen können jedoch ohne große Ablenkung erfasst und verarbeitet werden (Schnotz, 2014). Hier kommt ein entscheidender Vorteil digitaler Lernumgebungen und speziell der App Explain Everything zum Tragen: Das Platzangebot ist unbegrenzt und nicht durch Seitenumbrüche in einzelne Segmente unterteilt. Informationen können immer, zum Beispiel in verkleinerter Form, so gruppiert werden, dass die kognitive Belastung minimiert wird.

Durch das große Platzangebot können Schülerinnen und Schüler mangelndes Vorwissen durch einen nah platzierten Infotext auffrischen, ohne dass sie den Knoten hierfür wechseln müssen.

Abbildung 2 beinhaltet zum Beispiel eine Erklärung des Begriffs »Molekül«, der bei Bedarf von den Schülerinnen und Schülern abgerufen werden kann. Somit soll das Verstehen erleichtert werden, denn die Begriffe Molekül und Atom sind für Schülerinnen und Schüler häufig nicht klar abgegrenzt.

## PROJEKTVERLAUF IM DESIGN-BASED RESEARCH

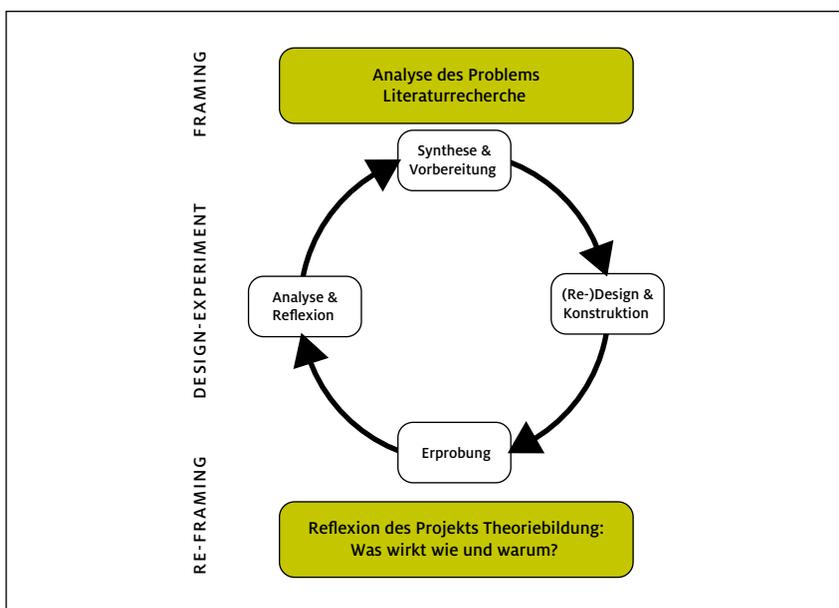
Der Design-Based Research-Ansatz findet in der fachdidaktischen Forschung in der Regel dann Anwendung, wenn es darum geht, Aspekte von Lernprozessen zu verbessern. Dies soll durch die Integration von Aspekten wissenschaftlicher Forschung in die Gestaltung der Lehre erreicht werden, um somit qualitätssteigernde Impulse zu setzen. Dieser Prozess ist jedoch nicht einseitig zu verstehen, denn ein wichtiges Ziel des Design-Based Research-Ansatzes ist es auch, dass aus der Lehre selbst theoretische Aspekte herausgelöst und weiter untersucht werden, um damit wiederum zu einer Verbesserung der Lehre beizutragen (Anderson & Shattuck, 2012).

Ein direkter Bezug zum Projekt lässt sich in den Anfängen des Forschungskonzepts erkennen. Allan Collins entwickelte zu Beginn der Neunzigerjahre das Konzept »Design Science« (Collins, 1992), das ein direkter Vorläufer des Design-Based Research-Ansatzes ist. Es befasst sich mit der Problematik, dass technische Innovationen zwar häufig in die Lehre integriert werden, sich jedoch daraus kaum neue Erkenntnisse oder Konzepte entwickeln. Die Nachhaltigkeit solcher Versuche ist somit als gering anzusehen. Um einen dauerhaften Nutzen zu generieren, wurde das Projekt *choice<sup>2</sup>interact* im Design-Based Research verortet. Es lassen sich zwei konkrete Ziele benennen. Zum einen die Verbindung von Theorie und Praxis bei der Entwicklung und Verbesserung der Intervention und zum anderen die Theoriebildung aus den gewonnenen Daten.

Für den Projektverlauf ergeben sich drei Phasen: die Vorbereitung (das sogenannte »Framing«), die Entwicklung und Erprobung im »Design-Experiment« und die Reflexion und Theoriebildung im »Re-Framing« (Gravemeijer & Cobb, 2006).

### Framing

Wie in Abbildung 3 zu sehen ist, werden in der ersten Phase eines Projektes die Rahmenbedingungen abgesteckt (Wilhelm & Hopf, 2014). Daher rührt die englische Bezeichnung »Framing«. Es wird eine präzise Analyse des Problems vorgenommen und eine ausführliche Literaturrecherche durchgeführt.



**Abb. 3:** Projektverlauf nach Design-Based Research, Schema in Anlehnung an (verändert nach Rott & Marohn, 2016)

Im Fall von choice<sup>2</sup>interact wurde das Problem herausgestellt, dass sich immer mehr Bildungseinrichtungen dazu entschließen, Tablets einzusetzen, es aber nur wenige Unterrichtskonzeptionen für den Chemieunterricht gibt, die den Einsatz von Tablets beinhalten. Durch fehlende Veröffentlichungen müssen Konzepte an vielen Schulen neu entwickelt werden, was die Arbeitsbelastung der Beteiligten vergrößert. Vorhandene Projekte führen selten zur Theoriebildung (vgl. Collins' Einlassungen zum »Design Science«), sodass lediglich das erarbeitete Material für andere zugänglich gemacht werden kann, jedoch keine theoriegeleiteten Hinweise zur Erstellung eigenen Materials gegeben werden können.

In einer Fragebogenstudie unter 92 Lehrerinnen und Lehrern wurde deutlich, dass die Lehrkräfte vielfältige Potenziale im Tableteinsatz zu Unterrichtszwecken sehen. Ca. 83 % der Befragten schätzen die Präsentationsmöglichkeiten, aber auch Aspekte wie Recherchemöglichkeiten (ca. 68 %), An-

schaulichkeit (ca. 67 %) oder die Steigerung der Motivation (ca. 65 %) finden positive Beachtung. Aber Lehrerinnen und Lehrer äußern auch Befürchtungen. Dazu zählen das Ablenkungspotenzial für die Lernenden (ca. 60 %), technische Schwierigkeiten (ca. 56 %) oder das Verkommen zum Selbstzweck ohne konkretes didaktisches Konzept (ca. 35 %).

Eine Befragung von 216 Schülerinnen und Schülern an vier Gymnasien ergab, dass ca. 63 % der Befragten gerne (häufiger) Tablets im Unterricht verwenden würden und bereits ca. 79 % der Schülerinnen und Schüler, die ein Tablet besitzen, dieses auch mehr oder weniger regelmäßig zur Vorbereitung auf den Unterricht nutzen.

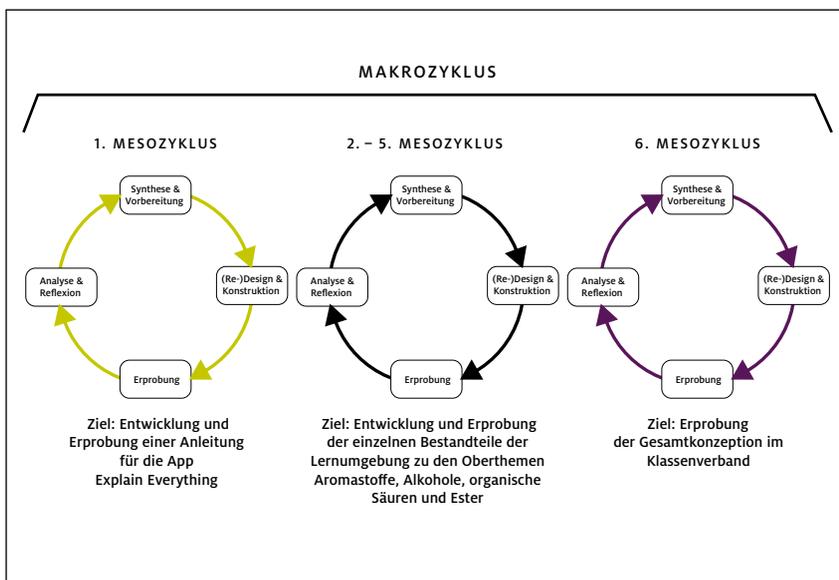
Es konnte also ein eindeutiger Bedarf festgestellt werden.

Aus den Voruntersuchungen konnten folgende Ziele für das Projekt formuliert werden:

- Es soll eine digitale Lernumgebung zur Vermittlung chemischer Fachinhalte entwickelt werden, die die Lernenden zu einer möglichst hohen Interaktion mit der Lernumgebung sowie untereinander anregt.
- Es sollen Gestaltungskriterien herausgearbeitet werden, nach denen eine solche Lernumgebung aufgebaut werden sollte.

Inhaltlich ist die Lernumgebung in der neunten Jahrgangsstufe verortet. Die Begründung liegt in der Abwägung zweier Faktoren: Einerseits soll die Zielgruppe der Schülerinnen und Schüler alt genug sein, um auf ein größeres Vorwissen und höhere kognitive Fähigkeiten zurückgreifen zu können. Andererseits bestehen Tabletclassen aber in der Regel nur so lange, wie noch im Klassenverband unterrichtet wird, an G8-Gymnasien also bis zum Ende der neunten Jahrgangsstufe.

Innerhalb dieser Jahrgangsstufe bietet sich der Themenbereich der organischen Chemie an, da sich dieser in einzelne Unterthemen gliedert, die eng miteinander in Beziehung stehen. Diese Verzahnung kann in der Lernumgebung visualisiert werden kann.



**Abb. 4:** Verortung des Projektaufbaus im Design-Based Research

## Design-Experiment

Im Aufbau des Design-Experimentes zeigen sich wesentliche Strukturelemente des Vorgehens nach Design-Based Research. Die Lernumgebung wird zyklisch aufgebaut. Der gesamte Forschungsprozess kann als Makrozyklus betrachtet werden, welcher sich wiederum in Unterzyklen aufteilen lässt, die sogenannten Mesozyklen.

Abbildung 4 zeigt, dass die Entwicklung eines Unterkapitels des Projektes in einem Mesozyklus zusammengefasst werden kann. Den ersten Schritt stellt die Entwicklung einer Anleitung für die App »Explain Everything« dar. Dieses soll dazu dienen, den Schülerinnen und Schülern die Bedienelemente näherzubringen, um ein reibungsloses Arbeiten zu fördern. Die Mesozyklen zwei bis fünf beinhalten die Entwicklung und Erprobung der Materialien zu den einzelnen Oberthemen Aromastoffe, Alkohole, organische Säuren und

Ester. Im sechsten und letzten Mesozyklus erfolgt die Erprobung der Gesamtkonzeption.

Jeder Mesozyklus ist in vier Abschnitte untergliedert. Diese spiegeln grob auch den Aufbau des gesamten Projektes wider. Im ersten Schritt »Synthese und Vorbereitung« wird, vergleichbar mit dem Framing, ein Rahmen geschaffen, der jedoch deutlich konkreter auf die praktische Umsetzung bezogen ist. Es kann sich dabei beispielsweise um die Auswahl der Lerngruppe oder des Themas handeln.

Im Abschnitt »(Re-)Design/Konstruktion« wird im ersten Durchlauf ein Teil des Interventionsmaterials erstellt. In gegebenenfalls weiteren Durchläufen des Mesozyklus wird dieses Material neu konzipiert oder einzelne Elemente überarbeitet.

Ist das Material bereit für einen Testdurchlauf, so wird es im Unterpunkt »Erprobung« erprobt. Dabei ist wichtig, dass möglichst ausführlich dokumentiert wird. Die in dieser Phase gesammelten Daten sind das Kernstück der später folgenden Auswertung. Im Projekt choice<sup>2</sup>interact ergibt sich an dieser Stelle eine besondere Herausforderung. Die Erprobung muss in der Form dokumentiert werden, dass sowohl das Geschehen auf den Tablets erfasst wird als auch die Interaktion der Schülerinnen und Schüler untereinander sowie die Interaktionen mit dem bereitgestellten Material. Um einen unverfälschten Blick aus der Perspektive der Lernenden erfassen zu können, werden zu diesem Zweck »Helmkameras«, also kleine Actioncams an einem Stirnband, verwendet.

Das so gewonnene Datenmaterial wird im vierten Abschnitt »Analyse und Reflexion« ausgewertet und der gesamte Inhalt des Mesozyklus auf der Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse reflektiert.

Der Mesozyklus kann nun erneut durchlaufen werden, aber auch andere Mesozyklen können davon ausgehend neu angestoßen werden. Generell gilt, dass die einzelnen Zyklen beliebig oft durchlaufen werden können. Die Mesozyklen müssen auch nicht in einer bestimmten Reihenfolge abgearbeitet werden. Parallele Durchläufe sind möglich und unter zeitlichen Gesichtspunkten oftmals auch sinnvoll.

## Re-Framing

In der Phase des Re-Framings werden die Ergebnisse der vorhergehenden Phasen noch einmal gebündelt und mit den im Framing gestellten Fragen und den theoretischen Grundlagen reflektierend in Beziehung gesetzt. Dabei wird versucht, aus dem während der Interventionen erhobenen Datenmaterial Antworten zu gewinnen. Kennzeichnend für den Design-Based Research-Ansatz ist es, dass nicht nur die Frage »was wirkt?« beantwortet werden soll, sondern auch die Frage: »wie, wann und warum wirkt es?« (Collins, Joseph & Bielaczyc, 2004). Dieser besondere Fokus auf der Theoriebildung zu Wirkprinzipien der Lernumgebung generiert im Idealfall einen besonders nachhaltigen Mehrwert für die didaktische Forschung, auf dem in zukünftigen Projekten weiter aufgebaut werden kann.

Im hier vorgestellten Projekt ist es wünschenswert, Theorien abzuleiten, die aufzeigen, welche Elemente bevorzugt von den Schülerinnen und Schülern genutzt werden und aus Schülersicht in besonderer Weise zum Lernerfolg oder der Motivation beigetragen haben. Dies könnte zum Beispiel bei der Aufklärung der Frage helfen, ob bzw. wie Schülerinnen und Schüler das Angebot von wiederholenden Informationseinschüben nutzen, die sich jeweils direkt neben den neu zu lernenden Inhalten befinden. Auch die Frage, ob diese subjektiv zum Lernerfolg oder der Motivation beitragen, könnte geklärt werden.

## LITERATUR

- Anderson, T. & Shattuck, J. (2012). Design-based research: A decade of progress in education research? *Educational Researcher*, 41(1), 16 – 25.
- Collins, A. (1992). Toward a Design Science of Education. In E. Scanlon & T. O'Shea (Hrsg.), *New Directions in Educational Technology* (S. 15 – 22). Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hong Kong, Barcelona, Budapest: Springer Verlag.
- Collins, A., Joseph, D. & Bielaczyc, K. (2004). Design Research: Theoretical and Methodological Issues. *Journal of Learning Sciences*, 13(1), 15 – 42.
- Gravemeijer, K. & Cobb, P. (2006). Design research from learning design perspective. In J. Van Den Akker, K. Gravemeijer, S. McKenney & N. Nieveen (Hrsg.), *Educational Design Research* (S. 45 – 85). London, New York: Routledge.

- KMK. (2012). *Medienbildung in der Schule (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 8. März 2012)*. Verfügbar unter [http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen\\_beschluesse/2012/2012\\_03\\_08\\_Medienbildung.pdf](http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2012/2012_03_08_Medienbildung.pdf) [04.04.2017]
- Krause, M. & Eilks, I. (2014). Lernwege mit Prezi modern gestalten – Beispiele zum Teilchenkonzept. In J. Maxton-Küchenmeister & J. Meßinger-Koppelt (Hrsg.), *Digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht* (S. 209 – 215). Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag.
- Mayer, R. (2014a). Cognitive Theory of Multimedia Learning. In R. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 43 – 71). New York: Cambridge University Press.
- Mayer, R. (2014b). Principles Based on Social Cues in Multimedia Learning: Personalization, Voice, Image, and Embodiment Principles. In R. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 345 – 370). New York: Cambridge University Press.
- Paas, F. & Sweller, J. (2014). Implications of Cognitive Load Theory for Multimedia Learning. In R. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 27 – 42). New York: Cambridge University Press.
- Rathgeb, T. (2016). *JIM 2016 Jugend, Information, (Multi-) Media*. Stuttgart. Verfügbar unter [https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/JIM/2016/JIM\\_Studie\\_2016.pdf](https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/JIM/2016/JIM_Studie_2016.pdf) [04.04.2017]
- Reich, K. (2008). *Konstruktivistische Didaktik. Lehr- und Studienbuch mit Methodenpool* (4. Auflage). Weinheim und Basel: Beltz Verlag.
- Rott, L. & Marohn, A. (2016). Inklusiven Unterricht entwickeln und erproben – Eine Verbindung von Theorie und Praxis im Rahmen von Design-Based Research. *Zeitschrift für Inklusion*, 1.
- Schnotz, W. (2014). Integrated Model of Text and Picture Comprehension. In R. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 72 – 103). New York: Cambridge University Press.
- Ulrich, N. (2015). Das eChemBook. *NiU-Chemie*, 26(145), 44 – 47.
- Ulrich, N., Richter, J., Scheiter, K. & Schanze, S. (2014). Das digitale Schulbuch als Lernbegleiter. In J. Maxton-Küchenmeister & J. Meßinger-Koppelt (Hrsg.), *Digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht* (S. 75 – 82). Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag.
- Van Gog, T. (2014). The Signaling (or Cueing) Principle in Multimedia Learning. In R. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 263–278). New York: Cambridge University Press.
- Wilhelm, T. & Hopf, M. (2014). Design-Forschung. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 31 – 42). Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.

## ÜBER DIE AUTOREN



---

**Björn Dellbrügge**, MEd, studierte Chemie und Geschichte für das Lehramt an Gymnasien und Gesamtschulen an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster. Seit August 2015 arbeitet er als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Arbeitskreis von Prof. Dr. Marohn am Projekt choice<sup>2</sup>interact.



---

Prof. Dr. **Annette Marohn** leitet seit 2013 das Institut für Didaktik der Chemie der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster. Ihr Forschungsschwerpunkt ist die theoriegeleitete und empirisch basierte Entwicklung von Lehr-Lern-Konzeptionen für den naturwissenschaftlichen Unterricht und die Lehrerbildung.

---

Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen – Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer (2017), J. Meßinger-Koppelt, S. Schanze & J. Groß (Hrsg.), Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag



# Unterstützung von Lehrkräften beim Einsatz digitaler Medien



# IMPLEMENTATION DIGITALER MEDIEN – BEDÜRFNISSE VON LEHRKRÄFTEN ERFASSEN

*Bernhard F. Sieve*

Technologische Innovationen wie interaktive Whiteboards (IWB) oder Tablets sowie curriculare Innovationen wie kompetenzorientierte Curricula in einer Schule nachhaltig zu verankern, ist stets ein schwieriges Unterfangen und ein »steiniger Weg« (Gräsel & Parchmann, 2004, S. 196). Implementationsprozesse im Bildungsbereich sind langwierig und verlaufen nur in Ausnahmefällen linear und gezielt steuerbar. Häufig entwickeln sie eine kaum vorhersagbare Eigendynamik, in der es auch durch selektive Übernahme der mit der Innovation verbundenen Neuerungen zu massiven Anpassungen der Innovation an die persönlichen und organisationsspezifischen Bedingungen kommen kann (Bormann, 2013). Zudem verläuft kein Implementationsprozess ohne Widerstände und Konflikte, da jede Innovation mit Änderungen, Aufwand und ggf. dadurch hervorgerufenen Unsicherheiten und Ängsten verbunden ist (Rolff, 1995). Zur Frage der Implementation siehe auch den Beitrag von [Becker & Nerdel](#), S. 36. Ein Kernproblem aller Bemühungen, den Transfer einer Innovation in die Praxis zu begleiten und zu unterstützen, liegt in der großen Heterogenität der Personen begründet, die mit der Innovation konfrontiert sind: Jeder Beteiligte hat aufgrund unterschiedlicher Biografien gegenüber der Innovation ihm eigene Kenntnisse, Interessen oder Bedenken und damit einen individuellen Beratungs- und Unterstützungsbedarf. Aufgrund der Schnelllebigkeit digitaler Technologien scheint der individuelle Unterstützungsbedarf besonders evident zu sein. Hier gilt es, die ohnehin schon große Implementationslücke zwischen den Potenzialen digitaler Werkzeuge und dem Vermögen von Lehrkräften, diese Potenziale im Unterricht zu nutzen, zu verkleinern (Groß & Schanze, 2010; Sieve, 2015). Für die Gestaltung adressatengerechter Unterstützungsmaßnahmen, zu denen sicherlich niveaudifferenzierte und modular organisierte

Implementationsprozesse im Bildungsbereich sind langwierig und verlaufen nur in Ausnahmefällen linear und gezielt steuerbar.

Lehrerfortbildungen zählen, ist es daher nötig, die Ausgangslagen von Lehrkräften in Bezug auf die jeweilige Innovation empirisch zu erfassen und die Analyse als Basis für die Gestaltung von Unterstützungsangeboten zu nutzen. Doch wie kann das erfolgen? Diese Frage zu klären, ist Ziel dieses Beitrags.

## DAS CONCERNS-BASED ADOPTION MODEL (CBAM)

Ein etabliertes Werkzeug zur Erfassung von innovationsbezogenen Einstellungen, Kenntnissen und Nutzungsweisen und zur Identifikation des Implementationsverlaufs ist das Concerns-Based Adoption Model (CBAM; von Hall & Hord, 2006). Das Anwendungsspektrum dieses Instrumentariums ist breit und reicht von curricularen Innovationen wie der Einführung von neuen Lehrplänen oder Unterrichtsverfahren (Pant et al., 2008; Bitan-Friedlander et al., 2004) bis hin zu technologisch-methodischen Innovationen wie dem Einsatz von Laptops oder anderen im Unterricht verwendeten digitalen Technologien (Yuliang & Huang, 2005; Groß & Schanze, 2010; Sieve, 2015).

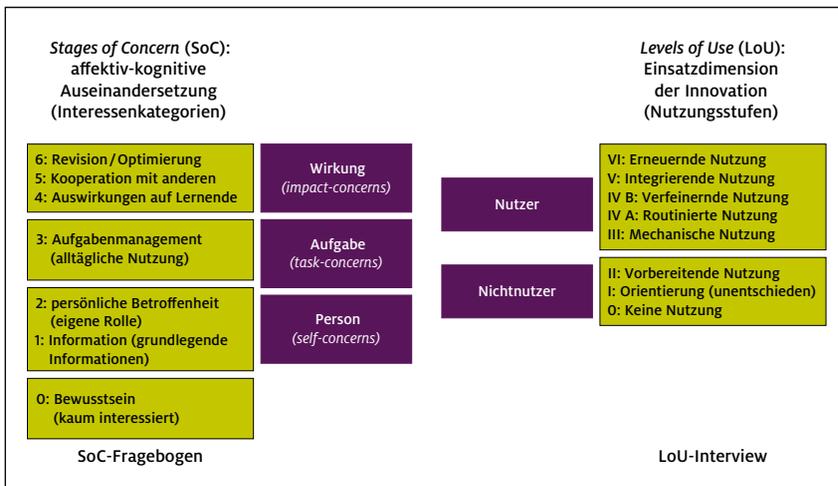
### CBAM im Überblick

Die erfolgreiche Implementation einer Innovation ist grundsätzlich ein fortlaufender Prozess, in dem die an der Innovation beteiligten Personen sequenzielle und hierarchisch aufeinander aufbauende Stufen der affektiv-kognitiven Auseinandersetzung bzw. Beschäftigung mit der Innovation durchlaufen. Hinsichtlich der Akteure lassen sich dabei drei Personengruppen differenzieren: die Nutzer oder Anwender der Innovation, diejenigen, die die Innovation nicht anwenden (Nichtnutzer), sowie das mit der Initiierung, Planung und Unterstützung betraute Leitungsgremium (meist die Schulleitung und spezifische Funktionsträger), Change Facilitator Team (CFT) genannt. Jede adressaten- und innovationsgerechte Interventions- und Steuerungsmaßnahme setzt dabei die Diagnose in drei Dimensionen voraus: den innovationsbezogenen Einstellungen, Interessen, Bedenken und Kenntnissen der Lehrkräfte (Stages of Concern), der geäußerten aktuellen Nutzung der Innovation (Levels of Use)

und den Rahmenbedingungen sowie der Ausgestaltung der Innovation selbst (Innovation Configurations). Die ersten beiden adressieren hierbei die Akteure, die mit der Innovation direkt konfrontiert sind. Daher stehen diese nachfolgend im Fokus.

### Stages of Concern

Jede mit einer Innovation konfrontierte Person weist individuelle Interessen- und Einstellungslagen in Bezug auf die Innovation auf. Diese hängen vom Grad der Vertrautheit der Person mit der Innovation ab. Nach dem Stages-of-Concern-Modell (SoC) durchlaufen die an der Innovation beteiligten Personen im Implementationsprozess sieben verschiedene Stufen der affektiv-kognitiven Auseinandersetzung (concerns) in unterschiedlichen Intensitäten. Diese bewegen sich im Spannungsfeld von eher personenbezogenen (Stufen 0 bis 2) über aufgabenbezogene (Stufe 3) bis hin zu wirkungsbezogenen (Stufen 4 bis 6) Interessensfokussen (Abb. 1). Am Beginn der Implementation einer Innovation liegen bei den Personen aufgrund des geringen Vertrautheitsgrades vorwiegend personenbezogene Concerns vor; diese nehmen mit zunehmender Vertrautheit und Zeit ab und werden durch aufgabenbezogene Concerns ersetzt. Erst wenn auch die damit verbundenen Bedürfnisse gestillt sind, dominieren wirkungsbezogene Concerns. An der Stufung sowie ihren jeweiligen Ausprägungen bei einer Person lässt sich daher der Stand der Implementation bzw. der Verlauf bemessen. Eine Innovation gilt nach diesem Modell erst dann als erfolgreich implementiert, wenn die Lehrkräfte die höchsten Werte in den Stufen 4 und 5 erreichen und sich für die Wirkung der Innovation interessieren (Capaul, 2002). Befindet sich dagegen der überwiegende Teil der Personen in Bezug auf die Innovation auf den Stufen 0 bis 2, steckt der Implementationsprozess in einer »labilen Phase« (ebd., S. 21), da die Beteiligten sich nicht oder kaum für die Innovation interessieren bzw. damit vertraut sind.



**Abb. 1:** Überblick über das CBAM mit den beiden diagnostischen Dimensionen SoC und LoU (eigene Grafik, Stufung nach Hall & Hord, 2006)

## Levels of Use

Um zielführende Unterstützungsmaßnahmen für eine erfolgreiche Implementation zu entwickeln, ist die Betrachtung der Bedürfnisse, Einstellungen und Kenntnisse von Personen gegenüber einer Innovation die eine Seite der Medaille. Ebenso wichtig ist die Analyse der Handlungsroutinen und wahrgenommenen Herausforderungen, die sich aus der täglichen Anwendung der Innovation im Unterricht ergeben. Diese Nutzungsebene wird über die Levels of Use (LoU) erfasst (Hall et al., 2006). Die dort aufgeführten acht LoU-Stufen (Einsatzdimensionen) bilden einen progressiven Prozess ab – von der Nichtnutzung über die mechanische oder routinierte Nutzung bis hin zur Verbesserung der Innovation (zur Beschreibung der Stufen siehe Sieve, 2015). Erfasst werden die LoU-Einsatzdimensionen anhand eines semistrukturierten Interviews, in dem sieben verschiedene Kategorien abgefragt werden: Neben dem Wissen über die Innovation stehen u. a. der Austausch mit anderen Personen und die Beschreibung sowie die Evaluation der aktuellen Nutzung im Fokus.

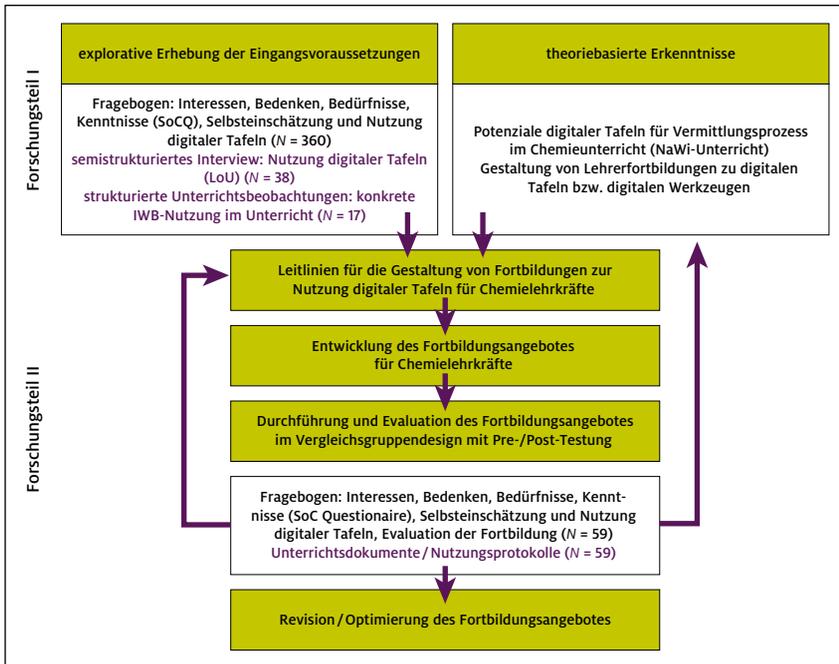


Abb. 2: Forschungsdesign der Studie iWnat (verändert nach Sieve, 2015)

## ANWENDUNG VON CBAM AM BEISPIEL IWB UND TABLETS

Im Rahmen des Projekts »Interaktive Whiteboards im naturwissenschaftlichen Unterricht – iWnat« wurden in einer Querschnittstudie mit vorwiegend quantitativem Schwerpunkt 360 Lehrkräfte (Anteil MINT-Lehrkräfte 61,5%) von 29 weiterführenden Schulen in Niedersachsen hinsichtlich ihrer IWB-bezogenen Einstellungsmuster und Nutzungsweisen befragt, wobei beide Instrumente des CBAM Anwendung fanden. Zusätzlich wurden Aspekte der Ausstattung, zur aktuellen Nutzung digitaler Tafeln, zu Fortbildungserfahrungen sowie zur Selbsteinschätzung der Lehrkräfte in Bezug auf ihre Erfahrung gegenüber digitalen Tafeln erhoben und anhand strukturierter Unterrichtsbeobachtungen trianguliert (siehe Abb. 2; Sieve, 2015). Ziel der Studie war es,

die Ausgangslage in Bezug auf die Nutzung sowie die Einstellungen in Bezug auf das IWB zu erfassen, um dominierende Problemlagen herauszufinden und Leitlinien für die Entwicklung von adressatengerechten Unterstützungsmaßnahmen abzuleiten. In einem zweiten Forschungsteil wurde das auf der Basis der Leitlinien entwickelte Lehrerfortbildungsangebot erprobt und vorwiegend summativ im Rahmen eines Vergleichsgruppendesigns ( $N = 59$ ) evaluiert (siehe Sieve & Schanze, 2015; Sieve, 2015). Die gleichen Ziele verfolgt die Begleitforschung des Medienentwicklungsplans der Stadt Hannover zur Implementation von Tablet-Schulen /-Klassen. Nachfolgend werden das Vorgehen sowie zentrale Ergebnisse der Anwendung des CBAM beider Projekte vorgestellt.

### SoC-Fragebogen zur Erfassung der Ausgangslage

Wesentliches Instrument zur Erfassung der innovationsbezogenen Einstellungsmuster, Kenntnisse und Interessen ist der standardisierte, 35 Items umfassende SoC-Fragebogen mit siebenstufiger Likert-Skala, in dem je fünf Items eine SoC-Kategorie abbilden. Die Items wurden auf die Nutzung des IWB sowie von Tablets adaptiert (Abb. 3).

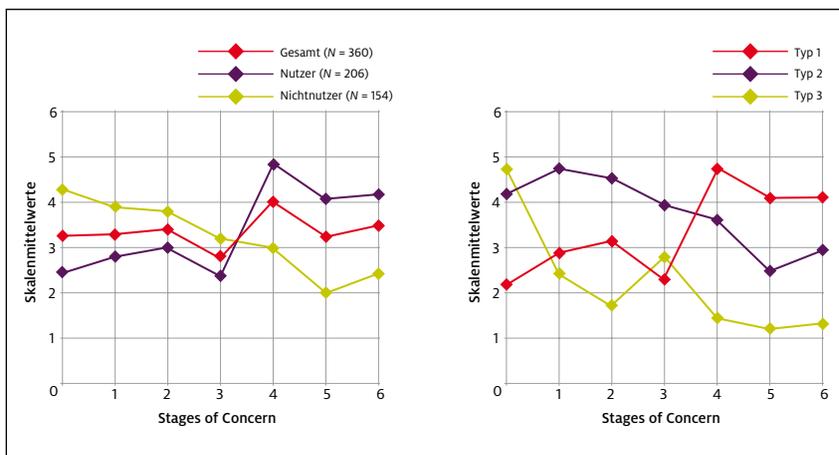
0 wenig zutreffend	1	2	3	4 momentan in gewisser Weise zutreffend	5	6	7 momentan in hoher Weise zutreffend				
					1	2	3	4	5	6	7
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

**Abb. 3:** Beispielhafte Auswertung zur SoC-Interessenkategorie 1 (Information). Für die Person sind Informationen rund um das IWB zum Zeitpunkt der Erhebung von hoher Relevanz, da die Person bzgl. dieser Kategorie sehr hohe Skalenwerte erreicht (31 von 35 möglichen Punkten).

Die Summe der Punktwerte in der jeweiligen SoC-Kategorie bildet die Ausprägung der jeweiligen Interessenkategorie ab. Die Kategorie mit dem höchsten Wert (Peak Stage) entspricht der maßgeblichen Stufe der Auseinandersetzung und spiegelt damit die vornehmliche Interessen-/Bedürfnislage wider. Für eine konkrete Schule ermöglicht diese Peak-Stage-Score-Interpretation einen sehr schnellen Überblick darüber, auf welcher bzw. welchen Interessenkategorie(n) sich die Personen bezüglich der jeweiligen Innovation befinden, und erlaubt in Anlehnung an Robbins und Alvy (2003, S. 78) eine erste grobe Auswahl stufenbezogener Interventionsmöglichkeiten (vgl. Sieve, 2015).

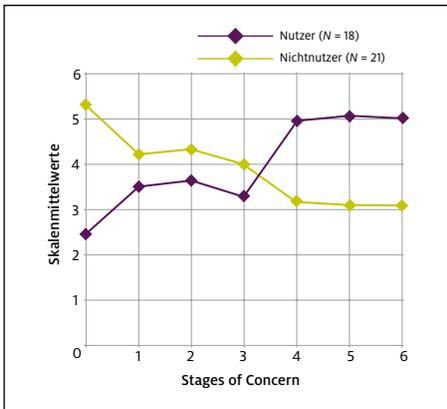
Deutlich aussagekräftiger ist jedoch die Analyse der individuellen SoC-Profile (z. B. Pant et al., 2008; Sieve, 2015). Diese individuellen SoC-Profile sind ein probates Diagnoseinstrument, mit dem bestimmt werden kann, wo sich eine Person oder eine Gruppe hinsichtlich ihrer affektiv-kognitiven Auseinandersetzung bezüglich der Innovation gerade im Implementationsprozess befindet. In kleinen Stichproben erlaubt diese Analyse eine gezielte und individuelle Beratung von Einzelpersonen. Für große Stichproben, wie z. B. im Rahmen der Studie iWnat, lassen sich durch hierarchische Clusteranalyse homogene Subgruppen hinsichtlich ihres SoC-Profiles identifizieren. Dies erleichtert die adressatengerechte Gestaltung von Unterstützungsangeboten, da Lehrkräfte entsprechend ihrer innovationsbezogenen Kerninteressen und -bedürfnissen in Gruppen eingeteilt und spezifisch geschult werden können. Im Rahmen des Projekts iWnat ergaben sich die in Abb. 4 dargestellten Befunde.

Es zeigt sich, dass Nutzer und Nichtanwender des IWB in Bezug auf die Innovation IWB unterschiedlichen Unterstützungsbedarf haben. Nichtanwender zeigen hohe Werte vorwiegend im Bereich der Self Concerns und deutlich niedrigere Ausprägungen in den Impact Concerns. Dies spricht für eine geringe Vertrautheit der Lehrkräfte und damit für eine stark informationsbezogene und auf die Handhabung der Technologie ausgerichtete Unterstützung. Bei den Nutzern des IWB ist dies genau umgekehrt. Die hohen Werte in Bezug auf die Wirkung des IWB auf das Lernen spricht für Schulungen, die auf konkrete Unterrichtsszenarien und auf Partizipation der Lernenden abzielen. Dies belegen auch die Auswertungen der LoU-Interviews (Sieve, 2015). Auch in den mittels Clusteranalyse generierten Subgruppen mit vergleichbaren Interessenlagen spiegelt sich die Heterogenität der Lehrkräfte wider: Die mit 55 %



**Abb. 4:** Links: Gemittelte SoC-Profile der Gesamtstichprobe sowie der Teilstichproben Nutzer und Nichtnutzer des IWB. Die Unterschiede in den Interessenkategorien zwischen den Teilstichproben sind signifikant (H-Test:  $p < 0,001^{***}$ ; SoC 3:  $p < 0,05^*$ ). Rechts: Mit hierarchischer Clusteranalyse ermittelte homogene Subgruppen, die 97% der Gesamtstichprobe zugeordnet werden konnten.

größte Gruppe der Befragten interessiert sich sehr für die Auswirkungen digitaler Tafeln auf Lernende und sucht nach Kooperationsmöglichkeiten sowie Maßnahmen zur Optimierung des IWB-Einsatzes. Man kann diese Gruppe von Lehrkräften als »kreative Kooperierer mit Schülerfokus« umschreiben (Typ 1). Diese Gruppe besteht zu knapp 85% aus IWB-Anwendern. Die zweitgrößte Gruppe (29,5%) machen die »selbstorientierten Einzelkämpfer« aus (Typ 2, vgl. Pant et al., 2008). Hierbei handelt es sich vorwiegend um Nichtanwender des IWB, deren Interesse auf Informationen über das IWB sowie zu den persönlichen Folgen des IWB-Einsatzes ausgerichtet ist. Kooperation und Zusammenarbeit sind aktuell praktisch ohne Belang. Die kleinste Gruppe von Lehrkräften (13%, wieder überwiegend Nichtanwender des IWB) weist das Profil des Typs 3 auf. Diese Lehrkräfte lassen sich als »wenig engagierte Einzelkämpfer mit Aufgabenfokus« beschreiben, da sie konzedieren, sich bisher nicht mit digitalen Tafeln auseinandergesetzt zu haben und sich weder für die Innovation an sich noch für persönliche Anforderungen interessieren, die die Nutzung des IWB an sie stellt. Das Interesse an Kooperation und



**Abb. 5:** Gemittelte SoC-Profile der Teilstichproben Nutzer und Nichtnutzer von Tablets. Die Unterschiede in den Interessenkategorien 0 sowie 4 bis 6 sind signifikant (H-Test: SoC 0  $p < 0,001^{***}$ ; SoC 4–6:  $p < 0,01^{**}$ ). Tablet-Nutzer interessieren sich vornehmlich für die Wirkung der Tabletnutzung auf Lernende und für Kooperationsmöglichkeiten, während Lehrkräfte, die Tablets nicht anwenden, kaum Interesse für dieses Medium zeigen.

Zusammenarbeit ist noch geringer ausgeprägt als bei den »selbstorientierten Einzelkämpfern«, was auf ein noch höheres Autonomiebedürfnis dieser Gruppe von Lehrkräften hinweist. Lehrkräfte mit diesem Autonomie-Paritäts-Einstellungsmuster kooperieren überwiegend nur auf Anweisung und sind Innovationen gegenüber eher negativ eingestellt. Für die Gestaltung von Unterstützungsmaßnahmen stellt diese Personengruppe die am schwierigsten zu fördernde Gruppe dar. Für die exemplarische Befragung von Lehrkräften im Rahmen der Implementation von iPads an Schulen in Hannover haben sich vergleichbare Profile ergeben, was ebenso wie bei der Erfassung der Ausgangslage zur Nutzung des IWB eine geringe Vertrautheit der Lehrkräfte gegenüber diesem Werkzeug zeigt (Abb. 5).

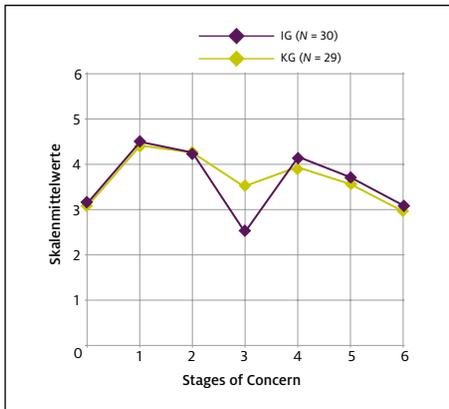
#### SoC-Fragebögen zur Ermittlung des Fortbildungserfolgs

Die Analyse des Projekts iWnat sowie des Tablet-Projekts der Stadt Hannover zeigte die überwiegend geringe Vertrautheit der befragten Lehrkräfte in Bezug auf die Werkzeuge IWB und Tablet-PCs für die Unterrichtsgestaltung bei gleichzeitig großer Heterogenität an Kenntnissen, Einstellungen, Bedürfnissen und Nutzungsweisen an. Basis für die Gestaltung von adressatengerech-

ten Unterstützungsmaßnahmen sollten demzufolge folgende Leitlinien sein (Sieve & Schanze, 2014):

- **Fachspezifität:** Aufzeigen des didaktisch-methodisch begründeten Einsatzes des digitalen Werkzeugs an fachspezifischen Lehr-Lern-Szenarien und Beispielen guter Praxis. Für den Chemieunterricht wäre das Modellieren sowie das Arbeiten mit Modellen und die Unterstützung von Experimenten vornehmliche Einsatzszenarien. Dies bedingt auch die Einbindung weiterer digitaler Werkzeuge.
- **Modularität:** Die neigungs- und kompetenzspezifische Differenzierung der Lehrkräfte bedingt einen modularen Aufbau der Unterstützungsmaßnahmen mit aufeinander aufbauenden Modulen. Hierfür ist die vorige Analyse der innovationsbezogenen spezifischen Bedürfnisse der Lehrkräfte nötig. Nur so lassen sich die Teilnehmenden in möglichst homogene Gruppen differenzieren.
- **Arbeiten in professionellen Lerngemeinschaften:** Bereitstellung von Unterstützungsmaßnahmen für alle Fachgruppenmitglieder einer oder mehrerer Schulen soll den fachgruppeninternen Austausch von Materialien und insbesondere die gemeinsame Gestaltung von Unterrichtsmaterialien im Sinne einer Ko-Konstruktion fördern; Ziel ist hierbei die Entwicklung von Bausteinen für den Einsatz des digitalen Werkzeugs im eigenen Unterricht im Team.
- **Werkzeugspezifität:** Um den immer wieder konstatierten gering ausgeprägten Kontrollüberzeugungen im Umgang mit technischen Problemen entgegenzuwirken, sollten die Unterstützungsmaßnahmen system- bzw. werkzeugspezifisch sein (z. B. nur Schulung mit iPads als Beispiel für Tablets). Ferner sollten die Lehrerfortbildungen wesentliche Pannen in der Nutzung der Technologie antizipieren, fingierte Pannensituationen einbinden und diese von den Teilnehmenden lösen lassen (Kompetenzschulung Pannenmanagement).

Im Rahmen des zweiten Forschungsteils des Projekts iWnat wurde entsprechend der aufgeführten Leitlinien eine niveaudifferenzierende, modularisier-

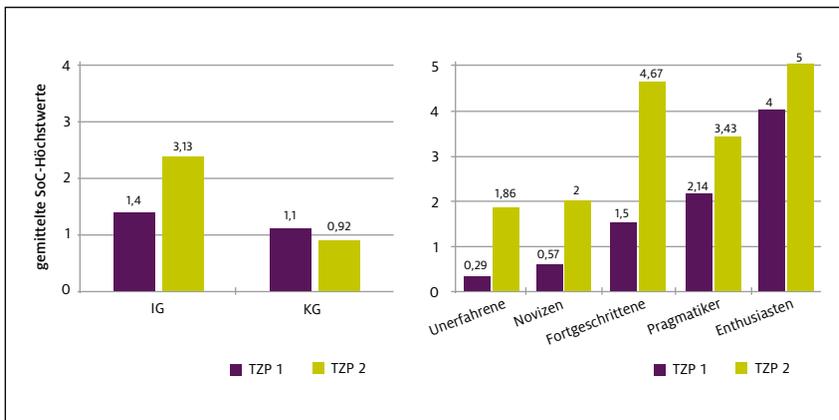


**Abb. 6:** Gemittelte SoC-Profile der Interventions- (IG) und der Kontrollgruppe (KG). Es zeigt sich nur im Bereich der Stufe 3 ein signifikanter Unterschied in den Ausprägungen, mit einer jedoch moderaten Effektstärke ( $\chi^2(59) = 6,289$ ;  $df = 1$ ;  $p = 0,012^*$ ;  $\omega = 0,32$ ).

te Lehrerfortbildung zum Einsatz des IWB für Chemielehrkräfte konzipiert und in einem Kontrollgruppendesign mit Pre- / Posttestung evaluiert (vgl. Sieve, 2015;  $N = 59$ ). Der Akzent der Evaluation lag dabei in erster Linie auf der Prüfung der Wirksamkeit der Intervention im Hinblick auf die Veränderungen von Einstellungen bzw. Haltungen, Kenntnissen und Nutzungsweisen von Chemielehrkräften gegenüber dem IWB. Nachgeordnet erfolgte dabei auch eine Optimierung der Interventionsmaßnahme selbst (Produktevaluation), wodurch man in Anlehnung an Beywl et al. (2004) von einer wirkungsorientierten Evaluation mit summativem Schwerpunkt sprechen kann. Zentral war auch hier wiederum das CBAM, wie nachfolgend deutlich wird.

Vor der eigentlichen Intervention wurden beide Gruppen von Lehrkräften hinsichtlich Selbsteinschätzung, Nutzungsweisen des IWB, Nutzungszeitraum, Fortbildungserfahrung und den SoC-Profilen verglichen. Abbildung 6 zeigt die Ergebnisse der SoC-Profile. Beide Gruppen sind hinsichtlich ihrer IWB-bezogenen Einstellungsmuster sowie der weiterhin untersuchten Parameter als gut vergleichbar einzustufen.

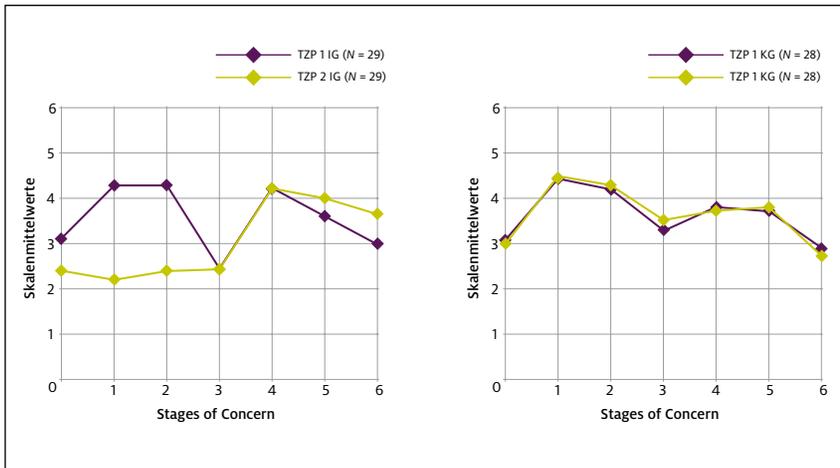
Die SoC-Profile entsprechen in beiden Gruppen dem von »Kooperierern« (vgl. Bitan-Friedlander et al., 2004; Pant et al., 2008). Diese Personen zeichnen sich allgemein durch hohe Werte in den Interessenkategorien Kooperation und Auswirkungen auf Lernende aus, fühlen sich jedoch nicht hinreichend über die Innovation und deren Auswirkungen informiert.



**Abb. 7:** Links: Gemittelte SoC-Höchstwerte der Interventions- (IG) und der Kontrollgruppe (KG) vor und nach der Lehrerfortbildung. Während der SoC-Höchstwert in der Kontrollgruppe nahezu unverändert ist, steigt er nach der Fortbildung in der Interventionsgruppe signifikant an (Wilcoxon-Test:  $Z = -4,061$ ;  $p < 0,001^{***}$ ;  $\phi = 0,75$ ). Rechts: Unabhängig von der Selbsteinschätzungsstufe erreichen alle Befragten der Interventionsgruppe nach der Fortbildung höhere SoC-Höchstwerte (TZP = Testzeitpunkte).

Nach der Lehrerfortbildung weisen die Lehrkräfte der Interventionsgruppe signifikant höhere SoC-Werte auf, und zwar unabhängig von ihrer zuvor geäußerten Selbsteinschätzungsstufe (Abb. 7). Unabhängig von den Ausgangsvoraussetzungen ermöglicht der modulare und niveaudifferenzierende Aufbau der Fortbildung einen Vertrautheitsgewinn in Bezug auf die Kenntnisse und Erfahrungen mit dem IWB.

Diese Entwicklung zeigt sich auch in der Betrachtung der IWB-bezogenen SoC-Profile (Abb. 8). Die Lehrkräfte, die an der IWB-Schulung teilgenommen haben, zeigen nach der Fortbildung deutlich geringere Ausprägungen in den Self Concerns, die Ausprägungen in den Impact Concerns nehmen im Mittel zu. So interessieren sich die fortgebildeten Lehrkräfte deutlich stärker für die Auswirkungen der Nutzung digitaler Tafeln auf Lernende und zeigen ein größeres Bedürfnis nach Kooperation bzw. sind an der aktiven Veränderung der Nutzung dieser Technologie interessiert. Nur bezüglich der Task Concerns (SoC 3: Aufgabenmanagement) ist in der Interventionsgruppe keine nennens-



**Abb. 8:** Gemittelte SoC-Profile der Interventionsgruppe (IG, links) und der Kontrollgruppe (KG, rechts) zu beiden Testzeitpunkten. In der Interventionsgruppe sind die Ausprägungen der Self Concerns signifikant niedriger und die Impact Concerns signifikant höher (Wilcoxon-Test:  $p < 0,001^{***}$  bis  $p = 0,002^{**}$ ;  $\varphi = 0,57$  bis  $0,89$ ); TZP = Testzeitpunkt).

werte Veränderung zu erkennen. Entsprechende Veränderungen der Ausprägungen der SoC-Interessenlagen sind bei den Lehrkräften der Kontrollgruppe nicht festzustellen. Hier bleiben die Werte nahezu auf dem Niveau des Testzeitpunkts 1 (TZP 1). Diese Ergebnisse sprechen für eine deutliche und signifikante Verschiebung der Interessenlagen der Lehrkräfte infolge der Teilnahme an der Lehrerfortbildung und demzufolge für eine größere Vertrautheit der Lehrkräfte. Bekräftigt wird dieser Eindruck durch die Ergebnisse der Analyse von Artefakten (IWB-Einsatz im Unterricht) sowie der Analyse der Nutzungsweisen des IWB und der Kooperationsmuster, die die Lehrkräfte beider Gruppen im Rahmen der Studie beifügten. Näheres dazu in Sieve (2015) sowie Sieve & Schanze (2015).

## ZUSAMMENFASSUNG

Am Beispiel von Projekten zur Implementation von interaktiven Whiteboards sowie zu Tablets konnte gezeigt werden, dass für die Entwicklung adressatengerechter und wirksamer Unterstützungsangebote wie niveaudifferenzierende, fachspezifische Fortbildungen sowohl das Erfassen der Ausgangslage der Lehrkräfte nötig ist als auch die Fortbildungsmaßnahme wirkungsorientiert mit summativem Schwerpunkt evaluiert werden sollte. Für diese Zwecke eignet sich das in der Implementationsforschung etablierte Concerns-based Adoption Model (CBAM; Hall & Hord, 2006). Die innovationsbezogenen Einstellungsmuster (Haltungen, Kenntnisse, Bedenken und Bedürfnisse) von Personen gegenüber dem jeweiligen digitalen Werkzeug sowie die konkreten Einsatzweisen der Innovation lassen sich mit den beiden Dimensionen von CBAM, Stages of Concern (SoC) und Levels of Use (LoU) sowie den entwickelten validen diagnostischen Instrumenten erfassen und beschreiben.

## LITERATUR

- Beysel, W., Speer, S. & Keer, J. (2004). *Wirkungsorientierte Evaluation im Rahmen der Armuts- und Reichtumsberichterstattung*. Verfügbar unter [http://www.univation.org/index.php?class=Calimero\\_Article&id=54](http://www.univation.org/index.php?class=Calimero_Article&id=54) [20.04.2017].
- Bitan-Friedlander, N., Dreyfus, A. & Milgrom, Z. (2004). Types of »teachers in training«: the reactions of primary school science teachers when confronted with the task of implementing an innovation. *Teaching and Teacher Education*, 20(6), 607 – 619.
- Bormann, I. (2013). Wissensbezogene Innovationsanalyse – ein Beitrag zur Erweiterung von Forschungsstradition. In: M. Rürup & I. Bormann (Hrsg.), *Innovationen im Bildungswesen, Educational Governance* (S. 89 – 109). Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Capaul, R. (2002). Über die Bedeutung der Schulleitung bei der Gestaltung von Schulinnovationsprozessen. *Journal für Schulentwicklung*, 6(2), 16 – 30.
- Gräsel, C. & Parchmann, I. (2004). Implementationsforschung – oder: der steinige Weg, Unterricht zu verändern. *Unterrichtswissenschaft*, 32(3), 196 – 214.
- Groß, J. & Schanze, S. (2010). *METICS – Multimedia-enriched Training in a Collaborative School Environment*. Abschlussbericht, Institut für Didaktik der Naturwissenschaften, Leibniz Universität Hannover, Hannover.
- Hall, G. E., Dirksen, D. J. & George, A. A. (2006). *Measuring Implementation in Schools: Level of Use*. Austin: Southwest Educational Development Laboratory.

- Hall, G. E. & Hord, S. M. (2006). *Measuring implementation in schools. Using the tools of the Consensus-Based-Adoption-Model*. Austin: Southwest Educational Development Laboratory.
- Pant, A., Vock, M., Köller, O. & Pöhlmann, C. (2008). Offenheit für Innovationen. *Zeitschrift für Pädagogik*, 54(6), 827 – 845.
- Robbins, P. & Alvy, H. B. (2003). *The principal's companion: Strategies and hints to make the job easier*. Thousand Oaks, CA: Corwin.
- Rolff, H. G. (1995). *Wandel durch Selbstorganisation: Theoretische Grundlagen und praktische Hinweise für eine bessere Schule*. Weinheim: Juventa.
- Sieve, B. (2015). *Interaktive Tafeln im naturwissenschaftlichen Unterricht: Entwicklung und Evaluation einer Fortbildungsmaßnahme für Chemielehrkräfte*. Wiesbaden: Springer Spektrum (Research). doi:10.1007/978-3-658-09946-6
- Sieve, B. & Schanze, S. (2014). Interaktive Whiteboards im naturwissenschaftlichen Unterricht (iWnat). Ein Lehrerfortbildungskonzept zum Einsatz interaktiver Whiteboards im Chemieunterricht. In J. Maxton-Küchenmeister & J. Meßinger-Koppelt (Hrsg.), *Digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht* (S. 203 – 208). Hamburg: Joachim Herz Stiftung.
- Sieve, B. & Schanze, S. (2015). IWBs als innovative Werkzeuge im Chemieunterricht? – Eine Intervention. In S. Bernholt (Hrsg.), *Heterogenität und Diversität – Vielfalt der Voraussetzungen im naturwissenschaftlichen Unterricht* (S. 295 – 297). Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Bremen 2014. Kiel: IPN.
- Yuliang, L. & Huang, C. (2005). Concerns of teachers about technology integration in the USA. *European Journal of Teacher Education*, 28(1), 35 – 48.

## ÜBER DEN AUTOR



**Bernhard F. Sieve** ist Gymnasiallehrer für Chemie und Biologie und war von 2010 bis 2017 als wissenschaftlicher Mitarbeiter an das Institut für Didaktik der Naturwissenschaften an der Leibniz Universität Hannover abgeordnet. Aktuell ist er mitwirkender Fachleiter für Chemie am Studienseminar Hannover I und führt zusätzlich regelmäßig Lehrerfortbildungen zum Einsatz digitaler Medien im Chemie- und Biologieunterricht durch. Seine Forschungsschwerpunkte sind die Implementation und Wirksamkeitsprüfung digitaler Werkzeuge im naturwissenschaftlichen Unterricht.

---

Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen – Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer (2017), J. Meßinger-Koppelt, S. Schanze & J. Groß (Hrsg.), Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag

# WISSEN UND MOTIVATION VON LEHRKRÄFTEN IM UMGANG MIT DIGITALEN TECHNOLOGIEN

*Daniela Mahler & Julia Arnold*

Der Einsatz digitaler Technologien im naturwissenschaftlichen Unterricht birgt zahlreiche Potenziale. Dies lässt sich am Beispiel des Faches Biologie illustrieren. So eignen sich digitale Technologien hier, um fachliche Phänomene – wie beispielsweise Zellstrukturen oder Stoffwechselreaktionen, die sich der menschlichen Wahrnehmung ohne Hilfsmittel entziehen – erfahrbar zu machen. Durch digitale Technologien kann zudem ein Zugang geschaffen werden und Schülerinnen und Schüler können erkundend und forschend in die Lösung von Problemen und die Durchführung von Experimenten und Messungen einbezogen werden (Maxton-Küchenmeister & Meßinger-Koppelt, 2014). Ob diese Potenziale aber auch genutzt und für die Entwicklung von Fähigkeiten fruchtbar gemacht werden können, hängt neben individuellen Faktoren seitens der Lernenden (z. B. Motivation) vor allem von der Lehrkraft ab (Helmke, 2006; Kunter et al., 2013).

Der gewinnbringende Einsatz neuer Technologien stellt Lehrkräfte jedoch vor große Herausforderungen. Lehrkräfte fühlen sich häufig unsicher und nicht ausreichend qualifiziert (Chai, Koh & Tsai, 2013). Studien zeigen, dass tatsächlich häufig das Wissen fehlt, um Technologien erfolgreich im Unterricht einzusetzen (Koehler, Mishra, Kereluik, Shin & Graham, 2014). Zusätzlich ist eine systematische Förderung von Kompetenzen auf Seiten der Lehrkräfte im Studium vielerorts noch nicht adäquat berücksichtigt. Die Folge ist, dass viele Lehrkräfte weiterhin vor allem auf analoge/traditionelle Lernwerkzeuge zurückgreifen und am Gewinn, den der Einsatz von Technologien im Unterricht bringen kann, nicht teilhaben können. Um diese Problemstellung anzugehen und (angehende) Lehrkräfte zukünftig adäquat aus- und fortzubilden, ist es zuerst wichtig zu identifizieren, was genau Lehrkräfte eigentlich brauchen, um das Potenzial des Einsatzes von Technologien im Unterricht ausschöpfen zu können. Aus Studien der Lehrkräfteprofessionsforschung weiß man bereits, dass erfolgreiche Lehrkräfte sich durch verschiedene Merk-

male auszeichnen, die sich unter dem Begriff professionelle Handlungskompetenz zusammenfassen lassen (Baumert & Kunter, 2006). Dabei helfen einer Lehrkraft neben ihrem Wissen auch weitere Aspekte, wie beispielsweise Motivation, den komplexen Anforderungen des Unterrichtsgeschehens zu begegnen (Baumert & Kunter, 2006).

Wie komplex die Voraussetzungen sind, die Lehrkräfte für erfolgreiches Unterrichten mit digitalen Technologien benötigen, soll das folgende unterrichtspraktische Beispiel aus dem Bereich der Biologie verdeutlichen: Frau Müller möchte im Unterricht das Thema Gewässergüte behandeln und dabei mit ihren Schülerinnen und Schülern eine Smartphone-App zur Bestimmung des Saprobien-Index (Saprobien sind Organismen, die als Indikatoren für die Gewässergüte herangezogen werden) nutzen. Damit dieses Vorhaben gelingt, braucht Frau Müller ein breites Repertoire an Wissen: Sie sollte die entsprechenden Organismen kennen und auch bestimmen können und außerdem Wissen darüber haben, was der Saprobien-Index aussagt. Weiterhin sollte sie Wissen über effektives Classroom-Management haben, um das selbstständige Arbeiten der Schülerinnen und Schüler während der Bestimmung der Gewässergüte zu unterstützen. Wie man Schülerinnen und Schüler in die fachgemäße Arbeitsweise des Bestimmens einführt, wo typische Fehlerquellen liegen und wie man Lernende dabei adäquat unterstützt, sind weitere relevante Wissensbereiche. Die Besonderheit in Frau Müllers Unterricht ist der Einsatz von Apps zur Bestimmung der Gewässergüte. Zu den »klassischen« Wissensbereichen, die gemeinhin als relevant für guten Unterricht gesehen werden (Baumert & Kunter, 2006), kommen weitere Wissensbereiche, die einen expliziten Technologiebezug haben und die den Einsatz von Technologien als effektive Lernwerkzeuge ermöglichen. So sollte Frau Müller zusätzlich wissen, wie man auf verschiedenen Betriebssystemen die benötigte App herunterlädt und bedient, wie man damit den Saprobien-Index bestimmt, wo Vorteile, aber auch Schwierigkeiten bei der Nutzung von Smartphones in Bezug auf Classroom-Management, aber auch bei der Vermittlung fachlicher Inhalte liegen können, und wie man all das nutzt, um die Schülerinnen und Schüler in der konkreten Situation anzuleiten.

Damit dieses breite Repertoire an Wissen nun auch im tatsächlichen Unterrichtshandeln ankommt, also tatsächlich digitale Technologien im Unterricht effektiv eingesetzt werden, sind weitere Aspekte relevant. So ist aus

vielen Bereichen (beispielsweise »gesunde Ernährung«) hinlänglich bekannt: Wissen reicht zum Handeln nicht aus. Um im Bild zu bleiben: Traut Frau Müller sich den Einsatz digitaler Technologien im Unterricht nicht zu (z. B. aus Mangel an Überzeugung, über das nötige Wissen zu verfügen) oder sieht sie den Nutzen der Technologie nicht, glaubt, im Notfall keine Unterstützung zu bekommen, oder glaubt, dass der Aufwand zu hoch ist, wird sie die Technologie, ungeachtet ihres tatsächlichen Wissens, nicht einsetzen. Es spielen also zusätzlich zum Wissen einer Lehrkraft auch ihr Selbstkonzept sowie weitere motivationale Faktoren eine Rolle, die letztlich in ihrem Zusammenspiel ein erfolgreiches Unterrichten mit digitalen Technologien ermöglichen.

**Wissen reicht zum Handeln  
nicht aus.**

Ziel dieses Beitrags ist es, auf theoretischer Ebene zu systematisieren, was genau Lehrkräfte für den gewinnbringenden Einsatz digitaler Technologien im naturwissenschaftlichen Unterricht brauchen und wie das Zusammenspiel dieser Aspekte zu einer tatsächlichen Nutzung digitaler Technologien im Unterricht führt.

## TECHNOLOGIEBEZOGENES PROFESSIONSWISSEN

Seit etwas mehr als zehn Jahren beschäftigen sich zahlreiche Autoren damit, das für den effektiven Einsatz digitaler Technologien notwendige Wissen zu beschreiben. Dabei werden unterschiedliche Wissensmodelle beschrieben wie z. B. Knowledge of Educational Technology (Margerum-Lays & Marx, 2003), ICT related PCK (Angeli & Valanides, 2005) oder ePCK (Franklin, 2004), die jedoch letztlich einen gemeinsamen Ausgangspunkt haben: die Überlegungen, die Shulman Mitte der achtziger Jahre bezüglich des Professionswissens von Lehrkräften anstellte (Shulman, 1986). Das Professionswissen einer Lehrkraft stellt den Kern professioneller Kompetenz dar (Baumert & Kunter, 2006) und bezieht sich sowohl auf fachbezogene als auch fachunabhängige Wissensbereiche (Shulman, 1986): (1) Das Fachwissen (Content Knowledge; CK) beinhaltet das Wissen über Fakten, Konzepte und Strukturen eines Faches (Shulman, 1986), (2) das fachdidaktische Wissen (Pedagogical Content

Knowledge; PCK) beschreibt vor allem das Wissen, das nötig ist, um fachliche Inhalte zu vermitteln (Shulman, 1986). Als weiterer fachunabhängiger Bereich ist (3) das pädagogische Wissen (Pedagogical Knowledge; PK) zu nennen, das sich auf das Wissen zum Lehren und Lernen bezieht (Baumert & Kunter, 2006; Shulman, 1986). Gemeinsame Grundlage bisheriger Arbeiten sind also die Wissensbereiche des Professionswissens. Hinzu kommt bei allen Modellen ein Technologiebezug. Ein prominentes Modell stellt das von Mishra und Koehler dar (Mishra & Koehler, 2006). Mishra und Koehler wandelten den bis dahin gängigen Begriff TPCK in TPACK um. Dies sollte eine bessere Aussprache und Eingängigkeit herbeiführen. Da dieses Modell in der Folge für weitere erweiterte Modelle Pate stand (Angeli & Valanides, 2013), soll es im Folgenden genauer beschrieben werden. Abbildung 1 gibt einen Überblick über alle Konstrukte des TPACK-Modells, einschließlich der bereits besprochenen Konstrukte des Professionswissens.

Wissensbereiche	Fachbezug	Unterrichtsbezug	Technologiebezug
Pädagogisches Wissen (Pedagogical Knowledge, PK)		X	
Fachwissen (Content Knowledge, CK)	X		
Fachdidaktisches Wissen (Pedagogical Content Knowledge, PCK)	X	X	
Technologiewissen (Technological Knowledge, TK)			X
Technologiebezogenes pädagogisches Wissen (Technological Pedagogical Knowledge, TPK)		X	X
Technologiebezogenes Fachwissen (Technological Content Knowledge, TCK)	X		X
Technologiebezogenes fachdidaktisches Wissen (Technological Pedagogical Content Knowledge, TPCK)	X	X	X

Abb. 1: Überblick über die TPACK-Bereiche

Zu den »klassischen«, schon von Shulman beschriebenen Wissensbereichen, die für jeden erfolgreichen Unterricht eine Rolle spielen, kommen im TPACK vier weitere Wissensbereiche hinzu, denen ein Bezug zu Technologien gemeinsam ist (Mishra & Koehler, 2006). (4) Das Technological Knowledge (TK) bezieht sich auf das Wissen über Technologien (Mishra & Koehler, 2006). Dieser Wissensbereich ist damit losgelöst von einem fachlichen Gegenstand sowie vom Unterricht. (5) Das Technological Content Knowledge (TCK) stellt einen weiteren Wissensbereich dar, der sich auf das Wissen über Technologien zu bestimmten fachlichen Inhalten bezieht (Mishra & Koehler, 2006). Dieser Wissensbereich hat – anders als das vorher beschriebene TK – einen Bezug zum fachlichen Gegenstand, nicht aber zum Unterricht. (6) Weiterhin ist das Technological Pedagogical Knowledge (TPK) zu nennen. TPK umfasst das Wissen darüber, Technologien für die Förderung von Lernprozessen zu nutzen. Es steht in Zusammenhang mit dem Unterricht, nicht aber mit dem fachlichen Gegenstand. (7) Das Technological Pedagogical Content Knowledge (TPCK) schließlich umfasst das Wissen, das notwendig ist, um Technologien zur Förderung von Lernprozessen zu bestimmten fachlichen Inhalten effektiv auswählen und nutzen zu können. Dieses Konstrukt hat also sowohl einen Bezug zum fachlichen Gegenstand als auch zum Unterricht. Weiterhin berücksichtigt das Modell von Mishra and Koehler (2006) den jeweiligen Kontext.

Wie bereits angedeutet, wurde dieses Modell um weitere Aspekte ergänzt. So schlagen Jen, Yeh und Kollegen (Jen, Yeh, Hsu, Wu & Chen, 2016; Yeh, Hsu, Wu, Hwang & Lin, 2014) ein erweitertes Modell (TPACK-Practical) vor, welches praktische Unterrichtserfahrungen im Kontext der Entwicklung des TPACK stärker berücksichtigt. Ein weiteres Beispiel ist die Erweiterung des Modells um die Berücksichtigung von Schülerinnen und Schülern mit Förderbedarf, um eine theoretische Grundlage für das Lernen mit digitalen Technologien für *alle* Schülerinnen und Schüler zu schaffen (Benton-Borghini, 2013).

Das Modell von Mishra and Koehler (2006) stellt als generisches Modell eine gute Ausgangslage für weitere Arbeiten dar. Soll es allerdings um die Entwicklung des TPACK gehen, so muss man berücksichtigen, dass dieses Modell einen integrativen Ansatz annimmt (Angeli, Valanides & Christodoulou, 2016). Die Unterscheidung eines integrativen und transformativen Ansatzes wurde bereits intensiv für das PCK diskutiert (Gess-Newsome, 1999). Ein

integrativer Ansatz nimmt an, dass das PCK keinen eigenständigen Wissensbereich darstellt, sondern spontan im Unterricht durch die Integration des CK und PK entsteht (Gess-Newsome, 1999). Daraus könnte man ableiten, dass eine Förderung des CK und des PK in der Lehramtsausbildung ausreichend ist. Im transformativen Modell hingegen wird das PCK als eigenständiger Wissensbereich angenommen (Gess-Newsome, 1999), der entsprechend auch spezifische Entwicklungsmöglichkeiten braucht. Diese Überlegungen lassen sich analog auf das TPACK übertragen. So konnte gezeigt werden, dass ein Zuwachs der anderen Wissensbereiche nicht unbedingt in einem Zuwachs des TPACK mündet (Angeli & Valanides, 2009), was für ein transformatives Modell spricht. Die Klärung der Rolle des TPACK innerhalb des Gesamtkonstrukts TPACK ist eine wichtige Voraussetzung, um Entwicklungsprozesse besser verstehen zu können.

## SELBSTKONZEPT ZUM WISSEN ÜBER DEN EINSATZ DIGITALER TECHNOLOGIEN IM UNTERRICHT

Wie eingangs beschrieben, spielen für den erfolgreichen Einsatz digitaler Technologien im Unterricht neben dem Wissen weitere Aspekte eine Rolle. In diesem Abschnitt soll das Selbstkonzept als einer dieser Aspekte erläutert werden. Das Selbstkonzept einer Person spielt eine wichtige Rolle für ihr Handeln (Shavelson, Hubner & Stanton, 1976). Allgemein gesprochen versteht man unter dem Selbstkonzept die Einschätzung eines Individuums bezüglich der eigenen Person (Shavelson et al., 1976). Es wird zwischen einem akademischen und einem nichtakademischen Selbstkonzept unterschieden (Shavelson et al., 1976), wobei das Selbstkonzept bezüglich des eigenen Wissens zum Einsatz digitaler Technologien im Unterricht dem akademischen Selbstkonzept zuzuordnen ist. Das akademische Selbstkonzept stellt kein Generalkonstrukt dar, sondern lässt sich in unterschiedliche Bereiche aufteilen, je nach Domäne und spezifischer Bereiche innerhalb einer Domäne (Shavelson et al., 1976). Das entspricht den Ergebnissen von Paulick, Großschedl, Harms und Möller (2016), die zeigen konnten, dass sich das akademische Selbstkonzept von Lehrkräften analog zu den Bereichen des Professionswissens beschreiben lässt (also

beispielsweise das Selbstkonzept bezüglich des eigenen fachdidaktischen Wissens). Darüber hinaus konnte in dieser Studie gezeigt werden, dass das akademische Selbstkonzept auch tatsächlich in einem Zusammenhang mit dem Professionswissen einer Lehrkraft steht, dabei vor allem mit dem jeweils korrespondierenden Wissensbereich (Paulick et al., 2016). Das Selbstkonzept bezüglich des Wissens über den effektiven Einsatz digitaler Technologien (im Folgenden TPACK-Selbstkonzept) ist analog zu verstehen, nur bezieht sich hier die Einschätzung des Individuums auf das eigene TPACK (Schmidt et al., 2009). Die eben besprochene Strukturierung nach Wissensbereichen (hier denen des TPACK) findet sich auch in diesen Arbeiten. Abbildung 2 zeigt eine Übersicht an Beispiel-Items, um das Selbstkonzept zu den jeweiligen Wissensbereichen zu verdeutlichen.

Item	Konstrukt
Ich kann technische Probleme selbst lösen.	TK
Ich verfüge über ausreichendes biologisches Wissen.	CK
Ich weiß, wie Unterrichtsführung (Classroom-Management) organisiert und erhalten wird.	PK
Ich kann in Biologie effektive Lehransätze auswählen, um das Denken und Lernen der Schüler/innen anzuleiten.	PCK
Ich kenne Technologien, die ich anwenden kann, um Biologie zu verstehen und zu betreiben.	TCK
Ich kann Technologien für den Unterricht auswählen, um Unterrichtsansätze zu optimieren.	TPK
Ich kann Unterricht halten, der biologische Inhalte, Technologien und Unterrichtsansätze angemessen kombiniert.	TPCK

**Abb. 2:** Beispiel-Items TPACK-Selbstkonzept mit fachlichem Bezug »Biologie« (übersetzt / verändert nach Schmidt et al., 2009)

## MOTIVATION ZUR NUTZUNG VON DIGITALEN TECHNOLOGIEN (IM UNTERRICHT)

Ob das Potenzial digitaler Medien durch Lernende genutzt und für die Entwicklung von Kompetenzen fruchtbar gemacht werden kann, hängt neben dem Wissen sowie dem Selbstkonzept in den unterschiedlichen TPACK-Bereichen und Kontext-Faktoren, wie beispielsweise der Infrastruktur (vgl. Beitrag [Kuhn, Ropohl & Groß](#), S. 11), auch von motivationalen Faktoren, wie der Akzeptanz der Lehrkraft, ab (Sánchez-Prieto, Olmos-Migueláñez & García-Peñalvo, 2016). Diese Akzeptanz wird im Technologie-Akzeptanz-Modell (TAM; Davis, Bagozzi & Warshaw, 1989) beschrieben. Demzufolge wird die Nutzungsintention beeinflusst durch die Einstellung gegenüber der Nutzung. Diese wiederum wird beeinflusst durch die wahrgenommene Nützlichkeit und die wahrgenommene Einfachheit der Nutzung. Zudem wird die wahrgenommene Nützlichkeit von der wahrgenommenen Einfachheit der Nutzung beeinflusst.

Dieses Modell greift allerdings relativ kurz und berücksichtigt wenige externe Variablen, weshalb Teo (2012) es durch die Theorie des geplanten Verhaltens (Theory of planned behaviour; TPB; Ajzen, 1991) zu einem integrierten Modell ergänzt. Die TPB wird häufig zur Erklärung, wie persönliche Einstellungen und Handlungen bzw. Handlungsintentionen zusammenhängen, herangezogen (Ajzen, 1991). Diese Theorie beinhaltet ebenfalls eine Einstellung gegenüber der Handlung, also der Technologienutzung, bezieht darüber hinaus aber noch zwei weitere Faktoren mit ein:

1. die soziale Norm, die sich zusammensetzt aus der Wahrnehmung, ob relevante Personen die Handlung erwarten, und der Motivation, dieser Erwartung Folge zu leisten, und
2. die wahrgenommene Verhaltenskontrolle, die als Einschätzung der Anwesenheit von förderlichen oder hinderlichen Faktoren beschrieben werden kann.

Beide Modelle, TAM und TPB, sind in dem Bereich der Technologie-Nutzung etabliert (Teo, 2012). Sánchez-Prieto und Kollegen (Sánchez-Prieto et al., 2016) ergänzten weitere drei Faktoren zu ihrem »erweiterten« TAM. Dieses be-

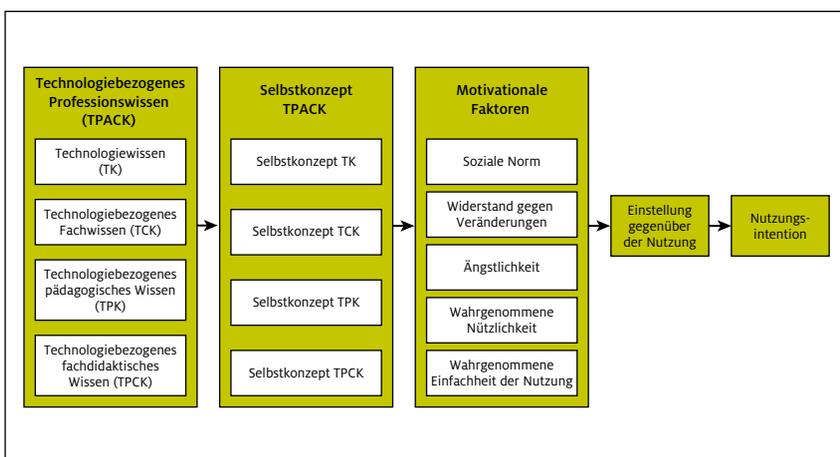
rücksichtigt Ängstlichkeit, Widerstand gegen Veränderung sowie das Selbstkonzept. Abbildung 3 zeigt die einzelnen Konstrukte mit Beispiel-Items zur Verdeutlichung. Das Selbstkonzept wurde bereits oben in Bezug auf TPACK besprochen.

Item	Konstrukt	Verändert nach
Die Nutzung von Technologien wird meine Effektivität verbessern.	Wahrgenommene Nützlichkeit	Teo, 2012
Generell denke ich, dass Technologien einfach zu nutzen sind.	Wahrgenommene Einfachheit der Nutzung	Sanchez-Prieto et al., 2016
Wenn ich Hilfe bei der Nutzung von Technologien benötige, ist Beratung für mich vorhanden.	Förderliche / hinderliche Faktoren	Teo, 2012
In Schulen wird von den Lehrern erwartet, dass sie Technologien im Unterricht benutzen.	Soziale Norm	Sanchez-Prieto et al., 2016
Ich zweifle über die Nutzung von Technologien im Unterricht, weil ich Angst habe, Fehler zu machen, die ich nicht korrigieren kann.	Ängstlichkeit	Sanchez-Prieto et al., 2016
Für mich wäre es leicht, Änderungen in der Lehrmethodik anzunehmen, die durch Technologien eingeführt werden.	Widerstand gegen Veränderungen	Sanchez-Prieto et al., 2016
Ich freue mich auf die Aspekte meines Berufs, die die Nutzung von Technologien benötigen.	Einstellung gegenüber der Nutzung	Teo, 2012

**Abb. 3:** Beispiel-Items »motivationale Faktoren«

## TECHNOLOGIEBEZOGENE PROFESSIONELLE KOMPETENZ: ZUSAMMENSPIEL VON WISSEN UND MOTIVATION

Im Folgenden soll theoriebasiert dargelegt werden, wie das Zusammenspiel der beschriebenen Aspekte letztlich dazu führt, dass das Wissen der Lehrkräfte tatsächlich in der Intention mündet, digitale Technologien (erfolgreich) im Unterricht einzusetzen. Abbildung 4 gibt dazu einen Überblick.



**Abb. 4:** Angenommene Wirkzusammenhänge – Vom Wissen zur Nutzungsintention

Zuerst ist das Zusammenspiel zwischen dem technologiebezogenen Professionswissen TPACK und dem Selbstkonzept der Lehrkraft relevant. Paulick et al. (2016) haben diesen Zusammenhang bezüglich nicht technologiebezogenen Professionswissens untersucht und konnten einen direkten Zusammenhang zwischen dem Professionswissen und dem korrespondierenden Selbstkonzept zeigen. Der Zusammenhang zwischen dem TPACK und dem TPACK-Selbstkonzept lässt sich anhand theoretischer Überlegungen gut erklären. Für das Selbstkonzept spielen individuelle Erfahrungen eine Rolle (Shavelson et al., 1976). Für diesen Kontext kann man also sagen, dass das

TPACK einer Lehrkraft positive Erfahrungen im Unterricht mit digitalen Technologien ermöglicht und folglich positiv zum Selbstkonzept bezüglich des eigenen TPACK beiträgt.

Weiterhin ist es wichtig zu verstehen, wie es vom Wissen und der eigenen Überzeugung, etwas zu wissen, schließlich dazu kommt, digitale Technologien auch tatsächlich im Unterricht einzusetzen. Es wird davon ausgegangen, dass sich das Wissen hier nicht direkt auf die Motivation auswirkt, sondern der Zusammenhang über das Selbstkonzept mediiert wird (Schöne, Dickhäuser, Spinath & Stiensmeier-Pelster, 2003). Die motivationalen Faktoren stehen wiederum in einem Zusammenhang mit den Einstellungen eines Individuums gegenüber der Nutzung, die letztlich in der Nutzungsintention münden.

Dieser Beitrag macht deutlich, wie komplex die Herausforderungen in einem Unterricht mit digitalen Technologien sind, und zeigt auf, was Lehrkräfte brauchen, um mit dieser Komplexität umzugehen und erfolgreichen Unterricht mit digitalen Technologien zu machen. Es wird deutlich, dass das technologiebezogene Professionswissen (TPACK) zwar von zentraler Bedeutung ist, aber auch das Selbstkonzept sowie motivationale Aspekte eine Rolle spielen, damit das Wissen einer Lehrkraft tatsächlich in der Nutzungsintention mündet.

Dieses komplexe Zusammenspiel muss in der Lehramtsausbildung berücksichtigt werden. Dies soll systematisch im Rahmen des Projekts »DigiLab« (Digitale Medien in der Lehramtsausbildung) geschehen. Es sollen die theoretisch beschriebenen Wirkzusammenhänge empirisch geprüft werden. Unter der Berücksichtigung der so generierten Erkenntnisse sollen erste Ansätze für eine Fördermöglichkeit abgeleitet werden.

## LITERATUR

- Ajzen, I. (1991). The Theory of Planned Behavior. *Organizational Behavior And Human Decision Processes*, 50, 179 – 211.
- Angeli, C. & Valanides, N. (2005). Preservice elementary teachers as information and communication technology designers: An instructional systems design model based on an expanded view of pedagogical content knowledge. *Journal of Computer Assisted Learning*, 21(4), 292 – 302.
- Angeli, C. & Valanides, N. (2009). Epistemological and methodological issues for the conceptualization, development, and assessment of ICT-TPCK: Advances in technological pedagogical content knowledge (TPCK). *Computers & Education*, 52(1), 154 – 168.
- Angeli, C. & Valanides, N. (2013). Technology Mapping: An Approach for Developing Technological Pedagogical Content Knowledge. *Journal of Educational Computing Research*, 48(2), 199 – 221.
- Angeli, C., Valanides, N. & Christodoulou, A. (2016). Theoretical Considerations of Technological Pedagogical Content Knowledge. In M. C. Herring, M. J. Koehler, P. Mishra, J. Rosenberg & J. Teske (Hrsg.), *Handbook of Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) for Educators* (2 ed., S. 11 – 30). New York: Routledge.
- Baumert, J. & Kunter, M. (2006). Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 9(4), 469 – 520.
- Benton-Borghi, B. H. (2013). A universally designed for learning (UDL) infused technological pedagogical content knowledge (TPACK) practitioners' model essential for teacher preparation in the 21st century. *Journal of Educational Computing Research*, 48(2), 245 – 265.
- Chai, C. S., Koh, J. H. L. & Tsai, C.-C. (2013). A Review of Technological Pedagogical Content Knowledge. *Educational Technology & Society*, 16(2), 31 – 51.
- Davis, F. D., Bagozzi, R. P. & Warshaw, P. R. (1989). User acceptance of computer technology: A comparison of two theoretical models. *Management Science*, 35(8), 982 – 1003.
- Franklin, C. (2004). Teacher preparation as a critical factor in elementary teachers: Use of computers. In R. Carlsen, N. Davis, J. Price, R. Weber & D. Willis (Hrsg.), *Society for Information Technology and Teacher Education Annual*, 2004 (S. 4994 – 4999). Norfolk, VA: AACE.
- Gess-Newsome, J. (1999). Pedagogical content knowledge: An introduction and orientation. In J. Gess-Newsome, N. Lederman (Hrsg.), *Examining pedagogical content knowledge* (S. 3 – 17). Springer Netherlands.
- Helmke, A. (2006). Was wissen wir über guten Unterricht? *PADUA*, 9(2), 66 – 74.
- Jen, T.-H., Yeh, Y.-F., Hsu, Y.-S., Wu, H.-K. & Chen, K.-M. (2016). Science teachers' TPACK-Practical: Standard-setting using an evidence-based approach. *Computers & Education*, 95, 45 – 62.
- Koehler, M. J., Mishra, P., Kereluik, K., Shin, T. S. & Graham, C. R. (2014). The Technological Pedagogical Content Knowledge Framework. In M. Spector, M. D. Merrill, J. Elen & M. J. Bishop (Hrsg.), *Handbook of Research on Educational Communications and Technology* (S. 101 – 111). New York: Springer Science+Business Media.

- Kunter, M., Kleickmann, T., Klusmann, U. & Richter, D. (2013). The Development of Teachers' Professional Competence. In J. Baumert, M. Kunter, W. Blum, U. Klusmann, S. Krauss & M. Neubrand (Hrsg.), *Cognitive activation in the mathematics classroom and professional competence of teachers: Results from the COACTIV project* (Vol. 8, S. 63–78). New York, NY: Springer.
- Kunter, M., Klusmann, U., Baumert, J., Richter, D., Voss, T. & Hachfeld, A. (2013). Professional Competence of Teachers: Effects on Instructional Quality and Student Development. *Journal of Educational Psychology, 0, 105*(3), 805–820.
- Margerum-Lays, J. & Marx, R. (2003). Teacher knowledge of educational technology: a case study of student / mentor teacher pairs. In Y. Zhao (Hrsg.), *What should teachers know about technology? Perspectives and practices* (S. 123–159): Information Age Publishing, Greenwich, CO.
- Maxton-Küchenmeister, J. & Meßinger-Koppelt, J. (2014). Vorwort. In J. Maxton-Küchenmeister & J. Meßinger-Koppelt (Hrsg.), *Digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht* (S. 9–14). Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag.
- Mishra, P. & Koehler, M. J. (2006). Technological Pedagogical Content Knowledge: A Framework for Teacher Knowledge. *Teachers College Record, 108*(6), 1017–1054.
- Paulick, I., Großschedl, J., Harms, U. & Möller, J. (2016). Preservice teachers' professional knowledge and its relation to academic self-concept. *Journal of Teacher Education, 67*(3), 173–182.
- Sánchez-Prieto, J. C., Olmos-Migueláñez, S. & García-Peñalvo, F. J. (2016). Informal tools in formal contexts: Development of a model to assess the acceptance of mobile technologies among teachers. *Computers in Human Behavior, 55*, 519–528.
- Schmidt, D. A., Baran, E., Thompson, A. D., Mishra, P., Koehler, M. J. & Shin, T. S. (2009). Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK): The Development and Validation of an Assessment Instrument for Preservice Teachers. *Journal of Research on Technology in Education, 42*(2), 123–149.
- Schöne, C., Dickhäuser, O., Spinath, B. & Stiensmeier-Pelster, J. (2003). Das Fähigkeitsselbstkonzept und seine Erfassung. In J. Stiensmeier-Pelster & F. Rheinberg (Hrsg.), *Diagnostik von Motivation und Selbstkonzept* (S. 3–14). Göttingen: Hogrefe.
- Shavelson, R. J., Hubner, J. J. & Stanton, G. C. (1976). Self-concept: Validation of construct interpretations. *Review of educational research, 46*(3), 407–441.
- Shulman, L. S. (1986). Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. *Educational Researcher, 15*(2), 4–14.
- Teo, T. (2012). Examining the intention to use technology among pre-service teachers: an integration of the Technology Acceptance Model and Theory of Planned Behavior. *Interactive Learning Environments, 20*(1), 3–18.
- Yeh, Y. F., Hsu, Y. S., Wu, H. K., Hwang, F. K. & Lin, T. C. (2014). Developing and validating technological pedagogical content knowledge-practical (TPACK-practical) through the Delphi survey technique. *British Journal of Educational Technology, 45*(4), 707–722.

## ÜBER DIE AUTORINNEN



---

Dr. **Daniela Mahler** ist wissenschaftliche Mitarbeiterin (Post-Doc) am Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik (IPN) an der Universität Kiel. Sie arbeitet vor allem im Bereich der Professionsforschung und beschäftigt sich dabei mit der Struktur und Entwicklung professioneller Kompetenz von Biologielehrkräften sowie ihrer Bedeutung für den Lernerfolg von Schülerinnen und Schülern. Gemeinsam mit Julia Arnold forscht sie zur Nutzung digitaler Medien im Unterricht.



---

Dr. **Julia Arnold** ist wissenschaftliche Mitarbeiterin (Schwerpunktleitung Naturwissenschaftsdidaktik) an der Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW in Basel. Ihre Schwerpunkte in Forschung und Entwicklung liegen in den Bereichen naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung und Gesundheitsbildung. Dieser Beitrag entstand in ihrer Zeit am Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik (IPN) an der Universität Kiel, wo sie gemeinsam mit Daniela Mahler zur Nutzung digitaler Medien im Unterricht forschte.

## **Joachim Herz Stiftung Verlag**

Seit 2013 publiziert die Joachim Herz Stiftung im eigenen Verlag. Mit Sach- und Fachbüchern sollen die gesellschaftlichen und fachlichen Diskurse um die Perspektiven ausgewiesener Experten bereichert und Handreichungen für Lehre und Unterricht gegeben werden. Studien erschließen neue Forschungsfelder und liefern Impulse für die Stiftungsarbeit und gesellschaftliche Entwicklungen. Die Publikationen aus den Programmbereichen Naturwissenschaften, Persönlichkeitsbildung und Wirtschaft begleiten die operative Arbeit der Stiftung, fassen Ergebnisse der Projektarbeit zusammen oder bilden Tagungen und Unterrichtsmaterialien ab.

## **Die Joachim Herz Stiftung**

Die gemeinnützige Joachim Herz Stiftung arbeitet überwiegend operativ und ist vorrangig in den Themenfeldern Naturwissenschaften, Wirtschaft sowie Persönlichkeitsbildung tätig. In diesen drei Bereichen werden auch kleine, innovative Projekte Dritter gefördert. Seit 2017 unterstützt die Stiftung zudem Forschungsprojekte in den Themenfeldern Medizin und Recht.

Die Joachim Herz Stiftung wurde 2008 errichtet und gehört zu den großen deutschen Stiftungen.

[www.joachim-herz-stiftung.de](http://www.joachim-herz-stiftung.de)