



Beitrag zur Konzeption und Gestaltung - Level 3

Modellierung und Analyse komplexer Alltagsphänomene

Ein Seminarkonzept zum Umgang mit digitalen Werkzeugen im Physikunterricht

Christoph Vogelsang^{1,*}, Agnes Szabone Varnai²

¹Zentrum für Bildungsforschung und Lehrerbildung – PLAZ Professional School, Universität Paderborn

²Didaktik der Physik, Universität Paderborn

*Kontakt: Christoph Vogelsang christoph.vogelsang@upb.de

Zusammenfassung: Im Zuge der wachsenden Digitalisierung von allen Aspekten der Schule wandeln sich auch die Anforderungen an die Unterrichtsgestaltung. Auch angehende Physiklehrkräfte sollten schon in der ersten Ausbildungsphase auf diese Anforderungen vorbereitet werden. Hierzu müssen sie Kompetenzen insbesondere zum Einsatz spezifischer digitaler Medien für das Lehren und Lernen von Physik erwerben. Um dies zu ermöglichen, wurde an der Universität Paderborn das Seminarkonzept MORPH entwickeln und erprobt. Dabei handelt es sich um einen fachdidaktischen Projektkurs, der den Nutzen digitaler Werkzeuge für das naturwissenschaftliche Arbeiten betont. Als zentrale Lernaktivitäten nutzen die Teilnehmenden digitale Werkzeuge, um physikalische Alltagsphänomene experimentell zu analysieren und zu modellieren. Neben einer Beschreibung didaktischer Hintergründe des Konzepts und einer konkreten Umsetzung berichtet der Beitrag zudem die Ergebnisse einer Evaluation der ersten beiden Erprobungen. Dabei stellte sich heraus, dass die Studierenden zwar die angestrebten Fähigkeiten zum Umgang mit digitalen Werkzeugen erwerben, sie aber für eine Nutzung digitaler Medien in ihrer späteren Unterrichtstätigkeit eher weniger motiviert werden konnten.

Schlagwörter: Digitale Medien, Physik, Modellierung, Seminarkonzept, Fachdidaktik



© Die Autor_innen 2018. Dieser Artikel ist freigegeben unter der Creative-Commons-Lizenz Namensnennung, Weitergabe unter gleichen Bedingungen, Version 4.0 Deutschland (CC BY-SA 4.0 de). URL <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/de/legalcode>

1 Einleitung

Zunehmend verfügen Schulen über die Infrastruktur (z.B. Tablets, interaktive Whiteboards, flächendeckende Vernetzung) zum standardmäßigen Einsatz digitaler Medien im Unterricht. Eine solche „Digitalisierung“ der Schule wird zum einen als notwendig betrachtet, um Schüler_innen auf eine digital geprägte Lebenswelt vorzubereiten (KMK, 2016). Zum anderen ist mit ihr die Hoffnung verbunden, dass sich mittelbar auch die Qualität des Unterrichts erhöht und Lernprozesse von Schüler_innen adäquater unterstützt werden können. Insbesondere für das Fach Physik bieten digitale Medien einige Vorteile, das Lernen von Fachinhalten zu initiieren und zu strukturieren. So können mit digitalen Werkzeugen bspw. physikalische Realphänomene untersucht werden, die auf Basis schulischen Vorwissens ohne sie nicht zugänglich wären, oder zeitliche Ressourcen im Unterricht optimaler genutzt werden, um „Leerlaufzeiten“ zu reduzieren, die die aktive Lernzeit begrenzen (z.B. Meßinger-Koppelt, Schanze & Gross, 2017). Derzeit werden digitale Medien insbesondere im Physikunterricht allerdings wenig systematisch verwendet und ihre Vorteile daher kaum genutzt (Lorenz et al., 2017; Wenzel & Wilhelm, 2015). Um dies zu ändern und die mit der „Digitalisierung“ verbundenen Ziele umzusetzen, fordert die KMK in ihrer Strategie zur Bildung in der digitalen Welt daher, „dass Lehrkräfte digitale Medien in ihrem jeweiligen Fachunterricht professionell und didaktisch sinnvoll nutzen sowie gemäß dem Bildungs- und Erziehungsauftrag inhaltlich reflektieren können.“ (KMK, 2016, S. 24) Angehende Lehrkräfte müssen also notwendige Kompetenzen erwerben, um digitale Werkzeuge in diesem Sinne adäquat einsetzen zu können. Hierfür müssen hochschulfachdidaktisch fundierte Lehrkonzepte entwickelt, erprobt und bzgl. ihrer Wirksamkeit evaluiert werden.

Für angehende Lehrkräfte mit dem Fach Physik wurde daher im Rahmen der Lehrinitiative *Kolleg Didaktik:digital* (Meßinger-Koppelt, 2017) das Seminarkonzept MORPH – Modellierung komplexer Phänomene im Physikunterricht entwickelt und an der Universität Paderborn implementiert. Im Fokus der Konzeption steht der Einsatz digitaler Medien als Werkzeuge, um das Lernen von Schüler_innen insbesondere im Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung (KMK, 2004b) zu unterstützen. Im Artikel werden neben der Darstellung des Konzepts auch die Evaluationsergebnisse der bisherigen Durchführungen berichtet. Die gesamte Entwicklung und Wirksamkeitsüberprüfung orientiert sich dabei am Forschungsprogramm der Fachdidaktischen Entwicklungsforschung (Prediger & Link, 2012).

2 Fachliche und theoretische Verortung

2.1 Physikalische Erkenntnisgewinnung

Der Einsatz digitaler Werkzeuge im Fachunterricht ist kein Selbstzweck, sondern sollte immer mit dem Ziel erfolgen, fachliche Lernprozesse zu initiieren und zu strukturieren. In diesem Sinne sollten auch angehende Lehrkräfte mit dem Fach Physik digitale Werkzeuge und Einsatzszenarien kennenlernen, die insbesondere das Lernen von physikalischen Inhalten bzw. Konzepten unterstützen. Medien und Nutzungsformen, die sich eher auf fachunabhängige oder allgemeindidaktische Lehr-Lern-Prozesse beziehen, werden daher im Seminarkonzept nur am Rande betrachtet (z.B. Lernmanagementsysteme) bzw. sind Bestandteil der bildungswissenschaftlichen Anteile des Lehramtsstudiums. Der Fokus wird also auf digitale Werkzeuge gelegt, die es ermöglichen, physikalische Arbeitsweisen bzw. den physikalischen Erkenntnisprozess erfahrbar zu machen.

Dieser ist stark durch das Aufstellen von und den Umgang mit Modellen bestimmt, mit deren Hilfe Beobachtungen der (unbelebten) Natur erklärt werden können. Erklärbar in diesem Sinne meint: „auf eine begrenzte Anzahl von Ursachen und ihre Zusammenhänge zurückführbar“. Darüber hinaus ermöglichen adäquate Modelle auch, Prognosen aufzustellen und daher die zukünftige Entwicklung eines physikalischen

Systems in gewissen Grenzen vorherzusagen. Diese Prozesse können am Beispiel des Modellverständnisses von Heinrich Hertz verdeutlicht werden (Abb. 1):

„Das Verfahren aber, dessen wir uns zur Ableitung des Zukünftigen aus dem Vergangenen und damit zur Erlangung der erstrebten Voraussicht stets bedienen, ist dieses: Wir machen uns innere Scheinbilder oder Symbole der äußeren Gegenstände, und zwar machen wir sie von solcher Art, dass die denotwendigen Folgen der Bilder stets wieder die Bilder seien von den naturnotwendigen Folgen der abgebildeten Gegenstände.“ (Hertz, 1894, zit. nach Hopf, Wiesner & Schecker, Horst, Schumacher, Dieter, 2011)

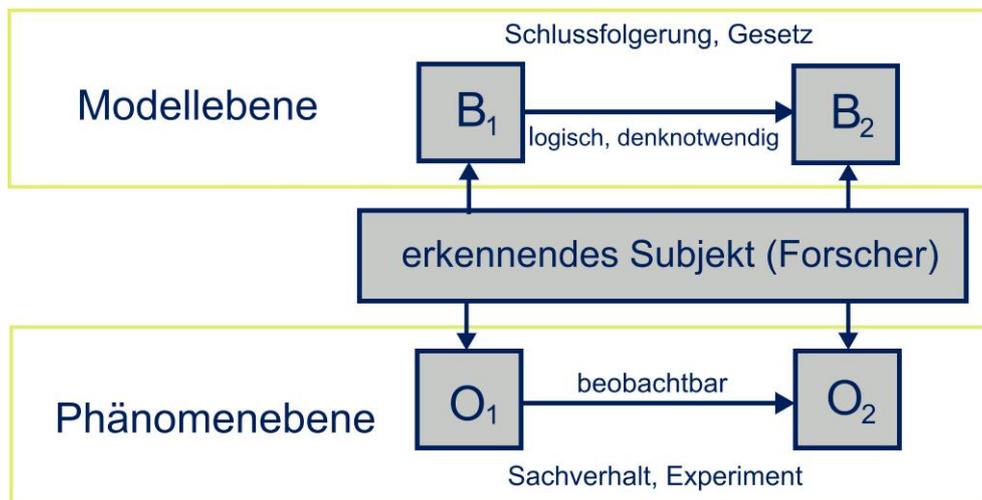


Abbildung 1: Modellverständnis nach Heinrich Hertz (erstellt nach Hopf, Wiesner & Schecker, 2011)

Es lassen sich bzgl. physikalischer Erkenntnis also zwei Ebenen unterscheiden: zum einen die Ebene der Phänomene, also beobachtbarer Objekte und ihrer Zustände, und zum anderen die Ebene der Modelle, also ein System von Begriffen bzw. mathematischen Formalismen, die die beobachtbaren Objekte beschreiben sollen. Die Aufgabe des bzw. der Forschenden (des erkennenden Subjekts) ist es nun, Begriffe zu finden, die die Merkmale beobachtbarer Phänomene möglichst adäquat abbilden – also ein Modell zu bilden. Dies muss in der Form geschehen, dass mit Hilfe dieser Begriffe auch Veränderungen der beobachtbaren Objekte vorhergesagt werden können. Derartige Änderungen können bspw. durch ein Experiment beobachtet oder gezielt herbeigeführt werden. Ein physikalisches Modell beschreibt die beobachtete Wirklichkeit dann adäquat, wenn sich diese Veränderung im Modell „denotwendig“, also als logische Schlussfolgerung ergibt. Um die Adäquatheit oder auch Passung eines entwickelten Modells zu prüfen, ist es wiederum erforderlich, das modellierte Phänomen bzw. dessen Veränderungen zu analysieren. Analyse in diesem Sinne meint eine genaue Betrachtung einzelner Zustände des Phänomens, die jeweils auf die von dem Modell geschlussfolgerten oder vorhergesagten Zustände bezogen werden müssen. Die Analyse wiederum kann bei nicht hinreichender Passung als Grundlage für eine Modifikation des Modells dienen. Modellieren hat daher auch einen zyklischen Charakter.

Dieser abstrakte Modellierprozess kann am Beispiel des Kugelstoßens verdeutlicht werden. Auf der Phänomenebene kann etwa eine Kugelstoßerin beobachtet werden, die eine Kugel auf einer bestimmten Höhe, unter einem bestimmten Winkel und mit einer bestimmten Geschwindigkeit von sich stößt. Es kann beobachtet bzw. gemessen werden, auf welcher Bahn die Kugel durch die Luft fliegt und in welcher Entfernung von der Kugelstoßerin sie auf dem Boden aufkommt. Auf der Modellebene versucht nun ein_e Forscher_in, ein System von Begriffen oder einen mathematischen Formalismus zu finden, mit dem aus den Ausgangsbedingungen durch logische Schlussfolgerung (z.B. Berechnungen) die Flugbahn oder die Wurfweite berechnet werden kann. In

diesem Sinne ist es also das Ziel der Physik, „die Zukunft vorherzusagen“. Hierzu wurden in der Geschichte der Physik entsprechende Begriffe und Modelle entwickelt. Für das Beispiel des Kugelstoßens erhält man bspw. eine passende „Vorhersage“, wenn man das Konzept der gleichförmigen und gleichmäßig beschleunigten Bewegung sowie das Superpositionsprinzip der Bewegung zur Berechnung nutzt. Neben der Funktion, Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge im Sinne von physikalischer Erkenntnis zu beschreiben, werden derartige Modelle auch für die Lösung konkreter Fragestellungen verwendet. Beim Beispiel des Kugelstoßens könnte dies etwa die Optimierung der Wurftechnik sein. Häufiger handelt es sich allerdings um Modelle, die helfen sollen, technische Anforderungen bzw. Probleme zu lösen. Dies geschieht allerdings meist eher in den Ingenieurwissenschaften, z.B. um tragfähige Brücken mit möglichst geringem Materialaufwand zu bauen. Natürlich haben physikalische Modelle Grenzen und beschreiben Beobachtungen nur bis zu einem gewissen Grad. Für eine noch bessere „Vorhersage“ müsste beim Beispiel des Kugelstoßens noch die Luftreibung sowie die Eigenrotation der Kugel berücksichtigt werden.

2.2 Erkenntnisgewinnung mit Hilfe digitaler Werkzeuge lehren

Gemäß den Bildungsstandards im Fach Physik (KMK, 2004b) sollen Schüler_innen im Rahmen des Physikunterrichts ein adäquates Verständnis der physikalischen Arbeitsweise bzw. der physikalischen Erkenntnisgewinnung aufbauen. Da an vielen allgemeinbildenden Schulen kein Technikunterricht existiert, ist es zudem gerade Aufgabe des Physikunterrichts, durch eine derartige Thematisierung von Modellen dazu beizutragen, dass Schüler_innen auch einen adäquaten Einblick in Arbeitsweisen technischer Berufe erhalten (vgl. Tesch, 2011). Die oben beschriebene Modellierung des Kugelstoßens ist ein Standardbeispiel, das häufig im Unterricht genutzt wird (je nach Schulform und Bundesland verortet in der Klassenstufe 9 bis 10 bzw. der Einführungsphase der Oberstufe). Möchte man im Unterricht eine alltägliche Erfahrung wie die Effekte von Luftreibung berücksichtigen, wird der hierfür notwendige mathematische Formalismus (im Wesentlichen ein System von Differentialgleichungen) schnell sehr komplex und überschreitet die Fähigkeiten bzw. das notwendige Vorwissen der meisten Schüler_innen weit. Eine solche Komplexität ist schon bei vielen Alltagsphänomenen im Leben von Schüler_innen erreicht. Zugleich sind es aber gerade Alltagskontexte, die die Interessen vieler Lernender ansprechen und fachliche Lernprozesse initiieren können (Kontextorientierung; vgl. Müller, 2006)).

Für dieses Spannungsfeld bieten digitale Werkzeuge viele Möglichkeiten, den physikalischen Erkenntnisprozess zu elementarisieren und im Unterricht erfahrbar zu machen (vgl. Wodzinski & Heinecke, 2017). Zur Beobachtung von Phänomenen oder Experimenten können bspw. digitale Messwerterfassungssysteme wie Apps zur Auslesung von Smartphonesensoren oder die digitale Videoanalyse herangezogen werden, um auch reale, alltägliche Phänomene Messungen zugänglich zu machen. Zur Unterstützung von Analysen auf der Modellebene können hingegen z.B. Simulationen oder so genannte Modellbildungssysteme verwendet werden, für deren Nutzung kein hohes mathematisches Vorwissen notwendig ist und die so die Komplexität von Modellierungen reduzieren. Simulationen liegt dabei ein schon bestehendes Modell zu Grunde, mit dessen Hilfe Phänomene auf der Modellebene weiter untersucht werden können. Modellbildungssysteme hingegen unterstützen die Entwicklung von Modellen. Mit ihrer Hilfe können daher verschiedene Kompetenzen im Umgang mit Modellen aufgebaut werden (Nutzen von Modellen zur Vorhersage, Erstellung von Modellen). Aufgrund dieser Vorteile bilden Einsatzszenarien solcher digitalen Werkzeuge den Mittelpunkt des Seminar konzepts. Neben diesem fachdidaktischen Vorteil haben sie natürlich auch lernpsychologische Vorteile, indem sie z.B. den cognitive load beim Lernen physikalischer Zusammenhänge reduzieren helfen (z.B. Lee, Plass & Homer, 2006).

2.3 Ziele des Seminarkonzepts

Sowohl in den bildungswissenschaftlichen Standards (KMK, 2004a) als auch in den ländergemeinsamen fachbezogenen Anforderungen in der Lehrerbildung (KMK, 2008) sind Kompetenzen zum Einsatz von (digitalen) Medien als Ziele verankert. Angelehnt an Modelle professioneller Handlungskompetenz (J. Baumert & Kunter, 2006) müssen angehende Lehrkräfte dabei zum einen professionelles Wissen zum Umgang mit digitalen Medien im Unterricht erwerben. Im Vordergrund steht hierbei der Erwerb von technological pedagogical content knowledge (Koehler & Mishra, 2009), also bspw. Wissen darüber, wie digitale Medien verwendet werden können, um fachliche Inhalte zu unterrichten oder fachlichen Lernschwierigkeiten von Schüler_innen zu begegnen. Zum anderen haben sich aber gerade auch eher intentionale Kompetenzfacetten wie Einstellungen und motivationale Bereitschaften (z.B. J. Baumert & Kunter, 2006) als bedeutsame Voraussetzungen erwiesen, damit digitale Werkzeuge im Unterricht auch tatsächlich implementiert werden. So identifizieren Ertmer und Ottenbreich-Leftwich (2010) in ihrem Review neben Wissen insbesondere Selbstwirksamkeitserwartungen, pädagogische Einstellungen und eine generelle Fach- oder Schulkultur als wichtige Schlüsselvariablen.

Neben diesen allgemeinen Zielbereichen wurden bei der Veranstaltungskonzeption auch Schwierigkeiten aufgegriffen, die in der bisherigen physikdidaktischen Lehre an der Universität Paderborn bei der Durchführung von Veranstaltungen und auch in individuellen Evaluationsgesprächen mit Studierenden beobachtet werden konnten und den Kompetenzerwerb erschweren. Zum ersten fiel den Studierenden die konkrete Anwendung digitaler Medien zur Darstellung physikalischer Konzepte teilweise sehr schwer, weil sie selbst nur wenig Erfahrung im Umgang in ihrer bisherigen Laufbahn gemacht haben (geringe Anwendungskompetenz). Dies bezieht sich sowohl auf fachspezifische digitale Werkzeuge als auch auf fachübergreifende Werkzeuge (z.B. Lernvideos, interaktive Tafeln) und korrespondiert mit dem bisher wenig systematischen Medieneinsatz während der Schullaufbahn der jetzigen Studierenden (Lorenz et al., 2017). Zum zweiten geben Studierende häufig an, die erworbenen Kenntnisse zu digitalen Medien nicht in konkrete unterrichtliche Lernsituationen einbetten zu können (geringe Unterrichtskompetenz). Zum dritten können sie fachdidaktische Vorteile von digitalen Werkzeugen zur Modellierung zwar wiedergeben, sind jedoch oft der Meinung, dass derartige virtuelle Modelle reale Phänomene „nicht wirklich“ abbilden können (geringes Modellverständnis). Bezüglich aller drei Schwierigkeitsbereiche übertragen sie meist ihre eigenen Erfahrungen auf ihre späteren Schüler_innen, in dem Sinne, dass diese die gleiche Überforderung erleben werden wie sie selbst. Es bestehen also Schwierigkeiten sowohl im Bereich des professionellen Wissens als auch im Bereich der Einstellungen und Orientierungen. Insbesondere die Selbstwirksamkeit, digitale Medien im Unterricht sinnvoll einsetzen zu können, blieb gering, was die Wahrscheinlichkeit einer späteren Verwendung im Unterricht verringert.

Vor dem Hintergrund dieser Ausgangslage wurden daher die folgenden Kompetenzerwartungen als Hauptziele für das Seminarkonzept festgelegt, die die Studierenden zu einem kreativen Umgang mit digitalen Werkzeugen im Unterricht befähigen sollen:

Nach Absolvieren des Seminars können die Studierenden ...

- ... komplexe reale Alltagsphänomene mit Hilfe geeigneter digitaler Werkzeuge modellieren und analysieren;
- ... begründen, welche digitalen Werkzeuge für die Modellierung und Analyse eines gegebenen Phänomens geeignet sind;
- ... ein Lern- bzw. Erklärvideo erstellen, das die Modellierung und Analyse eines gegebenen Phänomens für Schüler_innen nachvollziehbar darstellt;
- ... eine curricular valide Lernumgebung (NRW) zur Einbettung von mit digitalen Werkzeugen erstellten Modellierungen in der Schule entwickeln.

Im Seminar sollen dabei die spezifischen fachdidaktischen Vorteile digitaler Medien für einen kontextorientierten Unterricht und die Förderung von Kompetenzen im Bereich Erkenntnisgewinnung herausgestellt werden.

3 Didaktisch-methodische Verortung

3.1 Gestaltungsprinzipien

(Tondeur et al., 2012, S. 138f.) formulierten in einer Synthese qualitativer Forschungsarbeiten zwölf Leitlinien für eine gelingende Vorbereitung von angehenden Lehrkräften für die Integration von digitaler Technologie auf der Ebene konkreter Lehre und auf institutioneller Ebene. Da eine Umgestaltung institutioneller Rahmenbedingungen für eine Veranstaltung nur begrenzt möglich ist, orientierte sich die Entwicklung des Seminarkonzepts primär an den folgenden sieben Leitlinien auf Veranstaltungsebene:

1. aligning theory and practice,
2. using teacher educators as role models,
3. reflecting on attitudes about the role of technology in education,
4. learning technology by design,
5. collaborating with peers,
6. scaffolding authentic technology experiences,
7. moving from traditional assessment to continuous feedback.

Um diese Leitlinien im Rahmen eines klassischen universitären Seminarkurses umzusetzen, bietet sich als methodische Großform die Projektarbeit in Kleingruppen (5) an. Ein derartiges Projekt sollte die Erstellung von Materialien oder Konzepten für den Physikunterricht beinhalten, für die der Einsatz digitaler Werkzeuge notwendig ist (4). Projektarbeitsphasen sollten dabei – auch in Hinblick auf die geringen Vorerfahrungen der Studierenden – durch vorbereitende und reflektierende Elemente gerahmt werden. In vorbereitenden Phasen sollten die Studierenden den Umgang mit typischen digitalen Werkzeugen, angeleitet durch Dozierende (2), für den Physikunterricht selbst kennenlernen (6) und in reflektierenden Phasen ihre eigenen Erfahrungen und Haltungen (3) sowie Einsatzszenarien für die Nutzung digitaler Medien vor dem Hintergrund fachdidaktischer und lernpsychologischer Theorien reflektieren (1). Entsprechend diesem starken Fokus auf projektorientiertes Arbeiten muss daher auch eine Prüfungsform gewählt werden, die den Entwicklungsprozess der Projekte stärker berücksichtigt (7) (*constructive alignment*; vgl. Biggs (1996)).

Die Gestaltung der projektorientierten Arbeitsphasen des Seminarkonzepts wurde zudem an einigen Merkmalen der Projektmethode orientiert (Gudjons, 1986): *Situationsbezug* und *Lebensweltorientierung*, *Orientierung an den Interessen der Beteiligten*, *Selbstorganisation* und *-verantwortung*, *zielgerichtete Projektplanung* und *Produktorientierung*. Hier wurde sich bewusst auf ein eher schuldidaktisches Konzept bezogen, weil es den gegebenen Rahmenbedingungen eher entspricht als hochschuldidaktische Konzepte, die stark durch Theorien des Projektmanagements geprägt sind (z.B. Holzbaur, 2014). Als entsprechende Produkte fungieren auch hier durch Studierende erstellte Materialien und Konzepte für den Einsatz digitaler Werkzeuge im Physikunterricht. Entsprechend verändert sich auch die Rolle der Dozierenden in Projektphasen hin zu einer stärkeren Prozessbegleitung (B. Baumert, 2014).

3.2 Klassen digitaler Werkzeuge

Die Auswahl geschah zum ersten aufgrund ihrer Eignung, den physikalischen Erkenntnisprozess gemäß der Seminarziele zu unterstützen. Aus diesem Grund wurde bspw. der Umgang mit Augmented-Reality-Umgebungen nicht thematisiert. Zum zweiten wurden gerade diejenigen digitalen Werkzeuge ausgewählt, mit denen Studierende auch in ihrem weiteren Studium an der Universität Paderborn eher wenig Erfahrungen sammeln können. So erlernen die Studierenden den Umgang mit digitalen Messwerterfassungssystemen typischer Lehrmittelfirmen (z.B. CASSY, Cobra, Vernier) zum Teil in Experimentalpraktika oder in Veranstaltungen zum schulorientierten Experimentieren, so dass für dieses Seminar die Nutzung von Smartphonesensoren zur Messwerterfassung betont wird. Zum dritten wurde sich dafür entschieden, dass die Studierenden die Ergebnisse ihrer Arbeit in Form eines Lern- bzw. Erklärvideos dokumentieren sollen. Diese Entscheidung wurde zunächst einmal vor dem Hintergrund getroffen, dass derartige auf Onlinevideoplattformen verfügbare Videos von Schüler_innen zunehmend genutzt werden (Wolf & Kulgemeyer, 2016), jene meist allerdings keinen didaktischen Gestaltungsprinzipien folgen und teilweise fachliche Fehler enthalten, so dass eine nähere Thematisierung im Rahmen der Lehramtsausbildung sinnvoll erscheint. Weiterhin erfordern aber auch einige didaktisch-methodische Großformen wie der Flipped bzw. Inverted Classroom (Bishop Jacob Lowell & Verleger, 2013), dass Lehrkräfte auch über praktische Kompetenzen zur Videoerstellung und -konzeption verfügen. Der Erwerb dieser Kompetenzen sollte aber ebenfalls eingebettet in einen fachdidaktischen Kontext erfolgen, da die Struktur eines Lernvideos stark von der sachlogischen Struktur des Inhalts abhängt. Im Fall des Seminars ist dies der physikalische Modellierungsprozess. Das Lernvideo dient daher zugleich als Übungs- bzw. Anwendungsfeld, in dem die Studierenden den physikalischen Erkenntnisprozess anhand eines konkreten Beispiels für Schüler_innen strukturiert darstellen müssen. Die didaktische Struktur eines solchen Videos kann dabei als exemplarische Grundlage für die Gestaltung einer entsprechenden Unterrichtseinheit dienen. Eine direktere Umsetzung dieses Ziels wäre zwar durch eine Entwicklung und Umsetzung einer solchen Einheit bspw. in einem Lehr-Lern-Labor möglich, das allerdings sowohl organisatorisch als auch in einer passenden technischen Ausstattung nicht zur Verfügung stand.

Zur Umsetzung der oben beschriebenen Ziele des Seminars wurden – zusammengefasst – daher fünf Klassen digitaler Werkzeuge ausgewählt, mit denen Studierende im Seminar arbeiten sollen:

Digitale Videoanalyseprogramme: Hierbei handelt es sich um Software, mit deren Hilfe per Video aufgezeichnete Bewegungen von beliebigen Körpern analysiert werden können. Es existiert eine Vielzahl verfügbarer Programme, die aber alle nach demselben Funktionsprinzip arbeiten (Wilhelm, 2011). Zur Berechnung entsprechender physikalischer Kenngrößen (z.B. Geschwindigkeit, Beschleunigung, Bahnkurven) werden mit Hilfe des Videos Orts-Zeit-Koordinaten des bewegten Körpers bestimmt. Hierzu wird ein Koordinatensystem über die Einzelbilder des Videos gelegt und werden über die Lage der Pixel mit Hilfe eines Maßstabs „Ortsmesswerte“ erzeugt. Messwerte für Zeitpunkte können einfach aus der Abfolge der Bilder, also der Framerate des Videos bestimmt werden. Je nach Softwarelösung können diese Auswertungen sogar automatisch erfolgen. Digitale Videoanalyse eignet sich im engeren Sinne nur für Analysen im Bereich der Mechanik auf der Phänomenebene (siehe 2.1). Ein Vorteil für das Seminar besteht aber zusätzlich darin, dass Studierende des Studiengangs Lehramt an Haupt-, Real- und Gesamtschulen schon einmal während ihrer Experimentalpraktika mit digitaler Videoanalyse in Berührung gekommen sind.

Messwerterfassung durch Smartphonesensoren: In Smartphones sind je nach Modell eine große Anzahl verschiedener Sensoren zur Bestimmung verschiedenster physikalischer Größen verbaut (z.B. Temperatur, Luftdruck). Alle Smartphone enthalten aber zumindest Beschleunigungssensoren, die zur Bestimmung der Lage des Smartphones im Raum benötigt werden (z.B. um zu erkennen, ob Anwender_innen das Smartphone

waagrecht oder senkrecht halten). Mit Hilfe geeigneter Apps können die Messwerte dieser Sensoren ausgelesen werden. Das Smartphone kann daher als eine Art mobiles Experimentierlabor genutzt werden (Kuhn & Vogt, 2014). Bei Nutzung der Beschleunigungssensoren eignet sich das Smartphone auch primär als Werkzeug für Analysen im Bereich der Mechanik auf der Phänomenebene (siehe 2.1).

Simulationen: Unter Simulationen lassen sich eine Vielzahl von Programmen zusammenfassen, die genutzt werden, um physikalische Vorgänge digital abzubilden (z.B. Brell, Theysen, Schecker & Schumacher, 2006). Es existieren verschiedenste Formen; häufig sind allerdings Ausführungen, in denen Vorgänge in animierter Form in ihrer zeitlichen Entwicklung dargestellt werden (z.B. der schon beschriebene Kugelstoß). Für die Gestaltung von Unterricht zur Erkenntnisgewinnung eignen sich dabei Simulationen, die möglichst viele Interaktionsmöglichkeiten bieten, in denen also Parameter, Ausgangspositionen etc. durch Anwender_innen explizit verändert werden können. So könnten in einer Simulation zum Kugelstoßen bspw. der Wurfwinkel oder die Abwurfhöhe durch Schüler_innen bestimmt werden. Für das Seminar-konzept werden Programme benötigt, mit Hilfe derer eigene Simulationen (im Sinne eines Baukastensystems) erstellt werden können. Simulationen unterstützen im beschriebenen Modellverständnis (siehe 2.1) insbesondere Lehr-Lern-Prozesse, die sich auf die Modellebene beziehen.

Grafische Modellbildungssysteme: Hierbei handelt es sich um Software, die komplexe quantitative Modellierungen und damit Vorhersagen ermöglicht (Schecker, 1998). Zur Modellbildung müssen verschiedene physikalische Größen und ihre Wechselwirkungen untereinander betrachtet werden. Dies wird in einem Modellbildungssystem grafisch unterstützt, indem Variablen und ihre Zusammenhänge mit Hilfe geometrischer Symbole und Pfeile dargestellt werden können. In Abbildung 2 ist eine typische Programmoberfläche dargestellt, die die Modellierung von zwei Fallschirmsprüngen mit unterschiedlicher Schirmgröße zeigt. Physikalische Größen, die veränderliche Zustände annehmen, wie z.B. die Geschwindigkeit oder Höhe eines Objekts, werden hier (Abb. 2) als Rechtecke dargestellt und Konstanten (z.B. Masse, Schirmdurchmesser) als Kreise. Die Kreise ab Pfeilen symbolisieren Änderungsraten der Zustandsgrößen. Der Zusammenhang aller Variablen wird durch Pfeile hergestellt. Das Modellbildungssystem „interpretiert“ diese grafische Struktur als Differentialgleichungssystem und löst dieses numerisch. Die aus dem Modell vorhergesagte Entwicklung der Zustandsgrößen wird anschließend als Diagramme dargestellt (Abb. 2).

Anwender_innen entwerfen dabei ein entsprechendes Modell, und die Software berechnet anschließend die den Zusammenhängen zu Grunde liegenden Differentialgleichungen. Die Ergebnisse der Modellierung werden meist nur in quantitativer Form ausgegeben (Tabellen, Diagramme). Grafische Modellbildungssysteme erfordern ein hohes physikalisches Vorwissen, da vor der Modellbildung Variablen und Zusammenhänge zwischen ihnen zumindest grob bekannt sein müssen. Sie sind allerdings auch sehr „mächtig“, da mit ihnen Modelle erstellt werden können, die Phänomene sehr genau abbilden. Im Modellverständnis physikalischer Erkenntnisprozesse (siehe 2.1) lassen sie sich natürlich auf der Modellebene verorten.

Lern- und Erklärvideos: Lernvideos, in denen physikalische Begriffe erklärt werden, haben eine zunehmend hohe Bedeutung und werden von Schüler_innen mittlerweile häufig genutzt (Wolf & Kulgemeyer, 2016). Die meisten derartigen Videos sind über Online-Plattformen wie Youtube oder Vimeo zugänglich, auf die jede_r Anwender_in selbstständig Beiträge einstellen kann. Mit dem Konzept des *Flipped* oder *Inverted Classroom* liegen zudem Erfahrungen mit einem hochschuldidaktischen Konzept vor, das einen hohen Einsatz von Lernvideos in Selbstlernphasen vorsieht (Bishop Jacob Lowell & Verleger, 2013) und zu dem mittlerweile auch Modellversuche zur Übertragung in die Schule existieren (URL: flipyourclass.christian-spannagel.de/). Dies macht es erforderlich, dass angehende Lehrkräfte auch selbst in die Lage versetzt werden, an ihre Lerngruppen angepasste Videos zu erstellen. Damit ein Lernvideo eine hohe Erklärqualität aufweist, sind neben formalen und mediengestalterischen

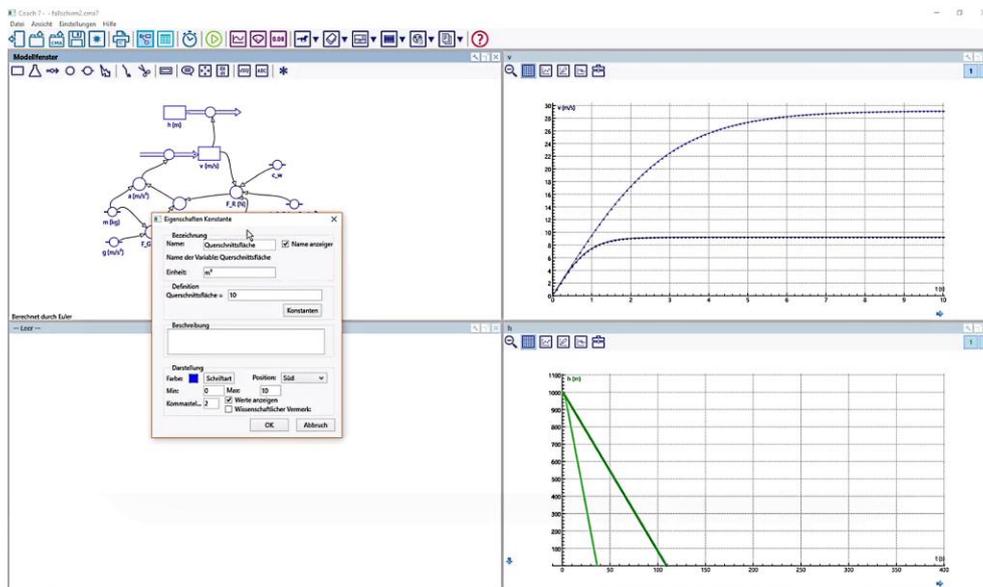


Abbildung 2: Beispiel für ein grafisches Modellbildungssystem – Coach 7

Merkmale auch fachdidaktische Eigenschaften entscheidend (z.B. Umgang mit Analogien, Ansprechen typischer Schülervorstellungen) (Kulgemeyer & Peters, 2016). Lern- und Erklärvideos an sich sind kein Werkzeug zur Unterstützung des physikalischen Modellierungsprozesses (siehe 2.1). Wohl aber können Analysen und Modellierungen mit ihrer Hilfe dokumentiert und für verschiedene Adressaten aufbereitet werden.

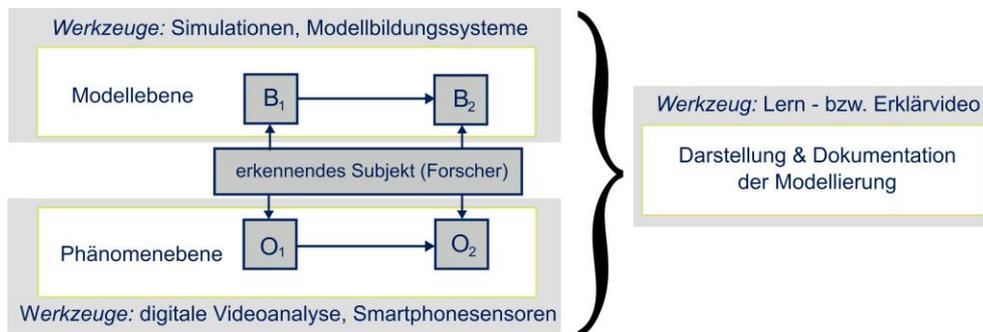


Abbildung 3: Einordnung der gewählten Werkzeugklassen nach Funktion im Seminarverlauf (vgl. Abb. 1)

Alle gewählten digitalen Werkzeugklassen sind bezogen auf ihre Funktion für das Modellieren bzw. für die Darstellung und Dokumentation dieses Prozesses in einer Übersicht in Abbildung 3 noch einmal dargestellt. Im Seminar sollen die Studierenden den Umgang mit ihnen trainieren (Leitlinie: *scaffolding authentic technology experiences*) und selbst Anwendungs- und Lernszenarien für den Unterricht entwerfen (Leitlinie: *learning technology by design*). Dabei kommt es primär darauf an, dass die Funktionsweise der einzelnen Werkzeugklassen deutlich wird, und nicht darauf, dass die Arbeit mit einer speziellen Softwarelösung trainiert wird. Ist das zu Grunde liegende Prinzip bekannt und können die Studierenden diese Werkzeugklassen fachdidaktisch reflektiert in eine sachlogische Lernstruktur einbetten, können konkrete Programme oder Apps flexibel angepasst an die technischen Rahmenbedingungen verschiedener Schulen gewählt werden. Im Seminar werden die Funktionsprinzipien der Werkzeugklassen daher gemäß dem Prinzip exemplarischen Lernens eingeführt.

4 Durchführung

4.1 Struktur des Seminars

Das Seminarkonzept folgt einer *dreiphasigen Struktur*. In der ersten Phase erhalten die Studierenden in jeweils eigenen Seminarsitzungen durch die Dozierenden anhand eines konkreten Programms eine zentrale Einführung in die Funktionsweise eines der gewählten digitalen Werkzeuge. Ihre Anwendung wird anschließend jeweils in demselben physikalischen Kontext geübt, damit es nicht nötig ist, neben den Werkzeugen auch zusätzlich den fachlichen Hintergrund zu wechseln. Dies soll es den Studierenden erleichtern, sich in der ersten Phase primär auf die Funktion der digitalen Werkzeuge zu konzentrieren. Die Erarbeitungen bzw. Übungen werden jeweils von einer Reflexion der unterrichtlichen Einsatzmöglichkeiten und eigener Erfahrungen im Umgang mit diesen digitalen Medien in der eigenen Schulzeit bzw. im bisherigen Studium abgeschlossen. Als fachdidaktischer Rahmen dient der Prozess des physikalischen Modellierens nach Hertz (siehe 2.1), in den die einzelnen Werkzeuge explizit eingeordnet werden. Die erste Phase des Seminars wird mit einer Einheit abgeschlossen, in der lernpsychologische Theorien zur Beschreibung von Lernwirkungen digitaler Medien (z.B. Mayer und Moreno (2003); Lowe und Schnotz (2008); zur Übersicht bspw. Horz (2009)) diskutiert und diese zur Analyse der kennengelernten digitalen Werkzeuge verwendet werden.

Die nachfolgende *zweite Phase* bildet den Kern des Seminars. In dieser erhalten die Studierenden den Auftrag, in Kleingruppen (zwei bis drei Personen) ein Alltagsphänomen mit Hilfe der eingeführten digitalen Werkzeuge zu analysieren und zu modellieren. Die Ergebnisse ihrer Arbeiten sollen sie anschließend in Form eines Lern- bzw. Erklärvideos für die Zielgruppe von Schüler_innen in zehnten Klassen (angepasst an die Schulform ihres jeweiligen Lehramtsstudiengangs) dokumentieren. Als zentrale Vorgabe muss der gesamte Modellierungszyklus durchlaufen werden. Es muss also ein Phänomen genau analysiert, ein Modell entwickelt und die Passung des Modells anhand von Beobachtungen überprüft werden. Zusätzlich soll gemäß des Standardbereichs Erkenntnisgewinnung (KMK, 2004b) die besondere Stärke von Modellen zur Vorhersage bzw. zur Lösung von Problemen herausgestellt werden. Es handelt sich daher in allen Fällen um quantitative Modelle. Diese Phase entspricht einer klassischen Projektarbeit, in der die Studierenden selbstständig die zur Analyse und Modellierung ihres gewählten Phänomens geeigneten Werkzeuge auswählen und jene anschließend durchführen. Die Erstellung der Videos erfolgt ebenfalls in den Projektgruppen, wobei die Studierenden sämtliche Aufnahmen (Realvideos, Bildschirmaufnahmen) und den anschließenden Schnitt selbstständig vornehmen. Da es sich um eine relativ komplexe Aufgabe bei vermutlich geringen Vorerfahrungen mit digitalen Werkzeugen handelt, erfolgt die Projektphase in strukturierter Form. Zum einen erstellen die Studierenden an verschiedenen Stellen des Projekts Zwischenpräsentationen (Ergebnis der Modellierung, Vorstellung eines Storyboards für ihr Lernvideo, Zwischenversion des Lernvideos). Zum anderen haben die Projektgruppen wöchentliche Feedbacktreffen mit den Dozierenden. Zusätzlich werden Materialien (z.B. Videotutorials, strukturierte Anleitungen) bereitgestellt, die es ermöglichen sollen, sich selbstständig den Umgang mit einer einfachen Videoschnittsoftware zu erarbeiten. Die Erstellung dieser Materialien erfolgt durch eine studentische eTutorin (URL: go.upb.de/etutoren), die die Studierenden ebenfalls über die zentrale digitale Lernplattform der Universität in den Phasen der Videoerstellung unterstützt sowie für Feedback und Beratungen während der Präsenztermine bereitsteht. Die Projektphase endet mit einer Abschlusspräsentation der erstellten Lernvideos.

In der *dritten und letzten Phase* des Seminars erhalten die Projektgruppen die Aufgabe, eine Lehr-Lern-Umgebung, in der ihre Ergebnisse (Analyse, Modellierung, Lernvideo) in einen unterrichtlichen Rahmen eingebettet werden sollen, zu entwickeln. Diese wird in Form von Plakaten präsentiert und gemeinsam reflektiert. Da Studierende – je nach Verortung im Studiengang – meist über wenig Erfahrungen bzw.

Vorwissen zur Unterrichtsplanung verfügen, nimmt diese Phase den geringeren Umfang im Seminarablauf ein. Es soll eher ein reflektierter Einblick in die Möglichkeiten, digitale Werkzeuge in den Physikunterricht zu implementieren, ermöglicht werden. Die erstellten Produkte (Lernvideo, Lehr-Lern-Umgebung) bilden die Grundlage für die Leistungsbewertung.

4.2 Konkrete Umsetzung

Das Seminar wurde an der Universität Paderborn bisher zweimal – im Wintersemester 2016/2017 und im Sommersemester 2017 – durchgeführt. Beide Durchgänge wurden im Sinne der ersten Zyklen fachdidaktischer Entwicklungsforschung durchgeführt (Prediger & Link, 2012), wobei das Seminarkonzept nach Evaluation des ersten Durchgangs modifiziert wurde. Die folgende Darstellung beschreibt daher eine konkrete Umsetzung des Konzepts nach aktuellstem Stand.

Es wurde als Vertiefungsseminar (ca. 15 Wochen, 2 SWS) in den fachdidaktischen Modulen der Bachelorstudiengänge für das Lehramt an Gymnasien und Gesamtschulen, an Berufskollegs und an Haupt-, Real- und Gesamtschulen mit dem Fach Physik angeboten. Je nach Studiengang war es ein Pflicht- oder Wahlpflichtseminar, das in der Regel im vierten oder fünften Semester belegt wird. Eine Übersicht über den Seminarablauf ist in Tabelle 1 dargestellt.

Bei der Auswahl der konkreten digitalen Werkzeuge bzw. Programme für die Umsetzung wurden sowohl die technischen Ausstattungen vor Ort als auch des zukünftigen Tätigkeitsfelds Schule und für die private Nutzung der Studierenden berücksichtigt. Bspw. standen an der Universität windowsbasierte Laptop-Tablet-Kombinationen zur Verfügung, und die meisten Studierenden verfügen auch selbst über Endgeräte mit Windows als Betriebssystem. Die verwendeten Werkzeuge sollten daher auf diesem System lauffähig sein. Zugleich sollten sie möglichst frei und kostenlos zugänglich sein, über einen ausreichenden Funktionsumfang zur freien quantitativen Modellierung verfügen und stabil lauffähig sein. In der bisherigen Umsetzung konnten leider nicht alle Kriterien gleichzeitig realisiert werden. Die verwendeten exemplarischen Werkzeuge sind in Tabelle 2 dargestellt.

Die kommerziellen Lösungen Yenka und Coach 7 wurden vor allem aus Gründen der stabilen Lauffähigkeit auf den verwendeten Rechnersystemen gewählt, die bei den freien Alternativen in der Vorbereitung nicht gewährleistet war. Da aber gerade in diesem Bereich ständig Weiterentwicklungen stattfinden, sollte vor jedem Durchführungszyklus erneut geprüft werden, ob geeignete Alternativen vorliegen. Die kostenpflichtigen Programme wurden den Studierenden für die Projektarbeit zur Verfügung gestellt, ebenso wie eventuell notwendige Experimentiermaterialien und Digitalkameras zur Videoaufnahme.

Zu Beginn des Seminars werden mit den Studierenden zwei verschiedene, auf der Videoplattform Youtube frei zugängliche Erklärvideos zum gleichen physikalischen Inhalt (in diesem Fall: Zentripetalkraft) analysiert (The Simple Physics: <https://www.youtube.com/watch?v=DEEnxr2MZdE>; PhysikLeichtErklärt: <https://www.youtube.com/watch?v=k0eJLEXLZJs>). Als Analyse Kriterien dienen Kategorien der Erklärqualität (angelehnt an Kulgemeyer & Peters, 2016, siehe das Arbeitsblatt im digitalen Supplement). Der physikalische Inhalt kann variiert werden, da es primär darum geht, die Erklärstruktur der Videos zu analysieren und zu beurteilen. Die so erarbeiteten Kriterien dienen in der Projektphase des Seminars zugleich als „Standards“, die die Studierenden zur Reflexion ihrer eigenen erstellten Videos nutzen sollen.

Tabelle 1: Übersicht: Umsetzung MORPH – Sommersemester 2017

Einheit	Phase	Inhalte	Form	Erläuterungen
1	1: Einführung in digitale Werkzeuge	Vorbesprechung & Lernvideos	Präsenz	Evaluationsbefragung (Prä), Analyse der Erklärqualität von Lernvideos, HA: Vorbereitung digitale Videoanalyse
2		Digitale Videoanalyse & Messwertfassung mit Smartphones	Präsenz	Beispielübungen am Kontext
3		Simulationen	Präsenz	Beispielübungen am Kontext, HA: Themenwahl für das eigene Projekt
4		Modellbildungssysteme	Präsenz	Beispielübungen am Kontext, HA: Themenwahl für das eigene Projekt
5	2: Erstellung der Modellierungen	Lernen mit digitalen Medien, Reflexion	Präsenz	Theoretische Einführung Multimedialernen, Reflexion eigener Lernerfahrungen mit digitalen Medien
6		Lernvideos & Projektphase: Storyboard	Präsenz	Präsentation der Storyboards, Feedback durch Kommiliton_innen/Studierende
7		Projektphase: Modellieren	Arbeitsphase	Freie Projektarbeit
8		Projektphase: Zwischenpräsentation Modellierung	Präsenz	Präsentation & Reflexion der erstellten Modellierungen, Begründung der Werkzeugwahl, Feedback durch Kommiliton_innen/Studierende, HA: feinerer Storyboardentwurf für das eigene Video
9		Projektphase: Videoarbeit	Arbeitsphase	Arbeitsphase, Betreuertermin zur Beratung & Storyboardabnahme
10		Projektphase: Videoarbeit	Arbeitsphase	Betreuertermin zur Beratung
11		Zwischenpräsentation: Lernvideos	Präsenz	Präsentation der bis dahin erstellten Videos, Feedback durch Kommiliton_innen/Studierende
12		Projektphase: Videoarbeit	Arbeitsphase	Betreuertermin zur Beratung
13	3: Erstellung der Lehr-Lern-Umgebungen	Endpräsentation: Lernvideos	Präsenz	„Filmfestival“ mit externen Gästen zur Präsentation der Ergebnisse (Würdigung)
14		Unterrichtsplanung mit digitalen Medien	Präsenz	Übung zur Unterrichtsplanung
15		Präsentation: Unterrichtsplanung & Nachbesprechung	Präsenz	Präsentation der geplanten Lernumgebungen (Plakat), Feedback durch Kommiliton_innen/Studierende, Evaluationsbefragung (Post)

Tabelle 2: Verwendete digitale Werkzeuge in der Umsetzung – Sommersemester 2017

Klasse	Software/App System	Verfügbarkeit	Quelle
Digitale Videoanalyse	Viana.NET	Win, iOS	frei viananet.de
Messwerterfassung per Smartphone	phyphox	Android, iOS (Browser zum externen Auslesen)	frei phyphox.org
Umgebung zur Erstellung eigener Simulationen	Yenka Physik	Win, Mac OS	kommerziell yenka.com
Grafische Modellbildung	Coach 7	Win, Mac OS, Linux	kommerziell cma-science.nl/coach-7-en
Videoaufnahme und -bearbeitung	Shotcut, OBS-Studio	Win, Mac OS, Linux	frei shotcut.org , obsproject.com
Tonaufnahme und -bearbeitung	Audacity	Win, Mac OS, Linux	frei audacity.de

Als gemeinsamer Kontext, anhand dessen die Studierenden in der ersten Veranstaltungsphase in die weitere verwendete Software eingeführt wurden und den Umgang mit ihr üben sollten, wurde die Fahrt eines aufziehbaren, etwa handtellergroßen Spielzeugautos gewählt. Dies geschah aus pragmatischen Gründen deshalb, weil es zum ersten ein einfach zugängliches Alltagsbeispiel darstellt, dieses zum zweiten einfach verfügbar und reproduzierbar ist und sich alle digitalen Werkzeugklassen zur Modellierung und Analyse des Phänomens nutzen lassen. Als exemplarisches Beispiel ist die Aufgabenstellung für die Übungsphase der Seminarsitzung zur digitalen Videoanalyse in Abbildung [Abbildung 4](#) dargestellt.

Videoanalyse

Analysieren Sie die Bewegung eines aufziehbaren Spielzeugautos mit Hilfe von VIANA.net (Video im Ordner: Videoanalyse -> Hausaufgabe). Beantworten Sie auf Basis Ihrer Analyse die folgenden Fragen:

- Welche Maximalgeschwindigkeit erreicht das Auto?
- Wie „stark“ wird das Auto beschleunigt?
- Handelt es sich um eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung?

Abbildung 4: Beispielaufgabe zur Anwendung der digitalen Videoanalyse

Die Fahrt des gleichen Spielzeugautos wird in der nachfolgenden Sitzung ebenfalls verwendet, um in die Nutzung von Smartphonesensoren einzuführen, wobei hierbei auch zugleich die Grenzen ihrer Sensorik thematisiert werden. Anschließend werden in zwei weiteren Sitzungen jeweils eine Simulation der Fahrt mit Hilfe von Yenka erstellt sowie diese auch quantitativ in Coach 7 modelliert. Die in den ersten beiden Sitzungen gewonnenen Daten dienen dabei zugleich der Prüfung der erstellten Modellierungen bzw. der Anpassung ihrer Initialisierungsparameter. Die Wahl der in der Projektphase zu analysierenden Phänomene konnte durch die Studierenden erfolgen; die meisten

wählten allerdings ein Thema aus einer Vorgabeliste (Beispiele siehe Tab. 3). Dies geschah auch deshalb, weil geeignete, in der kurzen Zeit bearbeitbare Phänomene gewisse Anforderungen erfüllen sollten (siehe 4.3).

Die Projektphase wurde in der Umsetzung stark an der Anforderung der Videoerstellung orientiert, da sich herausgestellt hat, dass dies den Studierenden die größten Schwierigkeiten bereitet. So wurden von den Studierenden schon früh im Prozess ein Videogrobentwurf und ein Storyboardentwurf für das Video ihrer Projektgruppe eingefordert. Dies soll dazu führen, dass die später folgende Modellierung zielgerichteter bzw. frageorientierter erfolgt, da sich die Studierenden vor der eigentlichen Modellierung mehr Gedanken dazu machen, welche für Schüler_innen interessanten und relevanten Fragestellungen mit dem zu entwickelnden Modell bearbeitet werden können (siehe auch 4.3). Dabei wurde den Studierenden vorgegeben, dass ihr Video ein fachmethodisches Lernziel anstreben soll, weshalb auch eine kurze Beschreibung der verwendeten Software im Video erfolgen sollte. Dieser Storyboardentwurf diente als Leitfaden während der gesamten Projektphase und konnte im Verlauf natürlich immer wieder modifiziert werden. Zugleich strukturierte er die Aufnahmarbeiten für die Studierenden vor, so dass der Zeitaufwand besser abgeschätzt werden konnte. Die Projektphase an sich ist durch Zwischenpräsentationen, die Präsenz im Seminar erfordern, und selbständige Arbeitsphasen gegliedert, die keine Präsenz erfordern. Allerdings mussten alle Projektgruppen einen wöchentlichen Feedback- und Beratungstermin (im Sinne eines Updates) mit einer bzw. einem Dozierenden wahrnehmen. Diese dienten auch dazu, den Arbeitsfortschritt der Studierenden zu überblicken und sie bei Schwierigkeiten schnell unterstützen zu können. Zugleich wurde die Veranstaltung durch eine studentische eTutorin unterstützt (URL: go.upb.de/etutoren), die zusätzliche Lernmaterialien zum Videoschnitt erstellte und generell auch für Beratungen zur Verfügung stand. Die Projektphase endete mit der Präsentation der erstellten Videos in Form eines „Filmfestivals“ mit Sektempfang, zu dem im Vorfeld auch weitere interessierte Studierende und Dozierende aus dem Bereich der Physikdidaktik eingeladen wurden. Dies geschah auch deshalb, um die umfangreichen studentischen Arbeiten angemessen zu würdigen und die Wertschätzung zu erhöhen.

Die abschließende Phase zur Entwicklung einer schulischen Lehr-Lern-Umgebung nahm weniger Raum in Anspruch. Ein Grund hierfür liegt darin, dass die Studierenden nur wenig Vorkenntnisse zur Unterrichtsplanung im Fach Physik aufweisen, da entsprechende Veranstaltungen erst später im Studienverlauf zur Vorbereitung des Praxissemesters in den Lehramtsmasterstudiengängen verankert sind. Im Seminar selbst gab es daher eine kurze Einführung in die Planung mit digitalen Medien und eine relativ strikte Planungsstrukturvorgabe, wie eine mögliche Umsetzung der Arbeitsergebnisse der Projektgruppen im Unterricht geplant werden sollte. Dabei bearbeiteten die Studierenden in der Seminarsitzung einige Planungsleitfragen (siehe auszugsweise Abb. 5), die gemeinsam diskutiert und besprochen wurden, und erstellten als Hausaufgabe anschließend einen Unterrichtsverlauf.

Ziel war es dabei, Studierenden erste Überlegungen zur konkreten Einbettung digitaler Werkzeuge in den Unterricht zu ermöglichen. Die erstellten Lehr-Lern-Umgebungen waren daher auch nicht Bestandteil der Prüfungsanforderungen. Gemäß der in der Prüfungsordnung vorhergesehenen Prüfungsformen musste für das Seminar eine aktive qualifizierte Teilnahme nachgewiesen werden, die nicht benotet wurde. Dies wiesen die Studierenden durch das Vorlegen und die Präsentation des zu erstellenden Lernvideos nach.

4.3 Welche Phänomene eignen sich zur Modellierung?

Eine wesentliche Schlüsselstelle zur erfolgreichen Umsetzung des Seminarkonzepts ist die Wahl der Alltagsphänomene, die durch die Studierenden analysiert, modelliert und in einem Lernvideo dokumentiert werden sollen. Sie müssen einen Lebensweltbezug für Schüler_innen aufweisen, experimentell untersucht werden können, auf Grundlage

Aufgabe

Arbeiten Sie in Ihren Projektgruppen.

Planen Sie eine Umsetzung bzw. Einbettung ihres Projekts in schulischen Physikunterricht. Bearbeiten Sie dazu zunächst die folgenden Teilaufgaben.

- a) Beschreiben Sie, über welches Vorwissen & welche Fähigkeiten Schülerinnen Schüler als Voraussetzungen verfügen müssen, um Ihr Projekt zu „bearbeiten“.
- b) Was sollen die Schülerinnen und Schüler bei der Bearbeitung Ihres Projekts genau lernen? Formulieren Sie zwei bis drei konkrete Lernziele.
- c) Formulieren Sie einen ersten kurzen Sicherungstext, der die wesentlichen Erkenntnisse für die Schülerinnen und Schüler zusammenfasst.

Abbildung 5: Exemplarische Leitfragen zur Unterrichtsplanung

Tabelle 3: Beispiele für analysierte/modellierte Phänomene und leitende Fragestellungen der bisherigen Umsetzungen

Phänomen	Fragestellung	Verwendete Werkzeuge
Fallschirmsprung	Wie groß muss ein Fallschirm sein, damit ein durchschnittlicher Mensch ($m=75$ kg) bei einem Absprung aus 1.000 Meter Höhe sicher auf dem Boden landet?	VIANA.Net, Coach 7
Kugelstoßen	Ist es fair, dass Schüler_innen unterschiedlicher Körpergröße bei Bundesjugendspielen im Kugelstoßen mit dem gleichen Bewertungsmaßstab beurteilt werden?	VIANA.Net, Yenka
Spielplatzrutschen	Wie steil darf eine Rutsche auf dem Spielplatz maximal sein, damit ein Kind sich auch bei nassem Wetter (glatte Rutsche) nicht beim Rutschen verletzt?	VIANA.Net, Yenka
Flug von Nerfgun-Pfeilen	Wie sehr weicht die Flugbahn eines Nerfgun-Pfeils mit Luftreibung ab von der idealisierten Flugbahn des waagerechten Wurfs?	VIANA.Net, Coach 7
Wasserbälle im Schwimmbad	Wie tief muss man einen luftgefüllten Wasserball unter die Wasseroberfläche drücken, damit er möglichst weit aus dem Wasser „schießt“?	VIANA.Net, Coach 7
Billardspiel	Fällt beim Poolbillard die weiße Kugel in eine Tasche, darf ein_e Spieler_in sie auf einer gedachten waagerechten Linie platzieren und von dort weiterspielen. Was ist die für einen Sieg günstigste Position, wenn die schwarze Kugel „schräg“ vor einer Ecktasche liegt?	VIANA.Net, Yenka
...

von Vorwissen auf Niveau der Schulphysik mit digitalen Werkzeugen grundsätzlich bearbeitbar sein, und zugleich muss die Erstellung eines komplexen Modells einen konkreten Mehrwert bieten (vgl. [Schecker, Klieme, Niedderer, Ebach & Gerdes, 1999](#)). Die Modellbildung muss daher zur Lösung eines konkreten Problems bzw. zur Beantwortung einer konkreten Fragestellung erfolgen, die (mit den für Schüler_innen vorliegenden Mitteln) nur mit Hilfe digitaler Werkzeuge sinnvoll bearbeitet werden können. Diese Fragestellungen sind der zentrale Anker, der sowohl die Analyse und Modellierung des Phänomens als auch die Erstellung der Lernvideos leitet. In Tabelle 3 sind in den bisherigen Durchläufen bearbeitete Phänomene und Fragestellungen beschrieben.

Die Umsetzung einer solchen Fragestellung in einem studentischen Projekt soll an einem Beispiel näher erläutert werden: Eine Studierendengruppe wollte sich im Rahmen ihres Projekts mit der genaueren Untersuchung des Fallschirmsprungs auseinandersetzen; dabei handelt es sich um ein klassisches Modellierungsbeispiel, das auch in Schulbüchern thematisiert wird. Hierzu konstruierten sie einen kleinen Fallschirm, zeichneten seinen Fall in einem Treppenhaus der Universität auf und ermittelten mit Hilfe digitaler Videoanalyse die Endgeschwindigkeit des fallenden Schirms. Anschließend erstellten sie ein Modell in der grafischen Modellbildungssoftware und prüften, ob es mit den Parametern des Fallschirms (Durchmesser, angehängte Masse) die per Videoanalyse bestimmte Endgeschwindigkeit „vorhersagt“. Im Prinzip wurde hierbei der komplette Weg physikalischer Erkenntnisgewinnung durchlaufen; das Modell wurde aber nicht zur Beantwortung einer konkreten Fragestellung genutzt. Die Studierenden wählten bzgl. des Fallschirms nun die Frage: „Wie groß muss ein Fallschirm sein, damit ein durchschnittlicher Mensch ($m = 75 \text{ kg}$) bei einem Absprung aus 1.000 Meter Höhe sicher auf dem Boden landet?“ Dies ist ein Beispiel für eine sinnvolle Frage, die mit Hilfe eines quantitativen Modells beantwortet werden kann. Hierfür muss nur der Durchmesser des Fallschirms im Modell variiert werden, bis sich eine „ungefährliche“ Endgeschwindigkeit ergibt (recherchierbar z.B. bei Wikipedia). Zugleich ist die Frage auch ohne ein digitales Modell, aber zumindest mit physikalischem Vorwissen auf schulischem Niveau nicht lösbar bzw. kann experimentell nicht bestimmt werden (schließlich können nicht beliebig viele Menschen mit variierenden Fallschirmgrößen aus 1.000 Meter Höhe abspringen). Diese Fragestellung war dann auch das Thema des erstellten Lernvideos und wurde in diesem mit Hilfe der Modellierung beantwortet. Schüler_innen, die dieses Video betrachten, erhalten daher einen vollständigen Einblick in die physikalische bzw. die ingenieurwissenschaftliche Arbeitsweise.

Anhand dieses Beispiels wird deutlich, dass solchen konkreten Fragestellungen eine zentrale Bedeutung für die gesamte Projektarbeit zukommt. Die Entwicklung dieser Fragen fiel bzw. fällt den meisten Studierenden sehr schwer, weshalb in der Umsetzung des Seminars relativ viel Zeit auf die Entwicklung bzw. „Durchdringung“ von Fragestellungen zu den gewählten Phänomenen verwandt wurde. Dies scheint eine typische Schwierigkeit von Kurskonzepten zu sein, in denen Studierende Videos erstellen ([Coates, Kuhai, Turlej, Rivlin & McKemmish, 2018](#)). Ein Grund hierfür könnte sein, dass die Kompetenz, physikalische Fragestellungen zu formulieren, im Lehramtsstudium generell nur wenig adressiert wird und die Studierenden zu wenig Vorerfahrungen in diesem Bereich aufweisen. Dies gilt umso mehr, wenn physikalische Fragestellungen bezogen auf Alltagskontexte entwickelt werden sollen. Dies ist derjenige Aspekt in der Beratung der Projektgruppen, auf den Dozierende verstärkt achten sollten, eben weil eine „ungünstige“ Fragestellung den gesamten Arbeitsprozess negativ beeinflusst. Dies kann einerseits durch zielgerichtete, nach dem Prinzip der minimalen Hilfe gestaltete Impulse zur Aktivierung geschehen (zum Beispiel: „Welche Frage bzgl. eures Phänomens interessiert euch besonders? Kann diese Frage grundsätzlich mit experimentellen Mitteln untersucht werden? Lässt sich eure Frage so einschränken bzw. präzisieren, dass sie mit physikalischen Mitteln untersuchbar wird?“ etc.). Es hat sich in den bisherigen Durchführungen bewährt, Phänomene und passende Fragestellungen vorzubereiten, falls die Studierenden selbst keine geeigneten Vorschläge machen können.

Bei der Bearbeitung wurden von den Studierenden primär die digitale Videoanalyse mit VIANA.Net, erstellte Modelle mit Coach 7 und selbst erstellte Simulationen mit Yenka genutzt. Die Messwernerfassungen per Smartphone wurden nicht genutzt, primär, weil sie für die untersuchten Phänomene meist einen zu geringen Messbereich aufwiesen, um ausreichend genaue Daten zu erhalten. Die zur Analyse von Bewegungen nutzbaren Beschleunigungssensoren reagieren stärker auf kleine „Ruckler“ in der Bewegung von Objekten als auf die eigentlich interessierende Gesamtbeschleunigung. Für manche Phänomene (z.B. Fallschirmsprung) wäre zwar eine Messung auf andere Weise möglich gewesen (Luftdrucksensoren), aber die Studierenden entschieden sich primär für die Videoanalyse.

5 Evaluation & Erfahrungen

5.1 Formale Evaluation

Die bisherigen Durchführungen des Seminars wurden im Rahmen der Gesamtevaluation des Kollegs *Didaktik:digital* untersucht (Vogelsang, Laumann, Thyssen & Finger, 2018). Da es sich hierbei um einen Vergleich von Veranstaltungen zum Einsatz digitaler Medien im Unterricht verschiedener naturwissenschaftlicher Fächer mit unterschiedlichen Schwerpunkten handelt, wurden in einem Prä-Post-Design die Veränderungen in Überzeugungen und motivationalen Orientierungen erfasst, die in allen Veranstaltungen angestrebt wurden. Hierbei handelt es sich um die *Einstellung zu Lernen mit digitalen Medien, die intrinsische motivationale Orientierung zum Einsatz digitaler Medien im Unterricht, wahrgenommene constraints für den Medieneinsatz, Normerwartungen zum Medieneinsatz und Selbstwirksamkeitserwartungen zum Einsatz digitaler Medien im Unterricht*. Zusätzlich wurde der Umfang an Vorerfahrungen zum Lernen mit digitalen Werkzeugen erfragt. Die Erfassung erfolgte per Fragebogen mit vier-stufigen Likertskalen. Die Items sind so formuliert, dass sie naturwissenschaftsspezifische Nutzungsformen digitaler Werkzeuge adressieren. In der ersten Phase des Kollegs wurden deutschlandweit 446 Studierende der naturwissenschaftlichen Lehramtsfächer befragt. Eine Kurzübersicht über die verwendeten Skalen mit je einem Beispiel-Item ist in Tabelle 4 beschrieben (für weitere Informationen siehe (Thyssen, Finger, Laumann & Vogelsang, 2018)).

Nachfolgend werden aus diesem Gesamtkontext exemplarisch einige Ergebnisse der Evaluation der bisherigen Durchführungen des Seminars an der Universität Paderborn dargestellt. Insgesamt nahmen 14 Studierende aller Lehramtsstudiengänge mit Fach Physik an der Veranstaltung teil (Durchgang 1: 5; Durchgang 2: 9). Diese kleine Teilnehmerzahl ist durchaus typisch für Lehrveranstaltungen im Lehramtsstudium der Physik, da die Anfängerzahlen ebenfalls eher klein sind (Duechs & Ingold, 2016). Die Studierenden hatten insgesamt nur geringe Vorerfahrungen zum Lernen mit digitalen Medien (vgl. Abb. 6, Fragestellung: „Während meiner Schulzeit habe ich ...“, 1 = nie, 4 = sehr oft).

Insgesamt verfügen die teilnehmenden Studierenden aus ihrer eigenen Schulzeit primär über Erfahrungen im Umgang mit Standardsoftware wie Textverarbeitung oder Tabellenkalkulation. Insbesondere gaben viele Studierende an, während der Schulzeit nie digitale Werkzeuge zur Simulation oder Modellierung genutzt zu haben. Gerade zum Schwerpunkt des Seminarkonzepts lagen also so gut wie keine Primärlernerfahrungen aus Schülersicht vor; diese mussten im Seminarverlauf aufgebaut werden.

Tabelle 4: Skalenübersicht: Evaluation im Rahmen des Kollegs *Didaktik:digital*

Konstrukt	Beispiel-Item	Item-Anzahl	Konsistenz*	Formuliert nach**
Einstellung zum Lernen mit digitalen Medien	„Durch den Einsatz digitaler Medien können SchülerInnen besser zum Lernen motiviert werden.“	8	$\alpha=.82$	(Richter et al., 2001)
Motivation zum unterrichtlichen Einsatz	„Ich informiere mich auch in meiner Freizeit, welche Möglichkeiten es gibt, digitale Medien im Unterricht einzubinden.“	6	$\alpha=.83$	(Lang & Fries, 2006)
Normerwartungen	„SchülerInnen legen Wert auf den Einsatz digitaler Medien im Unterricht.“	3	$\alpha=.58$	(Hornung et al., 2017)
subjektive <i>constraints</i>	„Der hohe technische Aufwand verhindert oft, dass ich digitale Medien einplane.“	3	$\alpha=.68$	(Hornung et al., 2017)
Selbstwirksamkeitserwartung zum Einsatz	„Ich selbst kann digitale Medien sinnvoll einsetzen, um Feedback von meinen SchülerInnen zum Unterricht zu erhalten.“, „Ein Phänomen mit digitalen Medien zu modellieren, fällt mir nicht schwer.“	9	$\alpha=.77$	(Bleicher, 2004)
Vorerfahrungen (Schule, Studium)	„Während meiner Schulzeit bzw. in meinem Lehramtsstudium habe ich das Smartphone zur Durchführung von Experimenten genutzt.“	je 14	—	Eigenentwicklung

* Bezogen auf die Gesamtstichprobe der Evaluation (N=446, Stand: November 2017).

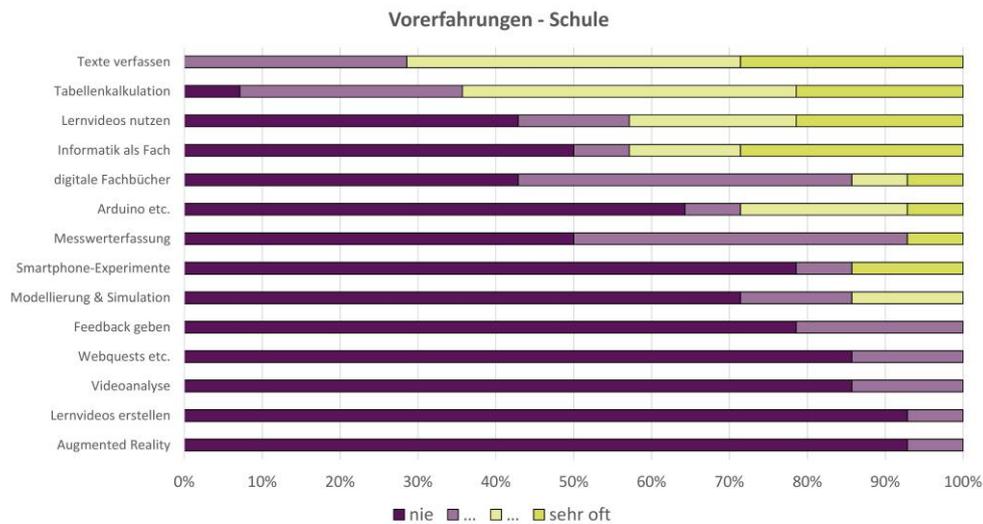


Abbildung 6: Vorerfahrungen zum Lernen mit digitalen Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht aus der Schulzeit

Die Studierenden an der Universität Paderborn berichten allerdings insgesamt signifikant größere Vorerfahrungen als vergleichbare Studierende anderer Hochschulen (bezogen auf die Gesamtstichprobe der Evaluation; $N = 446$, $d = 0.76$). Ebenso weisen sie eine signifikant positivere Einstellung zum Lernen mit digitalen Medien sowie eine höhere Motivation und Selbstwirksamkeitserwartung zu Veranstaltungsbeginn auf. Die Änderungen zwischen Prä- und Postbefragungszeitpunkt in den erfassten Variablen sind in Tabelle 5 beschrieben (1 = geringe Zustimmung; 4 = hohe Zustimmung). Dargestellt sind auch die Ergebnisse eines t-Tests mit verbundenen Stichproben zur Prüfung der Mittelwertsunterschiede. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist allerdings die geringe Zahl von $N = 11$ Studierenden zu beachten, die in die Berechnungen eingehen. Die Verteilung der Variablen (Prä und Post, Differenzwerte) weichen allerdings nicht signifikant von einer Normalverteilung ab (Kolmogorov-Smirnov-Test). Einzige Ausnahme bildet die motivationale Orientierung der Studierenden zu Beginn. Da der t-Test allerdings sehr robust gegen Voraussetzungsverletzungen ist (Rasch & Guiard, 2004), werden auch für diesen Bereich Ergebnisse berichtet.

Tabelle 5: Veränderung intentionaler Kompetenzfacetten durch das Seminar

	N1	vorher (M, SD)		nachher (M, SD)		t-Test		Effektstärke
Einstellung	11	2.82	0.54	3.31	0.40	$t=-4.94$	$p=0.00$	$d=0.62$
Motivation	11	2.83	0.65	2.89	0.98	$t=-0.31$	$p=0.77$	$d=0.07$
Selbstwirksamkeitserwartungen	11	2.57	0.48	2.90	0.70	$t=-2.18$	$p=0.05$	$d=0.55$
Constraints (negative Skala)	11	2.03	0.53	1.91	0.73	$t=0.00$	$p=0.66$	$d=-0.19$
Normerwartungen	11	2.90	0.32	2.90	0.98	$t=0.00$	$p=1.00$	$d=0.00$
1 Prä-Post-Dropout: 21,4% (3 von 14)								

Insgesamt konnten bei der formalen Evaluation bedeutsame Änderungen im Bereich der Einstellungen und der Selbstwirksamkeitserwartungen zum Einsatz digitaler Medien

im Unterricht festgestellt werden. In den übrigen Variablen fand praktisch keine Veränderung im Verlauf des Seminars statt. Bzgl. der Normerwartungen und der constraints wurde eine Änderung allerdings auch nicht erwartet, da die Studierenden keine Möglichkeit hatten, Erfahrungen mit Erwartungen von z.B. Schüler_innen zu machen bzw. wahrgenommene constraints zu verändern, indem sie bspw. technische Rahmenbedingungen von Schulen genauer kennenlernen konnten. Angestrebt wurde aber natürlich, auch die Motivation zur Verwendung digitaler Werkzeuge zu erhöhen, was aber ausweislich der Befragungsergebnisse nicht gelang. Ein Grund hierfür könnte darin liegen, dass die Studierenden die Projektphase insgesamt als sehr zeit- und arbeitsaufwendig empfanden, was sich mittelbar negativ auf die Motivation auswirkt, digitale Medien im späteren Unterricht zu verwenden. In diesem Sinne könnte durch die gewählte Seminarform eine Art „Abschreckungseffekt“ eintreten. Dagegen spricht allerdings, dass die Motivation auch nicht abnimmt. Zudem „starten“ die Studierenden mit einer vergleichsweise hohen motivationalen Orientierung. Berücksichtigt werden sollte bei dieser Interpretation allerdings auch, dass Ergebnisse formaler Evaluation bei der kleinen Zahl an Teilnehmenden auch stark verzerrt sein können. Für den Bereich der Selbstwirksamkeitserwartungen sind die Änderungen noch einmal deskriptiv itemweise aufgeschlüsselt in **Abbildung 7** dargestellt. Da die Standardabweichung der Einzel-Items zu beiden Messzeitpunkten ca. $SD = 0.9$ beträgt, wurde für eine bessere Lesbarkeit auf die Darstellung als Intervallbalken verzichtet.

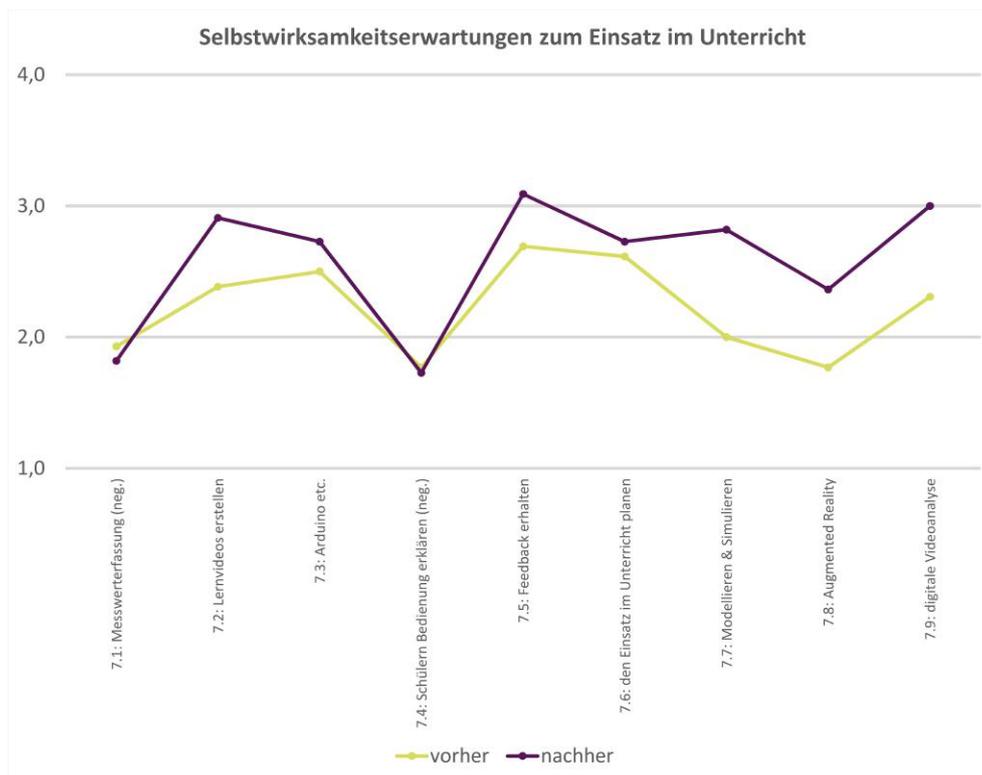


Abbildung 7: Veränderung der Selbstwirksamkeitserwartungen

Wie angestrebt, sind Steigerungen bei Items zu beobachten, die Klassen digitaler Werkzeuge adressieren, die im Seminar im Fokus standen (Lernvideos erstellen, Modellieren & Simulieren, digitale Videoanalyse). Die Selbstwirksamkeitserwartung bezogen auf das Planen von Unterricht zur Nutzung digitaler Medien verändert sich hingegen so gut wie nicht, was wahrscheinlich dem geringen zeitlichen Umfang, der hierfür in den Durchführungen eingeräumt wurde, geschuldet ist. Verwunderlich hingegen ist eine Zunahme im Bereich *Augmented-Reality*-Anwendungen, da diese im Seminar gar

nicht thematisiert wurden. Ein Grund hierfür könnte eine Art Übertragungseffekt in dem Sinne sein, dass die Studierenden ihre gesteigerte Selbstwirksamkeitserwartung im Bereich Modellieren & Simulieren sowie digitale Videoanalyse auf den Bereich *Augmented Reality* übertragen. Dagegen spricht allerdings, dass ein solcher Effekt in anderen nicht thematisierten Bereichen (z.B. Arduino) nicht auftritt.

5.2 Erfahrungsbericht

Die Ergebnisse der formalen Evaluation decken sich mit den subjektiven Eindrücken, die wir Dozierenden während der Durchführungen gewinnen konnten. Die Studierenden berichteten von einer selbst empfundenen Zunahme ihrer Fähigkeiten im Umgang mit den digitalen Werkzeugen, was auf eine erhöhte Selbstwirksamkeitserwartung hinweist. Dies war auch an den erstellten Produkten, insbesondere den Lernvideos erkennbar. Zwar war die Qualität der erstellten Videos auf formaler Ebene (Tonqualität, Grafiken etc.) unterschiedlich; die sachlogische Strukturierung und Umsetzung der Modellierungen und Analysen entsprach allerdings den erwarteten Standards (vgl. [Kulgemeyer & Peters, 2016](#)).

Wir konnten insbesondere im Verlauf der Projektarbeit verstärkt „Motivations-tiefs“ der Projektgruppen beobachten. Diese resultierten im Wesentlichen daraus, dass gerade die Erstellung der Videos als sehr zeit- und arbeitsaufwendig empfunden wurde. Dies korrespondiert auch mit den Angaben in der allgemeinen studentischen Veranstaltungskritik, in der die Studierenden im Vergleich zu vergleichbaren Veranstaltungen des Departments Physik einen überdurchschnittlichen Zeitaufwand zur Vor- und Nachbereitung angaben. Dieser lag allerdings immer noch im Rahmen des durch die Prüfungsordnung vorgesehenen Workload (60h Selbststudium; Präsidium der Universität Paderborn, 2017). Studierende, die gar keine Nutzungserfahrungen mit digitalen Werkzeugen zur Materialerstellung hatten (nicht nur Videoschnitt, sondern z.B. auch Bildbearbeitung), hatten besondere Schwierigkeiten, sich die notwendigen Techniken aus den bereitgestellten Hilfsmitteln eigenständig anzueignen. Hier wäre zu überlegen, ob gerade für diese Gruppe von Studierenden auch eine strukturierte Einführung in diese Werkzeuge in Form eines Workshops oder im Seminar selbst eine sinnvolle Hilfe sein könnte. Dies kollidiert allerdings mit der begrenzt zur Verfügung stehenden Zeit. Eine mögliche Lösung wäre eine gezielte Zusammenstellung der Projektgruppen, indem Studierende mit unterschiedlichen, sich ergänzenden Vorerfahrungen gemeinsam ein Projekt bearbeiten und voneinander auch beim Erwerb eigener Kompetenzen profitieren können.

Ein weiterer Grund für Motivationsschwierigkeiten lag auch darin, dass einige Projektgruppen Schwierigkeiten hatten, ihre Aufgabenverteilung „auszubalancieren“. Die Motivation zur Videoerstellung sank also im Verlauf des Seminars, und wir vermuten, dass Studierende diese Überforderungserfahrungen auch auf die weiteren digitalen Werkzeuge übertragen, was insgesamt zu einer geringen Motivation zur Verwendung im Unterricht führt. Bei der Modellierung der Alltagsphänomene traten Schwierigkeiten eigentlich nur bei der Nutzung grafischer Modellbildungssysteme auf. Den Teilnehmenden fiel es zunächst schwer, sich in die ungewohnte systemdynamische Darstellung von physikalischen Zusammenhängen „hineinzudenken“. Dies traf insbesondere auf Studierende zu, die über ein wenig flexibles Fachwissen verfügten. Die Projektgruppen, die ihr Phänomen mit Hilfe grafischer Modellbildung modellierten, erstellten allerdings sehr gute und zu den Beobachtungen passende Modelle. Von keiner Projektgruppe wurden hingegen Smartphonesensoren zur Messwerterfassung und damit zur Analyse der Passung erstellter Modelle genutzt. Dies geschah in allen Fällen mit Hilfe digitaler Videoanalyse. Der wesentliche Grund hierfür lag darin begründet, dass sich die Sensorik von Smartphones zur Untersuchung der von den Studierenden untersuchten Phänomene in den meisten Fällen als zu empfindlich erwiesen hat. Für eine vollständigere Betrachtung aller Aspekte physikalischer Erkenntnisgewinnung wäre es aber für den gesamten Kurs hilfreich gewesen, wenn zumindest eine Projektgruppe

Daten auch mit Hilfe von Sensoren gewonnen hätte.

Insgesamt wurden die im Seminar angestrebten Kompetenzen durch die Studierenden allerdings weitestgehend erworben, betrachtet man die Ergebnisse der Befragung, allerdings ohne zusätzlich die Motivation zur späteren Umsetzung im Unterricht zu erhöhen. In persönlichen Gesprächen mit etwas zeitlichem Abstand zur Veranstaltung gaben viele Studierende aber an, dass sie die Veranstaltung durchaus motiviert hat, sich weiter mit digitalen Werkzeugen für den Physikunterricht beschäftigen zu wollen. Dies zeigte sich auch darin, dass mehrere Teilnehmende im Anschluss an das Seminar Themen für ihre Bachelorarbeiten wählten, in denen digitale Medien eine zentrale Rolle spielen.

Auf methodischer Ebene als zielführend erwiesen haben sich die starke Strukturierung der Projektarbeitsphase und insbesondere der Einbezug einer studentischen eTutorin. Beide Maßnahmen in der jetzigen Form beruhen auf Erfahrungen aus dem ersten Durchführungszyklus, in dem sich eine zu offene Projektarbeitsphase als Schwierigkeit für die Studierenden herausgestellt hatte.

6 Fazit & Ausblick

Im Sinne eines Zwischenfazit nach zweimaliger Durchführung lässt sich festhalten, dass das Seminarkonzept in der jetzigen Form geeignet ist, den Erwerb von Kompetenzen zum physikdidaktischen Einsatz digitaler Werkzeuge zu unterstützen. Als Problem erweist sich allerdings die Erstellung von Lernvideos als Form der Dokumentation und Aufbereitung. Der hohe Zeitaufwand ist der wahrscheinlichste Grund, warum die Studierenden direkt nach dem Seminar weniger motiviert waren, die erlernten Kompetenzen auch in ihrer späteren Arbeit in der Schule zur Einbettung digitaler Medien zu nutzen. Dies reduziert den *Impact* der Veranstaltung bzgl. der Ziele der Lehrerbildung gemäß [KMK \(2016\)](#). Zugleich grenzt dieser Aufwand aber auch die Nutzbarkeit von didaktischen Ansätzen, die wie der *Flipped Classroom* den Einsatz und die Erstellung von Lernvideos in großem Umfang vorsehen, im eng getakteten schulischen Arbeitsalltag von Lehrer_innen ein. Soll dies dennoch umgesetzt werden, wäre aber innerhalb der ersten Phase umfangreichere Gelegenheit zum Einüben der praktischen Erstellung von Lernvideos notwendig. Zumindest dieses Seminar ist in seinem begrenzten zeitlichen Rahmen hierfür sicherlich nicht ausreichend. Allerdings sollte hierzu auch angemerkt werden, dass zum einen allein das Lehren des Prozesses der physikalischen Erkenntnisgewinnung eine komplexe Anforderung darstellt und zum anderen Lernvideos im schulischen Alltag nicht zwingend mit dem gleichen Aufwand erstellt werden müssen, wie es in diesem Seminar geschehen ist.

Da diese Schwierigkeiten aber insgesamt weniger mit fachdidaktischen Anforderungen und eher mit den Anforderungen des Videodrehens und -schnitts generell zusammenhängen, sollte für weitere Semindurchführungen im nächsten Designzyklus eine andere Form der „Anwendung“ der Modellierungsergebnisse gewählt werden. Eine sinnvolle Alternative wäre es, wenn die erstellten Materialien auch im realen schulischen Unterricht oder im Rahmen von Lehr-Lern-Laboren erprobt werden könnten. Dies erfordert allerdings größere strukturelle Veränderungen, insbesondere, wenn das Seminar im Sinne der Strategie der [KMK \(2016\)](#) möglichst von allen Studierenden des Lehramts Physik im Laufe ihres Studiums absolviert werden sollte. Weitere geplante Veränderungen für die nächste Durchführung betreffen eher einzelne Elemente der Umsetzung. So sollte geprüft werden, ob die derzeitige verwendete kostenpflichtige Software Yenka Physik durch die freie Alternative Algodoo ([algodoo.com](#)) ersetzt werden kann, die über einen ähnlichen Funktionsumfang verfügt.

Die Evaluation der bisherigen Umsetzungen lässt allerdings auch vermuten, dass gerade die Veränderung intentionaler Kompetenzfacetten wie motivationaler Orientierungen nur schwer nachhaltig durch eine einzelne Seminarveranstaltung initiiert werden kann. Vielmehr scheinen angehende Physiklehrkräfte kontinuierlich im Stu-

dienverlauf Erfahrungen mit digitalen Werkzeugen sammeln zu müssen (vgl. Ertmer & Ottenbreich-Leftwich, 2010), um die fehlenden Erfahrungen „als Lernende“ aus einer Schüler_innenperspektive aufzufangen. Dies bietet allerdings zugleich auch große Chancen, da aufgrund der fehlenden Erfahrungen auch erwartet werden kann, dass sich bei den Studierenden nur wenige, die eigene Professionalisierung evtl. erschwerende, subjektive Theorien zum Einsatz digitaler Werkzeuge im Unterricht aufbauen konnten (vgl. Scharlau & Wiescholek, 2013). In der Umsetzung sind hierfür aber neben Weiterentwicklungen auf Veranstaltungsebene auch Entwicklungen auf institutioneller und curricularer Ebene notwendig. Allerdings liegen auch empirisch fundierte Leitlinien und Gelingensbedingungen vor, die als Orientierung für diese Prozesse dienen können (Tondeur et al., 2012).

Abschließend möchten wir Autor_innen allen Studierenden der ersten beiden Durchläufe herzlich für ihre Teilnahme und Bereitschaft danken, das Seminarkonzept zusammen mit uns umzusetzen. Für Nachfragen, weiterführende Informationen und die Bereitstellung weiterer Materialien zum Seminarkonzept stehen wir natürlich gerne zur Verfügung.

Literatur

- Baumert, B. (2014). Die Rolle des Lehrenden in der studentischen Projektarbeit. In B. Berendt, A. Fleischmann, N. Schaper, B. Szczyrba & J. Wildt (Hrsg.), *Neues Handbuch Hochschullehre*. DUZ Verlags- und Medienhaus.
- Baumert, J. & Kunter, M. (2006). Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 9 (4), 469-520.
- Biggs, J. (1996). Enhancing teaching through constructive alignment. *Higher education*, 32 (3), 347-364.
- Bishop Jacob Lowell & Verleger, M. A. (2013). The flipped classroom: A survey of the research. *ASEE National Conference Proceedings*, 30 (9), 1-18.
- Bleicher, R. E. (2004). Revisiting the STEBI-B: Measuring self-efficacy in preservice elementary teachers. *School Science & Mathematics*, 104, 382-391.
- Brell, C., Theysen, H., Schecker, H. & Schumacher, D. (2006). Simulation, IBE, Realexperiment: Lerneffizienz durch „Neue Medien“? In A. Pitton (Hrsg.), *Lehren und Lernen mit neuen Medien* (S. 81-83). Münster: LIT.
- Coates, R. L., Kuhai, A., Turlej, L. Z. J., Rivlin, T. & McKemmish, L. K. (2018). Phys FilmMakers: Teaching science students how to make YouTube-style videos. *European Journal of Physics*, 39 (1), 015706. doi: 10.1088/1361-6404/aa93bc
- Duechs, G. & Ingold, G.-L. (2016). Gut geparkt ist noch nicht studiert: Statistiken zum Physikstudium an den Universitäten in Deutschland 2016. *Physik-Journal*, 15 (8/9), 28-33.
- Ertmer, P. A. & Ottenbreich-Leftwich, A. T. (2010). Teacher technology change: How knowledge, confidence, beliefs, and culture intersect. *Journal of research on Technology in Education*, 42 (3), 255-284.
- Gudjons, H. (1986). *Handlungsorientiert lehren und lernen*. Bad Heilbrunn: Julius Klinckhardt.
- Hessler, G., Oechsel, M. & Scharlau, I. (Hrsg.). (2013). *Studium und Beruf: Studienstrategien - Praxiskonzepte - Professionsverständnis*. Bielefeld: transcript.
- Holzbaur, U. (2014). Prepared Project Method: systematische Integration von Projekten in die Lehre. Mit systematisch vorbereiteten Projekten Lehre erlebnis- und ergebnisorientiert unterstützen. In B. Berendt, A. Fleischmann, N. Schaper, B. Szczyrba & J. Wildt (Hrsg.), *Neues Handbuch Hochschullehre*. DUZ Verlags- und Medienhaus.
- Hopf, M., Wiesner, H. & Schecker, Horst, Schumacher, Dieter (Hrsg.). (2011). *Physikdidaktik kompakt*. Köln: Aulis.

- Hornung, G., Thyssen, C., Mayerl, J. & Andersen, H. (2017). Auswirkung universitärer Ausbildung auf das Experimentierverhalten von Chemie- und Biologie-Referendarinnen und Referendaren. In C. Maurer (Hrsg.), *Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis* (S. 360-364).
- Horz, H. (2009). Medien. In E. Wild & J. Möller (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (S. 103-133). Heidelberg: Springer Medizin.
- KMK. (2004a). *Standards für die Lehrerbildung: Bildungswissenschaften - Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004.*
- KMK. (2004b). *Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss - Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004.*
- KMK. (2008). *Ländergemeinsame inhaltliche Anforderungen für die Fachwissenschaften und Fachdidaktiken in der Lehrerbildung - Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.10.2008.*
- KMK. (2016). *Bildung in der digitalen Welt. Strategie der Kultusministerkonferenz - Entwurf der Kultusministerkonferenz vom 27.04.2016.*
- Koehler, M. & Mishra, P. (2009). What is technological pedagogical content knowledge (TPACK)? *Contemporary issues in technology and teacher education*, 9 (1), 60-70.
- Kuhn, J. & Vogt, P. (2014). Mobile Endgeräte als Experimentiermittel im naturwissenschaftlichen Unterricht: Stand der fachdidaktischen Forschung. In J. Maxton-Küchenmeister & J. Meßinger-Koppelt (Hrsg.), *Digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht* (S. 46-63). Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag.
- Kulgemeyer, C. & Peters, C. H. (2016). Exploring the explaining quality of physics online explanatory videos. *European Journal of Physics*, 37 (6), 065705.
- Lang, J. W. B. & Fries, S. (2006). A Revised 10-Item Version of the Achievement Motives Scale - Psychometric Properties in German-Speaking Samples. *European Journal of Psychological Assessment*, 22 (3), 216-224.
- Lee, H., Plass, J. L. & Homer, B. D. (2006). Optimizing cognitive load for learning from computer-based science simulations. *Journal of educational psychology*, 98 (4), 902-913.
- Lore, R. & Schnotz, W. (Hrsg.). (2008). *Learning with animation: Research implications for design*. New York: Cambridge University Press.
- Lorenz, R., Bos, W., Endberg, M., Eickelmann, B., Grafe, S. & Vahrenhold, J. (Hrsg.). (2017). *Schule digital - der Länderindikator 2017: Schulische Medienbildung in der Sekundarstufe I mit besonderem Fokus auf MINT-Fächer im Bundesländervergleich und Trends von 2015*. Münster: Waxmann.
- Lowe, R. & Schnotz, W. (Hrsg.). (2008). *Learning with animation: Research implications for design*. Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. & Moreno, R. (2003). Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning. *Educational psychologist*, 38 (1), 45-52.
- Meßinger-Koppelt, J. (2017). *Kolleg Didaktik:digital*. Zugriff auf <https://www.joachim-herz-stiftung.de/was-wir-tun/naturwissenschaften-begreifen/naturwissenschaften-vermitteln/kolleg-didaktik-digital/>
- Meßinger-Koppelt, J., Schanze, S. & Gross, J. (Hrsg.). (2017). *Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen: Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer*. Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag.
- Müller, R. (2006). Kontextorientierung und Alltagsbezug. In H. F. Milkeskis-Seifert, V. Berger & S. Mikelskis-Seifert (Hrsg.), *Physik-Didaktik* (S. 102-119). Berlin: Cornelsen-Scriptor.
- Präsidium der Universität Paderborn. (2017). *Besondere Bestimmungen der Prüfungsordnung für den Bachelorstudiengang Lehramt an Gymnasien und Gesamtschulen mit dem Unterrichtsfach Physik an der Universität Paderborn vom 29. September 2017.*

- Prediger, S. & Link, M. (2012). Fachdidaktische Entwicklungsforschung: Ein lernprozessfokussierendes Forschungsprogramm mit Verschränkung fachdidaktischer Arbeitsbereiche. In H. Bayrhuber, U. Harms & B. Muszynski (Hrsg.), *Formate Fachdidaktischer Forschung* (S. 29-46). Münster: Waxmann.
- Rasch, D. & Guiard, V. (2004). The robustness of parametric statistical methods. *Psychology Science*, 46 (2), 175-208.
- Richter, T., Naumann, J. & Groeben, N. (2001). Das Inventar zur Computerbildung (INCOBI): Ein Instrument zur Erfassung von Computer Literacy und computerbezogenen Einstellungen bei Studierenden der Geistes- und Sozialwissenschaften. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 48, 1-13.
- Scharlau, I. & Wiescholek, S. (2013). Ringen um Sinn: Subjektive Theorien von Lehramtsstudierenden zum Praxisbezug des Studiums. In G. Hessler, M. Oechsel & I. Scharlau (Hrsg.), *Studium und Beruf* (S. 213-233). Bielefeld: transcript.
- Schecker, H. (1998). *Physik modellieren*. Stuttgart: Klett.
- Schecker, H., Klieme, E., Niedderer, H., Ebach, J. & Gerdes, J. (1999). *Physiklernen mit Modellbildungssystemen: Förderung physikalischer Kompetenz und systemischen Denkens durch computergestützte Modellbildungssysteme - Abschlussbericht zum DFG-Projekt*. Bremen: Universität Bremen.
- Tesch, M. (2011). Ziele technischer und physikalischer Bildung. In D. Höttecke (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Beitrag zur Gestaltung partizipativer Demokratie* (S. 384-386). Münster: LIT.
- Thyssen, C., Finger, A., Laumann, D. & Vogelsang, C. (2018). Digitalisierung in der Lehrerbildung: Einstellungen und motivationale Orientierungen von angehenden Biologielehrkräften zum Einsatz digitaler Medien im Unterricht. In M. Hammann & M. Linder (Hrsg.), *Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik* (S. 337-352). Innsbruck: Studienverlag.
- Tondeur, J., van Braak, J., Sang, G., Voogt, J., Fisser, P. & Ottenbreit-Leftwich, A. (2012). Preparing pre-service teachers to integrate technology in education: A synthesis of qualitative evidence. *Computers & Education*, 59 (1), 134-144. doi: 10.1016/j.compedu.2011.10.009
- Vogelsang, C., Laumann, D., Thyssen, C. & Finger, A. (2018). Der Einsatz digitaler Medien im Unterricht als Teil der Lehrerbildung: Analysen aus der Evaluation der Lehrinitiative Kolleg Didaktik:digital. In C. Maurer (Hrsg.), *Qualitätvoller Chemie- und Physikunterricht*. Regensburg: Universität Regensburg.
- Wenzel, M. & Wilhelm, T. (2015). Erhebung zum Einsatz Neuer Medien bei Physik-Gymnasiallehrern. *PhyDid B - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*. Zugriff am 31.10.2018 auf <http://phydid.physik.fu-berlin.de/index.php/phydid-b/article/view/601>
- Wilhelm, T. (2011). *Möglichkeiten der Videoanalyse: Habilitationsschrift*. Zugriff am 08.02.2018 auf <https://www.thomaswilhelm.net/veroeffentlichung/Habilitation.pdf>
- Wodzinski, R. & Heinecke, S. (2017). Zwischen Spektakel, Phänomen und Konstruktion: Naturphänomene wahrnehmen im digitalen Zeitalter. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 28 (159/160), 4-9.
- Wolf, K. D. & Kulgemeyer, C. (2016). Erklärvideos im Physikunterricht. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 27 (152), 36-41.

Beitragsinformationen

Zitationshinweis:

Vogelsang et al. (2018). Modellierung und Analyse komplexer Alltagsphänomene – ein Seminar-konzept zum Umgang mit digitalen Werkzeugen im Physikunterricht. *Herausforderung Lehrer_innenbildung*, 1, 120 - 146. doi: [10.4119/UNIBI/hlz-71](https://doi.org/10.4119/UNIBI/hlz-71)

Förderhinweis: Die Entwicklung des Seminar-konzepts wurde gefördert im Rahmen des Kollegs Didaktik:digital der Joachim Herz Stiftung, Hamburg (Förderzeitraum: 04/2016–10/2017).

Online-Supplements:

Eingereicht: 11.04.2018 / Angenommen: 27.05.2018 / Online verfügbar: 19.12.2018

ISSN: 2625-0675



© Die Autor_innen 2018. Dieser Artikel ist freigegeben unter der Creative-Commons-Lizenz Namensnennung, Weitergabe unter gleichen Bedingungen, Version 4.0 Deutschland (CC BY-SA 4.0 de). URL <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/de/legalcode>

English Information

Title: Modelling Complex Everyday Phenomena – a Seminar Concept for Dealing with Digital Tools in Physics Instruction

Abstract: Given the growing digitalization of all aspects of school, prospective physics teachers need to learn how to integrate digital learning technologies into their instruction, preferably already during their initial studies. In order to achieve this goal, the seminar concept MORPH was developed and tested at the University of Paderborn. MORPH is a project course, which emphasizes the use of digital tools for scientific work in the classroom. As central learning activities, the participants use digital tools to experimentally analyze and model physical everyday phenomena. In addition to a description of the theoretical background of the course and a concrete implementation, we also report the results of an evaluation of the first two trials. It turned out that although the students acquire the desired skills for handling digital tools, motivation to use digital media in their later teaching activities could hardly be increased.

Keywords: ICT, physics, modeling, seminar concept, science education

Hochschuldidaktische Metadaten

Fachwissenschaftliche Zugehörigkeit: Fachdidaktik Physik

Schulfachspezifik: Physik

Schulformspezifik: Haupt-, Real- und Gesamtschulen, Gymnasien

Veranstaltungsart: Seminar

Lehrmethoden/-medien: Projektarbeit, digitale Werkzeuge, Lernvideos

Sozialform: Projektarbeit in Gruppen

Oberthema: digitale Medien

Lerninhalte: Einbettung digitaler Werkzeuge im Physikunterricht, Lernen mit Medien

Lernziel: Kompetenzen zum Einsatz digitaler Medien im Unterricht

Prüfungsformen: Produkterstellung

Prüfungsinhalte: Erstellung eines Lernvideos

Ausbildungsphase: Bachelor

Zielgruppe: Lehramt Physik

Zielgruppe, Umfang: bis zu 24 Studierende

Zeitlicher Umfang: 15 Wochen, ein Seminar

Evaluation: Erfahrungsbericht, summative quantitative Evaluation

Forschungsmethode, empirisch: universitätsübergreifende Befragung

Studentischer Beitrag: Nein