



Delia Hillmayr, Frank Reinhold, Lisa Ziernwald, Kristina Reiss

Zentrum für internationale Bildungsvergleichsstudien (ZIB)
Technische Universität München (TUM)

Digitale Medien im mathematisch-naturwissen- schaftlichen Unterricht der Sekundarstufe

Einsatzmöglichkeiten, Umsetzung und Wirksamkeit

WAXMANN

Diese Studie wurde in Zusammenarbeit mit
der Kultusministerkonferenz konzipiert.



**KULTUSMINISTER
KONFERENZ**

Bibliografische Informationen der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind
im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Print-ISBN 978-3-8309-3766-1

E-Book-ISBN 978-3-8309-8766-6

© Waxmann Verlag GmbH, 2017

www.waxmann.com

info@waxmann.com

Umschlaggestaltung: Anne Breitenbach, Münster

Satz: Inna Ponomareva, Düsseldorf / Anne Breitenbach, Münster

Fotoauswahl: Falina Pook, Münster

Druck: Lindhauer Druck und Medien, Paderborn

Gedruckt auf alterungsbeständigem Papier,
säurefrei gemäß ISO 9706

Printed in Germany

Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck, auch auszugsweise, verboten.
Kein Teil dieses Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des
Verlages in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung
elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.



Inhalt

1	Einleitung.....	4
2	Warum digitale Unterrichtsmedien?	6
3	Aktuelle Befunde aus Bildungsforschung und Schulpraxis.....	9
3.1	Gestaltung des Unterrichts mit digitalen Medien.....	10
3.2	Digitale Medien und Kommunikation	13
3.3	Wirken digitale Medien motivationsfördernd?.....	19
3.4	Möglichkeiten zur Differenzierung mit digitalen Medien.....	20
4	Arten von Lernprogrammen	22
5	Fazit.....	26
6	Literatur.....	27

1 Einleitung



Die Verwendung digitaler Medien in Schule und Unterricht ist längst nicht mehr neu, doch wirkliche Routine ist sie nicht. Für Lehrkräfte wie auch Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler stellt sich die Frage: Haben digitale Medien überhaupt einen Nutzen und welchen Mehrwert bringen sie für das Lehren und Lernen?

Forschung und Schule sind sich einig darüber, dass es auf diese Frage keine einfache Antwort geben kann. In jedem Fall sollten digitale Medien und computerbasierte Lernanwendungen sinnvoll in den Unterrichtskontext eingebettet werden, wie etwa eine erfahrene Lehrkraft betont:

„Schlicht und einfach gelten bei elektronischen Medien dieselben Anforderungen wie bei allen anderen [Methoden] auch. Sie müssen passend, zielgerichtet, motivierend und gut gemacht sein.“

Ist diese Voraussetzung geschaffen, können digitale Medien das Lehren und Lernen begünstigen. Doch gilt dies für alle Fächer gleichermaßen? Vor allem die naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächer sowie das Fach Mathematik weisen durch techniknahe Themen vermutlich ein höheres Potential für den wirkungsvollen Einsatz digitaler Medien auf. Ob die Verwendung von Computer, Tablet oder Smartphone im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht zu positiven Effekten führt und vor allem wie entsprechende Medien eingesetzt werden sollten, wurde in zahlreichen Studien im Bereich der Bildungsforschung untersucht. Dabei zeigen die Ergebnisse kein einheitliches Bild auf. Antworten auf Fragen nach Einsatzmöglichkeiten, der Umsetzung und Wirksamkeit digitaler Medien im Bildungsbereich sind sowohl für Forschung und Politik von großem Interesse, die für die Entwicklung und Bereitstellung lernförderlicher Rahmenbedingungen verantwortlich sind als auch für Lehrkräfte, die Konzepte letztlich umsetzen und die Lernumgebung für Schülerinnen und Schüler gestalten. Mit dieser Thematik beschäftigt sich die vorliegende Broschüre. Sie richtet sich an alle, die sich für den Einsatz digitaler Medien im Unterrichtskontext interessieren und insbesondere dafür, wie, wann und warum sich diese positiv auf die Lernleistung auswirken können.

Es wird ein differenzierter Überblick über den Stand der Forschung gegeben und aktuelle Befunde zu Bedingungen und Erfolgsfaktoren digitalen Lehrens und Lernens im Sekundarschulbereich werden aufgezeigt. Darüber hinaus wurden im Dialog zwischen Forschung und Praxis konkrete Hinweise zum Einsatz digitaler Medien für Lehrkräfte entsprechender Unterrichtsfächer erarbeitet, die anhand von fachspezifischen Anwendungsbeispielen veranschaulicht werden.

Metastudie am Zentrum für internationale Vergleichsstudien

In vielen Studien wurde in den letzten Jahren untersucht, inwiefern der Einsatz von digitalen Medien beim Lehren und Lernen Auswirkungen auf die Leistung von Schülerinnen und Schülern und ihre Lernprozesse hat. Wegen der zahlreichen und zum Teil nicht eindeutigen Forschungsergebnisse ist es schwierig, sich einen Überblick über die allgemeine Befundlage zu verschaffen. Daher wurde im Zentrum für internationale Vergleichsstudien an der Technischen Universität München eine Metastudie zum Thema „Digitale Medien im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht der Sekundarstufe“ durchgeführt. Diese Studie wurde in Zusammenarbeit mit der Kultusministerkonferenz konzipiert. Unter den Begriff digitale Medien werden in diesem Fall elektronische Geräte wie Computer, Laptops, Tablets oder Smartphones gefasst, die eine Verwendung digitaler Lernprogramme durch Schülerinnen und Schüler ermöglichen. Welche Arten von Lernprogrammen im Rahmen der Metastudie unterschieden werden und welche besonders lernwirksam sind, wird in einem separaten Abschnitt näher erläutert. Für die Metastudie wurden Einzelstudien seit dem Jahr 2000 zum Einsatz digitaler Medien im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht recherchiert und die Daten für die Analyse aufbereitet. So konnte ein Überblick über den aktuellen Stand der Forschung gewonnen werden. Durch Berücksichtigung einer Vielzahl von Einzelstudien können zuverlässige Aussagen über die Lernwirksamkeit gewonnen werden. Ergebnisse, die sich auf eine einzige Studie stützen, beziehen sich in der Regel auf individuelle Personengruppen in einem bestimmten Kontext (Beelmann, 2014). Damit kann noch keine zuverlässige Verallgemeinerung der Ergebnisse geschehen. Neben der systematischen Zusammenfassung mehrerer Einzelstudien haben Metastudien einen weiteren Vorteil: So lässt sich etwa durch die Gegenüberstellung von unterschiedlichen Merkmalen in den Einzelstudien – wie beispielsweise die Dauer der Mediennutzung

oder die Art des verwendeten Lernprogramms – feststellen, unter welchen Bedingungen und in welchem Ausmaß sich insgesamt positive Effekte zeigen. Auf der Grundlage der Metastudie können also zuverlässige Ergebnisse bezüglich der Wirksamkeit digitaler Medien beim Lehren und Lernen gegeben werden, woraus sich konkrete Handlungsempfehlungen für die Schulpraxis ableiten lassen.

In dieser Broschüre werden neben den Ergebnissen der Metastudie auch einzelne Studien exemplarisch dargestellt, die in die Analysen eingegangen sind. Die Ergebnisse werden durch Auszüge aus einer Befragung ergänzt, in der sich erfahrene Lehrkräfte zum Einsatz digitaler Medien in ihrem Unterricht geäußert haben. Lehrerinnen und Lehrer können sich bei der Unterrichtsplanung an den Rahmenbedingungen orientieren, die laut der vorliegenden Ergebnisse zu einem lernförderlichen Unterricht mit digitalen Medien beitragen können. Darüber hinaus wurden in enger Zusammenarbeit mit erfahrenen Bildungspraktikerinnen und Bildungspraktikern konkrete Anwendungsbeispiele für einzelne Unterrichtsfächer zusammengestellt. Die gewonnenen Erkenntnisse können auf den gesamten Sekundarschulbereich angewendet werden, Förderschulen wurden jedoch nicht betrachtet. In Kooperation mit dem Institut für Schulqualität und Bildungsforschung in München wurden für die Befragung Lehrkräfte aus Gymnasien, Real- und Mittelschulen ausgewählt, die durch langjährige Erfahrung als Experten im Bereich des digitalen Lehrens und Lernens angesehen werden können.

Bevor auf die Befunde eingegangen wird, werden zunächst lerntheoretische Ansätze aus der Psychologie und damit Annahmen über lernförderliche und lernbeeinträchtigende Faktoren knapp dargestellt, die Aufschluss über die effektive Verwendung und das Potential von Lernumgebungen im Allgemeinen sowie digitaler Medien im Besonderen geben.

2 Warum digitale Unterrichtsmedien?

Was haben interaktive Whiteboards herkömmlichen Tafeln voraus? Wie können iPads gewinnbringend in den Unterricht integriert werden? Ist das Lernen mit Computern in Gruppen effektiver als alleine? Erkenntnisse zur Informationsverarbeitung beim Menschen können helfen, Erklärungsansätze für diese Fragen zu finden, fundierte Aussagen über den Nutzen digitaler Unterrichtsmedien zu treffen und eine Bewertung unterschiedlicher Ansätze vorzunehmen. Im folgenden Abschnitt werden wesentliche Aspekte dieser theoretischen Ansätze dargestellt, die die wissenschaftliche Basis für die Entwicklung und Umsetzung digitaler Lernumgebungen im schulischen Bereich bilden.

Cognitive Load (Kognitive Belastung) nach Sweller

Die Grundannahme der *Cognitive Load-Theorie* (Sweller, Ayres & Kalyuga, 2011) ist eine beschränkte Verarbeitungskapazität des menschlichen Arbeitsgedächtnisses. Man geht davon aus, dass sich die für das Erlernen einer Fähigkeit benötigte kognitive Belastung wie folgt zusammensetzt: Aus einer *intrinsischen Belastung*, die von der Schwierigkeit des Lerngegenstandes abhängt, und einer *extrinsischen Belastung*, die von der Qualität der Lernumgebung abhängt. Weiter wird angenommen, dass Lernprozesse nur gelingen können, wenn diese Gesamtbelastung die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses nicht überschreitet. Gerade im Bereich der digitalen Unterrichtsmedien wird diskutiert, inwiefern sich die *lernbezogenen* kognitiven Ressourcen der Schülerinnen und Schüler durch lernförderliche Ansätze aktivieren und fokussieren lassen.

So geht man etwa davon aus, dass bestimmte Lerngegenstände schwieriger zu erlernen sind als andere und dass insbesondere das Vorwissen der Lernenden einen Einfluss darauf haben kann, wie aufwändig sich das Lernen gestaltet (Sweller, Ayres & Kalyu-

ga, 2011). Dies soll anhand einer exemplarischen Unterrichtssituation verdeutlicht werden: Physikalische Bewegungsabläufe durch mathematische Formeln zu beschreiben ist ein komplexer Prozess, bei dem man von einer hohen kognitiven Belastung bei den Lernenden ausgehen kann. Allerdings wird es Schülerinnen und Schülern mit den entsprechenden mathematischen Vorkenntnissen wahrscheinlich leichter fallen, dieses Wissen zu erwerben als Schülerinnen und Schülern, denen entsprechende Kenntnisse über funktionale Zusammenhänge noch fehlen.

Weiter wird angenommen, dass schlecht gestaltete Lernumgebungen die individuellen Lernprozesse einzelner Schülerinnen und Schüler – unabhängig vom Vorwissen – zusätzlich erschweren können (Sweller et al., 2011). Dies soll wieder anhand des Beispiels aus dem Physikunterricht veranschaulicht werden: Ein komplexer Versuchsaufbau zur Bestimmung des Ortes in Abhängigkeit von der Zeit kann dazu führen, dass Lernende ihre Aufmerksamkeit nicht auf den eigentlichen Lerngegenstand – die Deutung der Ergebnisse in Form von Bewegungsgleichungen – sondern vielmehr auf die Durchführung und Auswertung des Experiments konzentrieren.

Auch wenn Letzteres gerade im Sinne eines kompetenzorientierten Physikunterrichts ein ebenso wichtiges Lernziel darstellt wie die eigentliche Formulierung der Bewegungsgleichungen, kann die dargestellte Situation zu einer Überbelastung der Schülerinnen und Schüler und damit zu einer Beeinträchtigung des Lernerfolgs führen.

Ausgehend von diesen Annahmen wurde untersucht, inwiefern digitale Unterrichtsmedien die kognitive Belastung von Schülerinnen und Schülern beim Lernen beeinflussen und wie damit erfolgreiche Lernprozesse gefördert werden können. Merk-

male, die sich positiv oder negativ auf das Lernen auswirken, wurden identifiziert und haben bereits international die Entwicklung von computerbasierten Lernprogrammen beeinflusst.

Darüber hinaus wird angenommen, dass Menschen durch Worte und Bilder besser lernen können, als durch Worte alleine (Mayer, 2014).

Man geht davon aus, dass die auditive und die visuelle Wahrnehmung – also das Hören und Sehen – auf voneinander unabhängige Kapazitäten zurückgreifen. Multimedial dargebotene Informationen sollen demnach eher zu einem Lernerfolg führen als ausschließlich visuelle oder auditive Darbietungen (Mayer, 2014). Dies soll anhand einer Situation aus dem Chemieunterricht verdeutlicht werden: Strukturformeln stellen in der organischen Chemie einen zentralen Lerngegenstand dar. Dazu gehören komplex angeordnete Valenzstrichformeln sowie einfachere Summenformeln, die in diesen Repräsentationsarten gelernt und verstanden werden müssen. Durch ihre abstrakte Darstellungsart kann davon ausgegangen werden, dass es sich um einen komplexen Lerngegenstand handelt, dessen Erlernen schwierig ist. Werden Erklärungen nun – wie in klassischen Schulbüchern üblich – ausschließlich in Textform präsentiert, so kann dies zu einer Überlastung des visuell-verarbeitenden Systems führen. Eine zum Inhalt passende auditiv dargebotene Erklärung – wie in digitalen Lernumgebungen möglich – kann somit zu einer Reduktion der Belastung führen: Ein Teil der Informationen kann im visuellen System verarbeitet werden, ein anderer im auditiven System.

Es wird angenommen, dass Texte und Bilder nicht nur unterschiedlich verarbeitet werden, sondern darüber hinaus auch zu verschiedenen Arten der Wissensrepräsentation im Langzeitgedächtnis füh-



Multimediales Lernen nach Mayer

Die *kognitive Theorie des multimedialen Lernens* (Mayer, 2014) gründet neben einer beschränkten Kapazität des Arbeitsgedächtnisses auf zwei weiteren Annahmen: Zum einen geht man davon aus, dass Menschen *auditive* und *visuelle* Informationen in unterschiedlichen kognitiven Strukturen verarbeiten können, also Hören und Sehen unterschiedlich verarbeitet werden. Zum anderen wird davon ausgegangen, dass Lernen ein *aktiver* Prozess ist, bei dem neues Wissen durch gezielte Auseinandersetzung mit einem Lerngegenstand in bestehendes Wissen eingegliedert werden muss.

ren können (Schnotz & Bannert, 2003). So können Bilder und ikonische Darstellungen weitreichende Ähnlichkeit mit dem Lerngegenstand aufweisen, den sie repräsentieren sollen. Texte, Worte oder Symbole hingegen haben meist keine strukturellen Gemeinsamkeiten mit dem Inhalt, den sie repräsentieren. Es wird daher angenommen, dass Schülerinnen und Schüler beim Lernen mit Bildern Bezüge zu alltäglichen Erfahrungen eher herstellen können, als

Die Grundlage des *integrativen Modells des Text- und Bildverständnisses* (Schnotz & Bannert, 2003) ist, ähnlich wie bei Mayer (2014), die Annahme einer getrennten Verarbeitung von Informationen im Arbeitsgedächtnis. Jedoch gehen Schnotz und Bannert davon aus, dass Informationen anders unterschieden werden, nämlich auf Grund unterschiedlicher Repräsentationen: Unter *deskriptiven Repräsentationen* werden gesprochene oder geschriebene Textpassagen oder etwa mathematische Formeln und Symbole verstanden, die *keine* strukturelle Ähnlichkeit mit dem Inhalt besitzen, auf den sie sich beziehen. Demgegenüber stehen *depiktionale Repräsentationen*, etwa Bilder, Zeichnungen oder ikonische Darstellungen mathematischer Konstrukte, die *große* Ähnlichkeit mit dem Inhalt aufweisen.

beim Lernen mit Texten (Schnotz & Bannert, 2003). Folgendes Beispiel soll dies veranschaulichen: Die symbolische Darstellung des Bruches $\frac{1}{4}$ enthält für Schülerinnen und Schüler im Anfangsunterricht der Bruchrechnung keine weitere semantische Information, die einen Bezug zu einem Viertel (z.B. einem Viertel einer Pizza) erlauben würde. Eine bildhafte Darstellung von einem Viertel – etwa als markierter Teil eines Kreisdiagramms – kann jedoch leicht Alltagserfahrungen aktivieren: Etwa das Teilen einer Pizza oder eines Kuchens. Dadurch kann der Lerngegenstand mit einem bereits im Gedächtnis abgespeicherten Inhalt verbunden werden, der für die Schülerinnen und Schüler eine konkrete Bedeutung hat. Auch im Fach Biologie lassen sich Beispiele für diesen Effekt finden: Die in Textform präsentierte Beschreibung der Flügelbewegungen eines Vogels hat keine konzeptuelle Ähnlichkeit mit den tatsächlich ablaufenden Muskelbewegungen. Die Präsentation desselben Lerninhaltes als Animation eines schematisch dargestellten Vogels innerhalb einer digitalen Lernumgebung, in der die Schülerinnen und Schüler etwa mit Fingerbewegungen einzelne Bewegungsabläufe nachahmen können, kann dagegen konzeptuelle Ähnlichkeiten zu den notwendigen Phasen eines Flügelschlages haben. Der Lerngegenstand kann somit auf eine zusätzliche Art und Weise transportiert werden.

Die dargestellten Annahmen bilden einen theoretischen Rahmen, der als Gerüst für die Entwicklung und Umsetzung digitaler Lernumgebungen im Unterricht sowie ihre Evaluation angesehen werden kann.

3 Aktuelle Befunde aus Bildungsforschung und Schulpraxis

Zahlreiche Studien aus dem Bereich der Bildungsforschung, der Psychologie und den Fachdidaktiken haben gezeigt, dass sich der Einsatz digitaler Medien positiv auf Schulleistungen und Lernprozesse der Schülerinnen und Schüler auswirken kann. In einigen Studien lassen sich jedoch auch negative Effekte feststellen. Ursachen für diese unterschiedlichen und teilweise widersprüchlichen Befunde können sich sowohl auf die individuelle Vorgehensweise bei der Durchführung der Studie zurückführen lassen oder auch mit sehr unterschiedlichen Bedingungen beim Einsatz digitaler Medien im Unterricht zusammenhängen. Durch die Zusammenfassung der Einzelstudien in der Metastudie ergibt sich insgesamt ein positiver Effekt bezüglich des Lehrens und Lernens mit digitalen Medien im Unterricht des Sekundarbereichs.

Ergebnisse aus der Metastudie

Aus der Metastudie, die 79 Einzeluntersuchungen berücksichtigt, geht hervor, dass der Einsatz digitaler Unterrichtsmedien über alle untersuchten Unterrichtsfächer Mathematik, Physik, Biologie und Chemie hinweg insgesamt als gewinnbringend bezeichnet werden kann: Im direkten Vergleich mit Klassen, die traditionell unterrichtet wurden, zeigen Schülerinnen und Schüler aus Klassen, in denen mit digitalen Unterrichtsmedien gearbeitet wurde, durchweg bessere Ergebnisse in den durchgeführten Leistungstests.



Im folgenden Abschnitt beziehen sich die Ergebnisse auf die Gesamtheit aller verwendeten digitalen Medien und Lernprogramme. Eine Unterscheidung der Arten von Lernprogrammen wird anschließend in einem separaten Abschnitt vorgenommen. Die Metastudie zeigt, dass der insgesamt positive Effekt über alle untersuchten Unterrichtsfächer – Mathematik, Physik, Biologie und Chemie – sowie über alle Klassenstufen des Sekundarbereichs hinweg sichtbar ist.

Es ist anzunehmen, dass durch den Einsatz digitaler Medien Lerngelegenheiten entstehen, die zur Steigerung des Lernerfolgs beitragen können. Dass es allerdings nicht die Verwendung des Mediums allein sein kann, die einen wirksamen Unterricht garan-



tiert, zeigt sich in den unterschiedlichen Ergebnissen der Einzelstudien und wird auch durch folgende Aussage einer befragten Lehrkraft betont:

„Ich denke, eine Bedingung ist auf jeden Fall, das Medium nicht um des Mediums Willen zu nutzen. Der Fachinhalt und der Lernzuwachs der Schülerinnen und Schüler müssen im Mittelpunkt stehen.“

Es stellt sich daher die Frage, welche Rahmenbedingungen für einen guten mathematisch-natur-

wissenschaftlichen Unterricht mit digitalen Medien günstig oder eher ungünstig sind. Einzelne Studien unterscheiden sich beispielsweise in der Gestaltung der digitalen Lernumgebungen oder in der Einbindung der digitalen Medien in das Unterrichtsgeschehen. Bei einer Metastudie können durch den Vergleich zahlreicher Einzelstudien besonders lernwirksame Merkmale identifiziert werden und damit Schlussfolgerungen für die schulische Praxis abgeleitet werden. Dabei wird in dieser Broschüre auf die folgenden Merkmale eingegangen:

Im ersten Abschnitt geht es um Aspekte der Unterrichtsgestaltung mit digitalen Medien, die zu einer mehr oder weniger lernförderlichen Umgebung beitragen können. Anschließend wird thematisiert, ob kommunikative Aspekte – wie die Zusammenarbeit unter Schülerinnen und Schülern – die Wirksamkeit des digitalen Mediums beeinflussen. Ob digitale Medien im Unterricht motivationsfördernd sind und inwiefern sie zur Differenzierung der Schülerleistungen beitragen können, wird in zwei weiteren Abschnitten behandelt. In einem separaten Abschnitt werden im Anschluss verschiedene Arten digitaler Lernprogramme aufgeführt, die für die Metastudie unterschieden wurden und zugehörige Ergebnisse dargestellt.

3.1 Gestaltung des Unterrichts mit digitalen Medien

Dass mithilfe von digitalen Medien die Belastung beim Erlernen neuer Inhalte in einzelnen Sinneskanälen reduziert werden kann, ist einer der möglichen Vorteile des Lehrens und Lernens mithilfe elektronischer Lernprogramme. Positive Auswirkungen digitaler Medien auf die Lernleistung sind von vielen verschiedenen Faktoren abhängig und nicht zuletzt auch von Rahmenbedingungen, die bei der Planung und Gestaltung von Unterricht berücksichtigt werden sollten. Ein zielgerichteter Einsatz der verwendeten Medien ist aus Sicht einer befragten Lehrkraft wichtig:

„Digitale Medien nur aus dem Grund einzusetzen, weil man sie hat, finde ich ungünstig. Man sollte sich vorher wirklich überlegen, welchen Mehrwert sie haben.“

Im Folgenden werden Befunde der Metastudie zusammengefasst, die Hinweise darauf geben, wie die Gestaltung des Unterrichts mit digitalen Medien aussehen kann, um Lernprozesse zu begünstigen.

Können digitale Medien klassische Unterrichtsmethoden vollständig ersetzen?

Es zeigt sich, dass digitale Medien den größtmöglichen Nutzen entfalten können, wenn sie ergänzend zu traditionellen Unterrichtsmaterialien verwendet werden und digitale Lernumgebungen den klassischen Unterricht nicht vollständig ersetzen. Auch eine befragte Lehrkraft beobachtet, dass es lernförderlicher ist, wenn in einer Unterrichtssequenz nicht ausschließlich mit digitalen Medien gearbeitet wird und dass dies vor allem auch den Schülerinnen und Schülern entsprechend vermittelt werden sollte:

„Man darf sich als Lehrer auch nicht hinstellen und sagen: Weil wir jetzt die digitalen Medien haben, wirst du besser oder es fällt dir leichter. Es ist einfach etwas Zusätzliches.“

Ergebnisse aus der Metastudie

In der Metastudie zeigt sich, dass der positive Einfluss der digitalen Unterrichtsmedien auf die Leistung der Schülerinnen und Schüler höher ist, wenn neben digitalen Medien zusätzlich traditionelles Material verwendet wurde.

Dies unterstreicht, dass klassische Unterrichtskonzepte, die über Jahre hinweg erarbeitet und optimiert wurden, nicht einfach durch digitale Medien oder elektronische Lernprogramme ersetzt werden

sollten. Vielmehr sollten digitale Medien als wertvolles Werkzeug angesehen werden, das sich an der richtigen Stelle als Ergänzung gewinnbringend auf das Lernen der Schülerinnen und Schüler auswirken kann. Eine Lehrkraft sieht etwa einen Mehrwert in der zusätzlichen Veranschaulichung mathematischer Formen mittels der dynamischen Geometrie-Software *GeoGebra*:

„Es gibt durchaus Situationen, in denen ich ergänzend gerne auf GeoGebra zurückgreife, zum Beispiel um zu zeigen, welche Flächen entstehen, wenn ein Zylinder sich abrollt. Das ist eine gute Visualisierung und macht den Schülerinnen und Schülern Spaß.“

Eine andere Lehrkraft berichtet davon, dass sie digitale Medien teilweise lediglich zur Ergebnisüberprüfung für die Schülerinnen und Schüler einsetzt und damit eine Möglichkeit der individuellen Rückmeldung schafft:

„Es sind ganz klassische Matheaufgaben, die die Schülerinnen und Schüler bearbeiten: Sie bekommen die Aufgabe auf dem Bildschirm präsentiert, bearbeiten diese handschriftlich auf einem Blatt Papier, geben ihr Ergebnis ein und erhalten dann automatisiert eine Rückmeldung.“

Dauer des Einsatzes digitaler Medien im Unterricht

Inwiefern sich die Dauer des Einsatzes von digitalen Medien im Unterricht auf die Schulleistungen auswirkt, ist für Bildungspraktikerinnen und Bildungspraktiker, aber auch für Forschende interessant, die entsprechende Studien planen und auswerten. Im Großen und Ganzen lässt sich feststellen: Je länger mit den eingesetzten Medien im Unterricht gearbeitet wurde, desto weniger profitieren Schülerinnen und Schüler von den digitalen Lernumgebungen.

Ergebnisse aus der Metastudie

Betrachtet man die Dauer des Einsatzes digitaler Medien im Unterricht, so zeigt sich, dass der positive Einfluss bei kurzfristigem Einsatz am stärksten ist. Dieser positive Effekt nimmt bei zunehmender Einsatzdauer kontinuierlich ab. Bei längerfristigem Einsatz zeigt sich zwar ein geringerer, aber immer noch positiver Effekt.



Dass sich die Begeisterung für die Verwendung digitaler Medien bei den Schülerinnen und Schülern im Laufe der Zeit ändern kann, deckt sich auch mit den Erfahrungen einer befragten Lehrkraft:

„Ich muss sagen, dass das Arbeiten mit digitalen Medien nach spätestens drei Monaten nichts Besonderes mehr ist. Am Anfang ist das ein echter Hype, der sich von selbst entwickelt. Aber nach drei Wochen beginnt er zu bröckeln. Irgendwann sehen die Schülerinnen und Schüler es eben als ihren normalen Mathematikunterricht.“

Auch in der Wissenschaft kennt man den sogenannten *Neuheitseffekt*, der besagt, dass die Motivation der Lernenden allein durch eine Veränderung des

traditionellen Unterrichts gesteigert werden kann. Dadurch lassen sich unterschiedliche Ergebnisse bei ähnlichen Studien erklären, die digitale Medien entweder kurz- oder langfristig einsetzen. Für die Praxis ist wichtig zu berücksichtigen, dass das Lernen mit digitalen Medien zu Beginn für die Lernenden ungewohnt und spannend sein kann und sich allein dadurch positiv auf die Lernmotivation auswirken kann. Um diese Motivationssteigerung jedoch aufrechterhalten zu können, muss weniger die Begeisterung am Medium selbst, sondern vielmehr das Interesse der Schülerinnen und Schüler an den jeweiligen Lerninhalten und dem Unterrichtsfach langfristig gefördert werden. Hier können digitale Medien einen Beitrag leisten, wenn sie sinnvoll in das Unterrichtskonzept eingebettet werden:

„Wenn die Schülerinnen und Schüler zwei Stunden im Computerraum waren und mit digitalen Medien gearbeitet haben, dann profitieren Sie als Lehrkraft anschließend von der Motivation dieser zwei Stunden. Die Erfahrungen aus dem Computerunterricht werden nicht beiseitegelegt, sondern spielen im normalen Unterricht wieder eine Rolle. Für die Schülerinnen und Schüler ist es ganz wichtig, dass der Computereinsatz einen Bezug zum Unterricht hat und sie einen Vorteil darin sehen. Das ist ganz entscheidend für die Motivation!“

Schulungen zur Nutzung von digitalen Lernumgebungen

Größtenteils liegt es an der Lehrkraft selbst, ob und auf welche Art und Weise sie digitale Medien in ihren Unterricht einbezieht. Dies hängt sicherlich nicht zuletzt damit zusammen, ob und inwiefern sich Lehrerinnen und Lehrer auch persönlich für den Bereich der digitalen Medien interessieren. So ist ein gewisses Maß an Begeisterung durch die Lehr-

kraft offenbar auch auf die Schülerinnen und Schüler übertragbar:

„Ich habe sehr früh erkannt, dass der Computer ein Medium ist, das mich sehr interessiert und Schülerinnen und Schüler fasziniert. Man kann Mathematik wunderbar mit diesem Medium transportieren.“

Ergebnisse aus der Metastudie

Folgendes Ergebnis zeigt sich in der Metastudie: Wenn Lehrkräfte vor dem Einsatz digitaler Medien eine Schulung zur Nutzung des verwendeten Lernprogramms absolviert haben, zeigt sich ein größerer positiver Einfluss auf die Leistung der Schülerinnen und Schüler.

Weiter berichtet eine befragte Lehrkraft, dass es für einen erfolgreichen Einsatz im Unterricht ganz entscheidend ist, sich gezielt mit digitalen Medien im Kontext des Lehrens und Lernens auseinanderzusetzen:

„Dass ich das als Lehrer beherrsche, das ist nicht so selbstverständlich wie es klingt. Das hat auch nichts mit Jung oder Alt zu tun: Einen Computer oder ein Smartphone zu bedienen ist nicht dasselbe wie E-Learning zu beherrschen. Ich muss mich damit intensiv beschäftigen.“

Wie wichtig es ist, dass Lehrkräfte professionell geschult werden, wenn sie Lernprogramme oder Plattformen für den Unterricht nutzen, zeigt sich auch in den Ergebnissen der Metastudie: Der positive Einfluss auf die Leistungen der Schülerinnen und Schüler ist wesentlich größer, wenn vor dem Einsatz des digitalen Lernprogramms ein entsprechendes Training stattgefunden hat. Expertise der Lehrerinnen und Lehrer im Umgang mit digitalen Medien und

insbesondere ihrem Einsatz im Fachunterricht erscheint daher maßgeblich für das Gelingen des Unterrichts. Das Angebot entsprechender Schulungen im Laufe der Lehramtsausbildung ist jedoch nach Meinung einer befragten Lehrkraft noch ausbaufähig:

„Fehlende Fortbildungen für Lehrerinnen und Lehrer sind glaube ich das größte Problem. Im Lehramtsstudium kommen digitale Medien nur am Rande vor.“

Eigeninitiative der Lehrkraft und Interesse am Lehren und Lernen mit digitalen Medien sind also hilfreich, um erforderliche Kompetenzen für einen gelingenden Einsatz digitaler Medien im Unterricht zu erwerben. Fortbildungen zum Thema werden von den Lehrerfortbildungsinstituten angeboten und sind in der Regel auf den entsprechenden länderspezifischen Webseiten zu finden.



3.2 Digitale Medien und Kommunikation

In Zeiten von *Social Media* steht fest, dass Schülerinnen und Schüler Smartphones und Tablets zu einem Großteil nutzen, um sich in ihrer Freizeit untereinander auszutauschen und sich in sozialen Netzwerken mitzuteilen. Kommunikation spielt

auch im Kontext des Lehrens und Lernens eine bedeutende Rolle und kann durch den Einsatz geeigneter digitaler Lernprogramme entscheidend beeinflusst werden.

Arbeit mit dem Medium besser gemeinsam oder einzeln?

Je nachdem, ob die Lernenden ein digitales Medium alleine oder gemeinsam mit anderen Schülerinnen und Schülern nutzen, zeigen sich unterschiedliche Auswirkungen auf die Schulleistung. Bei der Verwendung durch Lernende in Paaren zeigt sich insgesamt ein deutlicher positiver Effekt auf die Lernleistung. Nutzen die Schülerinnen und Schüler das Medium einzeln, zeigt sich ebenfalls ein Vorteil gegenüber traditionellem Unterricht, der jedoch etwas geringer ausfällt.

Ergebnisse aus der Metastudie

Wenn Schülerinnen und Schüler digitale Medien einzeln verwenden, können sie davon profitieren. Ein deutlich größerer positiver Effekt zeigt sich jedoch, wenn die Lernenden in Paaren an einem Gerät arbeiten. Dies zeigen die Analysen der Metastudie.

Die gemeinsame Nutzung und Bearbeitung bestimmter Lerninhalte kann etwa deswegen gewinnbringend sein, weil die Kommunikation unter den Schülerinnen und Schülern über die zu erlernenden Themen angeregt wird. Dies kann sich wiederum positiv auf die Lernleistung auswirken. Der Austausch unter Schülerinnen und Schülern beim Arbeiten mit digitalen Medien wird auch von den befragten Lehrkräften geschätzt:

„Kommunikation ist ein wichtiger Punkt beim Arbeiten mit digitalen Medien! Im Computerraum kommen Gespräche über Mathematik dadurch in Gang, dass immer mindestens zwei Schülerinnen und Schüler am Rechner sitzen. Bei Fehlern debattieren sie darüber, was falsch gelaufen ist, auch wenn sie sonst nie über Mathematik reden würden.“

Sowohl vor dem Hintergrund der heterogenen Voraussetzungen in Bezug auf das Wissen der Schülerinnen und Schüler im entsprechenden Unterrichtsfach als auch in Sachen Medienkompetenz ist aus Sicht einer Lehrkraft die Zusammenarbeit unter den Lernenden wertvoll:

„Eine Evaluation über unsere ersten Laptopklassen ergab, dass die Schülerinnen und Schüler sich [bei der Arbeit mit dem Medium] gegenseitig sehr gut unterstützen und helfen können.“

Die folgende exemplarisch dargestellte Studie, die auch in der Metastudie berücksichtigt wurde, zeigt konkret, wie durch Einsatz digitaler Medien eine kommunikative Arbeitsweise im Klassenzimmer angeregt werden kann:



Beispielstudie: Förderung schülerzentrierten Unterrichts (Frailich, Kesner & Hofstein, 2009)

Die israelische Wissenschaftlerin Frailich und ihre Kolleginnen und Kollegen haben in einer Studie untersucht, inwiefern das Lernen mit webbasierten Umgebungen das Verstehen abstrakter Phänomene im Chemieunterricht erleichtert. Sie kamen zum Ergebnis, dass computerbasierte Visualisierungen chemischer Verbindungen für das Verständnis sehr hilfreich sind. Darüber hinaus haben sie untersucht, wie die interaktiven und kooperativen Aspekte, die das eingesetzte Lernprogramm bietet, zu einem verbesserten Wissenserwerb beitragen. Dazu haben sie die beteiligten Lehrkräfte, die mit und ohne den Einsatz der webbasierten Lernumgebung unterrichteten, zu ihren Erfahrungen mündlich befragt. Auffällig dabei war, dass Lehrkräfte, die mithilfe des Programms unterrichteten vordergründig thematisierten, auf welche Art und Weise die Schülerinnen und Schüler in der webbasierten Umgebung lernten, während Lehrkräfte der Kontrollgruppe auf Lerninhalte, Instruktionshilfen und allge-

meine Unterrichtsprozesse fokussierten, also verstärkt aus einer lehrerzentrierten Perspektive berichteten. Die statistisch bedeutsam stärkeren Leistungen in den Schulklassen, bei denen die webbasierte Lernumgebung zum Einsatz kam, gehen demnach einher mit der Umsetzung eines stärker schülerzentrierten Ansatzes. Auch in wissenschaftlichen Beobachtungen, die im Rahmen der Intervention durchgeführt wurden, zeigte sich dies: Die Verantwortlichkeit für die Lernprozesse verlagerte sich deutlich weg von der Lehrkraft und hin zu den Lernenden. Wenn während der Erarbeitung der Lerninhalte Fragen auftraten, wandten sich Schülerinnen und Schüler aktiv an die Lehrkraft. In einem stärker lehrerzentrierten Unterricht ist dies oftmals nicht die Regel, denn Lernende werden meist durch die Lehrkraft aufgerufen. Bei der Arbeit mit dem digitalen Medium agierten die Lernenden stets kooperativ und diskutierten Unstimmigkeiten in den Kleingruppen.

Wie wichtig ist eine Steuerung durch die Lehrkraft beim Lernen mit digitalen Medien?

Die Metastudie zeigt, dass die Lernwirksamkeit höher ist, wenn die Lernenden bei der Nutzung des entsprechenden Lernprogramms zusätzlich Unterstützung durch die Lehrkraft oder durch Mitschülerinnen und Mitschüler erhalten. Dies unterstreicht die Wichtigkeit einer Steuerung durch die Lehrkraft auch in einem Unterricht mit digitalen Medien: Schülerinnen und Schüler sollten beim Arbeiten in entsprechenden Lernumgebungen nicht auf sich selbst gestellt sein. Auch sehr gut entwickelte multimediale Lerninhalte können die Lehrkraft offensichtlich nicht ersetzen.

Allerdings kann sich die Rolle der Lehrkraft durch den Einsatz digitaler Medien – hin zur Moderation einer Unterrichtseinheit – verändern. Auch die be-



Ergebnisse aus der Metastudie

Die Ergebnisse der Metastudie zeigen, dass Schülerinnen und Schüler stärker vom Einsatz digitaler Medien profitieren, wenn sie bei der Verwendung des Mediums zusätzlich Unterstützung durch die Lehrkraft erhalten. Auch bei einer Unterstützung durch Mitschülerinnen und Mitschüler zeigt sich ein entsprechender Effekt. Arbeiten Lernende ganz ohne Anleitung mit digitalen Lernumgebungen, so ist die positive Auswirkung gering.

fragten Lehrkräfte sind sich der Möglichkeit einer Rollenverschiebung bewusst:

„In diesen Übungsstunden komme ich aus der zentralen Lehrerrolle heraus. Ich bin dann eher Berater und Moderator und helfe den Schülerinnen und Schülern, wo sie gerade Probleme haben.“

Die Schülerinnen und Schüler haben Gelegenheit, selbstgesteuert Lerninhalte zu erarbeiten und können dabei selbst entscheiden, wann und in welchem Umfang sie Unterstützung durch die Lehrkraft in Anspruch nehmen möchten:



„Natürlich verändert sich meine Funktion im Unterricht: Man ist eben mehr der Mediator, der Unterstützer. Man wird angesprochen, wenn Hilfe gebraucht wird.“

Ausgehend von den Erkenntnissen der Metastudie sollte die Lehrkraft auch bei der Verwendung digitaler Medien im Unterricht eng in das Unterrichtsgeschehen integriert sein. Diese Meinung zeigt sich auch bei den befragten Lehrkräften:

„Für mich ist wichtig, dass digitale Medien nicht den persönlichen Kontakt zur Lehrkraft ersetzen.“

BYOD steht für *Bring Your Own Device* und bedeutet, dass Schülerinnen und Schüler ihre eigenen Geräte wie Tablets, Laptops oder Smartphones in die Schule mitbringen und diese im Rahmen des Unterrichts nach Anleitung durch die Lehrkraft nutzen. Vorteile liegen vor allem darin, dass digitale Medien in den Unterricht integriert werden können, ohne dass Schulen hohe finanzielle Kosten für die Anschaffung entsprechender Geräte tragen müssen. Außerdem können Verzögerungen durch Schwierigkeiten bei der Nutzung fremder Endgeräte vermieden werden, da die Schülerinnen und Schüler mit ihren eigenen Geräten bereits vertraut sind.

Der Umgang mit dem Medium an sich ist für die Schülerinnen und Schüler meist kein Problem, vor allem dann nicht, wenn sie ihre eigenen Geräte zur Nutzung im Unterricht mitbringen. Wenn es allerdings darum geht, die Geräte für bestimmte Lernzwecke zu nutzen und damit um die Anwendung von digitalen Lernprogrammen oder Plattformen, treten doch oftmals Schwierigkeiten auf:

„BYOD ist überhaupt kein Problem: Die Schülerinnen und Schüler haben ihre eigenen Smartphones oder Tablets dabei. Was mich dann doch immer wundert ist, dass sie beim Arbeiten mit neuen Lernplattformen plötzlich Hilfe benötigen.“

In der folgenden Untersuchung, die auch in der Metastudie berücksichtigt wurde, zeigt sich, wie wichtig die Anleitung durch die Lehrkraft beim Arbeiten mit digitalen Medien für die Schülerinnen und Schüler ist und welche Schwierigkeiten sich ergeben können, wenn Lernende auf sich allein gestellt sind:



Beispielstudie: Anleitung durch die Lehrkraft (Buckley et al., 2004)

In einer Studie untersuchten die amerikanische Forscherin Buckley und ihre Kolleginnen und Kollegen, inwiefern Schülerinnen und Schüler durch die Nutzung eines digitalen Lernprogramms im Biologieunterricht profitierten. Mit dem Simulationsprogramm *BioLogica* können Lernende genetische Modellorganismen manipulieren und sich dabei Themen wie Fortpflanzung, Vererbungsvorgänge oder Formen der Kern- und Zellteilung selbstständig erarbeiten. Während eine Gruppe von Schülerinnen und Schülern mehrerer amerikanischer High Schools mithilfe des Simulationsprogramms lernte, wurde eine zweite Gruppe mittels traditioneller Methoden unterrichtet und diente somit als Kontrollgruppe für die Untersuchung. In den Ergebnissen des Leistungstests zeigte sich, dass die Gruppe, die mithilfe des Programms unterrichtet wurde, sig-

nifikant besser war als die Kontrollgruppe, die ohne digitale Medien lernte. Neben der Erhebung der Lernleistung haben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zusätzlich Prozessdaten erfasst, die Aufschluss über die interaktive Nutzung des Programms und das Antwortverhalten einzelner Schülerinnen und Schüler gaben. Darin haben sie sehr unterschiedliche Verhaltensweisen entdeckt: Während manche Schülerinnen und Schüler sich zügig und spielerisch durch das Programm klickten, nahmen sich andere viel Zeit, um Instruktionen zu lesen und Fragen zu beantworten, weshalb sie letztlich vergleichsweise wesentlich weniger Aktivitäten abschließen konnten. Dies bestätigt, dass eine zusätzliche Steuerung durch die Lehrkraft nötig ist, damit alle Schülerinnen und Schüler vorgegebene Lernziele erreichen können.

Im folgenden Anwendungsbeispiel *Videoanalyse von Bewegungsansätzen* wird Lehrkräften im Fach Physik eine Möglichkeit zur Nutzung videobasierter Auswer-

ungsverfahren von Bewegungsabläufen zur Ergänzung beim Experimentieren aufgezeigt, in dem die eben dargestellten Befunde konkret umgesetzt sind.

Videoanalyse von Bewegungsabläufen

Fach:

Physik, 9./10. Jahrgangsstufe

Medieneinsatz:

Computer, Smartphone oder Videokamera

Software:

Tracker Video Analysis and Modeling Tool

► <http://physlets.org/tracker>

Vorwissen:

Physik: t - x -, t - v - und t - a -Diagramme; *Mathematik:* Lineare, quadratische und/oder trigonometrische Funktionen

Lernziel:

Die Videoanalyse von Bewegungen kann im Physikunterricht zu folgenden Zwecken verwendet werden:

- *Explorativ:* Die Schülerinnen und Schüler können experimentell Diagramme für unterschiedliche Bewegungen mit Hilfe von Videoaufzeichnungen erarbeiten. Sie können mögliche funktionale Zusammenhänge auf der Grundlage des erhaltenen Kurvenverlaufs benennen.
- *Konfirmatorisch:* Die Schülerinnen und Schüler können experimentell mit Hilfe von Videoaufzeichnungen von Bewegungsabläufen die theoretisch zu erwartenden funktionalen Zusammenhänge bestätigen.

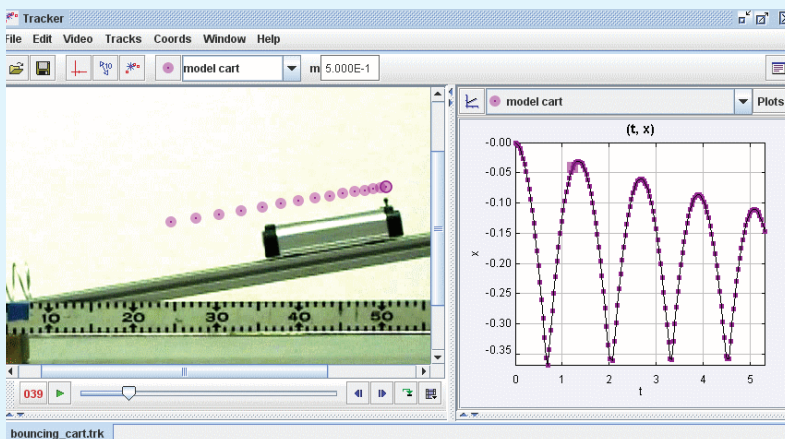


Abbildung 1.
Oberfläche des Programms Tracker mit dem zu untersuchenden Video (links) und dem dazugehörigen t - x -Diagramm (rechts).

Vorteil des Mediums:

Das Interpretieren von Diagrammen ist zentraler Teil der Analyse von Bewegungsabläufen im Zuge der physikalischen Grundausbildung der Sekundarstufe. Um die notwendigen Daten zu gewinnen, sind oft komplexe Versuchsaufbauten notwendig, in denen etwa Lichtschranken die Zeitmessungen übernehmen. Dies führt dazu, dass Versuche meist aus

Gründen der Zeit und Praktikabilität als Demonstrationsexperimente durchgeführt werden und damit nicht von den Schülerinnen und Schülern selbst.

Die Videoanalyse der Bewegungsabläufe mit Hilfe einer Software stellt eine praktikable Alternative zu klassischen Auswertungsverfahren dar. Hier vermisst eine stationär aufgebaute Kamera (oder ein Smartphone mit Videoaufnahmefunktion) die Bewegung. Dadurch vereinfacht sich der Versuchsaufbau enorm, da keine Messapparaturen aufgebaut werden müssen. Dies stellt insbesondere eine effiziente Möglichkeit dar, Schülerinnen und Schüler selbst experimentieren zu lassen.

Ablauf:

Analog zum klassischen Experiment bauen die Lernenden Versuchsanordnungen für die Bewegung auf, die sie untersuchen sollen. Dabei eignen sich etwa:

- *Gleichförmig geradlinige Bewegungen* (zum Beispiel eine rollende Metallkugel auf einer ebenen Fläche)
- *Geradlinige Bewegungen mit konstanter Beschleunigung* (zum Beispiel der freie Fall eines Balles, ein rollender Wagen auf einer schiefen Ebene)
- *Periodische Bewegungen* (zum Beispiel Faden- oder Federpendel sowie Kreisbewegungen)

Für die Messung wird eine Videokamera oder ein modernes Smartphone verwendet. Das aufgezeichnete Video wird auf den PC übertragen. Die Analyse des Bewegungsablaufs mittels der Software *Tracker* geschieht entweder automatisch oder manuell. Die erhaltenen Graphen können abschließend wie im klassischen Experiment gedeutet werden.

Anregungen zur Gestaltung:

Sowohl der Aufbau des Experiments als auch die Auswertung des Versuches mittels Videoanalyse eignen sich gut für *Partnerarbeiten*: So können Lernende von der Fachkompetenz sowie der Medienkompetenz der Mitschülerinnen und Mitschüler profitieren.

Wichtig erscheint die *Betreuung* der Schülerinnen und Schüler *durch die Lehrkraft* nicht nur beim Experimentieren, sondern vor allem auch bei der Auswertung sowie Fragen zum Umgang mit Medien und Software: Wird die Software zum ersten Mal verwendet, muss die Lehrkraft konkrete Hilfestellung zur Verwendung und den Analysemethoden geben. Auch bei der Übertragung der Videos von Handys auf den PC können sich Probleme ergeben. Hier können vor allem auch *medienaffine Schülerinnen und Schüler* ergänzend zur Lehrkraft Hilfestellung geben.

In dieser exemplarisch vorgestellten Unterrichtssituation bietet sich *BYOD* an: Die Schülerinnen und Schüler wissen zumeist bereits, wie Videos mit ihren *eigenen Geräten* aufgenommen und auf den PC übermittelt werden können. Dies kann Probleme mit Hardware reduzieren.

3.3 Wirken digitale Medien motivationsfördernd?

Auch aufgrund des bestehenden nationalen und internationalen Mangels an qualifizierten Fachkräften und Studierenden in naturwissenschaftlich-technischen Fachbereichen ist die Förderung des Interesses und der Motivation von Schülerinnen und Schülern in den entsprechenden Unterrichtsfächern von großer Bedeutung. Auch im Zuge der PISA-Erhebung von 2015 wurde festgestellt, dass sich Schülerinnen und Schüler in Deutschland vergleichsweise wenig für naturwissenschaftliche Fächer motivieren können und der Wunsch, im entsprechenden Bereich später einen Beruf zu ergreifen, im Vergleich zu anderen Ländern gering ausgeprägt ist (Schiepe-Tiska, Simm & Schmidtner, 2016). In der Metastudie wurden daher auch Ergebnisse bezüglich der Einstellung von Schülerinnen und Schülern gegenüber dem jeweiligen Unterrichtsfach betrachtet, wenn sie selbst mit digitalen Medien lernten oder damit unterrichtet wurden. Insgesamt zeigt sich, dass Schülerinnen und Schüler, die mit digitalen Medien lernen gegenüber Mitschülerinnen und Mitschülern, die mit traditionelleren Ansätzen unterrichtet werden, positivere Einstellungen in Bezug auf das entsprechende Unterrichtsfach und damit gegenüber mathematisch-naturwissenschaftlichen Themenbereichen entwickeln. Dies kann als eine wertvolle Gelegenheit angesehen werden, um Schülerinnen und Schüler für den entsprechenden Fachbereich zu begeistern. Auch eine befragte Lehrkraft sieht diesbezüglich einen Mehrwert:

„Ich habe festgestellt, dass vor allem Schülerinnen und Schüler, die Angst vor Mathematik haben und eher blockieren, mit der Zeit ein bisschen auftauen, wenn sie mit digitalen Medien arbeiten. Sie wissen die Möglichkeit zu schätzen, Dinge zu wiederholen und auf diese auch von zuhause aus zugreifen zu können. Wenn man digitale Medien entsprechend nutzt, ist das ein großer Vorteil.“

Ergebnisse aus der Metastudie

Die Metastudie zeigt, dass der Einsatz digitaler Unterrichtsmedien insgesamt über alle vier Unterrichtsfächer hinweg zu einer Steigerung der Motivation führt. Im direkten Vergleich mit Klassen, die mit traditionellen Methoden und Materialien unterrichtet wurden, lässt sich bei Schülerinnen und Schülern, die mit digitalen Medien gearbeitet haben, eine höhere Motivation für das jeweilige Unterrichtsfach feststellen.

An dieser Stelle soll nochmals erwähnt werden, dass ein gesteigertes Interesse oder höhere Motivation bei den Schülerinnen und Schülern oftmals durch den bereits erwähnten *Neuheitseffekt* ausgelöst wird. Damit es nicht bei einer Begeisterung durch Abwechslung des eingesetzten Mediums bleibt, ist es wichtig, die Schülerinnen und Schüler für das jeweilige Fach langfristig zu motivieren.



3.4 Möglichkeiten zur Differenzierung mit digitalen Medien



Das Potential digitaler Medien für einen differenzierten Unterricht wird von allen befragten Lehrkräften als hoch angesehen:

„Mein Unterricht hat sich [durch den Einsatz digitaler Medien] schon etwas verändert, eben stärker noch in Richtung Differenzierung.“

In den wissenschaftlichen Untersuchungen, die für die Metastudie analysiert wurden, ist das Thema Differenzierung durch den Einsatz digitaler Medien nur wenig berücksichtigt. Aufgrund dieser unzureichenden Datenbasis konnten im Rahmen der Metastudie keine Analysen durchgeführt werden. Ein sinnvoller Einsatz digitaler Medien kann jedoch Möglichkeiten zur Differenzierung im Unterricht bieten und damit die Berücksichtigung individueller Schülerleistungen und Lernvoraussetzungen deutlich erleichtern. In den Befragungen für die vorliegende Studie wurde dies von den Lehrkräften einstimmig bestätigt:

„Ich kann eben viel stärker differenzieren. Das ist für mich ein absoluter Vorteil.“

Eine exemplarische Untersuchung aus der Metastudie zeigt, dass leistungsschwache Schülerinnen und Schüler das Angebot individueller Hilfestellungen nutzen. Ein entsprechendes Lernprogramm kann sich gerade für diese Gruppe von Lernenden als besonders hilfreich und nützlich erweisen:

Beispielstudie: Nutzung und Wirksamkeit von Hilfestellungen (Beal, Arroyo, Cohen & Woolf, 2010)

Die amerikanische Forschergruppe um Beal hat in einer Studie zur Nutzung eines intelligenten Tutorsystems im Fach Mathematik untersucht, ob sich bei Schülerinnen und Schülern mit mehr oder weniger guten Lernvoraussetzungen unterschiedliche Ergebnisse in Bezug auf die Lernwirksamkeit zeigen. Sie kamen zu folgendem Ergebnis: Während Schülerinnen und Schüler mit schwächeren mathematischen Kompetenzen zu Beginn der Intervention eine statistisch bedeutsame Steigerung im Nachtest zeigten, war bei den stärkeren Schülerinnen und Schülern keine signifikante Verbesserung festzustellen. Bei einer Vergleichsgruppe, die ohne das digitale Programm lernte, ist im Nachtest weder für die leistungsstärkeren noch für die schwächeren Schülerinnen und Schüler eine Verbesserung in der mathematischen Kompetenz festzustellen. In den Analysen der Prozessdaten zeigte sich außerdem, dass sich leistungsschwächere Schülerinnen und Schüler wesentlich häufiger die vom Tutorsystem angebotenen Hilfestellungen anzeigen ließen und dass die Lernenden mit der größten Leistungssteigerung auch die meisten Hilfestellungen nutzten. Hier wird deutlich, dass digitale Lernmaterialien durch den Einsatz individueller Hilfsangebote gewinnbringend eingesetzt werden können. Damit jedoch auch leistungsstärkere Schülerinnen und Schüler profitieren, müssen entsprechende Hilfestellungen für alle Leistungsniveaus verfügbar sein.

Vorteile der Nutzung entsprechender Lernprogramme liegen insbesondere darin, dass Lehrkräfte bereits während der Lernprozesse Rückmeldung über das Vorankommen der Schülerinnen und Schüler erhalten und so bei Verständnisproblemen handeln können bevor gegebenenfalls Fehlvorstellungen zustande gekommen sind oder diese weiter gefestigt werden. Eine Lehrkraft verschafft sich beispielsweise einen Überblick über den Lernfortschritt einzelner Schülerinnen und Schüler, indem sie diese kontinuierlich den eigenen Lernprozess digital dokumentieren lässt:

„Wenn ich merke, dass ein Thema eben Schwierigkeiten bereitet, was ich ja anhand der Lerntagebücher sehe, dann gehe ich nochmals von einer anderen Seite heran.“

Solche digitalen Lerntagebücher können ohne großen Aufwand mithilfe computerbasierter Lernplattformen wie beispielsweise *Moodle* angelegt und durch die Lehrkraft bewertet werden. Auch Übungsaufgaben für die Schülerinnen und Schüler können auf der Lernplattform bereitgestellt und Prozessdaten der Bearbeitung durch die Lehrkraft genutzt werden:

„Durch die Nutzung der Lernplattform sehen wir relativ viele Daten, auch wie die Schülerinnen und Schüler sich darin bewegen, was sie machen, wie viel Zeit sie für bestimmte Aufgaben benötigen.“

Ein Beispiel für eine gängige Online-Lernplattform, die eine Kursverwaltung und den Austausch zwischen Schülerinnen und Schülern sowie Lehrkräften ermöglicht, ist *Moodle*:

Weiter gibt es beispielsweise Programme, die den Lernprozess in Form eines Punktestands transparent machen:

E-Learning-Plattformen

Moodle-Kurse:

Moodle-Kurse bieten Lehrkräften die Möglichkeit, ein virtuelles Klassenzimmer als Online-Plattform für eine geschlossene Personengruppe – etwa eine Schulklasse oder einen Kurs – zu erstellen. *Moodle* ermöglicht Zugriff auf zahlreiche Funktionen, unter anderem Informationen an die Schülerinnen und Schüler weiterzugeben, ihnen zusätzliches Material zur Verfügung zu stellen, ihre Fragen zu beantworten oder von anderen Kursteilnehmerinnen und -teilnehmern beantworten zu lassen. Auch die Abgaben von Schülerarbeiten können online organisiert und bewertet werden. Weiter bietet *Moodle* eine Möglichkeit, sich mit Kolleginnen und Kollegen zu vernetzen und auf gemeinsame Materialien zurückzugreifen.

Moodle-Kurse haben den Vorteil, dass sie sich leicht erstellen und verwalten lassen. Lehrkräfte können auf zahlreiche – auch videogestützte – Einführungen zurückgreifen, die ihnen bei erstmaliger Verwendung helfen können.

► <https://moodle.de>

mebis – Landesmedienzentrum Bayern: Das Online-Angebot *mebis* des Bayerischen Staatsministeriums für Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst ermöglicht Lehrkräften neben *Moodle*-ähnlichen *Lernplattformen* auch einen umfangreichen Zugang zu einer *Mediathek* und einem *Prüfungsarchiv*. Informationen für Lehrkräfte in Bayern werden über das *Infoportal* weitergegeben.

► <https://www.mebis.bayern.de>

„Auf dem Bildschirm wird angezeigt, wie viele Punkte der Schüler oder die Schülerin erzielt hat und Sie merken mit einem Blick, ob Sie da helfen müssen. Diese Rückmeldung ist für den Lehrer gut.“

Eine befragte Lehrkraft sieht in der Verwendung digitaler Lernprogramme außerdem den Vorteil, dass die Schülerinnen und Schüler sowohl die Geschwindigkeit als auch den Schwierigkeitsgrad der zu erarbeitenden Lerninhalte selbst bestimmen können:

„In der Regel wird von der ganzen Klasse der gleiche stoffliche Inhalt bearbeitet, wobei es

jeweils einfache Aufgaben, mittelschwere Aufgaben und eben echt harte Nüsse gibt. Die stärkeren Schülerinnen und Schüler gehen durch die leichten Aufgaben wirklich schnell durch und können sich dann an den Expertenaufgaben selbst ausprobieren, während die Leistungsschwachen einfache Aufgaben öfter bearbeiten können.“

4 Arten von Lernprogrammen



Computerbasierte Programme, die aktuell in Schule und Unterricht für Lernzwecke verwendet werden, lassen sich in der Regel in fünf verschiedene Kategorien einteilen, die sich jeweils durch bestimmte

Merkmale und Funktionen auszeichnen. Für die Metastudie wurden die in den Einzelstudien verwendeten Lernprogramme ebenfalls in der entsprechenden Einteilung kategorisiert.

Diese Einteilung dient hier in erster Linie einer besseren Übersicht, da sich Lernprogramme oftmals nicht ausschließlich einer der Kategorien zuordnen lassen, sondern häufig auch als Mischformen auftreten (Nattland & Kerres, 2009). Für die Metastudie wurden Lernprogramme jeweils in die Kategorie eingeteilt, deren Funktionen bei der Anwendung überwogen. Im Folgenden werden die Programmtypen näher beschrieben und Beispiele für Einsatzmöglichkeiten im Unterricht aufgezeigt. Anschließend wird auf die Befunde aus der Metastudie zur Wirksamkeit der einzelnen Programmtypen eingegangen.

Tutorsysteme

Tutorsysteme bezeichnen digitale Lernanwendungen, bei denen der Computer die Rolle der Lehrperson übernimmt (Nattland & Kerres, 2009). In der Regel werden Lerninhalte in kleinen Einheiten

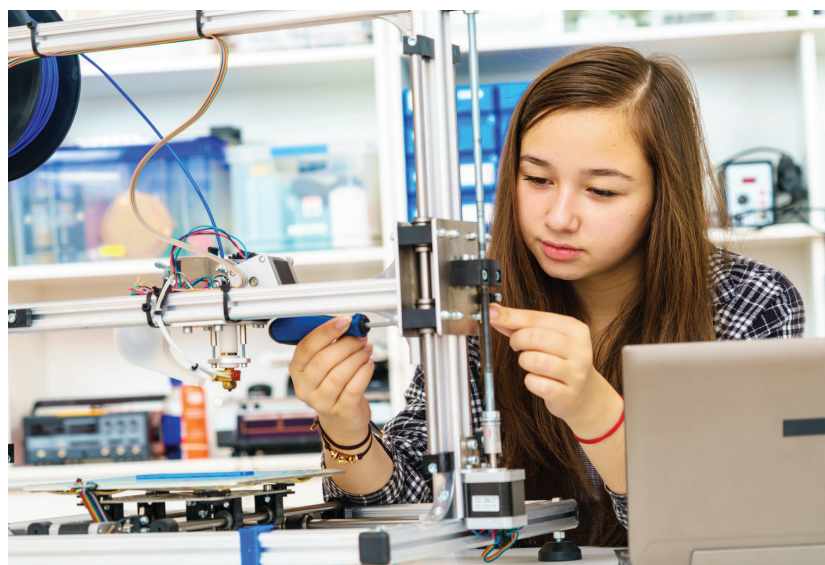
dargeboten. Neben Wissensvermittlung bieten entsprechende Programme oftmals die Möglichkeit zum Vertiefen und Üben.

Intelligente Tutorensysteme

Neben den genannten Merkmalen von Tutorensystemen kommt bei den sogenannten intelligenten Tutorensystemen eine adaptive Funktion hinzu. Dies bedeutet, dass das Programm auf das Vorwissen der Lernenden eingeht und die Präsentation von Lerninhalten individuell daran anpasst. So können beispielsweise die Geschwindigkeit bei der Darbietung von Instruktionseinheiten, die Schwierigkeit der Aufgaben oder gegebenenfalls Hilfestellungen je nach Lernstand des Nutzers variieren.

Simulationsprogramme

Unter Simulationsprogrammen versteht man im Bildungskontext in der Regel Lernumgebungen, die eine reale Situation abbilden. In diesen virtuellen Realitäten kann der Nutzer durch konkrete Handlungen sein Wissen anwenden oder erweitern. Simulation ist dabei ein Überbegriff für viele unterschiedliche Arten von Lernprogrammen. Für eine bessere Übersicht wurden Lernprogramme dieser Kategorie hier in zwei Unterformen aufgeteilt: Zum einen sind dies Programme, die dem Nutzer virtuelle Realitäten bieten, in denen er komplexe Situationen durchlaufen kann wie beispielsweise aufwändige Experimente in Chemie oder Physik. Durch die Veränderung bestimmter Parameter kann der Lernende direkte Auswirkungen auf die Situation beobachten und damit komplexe Sachverhalte erfassen (Nattland & Kerres, 2009). Ein weiterer Vorteil ist, dass auch Experimente von Schülerinnen und Schülern direkt durchgeführt werden, die sonst nur als Demonstrationsexperimente – etwa aus Sicherheitsgründen oder aufgrund nicht vorhandener Materialien – von der Lehrkraft selbst präsentiert werden können. Eine befragte Lehrkraft nutzt die Möglichkeit, abstrakte Lerninhalte mithilfe von Simulationsprogrammen für die Schülerinnen und Schüler greifbarer zu machen:



„Wo ich einen deutlichen Mehrwert sehe ist zum Beispiel im Fach Chemie, wo wir im Prinzip über Dinge sprechen, die die Schülerinnen und Schüler nicht sehen können. Gerade im Bereich der Modellbildung und der Visualisierung auf Teilchenebene leisten digitale Medien durch passende Animationen einen großartigen Beitrag zum Lernprozess.“

Unter die zweite Kategorie werden Programme wie dynamische Geometrie-Software gefasst, bei der die Lernenden mathematische Konstruktionen digital erstellen können. Der Vorteil im Vergleich zum nicht digitalen Konstruieren liegt insbesondere darin, dass interaktiv und im eigenen Lerntempo geübt, ähnliche Aufgaben beliebig oft wiederholt und Lerninhalte so vertieft werden können. Das Verständnis der Schülerinnen und Schüler kann mithilfe von *GeoGebra* laut einer befragten Lehrkraft wesentlich erleichtert werden:

„Hervorragend finde ich GeoGebra im Bereich der Funktionenlehre: Zum Beispiel kann man den Einfluss von Parametern auf Parabeln mit einem Regler direkt sichtbar machen. Wenn man den Regler verschiebt, dann sieht man sofort, wie die Kurve sich verändert. Das ist extrem aufschlussreich, um Zusammenhänge zu erkennen.“



Das Anwendungsbeispiel *Ableitung der Sinusfunktion* zeigt Lehrkräften der Mathematik, wie sich die dynamische Geometrie-Software *GeoGebra* in eine Unterrichtsstunde der elften Jahrgangsstufe einbringen lässt. Informationen zu Lernzielen, Vorteile des Mediums sowie Anregungen zur Gestaltung werden darin zur Verfügung gestellt. ►

Hypermediasysteme

Beim Lernen mit Hypermediasystemen steht das freie Explorieren meist im Vordergrund, weshalb durch den Einsatz entsprechender Programme ein selbstgesteuertes Lernen ermöglicht werden kann (Nattland & Kerres, 2009). Hypermediasysteme dienen oftmals als Nachschlagewerk, in dem Texte untereinander und zum Teil mit anderen Dateien wie

Videos, Ton oder Bildern vernetzt sind. Da in der Regel kein spezifisches Lernziel vorgegeben ist, sind die Anleitung der Lernenden durch die Lehrkraft und eine sinnvolle Einbettung in den jeweiligen Unterrichtskontext – in diesem Fall meist als Ergänzung zu anderen Unterrichtsmethoden – unabdingbar.

Ergebnisse aus der Metastudie

In der Metastudie zeigen sich folgende Ergebnisse bezüglich der Wirksamkeit unterschiedlicher Lernprogramme: Insgesamt zeigt sich in den Analysen, dass die positiven Effekte auf die Lernleistung höher sind, wenn Lernprogramme adaptiv sind. Intelligente Tutorsysteme, die eine Anpassung an den individuellen Lernstand der Nutzer sowie differenziertes Feedback zu Aufgabenlösungen ermöglichen, weisen daher eine vergleichsweise hohe Wirksamkeit auf. Tutorsysteme, die keine adaptive Funktion aufweisen, haben eine etwas geringere, aber weiterhin positive Wirkung auf die Lernleistung. Vergleichsweise wenig wirksam sind dagegen Programme, die unter die Kategorie Hypermedialernen fallen.

Drill & Practice

Drill & Practice-Programme sind klassische Übungsprogramme, die sich insbesondere dafür eignen, bereits erworbenes Wissen durch Wiederholung und Übung zu festigen. Nach jeder Übungsaufgabe erhält der Nutzer eine Rückmeldung zu seiner Lösung. Wenn es nicht um die Vermittlung neuer Lerninhalte geht, lassen sich solche Programme gut und ohne großen Aufwand in den Unterricht einbeziehen. Vorteile liegen vor allem darin, dass die Programme örtlich flexibel eingesetzt sowie Lerngeschwindigkeiten durch die Lernenden selbst bestimmt werden können (Nattland & Kerres, 2009). Sobald allerdings ein individuelles und differenziertes Feedback zu den Handlungen der Schülerinnen und Schüler gewünscht ist, stoßen diese Anwendungen an ihre Grenzen.

Ableitung der Sinusfunktion

Fach:

Mathematik, 11. Jahrgangsstufe

Medieneinsatz:

Computer oder Tablet

Software:

GeoGebra ▶ <http://www.geogebra.org>

Vorwissen:

Graphisches Ableiten

Lernziel:

Die Schülerinnen und Schüler können eine *GeoGebra*-Anwendung erstellen, mit deren Hilfe sie die Ableitung f' einer beliebigen Funktion f graphisch bestimmen können. Sie können damit die Kosinusfunktion als Ableitung der Sinusfunktion benennen.

Vorteil des Mediums:

Das händische Ermitteln der Tangentensteigung an verschiedenen Punkten des Graphen der Funktion, die für eine Bestimmung des Graphen der Ableitungsfunktion notwendig ist, ist bei Kurven wechselnder Krümmung zum Teil ungenau. Die Software arbeitet hier genauer, wobei zugleich die formal notwendigen Schritte erhalten bleiben.

Ablauf:

Je nach Kenntnisstand der Lernenden im Umgang mit *GeoGebra* können die folgenden Schritte vorgegeben oder erarbeitet werden.

Klassisch	GeoGebra
Zeichnen des Graphen der Funktion $f(x)$ –/–	Eingabe der Funktion $f(x)$ Erstellen eines „Schiebereglers“ a zur Variation des Parameters
Markieren eines Punktes P auf G_f	Eingabe des Punktes $P=(a, f(a))$
Zeichnen der Tangente t durch P an G_f mit Lineal und Augenmaß	Generieren der Tangente t durch P an G_f durch das Programm
Bestimmung der Steigung m von t mit Steigungsdreieck	Steigung der Tangente m durch das Programm angeben lassen
Einzeichnen des Punktes Q mit der x-Koordinate von P und y-Koordinate m	Eingabe des Punktes $Q=(a, m)$
Schritte für weitere Punkte auf $G_{f'}$	Spur von Q anzeigen lassen; a mit Schieberegler variieren

Tabelle 1.
Vergleich der Schritte beim graphischen Ableiten der Funktion $f(x)=\sin(x)$ klassisch und mit *GeoGebra*.

Der durch das Programm gewonnene Graph der Ableitungsfunktion f' ist in Abbildung 2 als blau gepunktete Spur zu erkennen. Im letzten Schritt wird – analog zum klassischen Verfahren – der Kurvenverlauf als Graph der Funktion $\cos(x)$ identifiziert.

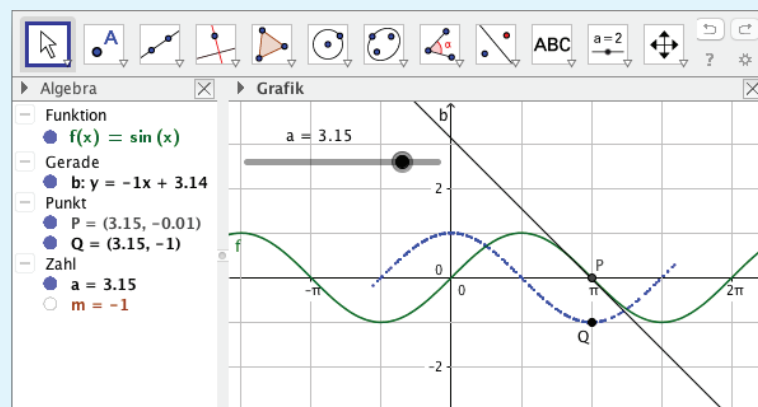


Abbildung 2.
Exemplarische Ansicht des Programms *GeoGebra* am Ende der Arbeitsphase.

Anregungen zur Gestaltung:

Die graphische Ableitung mittels *GeoGebra* kann gut ergänzend zum klassischen Verfahren eingesetzt werden: Eine Durchführung des klassischen Verfahrens für einen konkreten Punkt P kann die Umsetzung der notwendigen Schritte in *GeoGebra* erheblich erleichtern.

GeoGebra kann dabei kurzfristig in den eigenen Unterricht etwa zur Exploration zu Beginn einer Unterrichtsstunde oder Unterrichtseinheit eingebunden werden. Das Verfahren kann im Laufe des Schuljahres immer wieder knapp aufgegriffen werden: Mit einem anderen Funktionsterm $f(x)$ können weitere Funktionen graphisch abgeleitet werden. Dabei sollte allerdings beachtet werden, dass formale Verfahren – etwa die Bestimmung der Steigung mit einem Steigungsdreieck – nicht gänzlich dem PC überlassen werden sollten, sondern als Ergänzung hin und wieder auch händisch durchgeführt werden. *GeoGebra* ist ein komplexes Tool. Es empfiehlt sich daher, vor dem Einsatz im Unterricht die gestellte Aufgabe selbst durchzuführen, um gegebenenfalls Probleme und Hürden zu erkennen.

Gerade der eigenständige Umgang mit *GeoGebra* kann die Lernenden dazu motivieren, die Software auch bei Problemen zu Hause zur Visualisierung zu nutzen. Expertise und Kompetenz erhalten sie dabei nur, wenn sie die Anwendung selbst erstellen. Eine Entlastung durch die Bereitstellung der fertigen „Black-Box“, in der lediglich noch der Schieberegler benutzt werden muss, erscheint daher als ungeeignet.

Während sich adaptive Tutorsysteme als sehr gewinnbringend für einen Leistungszuwachs der Schülerinnen und Schüler erweisen, ist der positive Effekt digitaler Medien für Drill & Practice-Systeme vergleichsweise gering. In Hypermedia-Umgebungen ist meist keine sequenzielle Durcharbeitung vorgegeben (Nattland & Kerres, 2009), wodurch sich das vergleichsweise geringe Potential dieser Lern-

programme erklären lassen könnte. Dies zeigt, wie wichtig es auch beim Lernen mit digitalen Medien ist, dass den Schülerinnen und Schülern eine gewisse Struktur vorgegeben wird und dass konkrete Lernziele dabei stets erkennbar sind. Auch Hypermediasysteme lassen sich bei sinnvoller didaktischer Einbettung durchaus gewinnbringend in den Unterricht integrieren.

Abstimmung digitaler Lernprogramme auf individuelle Lernziele

Wie anhand der Beschreibung der Lernprogramme deutlich wurde, eignen sich je nach Lehr- und Lernzielen bestimmte Programme aufgrund damit einhergehender Funktionen besser oder eher weniger. In den untersuchten Studien wird oftmals differenziert, welche Art von Wissen erworben werden soll: Mit *deklarativem* Wissen wird Faktenwissen bezeichnet, *prozedurales* Wissen steht für Handlungswissen. In der Metastudie wird deutlich, dass sich insgesamt ein größerer positiver Effekt auf die Lernleistung zeigt, wenn *prozedurales* Wissen im Vordergrund steht, wobei auch beim Erwerb von *deklarativem* Wissen ein kleiner positiver Effekt

sichtbar ist. Auf welche Ursachen dies im Einzelnen zurückzuführen ist oder ob dies in Abhängigkeit der verwendeten Lernprogramme steht, kann im Rahmen der Analysen nicht festgestellt werden. Es kann jedoch festgehalten werden, dass Lehrkräfte bei der Planung des Einsatzes von Lernprogrammen ein durchdachtes Konzept erstellen sollten, das den Einsatz geeigneter Lernprogramme für den entsprechenden Lernzweck sicherstellt. Während sich zum Beispiel für Wiederholungs- und Übungsphasen klassische Drill & Practice-Programme anbieten können, stoßen sie beim Erwerb neuer Lerninhalte schnell an ihre Grenzen.

5 Fazit

Dass digitale Medien in Schule und Unterricht Einzug gehalten haben, ist längst deutlich geworden. Unter welchen Bedingungen deren Potential für das Lehren und Lernen möglichst gut ausgeschöpft werden kann, wurde in dieser Broschüre dargestellt und auf Grundlage aktueller wissenschaftlicher Forschungsergebnisse begründet. Analysen im Rahmen der durchgeführten Metastudie haben ergeben, dass sich insgesamt positive Auswirkungen durch den Einsatz digitaler Lernprogramme in mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächern auf die Leistung und die Motivation von Schülerinnen und Schülern des Sekundarbereichs zeigen. Vorteilhaft ist beispielweise ein Einsatz digitaler

Medien ergänzend zu traditionellen Unterrichtsmethoden oder die paarweise Nutzung des Mediums, durch die die Kommunikation unter den Schülerinnen und Schülern angeregt werden kann. Neben den unterschiedlichen Funktionsweisen verschiedener Lernprogramme ist entscheidend für die Lernwirksamkeit, dass sich Lehrkräfte mit der Materie auseinandersetzen, sich weiterbilden und digitale Medien durchdacht in das Unterrichtskonzept integrieren. Eine allgemeingültige Aussage darüber, wie digitale Medien im Unterricht gewinnbringend eingesetzt werden können, kann es vor allem auch angesichts der zahlreich verfügbaren und unterschiedlich gestalteten Lernprogramme nicht geben.

Jedoch haben die Ergebnisse der Metastudie und der Befragungen mit den erfahrenen Lehrkräften konkrete Richtungen aufgezeigt, wie digitale Medien sowohl für Lehrerinnen und Lehrer als auch für die Lernenden eine wertvolle Unterstützung darstellen können. Diese empirisch fundierten Erkenntnisse können als Anregungen für die Verwendung von digitalen Lehr- und Lernprogrammen im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht dienen. Fest steht, dass digitale Medien in jedem Fall an die individuellen Voraussetzungen der Lernenden angepasst und auf entsprechende Lerninhalte abgestimmt in den Unterricht integriert werden müssen.



6 Literatur

Beal, C. R., Arroyo, I. M., Cohen, P. R. & Woolf, B. P. (2010). Evaluation of AnimalWatch: An intelligent tutoring system for arithmetic and fractions. *Journal of Interactive Online Learning*, 9(1), 64–77.

Beelmann, A. (2014). Möglichkeiten und Grenzen systematischer Evidenzkumulation durch Forschungssynthesen in der Bildungsforschung. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 17(4), 55–78.

Buckley, B. C., Gobert, J. D., Kindfield, A. C. H., Horwitz, P., Tinker, R. F., Gerlits, B., ... Willett, J. (2004). Model-based teaching and learning with BioLogica™: What do they learn? How do they learn? How do we know? *Journal of Science Education and Technology*, 13(1), 23–41.

Frailich, M., Kesner, M. & Hofstein, A. (2009). Enhancing students' understanding of the concept of chemical bonding by using activities provided on an interactive website. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(3), 289–310.

Mayer, R. E. (2014). Cognitive Theory of Multimedia Learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (2. Aufl., S.

43–71). New York: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781139547369.005

Nattland, A. & Kerres, M. (2009). Computerbasierte Methoden im Unterricht. In K.-H. Arnold, U. Sandfuchs & J. Wiechmann (Hrsg.), *Handbuch Unterricht* (S. 317–324). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.

Schiepe-Tiska, A., Simm, I. & Schmidtner, S. (2016). Motivationale Orientierungen, Selbstbilder und Berufserwartungen in den Naturwissenschaften in PISA 2015. In K. Reiss, C. Sälzer, A. Schiepe-Tiska, E. Klieme & O. Köller (Hrsg.), *PISA 2015. Eine Studie zwischen Kontinuität und Innovation* (S. 99–132). Münster: Waxmann.

Schnotz, W. & Bannert, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representation. *Learning and Instruction*, 13(2), 141–156. doi:10.1016/S0959-4752(02)00017-8

Sweller, J., Ayres, P. & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive Load Theory*. New York: Springer. doi:10.1007/978-1-4419-8126-4

Bildnachweise:

Titelfoto und Seite 3: © ra2 studio / fotolia.com; Umschlagrückseite und Seite 4: © ibravery / fotolia.com; Seite 7: © denisismagilov / fotolia.com; Seite 8: © sdecoret / fotolia.com; Seite 9: © Christian Schwier / fotolia.com; Seite 10: © WavebreakMediaMicro / fotolia.com; Seite 12: © Prostock-studio / fotolia.com; Seite 13: © WavebreakMediaMicro / fotolia.com; Seite 14: © science photo / fotolia.com; Seite 15: © AYAIimages / fotolia.com; Seite 16: © Rawpixel.com / fotolia.com; Seite 17: © Gorodenkoff / fotolia.com; Seite 18: © Tracker; Seite 19: © Rob / fotolia.com; Seite 20: © goodluz / fotolia.com; Seite 22: © monsitj / fotolia.com; Seite 23: © science photo / fotolia.com; Seite 24: © adam121 / fotolia.com; Seite 25: © GeoGebra; Seite 27: © Elnur / fotolia.com