

Ein interaktiver Lehrgang zur geometrischen Optik auf tet.folio

Wolfgang Lutz*, Sebastian Haase^x, Jan-Philipp Burde⁺, Thomas Wilhelm^o, Thomas Trefzger*

*Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik, Julius-Maximilians-Universität Würzburg,

^xFachbereich Erziehungswissenschaft und Psychologie, AB Schulpädagogik/Schulentwicklungsforschung, Freie Universität Berlin

⁺AG Didaktik der Physik, Eberhard Karls Universität Tübingen,

^oInstitut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt

wolfgang.lutz@physik.uni-wuerzburg.de, sebastian.haase@fu-berlin.de, jan-philipp.burde@uni-tuebingen.de, wilhelm@physik.uni-frankfurt.de, Thomas.Trefzger@physik.uni-wuerzburg.de

Kurzfassung

Aufbauend auf den Forschungsergebnissen zu Schülervorstellungen in der geometrischen Optik wurde von Wiesner et al. eine Unterrichtskonzeption entwickelt und in einem Re-Design von Haagen-Schützenhöfer et al. überarbeitet. Dieser Ansatz basiert auf der Idee des Sender-Strahlungs-Empfänger-Konzepts, d.h. auf der konsequenten Verfolgung von Lichtquellen über das optische System bis zum Empfänger. Aufbauend auf diesen Grundlagen wurde ein neuer Lehrgang mit insgesamt zwölf digital aufbereiteten Einheiten entwickelt. Durch den Einsatz von Lernvideos, interaktiven Bildschirmexperimenten, Simulationen und Quizaufgaben ergibt sich eine asynchron einsetzbare Lernumgebung, die ein forschend entdeckendes Lernen im Sinne des 5-E-Modells nach Bybee ermöglicht. Im Beitrag werden die didaktischen Überlegungen bei der Entwicklung der Unterrichtsmaterialien und die Möglichkeiten der interaktiven Lernplattform tet.folio vorgestellt. Außerdem wird ein Ausblick gegeben, wie die Materialien im Rahmen einer empirischen Evaluation eingesetzt werden.

1. Unterrichtskonzepte zur geometrischen Optik

1.1. Die didaktische Rekonstruktion

Bei der Konzeption einer Unterrichtssequenz ist eine detaillierte Planung der einzelnen Einheiten von zentraler Bedeutung, um Lerninhalte zu selektieren und zu entscheiden, in welchem Umfang diese thematisiert und intensiviert werden. Eine gute Orientierung geben dabei Lehrbücher und die in den Curricula vorgegebenen Fachinhalte sowie die im Kontext zu erwerbenden inhaltsbezogenen wie auch prozessbezogenen Kompetenzen. Daneben sind aber auch die Lernvoraussetzungen und die Präkonzepte der Schüler:innen von zentraler Bedeutung, da das Lernen einen aktiven Prozess darstellt, indem die angebotenen Informationen auf Grundlage eigener Vorerfahrungen durchdacht und verarbeitet werden (Schecker & Duit, 2018). Präkonzepte können in der Folge schnell zu defizitären Lernständen führen und sollten demnach im Entwicklungsprozess neuer Unterrichtsmaterialien besonders berücksichtigt werden.

Im Modell der didaktischen Rekonstruktion leitet sich die didaktische Strukturierung einer Unterrichtssequenz idealerweise aus der wechselseitigen Verbindung zwischen den fachlichen und der schüler:innenorientierten Perspektiven ab (siehe Abb. 1). Umgekehrt ermöglicht die Implikation entsprechend aufbereiteter Materialien in der Praxis eine bewusste Adressierung bestimmter Lerninhalte unter der

Berücksichtigung entsprechender Vorerfahrungen und Lernschwierigkeiten, so dass die Lehrkraft besser beim Aufbau eines konzeptionellen Verständnisses unterstützen kann.

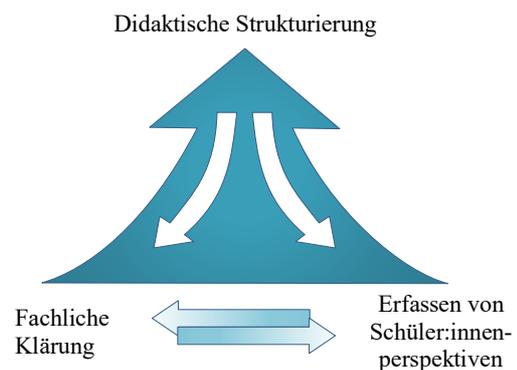


Abb. 1: Modell der Didaktischen Rekonstruktion (nach Kattmann et al., 1997)

1.2. Design-Based-Research

Bei der Entwicklung neuer Unterrichtsmaterialien eröffnet sich die Gelegenheit, aktuelle lerntheoretische Erkenntnisse, Methoden und Technologien zu berücksichtigen und diese in praxistaugliche Innovationen zu transformieren. Diese Chance stellt gleichzeitig aber auch eine große Herausforderung dar, die als Theorie-Praxis-Problem bekannt ist (Stark, 2004, Duit et al., 2012). Mit dem Ansatz des „Design-

Based-Research“ wird in kontinuierlichen Zyklen aus Design, Umsetzung, Analyse und Re-Design versucht, Theorie und Praxis im Entwicklungsprozess sehr eng miteinander zu verschränken – mit dem Ziel, einerseits gute Lernumgebungen zu entwickeln und andererseits auch eine Theorie des Lernens abzuleiten (Reinmann, 2005). Nach Ejersbo et al., 2008 findet dieser Prozess gleichzeitig in zwei Prozessräumen statt: Dem Produktentwicklungsraum und dem Forschungsraum, wobei jeweils vom gleichen Problem ausgegangen wird (siehe Abb. 2).

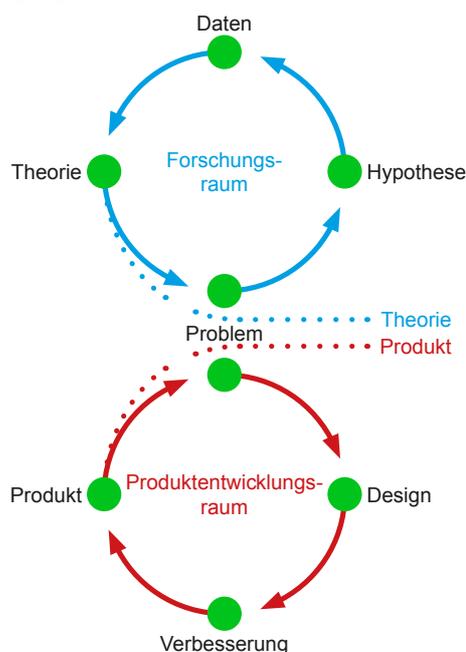


Abb. 2: Modell des Design-Based-Research (nach Ejersbo et al., 2008, S.5)

Ausgehend von einem praxisorientierten Problem wird zunächst eine Hypothese generiert und darauf aufbauend ein Design mit entsprechenden Unterrichtsmaterialien entwickelt. In einem nächsten Schritt werden die Materialien in Interventionen erprobt und aus den gewonnenen Daten

domänenspezifische bzw. lokale Theorien abgeleitet. Außerdem dienen die Erkenntnisse zur Weiterentwicklung der Materialien. Auf dem Re-Design und den gewonnenen Theorien aufbauend lässt sich der Zyklus in iterativen Schleifen weiter fortführen, um so neue theoretische Erkenntnisse zu gewinnen und das Produkt weiter zu optimieren. Der Zyklus kann aber auch zu einem späteren Zeitpunkt in einem weiteren Projekt mit einem neuen Basisproblem unter Berücksichtigung aktueller Theorien fortgeführt werden.

1.3. Bisherige Design-Based-Projekte zur Sender-Strahlungs-Empfänger-Konzeption

Im Bereich der geometrischen Optik gibt es zahlreiche Untersuchungen, in denen die Lernenden selbst nach einer formalen Instruktion wichtiger Themenbereiche im Unterricht, ein zu gering ausgeprägtes konzeptionelles Verständnis entwickeln (für einen Überblick siehe Duit et al., 2014). In der Folge sind die Schüler:innen häufig nicht in der Lage, selbst einfache optische Phänomene fachlich angemessen zu erklären (Andersson & Kärrqvist, 1983; Galili, 1996). Obwohl die geometrische Optik zu einem sehr intensiv beforschten Gebiet im Kontext von Schüler:innenvorstellungen zählt (Duit, 2009; Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2018a), scheinen die Erkenntnisse zu den Lernhindernissen nur selten im Unterricht oder Schulbüchern adäquat berücksichtigt zu werden (Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2018b). Ausgehend von diesem Problem wurde in drei aufeinander aufbauenden Design-Based-Projekten (siehe Abb. 3) das Ziel verfolgt, die defizitären Lernstände im Bereich der Optik durch einen forschungsbasierten und praxisorientierten Lehrgang zu verbessern. Alle Projekte basieren auf der Sender-Strahlungs-Empfänger-Konzeption, mit der Herdt und Wiesner in der Strahlenoptik das Ziel einer Aufbaustrategie verfolgten und in der Lichtbündel stets von der Lichtquelle ausgehend über die Wechselwirkung mit einem optischen System bis hin zum Empfänger verfolgt werden (Herdt, 1989).

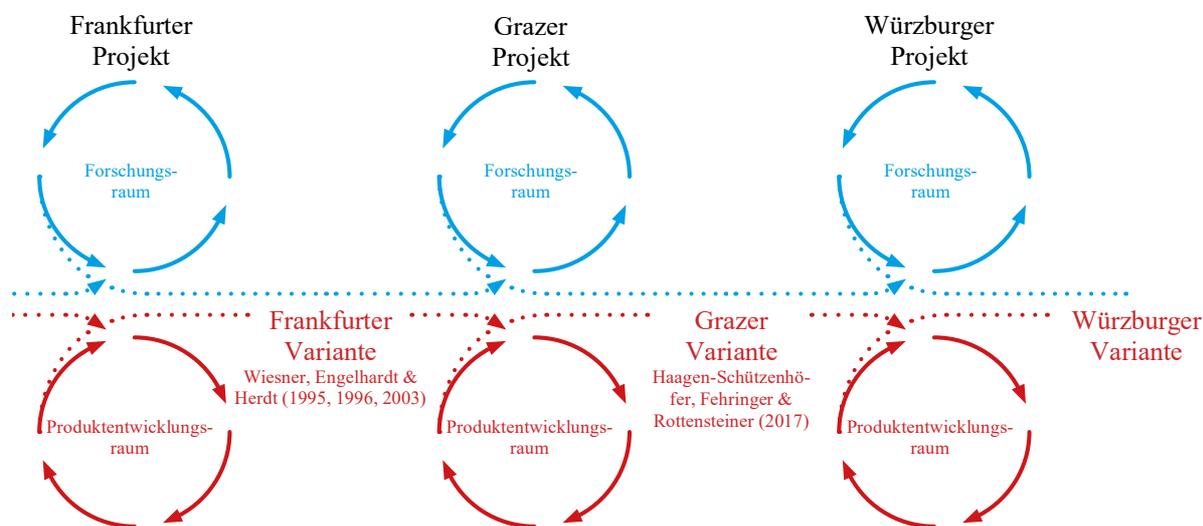


Abb. 3: Design-Based-Research-Zyklen zur Sender-Strahlungs-Empfänger-Konzeption

Auf dieser Theorie aufbauend und unter Berücksichtigung zahlreicher Ideen von Jung (Jung, 1982) wurde im Frankfurter Projekt von Wiesner, Herdt und Engelhardt ein neuer Lehrgang mit Unterrichtsmaterialien entwickelt (Wiesner et al., 1995; Wiesner, Engelhardt & Herdt, 1996; Wiesner, Herdt & Engelhardt, 2003; Schmidt-Roedenbeck, et al., 2005). Weitere wesentliche Merkmale der Unterrichtskonzeption liegen in der zeitlichen Thematisierung beobachtbarer Phänomene, des Sehvorgangs und der an Oberflächen auftretenden Streuung noch vor der abstrakten Strahlenkonstruktion. Die Schüler:innen sollen auf diese Weise zuerst möglichst niederschwellig eine geeignete Modellvorstellung aufbauen, die später durch Strahlenkonstruktionen vertieft wird. Ohne diese Grundvorstellung bergen Strahlenkonstruktionen sonst das Risiko, als rein formale Übungen ohne Vorstellungsgehalt rezeptartig abgearbeitet zu werden.

Im Grazer Projekt (Haagen-Schützenhöfer et al., 2017) wurden in einem weiteren Design-Based-Projekt die immanenten Sachstrukturen und Lernstrategien des Frankfurter Projekts adaptiert, an die Rahmenbedingungen des österreichischen Schulsystems angepasst und z.B. durch kompetenzorientierte und differenzierte Aufgabenformate erweitert. Im Mittelpunkt des Grazer Lehrgangs stehen aktive Phasen, in denen die Schüler:innen selbst experimentell Phänomene untersuchen, auf ihren Erkenntnissen aufbauend Theorien entwickeln und in Form von Übungsaufgaben intensivieren. Bei der Entwicklung der Materialien wurden in mehreren Designzyklen lernhinderliche Instruktionselemente identifiziert und in der Folge theoriegeleitet modifiziert.

2. Grundideen des Würzburger Projekts

2018 startete in Würzburg ein neues, auf den Frankfurter- und Grazer-Projekten aufbauendes Design-Based-Projekt zur Sender-Strahlungs-Empfänger Konzeption. Zentrales Ziel des Vorhabens war die Entwicklung vielfältig einsetzbarer digitaler Unterrichtsmaterialien zur Förderung des konzeptionellen Verständnisses und experimenteller Kompetenzen im Bereich der geometrischen Optik. In einer Kooperation zwischen den Universitäten Würzburg, Frankfurt, Tübingen und Berlin wurden aufbauend auf dem SAMR-Modell nach Puentedura (2006) und dem 5E-Modell zum forschend-entdeckenden Lernen nach Bybee (Bybee et al. 2006, Bybee, 2009) entsprechende Materialien konzipiert, digital aufbereitet und auf der interaktiven Lehr- und Lernplattform tet.folio (Haase et al., 2016) zur Verfügung gestellt. Im Folgenden werden zunächst die dem Projekt zugrunde liegenden Theorien näher erläutert und anschließend Beispiele aus den entwickelten Unterrichtsmaterialien vorgestellt.

2.1. Digitalisierung des Physikunterrichts

Digitale Medien gehören mittlerweile nahezu überall zur Grundausstattung naturwissenschaftlicher Klassenräume (Bos et al., 2017). Jedoch beschränken sich in vielen Schulen digitale Modernisierungsmaßnah-

men häufig nur auf Komponenten, die von der Lehrkraft bedient werden. Das große Potential, Schüler:innen durch digitale Medien individuell in ihren Lernprozessen zu unterstützen (Eickelmann und Venneemann, 2013; Herzig, 2014), reduziert sich hierdurch massiv. Anders sieht es im häuslichen Umfeld der Schüler:innen aus. Dort stehen in nahezu allen Haushalten digitale Endgeräte sowie eine Internetverbindung zur Verfügung (mpfs, 2020). Somit eignen sich digitale Medien zu Hause besonders, um eine eigenständige Auseinandersetzung der Schüler:innen mit den Lerninhalten anzuregen, was nach lernpsychologischen Erkenntnissen besonders effektiv ist (Craik und Lockhart, 1972). Allerdings gibt es bislang für Lehrkräfte nicht viele praxistaugliche Konzepte, um dieses Potential auszuschöpfen. Der Bedarf an empirisch evaluierten digitalen Unterrichtsmaterialien scheint daher gegeben zu sein. Es stellt sich aber die Frage, wie dieses Potential im Physikunterricht konkret nutzbar gemacht werden kann.

Digitale Medien sollten nicht nur zu einer individuellen Beschäftigung mit einem Lerngegenstand führen, sondern gleichzeitig auch eine kognitive Aktivierung bei den Lernenden anregen, die eine notwendige Komponente beim Initiieren von Lernprozessen darstellt (Lipowsky, 2009; Baumert et al., 2004; Helmke, 2012). Idealerweise sind digitale Lernumgebungen deshalb an Schüleraktivitäten gekoppelt, die zu einer konstruktiven Mitarbeit anleiten. Darüber hinaus sind bei der Gestaltung digitaler Arbeitsmaterialien auch Theorien zur Informationsverarbeitung, wie beispielsweise die Cognitive Load-Theory (Sweller et al., 2011), die kognitive Theorie des multimedialen Lernens (Mayer, 2014) oder auch das integrative Modell des Text- und Bildverständnisses (Schnotz & Bannert, 2003) zu berücksichtigen, um den Lernenden eine Adressierung auf möglichst vielen Kanälen zu ermöglichen und gleichzeitig eine Überforderung zu vermeiden. Auch wenn auf der Ebene der Sichtstruktur digitale und konventionelle Unterrichtsmethoden oft zu keinen wahrnehmbaren Unterschieden führen (Hattie, 2012), können bei den Lernenden in der Tiefenstruktur unterschiedliche kognitive Prozesse über das Medium ausgelöst werden (Oser und Baeriswyl, 2001; Renkl & Atkinson, 2007). Beispielsweise löst ein gedruckter Text andere Lern- und Verarbeitungsprozesse aus als eine digitale Simulation des gleichen Inhaltes (Totter et al., 2020).

Traditionelle Materialien sollten aber nicht vollständig ersetzt werden, da nach einer Metastudie von Hillmayr et al. (2017) der größtmögliche Nutzen durch eine Kombination aus digitalen und analogen Lernangeboten erreicht werden kann. Es geht also darum, die Vorteile aus beiden Welten zu ermitteln und miteinander zu vereinen. Kurz gesagt stellt sich im Rahmen der Digitalisierung immer die Frage, wie ein Mehrwert gegenüber traditionellen Materialien erreicht werden kann. Romrell et al. (2014) empfehlen für diesen Schritt das SAMR Modell nach Puentedura (2006).

2.2. Das SAMR-Modell

Im SAMR-Modell (siehe Abb. 4) findet sich eine Kategorisierung zur Integration digitaler Medien im Unterricht auf vier Ebenen, um den Einsatz und den sich daraus generierenden didaktischen Mehrwert zu reflektieren und zu beurteilen (Bach 2019, 47). Die Ebenen können als Kontinuum betrachtet werden, in denen die Bedeutung der digitalen Medien mit zunehmender Tiefe wächst. Allerdings sind die Ebenen nicht als hierarchische Abfolge von Entwicklungsschritten, auf denen sich die Schüler:innen bewegen, zu interpretieren. Vielmehr bilden die vier Ebenen eine sich ergänzende Komposition an Möglichkeiten, wie sich digitale Technologien in unterschiedlichen Aufgaben und Lernangeboten integrieren lassen. Im Folgenden werden die einzelnen Ebenen kurz charakterisiert und Elemente aus dem Würzburger Projekt exemplarisch zugeordnet.

Substitution: Auf der obersten Ebene werden analoge Aufgaben und Materialien 1:1 ins Digitale übersetzt und führen somit zu keiner funktionalen Verbesserung. Die Arbeitsaufträge könnten genauso auch ohne das digitale Medium umgesetzt werden.

Beispiel aus dem Projekt: Alle Hefteinträge, Arbeitsblätter und Experimentieranleitungen sind im pdf-Format in Form eines digitalen Buches auf der Lernplattform tet.folio implementiert und würden in einer Printversion den gleichen Nutzen bringen.

Augmentation: In der nächsttieferen Ebene entsteht durch den Einsatz digitaler Medien ein Mehrwert gegenüber der Nutzung eines analogen Mediums, wobei sich die Form der Arbeitsaufträge und die Struktur des Unterrichts kaum verändern.

Beispiel aus dem Projekt: In den Einheiten kommen interaktiv gestaltete Quizaufgaben mit Selbstkontrollmöglichkeiten zum Einsatz.

Modification: Arbeits- und Aufgabenformen, die auch analog gestellt werden könnten, werden auf dieser Ebene neugestaltet, so dass eine digitale

Unterstützung erforderlich wird und sich dadurch die Unterrichtsstruktur verändert.

Beispiel aus dem Projekt: Interaktive Bildschirmexperimente ermöglichen ohne Risiko die eigenständige Durchführung gefährlicher Experimente (z.B. mit Lasern), die sonst nur als Demonstrationsexperimente durch die Lehrkraft gezeigt werden können.

Redefinition: Auf der tiefsten Ebene werden die Möglichkeiten der digitalen Technik voll ausgeschöpft, wodurch Aufgaben- und Unterrichtsformate neu definiert werden.

Beispiel aus dem Projekt: Durch kurze Lernvideos und interaktiv gestaltete digitale Arbeitsaufträge kann die Wissensvermittlung, die sonst den Kern des Unterrichts darstellt, im Sinne der Flipped Classroom-Methode ausgelagert werden. So können sich die Schüler:innen bereits vor dem Unterricht aktiv in ihren eigenen Lerntempo mit den Inhalten der nächsten Unterrichtseinheit auseinandersetzen. Im Unterricht rückt dann die Anwendung und Intensivierung der Inhalte in den Fokus, während die Lehrkraft die Schüler:innen individuell unterstützen kann. Detaillierte Einblicke in ein für den Physikunterricht geeignetes Flipped Classroom-Konzept findet sich bei Lutz et al. (2021).

Der Einsatz digitaler Medien lässt sich neben den vier beschriebenen Ebenen noch in zwei übergeordnete Stufen kategorisieren. Zur ersten Stufe (Enhancement) zählen die Ebenen der Substitution und Augmentation, da sie zu einer Erweiterung bzw. Verbesserung analog einsetzbarer Materialien führen, wobei die Struktur des traditionellen Unterrichts erhalten bleibt. Zur zweiten Stufe (Transformation) gehören die Ebenen Modification und Redefinition, da dort die Strukturen des klassischen Unterrichts aufgebrochen und bislang nicht denkbare Aufgaben- und Unterrichtsformen ermöglicht werden.

Das SAMR-Modell gibt eine gute Orientierung, wie Arbeitsaufträge durch den Einsatz digitaler Medien

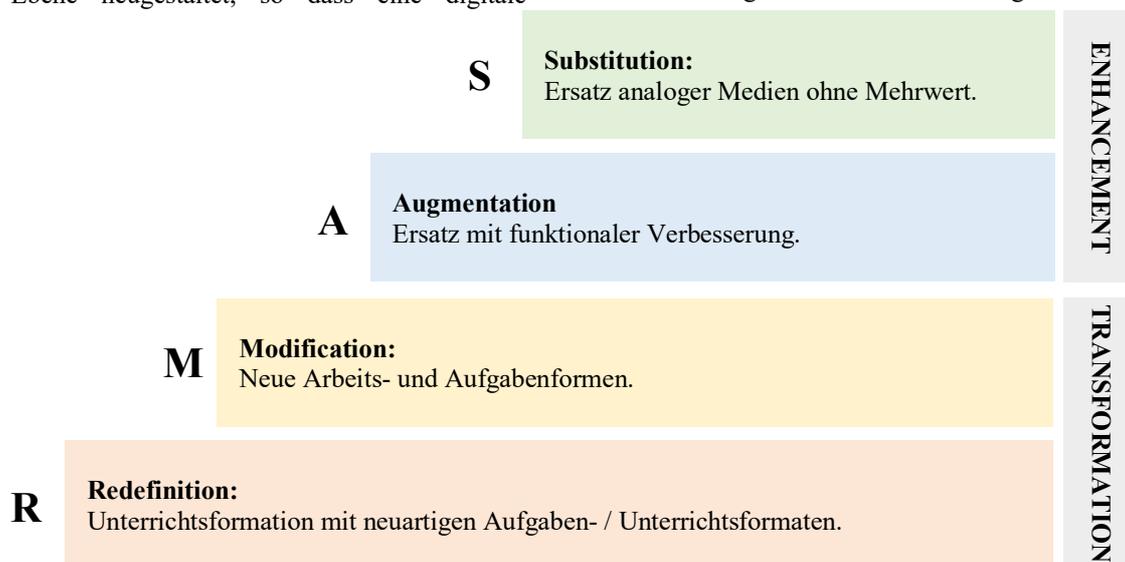


Abb. 4: Das SAMR-Modell nach Puentedura (2006)

angereichert werden können und wie sich Unterricht dadurch neu gestalten lässt. Darüber hinaus ist es sinnvoll, weitere didaktische Theorien zu berücksichtigen, um die entwickelten Materialien in ein Gesamtkonzept zu implementieren. Im nachfolgenden Abschnitt wird am Beispiel des Flipped Classrooms gezeigt, wie durch digital aufbereitete Materialien das Konzept des Forschenden Lernens unterstützt werden kann.

2.3. Forschendes Lernen und das 5E-Modell

Als Forschendes Lernen (Inquiry-based Learning) wird ein Ansatz bezeichnet, bei dem im Kontext eigenständiger naturwissenschaftlicher Untersuchungen experimentelle Kompetenzen aufgebaut und gleichzeitig fachliche Inhalte erarbeitet werden (Abrams et al., 2008). Nach Abels et al. (2014) startet ein idealisierter Forschungszyklus mit der Formulierung einer Forschungsfrage und eines hypothesengeleiteten Ansatzes, um darauf aufbauend ein Experiment zu planen, aufzubauen und durchzuführen. Während dieses Prozesses werden Phänomene beobachtet und Daten gesammelt, die anschließend aufbereitet und interpretiert werden. Aus den gewonnenen Erkenntnissen werden Zusammenhänge hergestellt und dann als Ergebnisse präsentiert. Bleiben am Ende offene Fragestellungen bzw. fehlende Erkenntnisse, so können diese in einem weiteren Zyklus ergänzend erforscht werden. Forschendes Lernen ermöglicht somit eine Förderung aller Teilfacetten der experimentellen Kompetenz nach dem Modell von Nawrath, Maiseyenko, & Schecker (2011) (siehe Abb. 5).

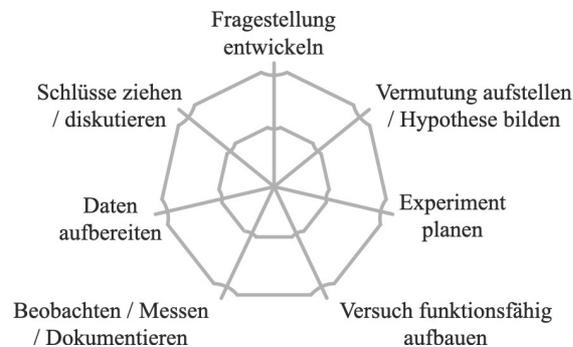


Abb. 5: Teilfacetten der experimentellen Kompetenz (nach Nawrath, Maiseyenko, & Schecker, 2011)

Kompetenzen stehen den Schüler:innen nicht unmittelbar zur Verfügung, sondern müssen sukzessive aufgebaut werden (Abels & Lembens, 2015). Zur Unterstützung in diesem Entwicklungsprozess kann

	Fragestellung entwickeln / Hypothese formulieren	Datenerhebung planen und durchführen	Daten auswerten, Ergebnisse interpretieren und diskutieren
Level 0: bestätigend	Lehrperson gibt vor	Lehrperson gibt vor	Lehrperson gibt vor
Level 1: strukturiert	Lehrperson gibt vor	Lehrperson gibt vor	Lernende bestimmen
Level 2: begleitend	Lehrperson gibt vor	Lernende bestimmen	Lernende bestimmen
Level 3: offen	Lernende bestimmen	Lernende bestimmen	Lernende bestimmen

Tab. 1: Level beim Forschenden Lernen (Abels et al., 2020, nach dem Original von Blanchard et al., 2010, S. 581)

ausgehend vom individuellen Stand der Lernenden entschieden werden, in welchen Phasen der Untersuchung eine Unterstützung durch die Lehrkraft notwendig ist. Insgesamt werden vier unterschiedliche Levels (siehe Tab. 1) differenziert, die vom rezeptartigen Experimentieren (Level 0) schrittweise bis hin zu einem vollständig offenen Experimentieren (Level 3) führen.

Das Finden und Formulieren eigener Forschungsfragen erweist sich als besonders schwierige Aufgabe (Hofstein et al., 2005) und ist demnach eher für Schüler:innen mit viel Experimentiererfahrung geeignet. Das Würzburger Projekt richtet sich hingegen an Schüler:innen der Sekundarstufe I im Anfangsunterricht mit wenig Experimentiererfahrung. Zur Vermeidung einer Überforderung wurden deshalb die Fragestellungen für die Untersuchungen vorgegeben und als Ziel eine schrittweise Heranführung der Lernenden über die Einheiten hinweg auf das Niveau von Level 2 verfolgt. Bei der Konzeption der Lerneinheiten im Sinne eines Forschenden Lernens wurde auf das 5E-Modell nach Bybee zurückgegriffen (Bybee et al. 2006, Bybee, 2009). Dabei handelt es sich um ein konstruktivistisch orientiertes Unterrichtsmodell, in dem die Schüler:innen ausgehend von eigenen Erfahrungen ein Verstehen entwickeln sollen. Die fünf Es Engage, Explore, Explain, Extent und Evaluate bilden dabei fünf Phasen im Prozess des Forschenden Lernens ab (Bybee et al. 2006, Bybee, 2009), wobei Lembels & Abels (2015) das Evaluieren als einen bereits in allen anderen Phasen parallel ablaufenden Prozess ansehen (siehe Abb. 6), da die Lehrkräfte zu jedem Zeitpunkt die Lernfortschritte diagnostizieren und in der Folge entsprechend reagieren können.

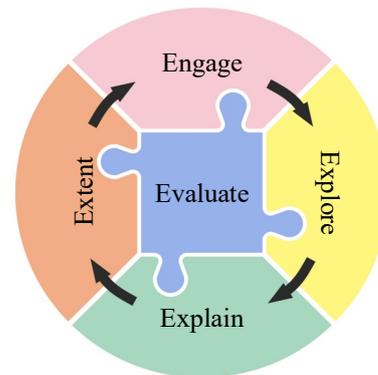


Abb. 6: Forschend entdeckendes Lernen im 5E-Modell (nach Lembels & Abels 2015; basierend auf Bybee et al., 2006 und Bybee, 2009)

Nachfolgend wird am Beispiel der Totalreflexion gezeigt, wie sich im Würzburger Projekt durch den Einsatz digitaler Medien in einem Flipped Classroom das Forschende Lernen im Sinne des 5E-Modells realisieren lässt.

3. Die Totalreflexion als Beispieleinheit

Abb. 7 zeigt zunächst eine Übersicht aller in der Lerneinheit zur Totalreflexion eingesetzten Materialien. Hierzu zählen ein Lernvideo, interaktive Quizaufgaben, ein Hefteintrag, ein qualitatives und ein quantitatives interaktives Bildschirmexperiment sowie ein Heimexperiment. Darüber hinaus gibt es noch zwei weitere Videos mit Alltagsbezug für interessierte Schüler:innen.



Abb. 7: Materialien zur Totalreflexion

Damit die Lerneinheit im Sinne des Flipped Classrooms eingesetzt werden kann, wurden die Lernhalte so aufbereitet, dass sich die Schüler:innen zunächst zu Hause individuell in ihrem eigenen Lerntempo mit dem Thema auseinandersetzen und die Inhalte anschließend im Unterricht intensiviert werden. Häufig werden zu diesem Zweck Lernvideos eingesetzt, da mit ihnen nicht nur Orientierungswissen,

sondern durch eine Anreicherung mit Demonstrationsexperimenten, Animationen und entsprechenden Erklärungen auch ein vertiefendes Wissen generiert werden kann (Niegemann et al. 2004, S. 153).

3.1. Von der Extent- zur Engage-Phase

Lernvideos eignen sich gut, um die Extent-Phase aus der vorherigen Einheit abzuschließen und in eine neue Engage-Phase überzuführen. Dieses Prinzip wird im Lernvideo zur Totalreflexion umgesetzt. So startet es mit einem Demonstrationsexperiment, indem die Reflexion und Brechung an einem Glasquader, zu dem die Schüler:innen bereits eigene experimentelle Erfahrungen sammeln durften, wiederholt werden (siehe Abb. 8a). Anschließend wird anhand einer Landschaftsaufnahme (siehe Abb. 8b) mit Hilfe der Sender-Strahlungs-Empfänger Konzeption erklärt, warum eine Beobachterin die Landschaft und deren Spiegelbild an der Wasseroberfläche wahrnimmt (siehe Abb. 8c). Außerdem wird gezeigt, wie sich Lichtbündel aufgrund der Brechung unter Wasser weiter ausbreiten. Interessant wird es, wenn die am Boden des Sees liegenden Steine thematisiert werden (siehe Abb. 8d). Damit ein Stein von der Beobachterin überhaupt wahrgenommen werden kann, muss es ein vom Stein ausgehendes Lichtbündel geben, das bis ins Auge der Beobachterin gelangt. Da die Steine selbst aber nur Zwischensender sind, muss es zuvor ein von der Sonne ausgehendes Lichtbündel geben, das an der Wasseroberfläche gebrochen wird, anschließend bis zum Stein gelangt und dort gestreut wird (siehe Abb. 8e). Mit der Frage nach dem weiteren Weg des Lichtbündels nach der Streuung an dem Stein startet die Engage-Phase mit dem Ziel ein Forschungsinteresse bei den Lernenden aufzubauen.



Abb. 8: Screenshots aus dem Lernvideo zur Totalreflexion

Dies soll durch einen phänomenologischen Zugang zur Thematik gelingen, indem in einem Demonstrationsexperiment (siehe Abb. 8f) die Lichtausbreitung des Steins durch eine drehbare Lampe, von der ein schmales Lichtbündel ausgeht, simuliert wird. Die Schüler:innen sollen so einen Eindruck erhalten, wie die Lichtbrechung beim Übergang von Wasser nach Luft vom Einfallswinkel abhängt und dass es einen bestimmten Winkel gibt, ab dem es zur Totalreflexion kommt. Dieses Ergebnis wird anschließend auf die Situation am See übertragen. Ähnlich, wie bei der Reflexion der Landschaft oberhalb der Wasseroberfläche sieht ein Taucher unter Wasser den am Boden des Sees liegenden Stein noch einmal an der Wasseroberfläche gespiegelt (siehe Abb. 8g). Auch dieser Zusammenhang wird über ein Experiment veranschaulicht (siehe Abb. 8h) und durch eine Unterwasseraufnahme auf eine reale Tauchsituation mit einem Fisch übertragen (siehe Abb. 8i). Im Anschluss an das ungefähr 7-8 minütige Lernvideo werden den Schüler:innen interaktive Quizaufgaben gestellt, um zu evaluieren, in wie weit die Lerninhalte des Videos verstanden wurden.

3.2. Explore-Phase

In der Explore-Phase können die Schüler:innen in einem interaktiven Bildschirmexperiment (siehe Abb. 9) noch einmal eigenständig das Experiment aus dem Video durchführen und zusätzlich mit Hilfe eines Geodreiecks messen, dass die Totalreflexion beim Übergang von Wasser nach Luft bei einem Einfallswinkel von ca. 48° eintritt. Besonders interessierte Schüler:innen können sich unter Anleitung eines Videos des Deutschen Museums mit einfachen Mitteln selbst einen Unterwasserspiegel bauen, bei dem das Phänomen der Totalreflexion ausgenutzt wird (Deutsches Museum, 2020).



Abb. 9: Interaktives Bildschirmexperiment zur qualitativen Untersuchung der Totalreflexion

Über diesen explorativen Zugang sollen die Schüler:innen erste experimentelle Erfahrungen sammeln, um darauf aufbauend ein Experiment zur Totalreflexion für den Übergang von Glas nach Luft planen und später im Unterricht durchzuführen. Ausgehend von dem bereits ein paar Einheiten zuvor kennengelernten Brechungsdiagramm (siehe Abb. 10) und dem Wissen, dass die Totalreflexion beim Übergang von

Wasser nach Luft bei ca. 48° eintritt, sollen die Schüler:innen eine Hypothese formulieren, ab wann es beim Übergang von Glas nach Luft zur Totalreflexion kommt.

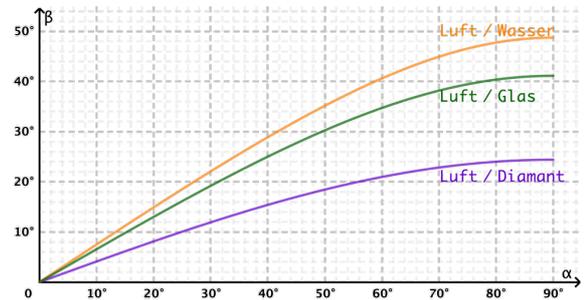


Abb. 10: Brechungsdiagramm für den Übergang von Luft nach Glas

Anschließend müssen die Schüler:innen aus einer Box alle für ihr Experiment benötigten Geräte, Messinstrumente und Materialien auswählen und in eine neue Box legen (siehe Abb. 11), eine Zeichnung des Aufbaus anfertigen und in eigenen Worten die Durchführung des Experiments beschreiben.

Aktuell entwickeln wir auf der Plattform tet.folio ein Tool, mit dem Lehrkräfte Einblicke in den Bearbeitungsstand der Schüler:innen nehmen können (Evaluate).

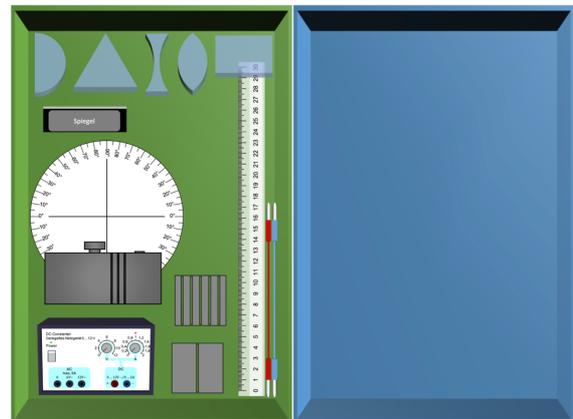


Abb. 11: Auswahl der für das Experiment notwendigen Materialien

3.3. Explain-Phase

Zu Beginn der Unterrichtsstunde werden zunächst alle bei der häuslichen Vorbereitung aufgetretenen Fragen und Probleme gesammelt, sortiert und in einer think-pair-share-Phase (Lyman, 1981) gelöst. Die Lehrkraft kann diese Phase noch durch weitere Fragen ergänzen (siehe Abb.12). In einem anschließenden Klassengespräch werden darüber hinaus noch die relevanten Aspekte bei der Planung des Experiments diskutiert. Durch dieses Vorgehen erhält die Lehrkraft eine Rückmeldung, wie erfolgreich Schüler:innen bei der Planung waren (Evaluate) und kann den weiteren Unterricht entsprechend flexibel gestalten.

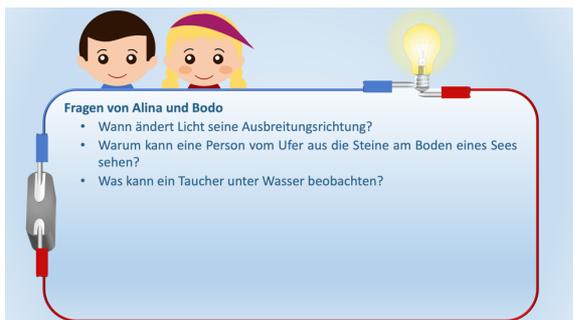


Abb. 12: Fragen für die think-pair-share Phase (Lyman, 1981) im Unterricht

3.4. Extent-Phase

Im weiteren Verlauf des Unterrichts wird das Experiment aufgebaut, Messwerte erfasst, entsprechend aufbereitet und interpretiert. Sind an einer Schule keine Klassensätze zum eigenständigen Experimentieren vorhanden, so kann alternativ ein interaktives Bildschirmexperiment genutzt werden (siehe Abb.13).

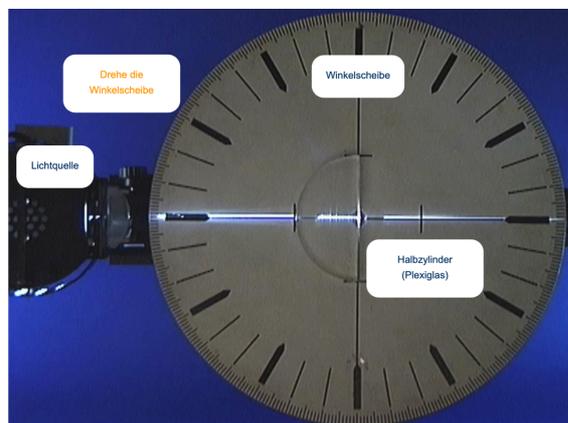


Abb. 13: Interaktives Bildschirmexperiment zur quantitativen Untersuchung der Totalreflexion (IBE REBR02, 1998)

Zur Differenzierung gibt es ein Arbeitsblatt auf dem Glasquader aus unterschiedlichen Richtungen mit einem Lichtstrahl beleuchtet werden (siehe Abb. 14). Ausgehend von den eingezeichneten Lichtstrahlen sollen die Schüler:innen unter Berücksichtigung von Reflexionen und mit Hilfe des Brechungsdiagramms (siehe Abb. 10) alle theoretisch zu beobachtbaren Lichtstrahlen über mehrere Richtungswechsel hinweg einzeichnen.



Abb. 14: Zwei Beispiele zur theoretischen Ermittlung auftretender Reflexionen, Brechungen und Totalreflexionen am Glasquader

Die Schüler:innen müssen bei der Bearbeitung zunächst überlegen, ob ein Übergang von Luft nach Glas oder umgekehrt stattfindet und entsprechend das Brechungsdiagramm interpretieren. Bei den

Übergängen von Glas nach Luft kommt hinzu, dass die Schüler:innen entscheiden müssen, ob es zur Totalreflexion kommt oder ob der Lichtstrahl gebrochen wird und anschließend den Glasquader verlässt. Anschließend überprüfen die Schüler:innen den theoretischen Verlauf experimentell oder mit Hilfe einer Simulation (siehe Abb. 15).

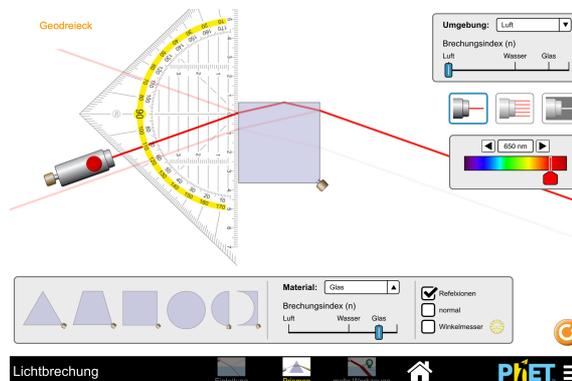


Abb. 15: Simulation zur Untersuchung von Reflexionen, Brechungen und Totalreflexionen an einem Glasquader (University of Colorado Boulder, 2019)

Am Ende der Unterrichtsstunde werden die aus dem Experiment gewonnenen Erkenntnisse gesammelt, diskutiert und ein Bezug zur anfangs gestellten Forschungsfrage aufgebaut. In diesem Zusammenhang werden auch die von den Schüler:innen aufgestellten Hypothesen getestet. Durch die individuelle Unterstützung der Gruppen beim Experimentieren und die gemeinsame Diskussion und Interpretation am Ende der Stunde erfährt die Lehrkraft, wie gut die Schüler:innen mit den Aufgaben zurechtgekommen sind und welche Schlüsse sie abgeleitet haben (Evaluat).

4. Ausblick

Die vorgestellten Materialien repräsentieren eine von insgesamt zwölf im gleichen Stil aufbereiteten Unterrichtseinheiten (siehe Abb.16). Inhaltlich lassen sich die Einheiten den drei Themengebieten der Reflexion, Brechung und Linsen zuordnen.



Abb.16: Übersicht über die Lerneinheiten zur Optik

Neben der geometrischen Optik wurde auch für die Elektrizitätslehre eine vergleichbare Unterrichtskonzeption nach dem Elektronengasmodell mit ebenfalls

zwölf Lerneinheiten entwickelt (siehe Abb. 17). Nähere Einblicke in die Unterrichtsmaterialien zur E-Lehre finden sich bei (Lutz et al., 2020).



Abb.17: Überblick über die Lerneinheiten zur E-Lehre (Lutz et al., 2020)

Im Rahmen zweier Pilotierungsstudien wurden in den Schuljahren 2019/20 und 2020/21 das Nutzungsverhalten der entwickelten Unterrichtseinheiten in der E-Lehre mit 13 Klassen ($n = 296$) und in der Optik mit 16 Klassen ($n = 367$) jeweils in der 8. Jahrgangsstufe an bayerischen Gymnasien eruiert. Im Fokus der Studie standen die subjektiv wahrgenommene Verständlichkeit und die Länge der Lernvideos, die empfundene Schwierigkeit der Aufgaben und der insgesamt aufzuwendende Zeitaufwand zur Bearbeitung. Einblicke in die Ergebnisse zur E-Lehre finden sich bei Lutz et al. (2021). Die Ergebnisse aus der Optikstudie sollen noch folgen.

Aufbauend auf den Erkenntnissen wurden die Materialien weiterentwickelt und stehen nun für eine Vergleichsstudie im Crossover-Design zur Verfügung (siehe Abb.18). Das Ziel dieser Studie richtet sich auf die Untersuchung, inwiefern sich die Entwicklung des konzeptionellen Verständnisses und der experimentellen Kompetenz unter dem Einsatz digital gestalteter Materialien im Flipped Classroom vom traditionellen Unterricht unterscheidet. Zur Erklärung auftretender Varianzen werden zusätzlich noch die kognitive Leistungsfähigkeit, das Vorwissen und affektive Schülermerkmale, wie Interesse, Selbstkonzept und Selbstwirksamkeitserwartung erhoben.

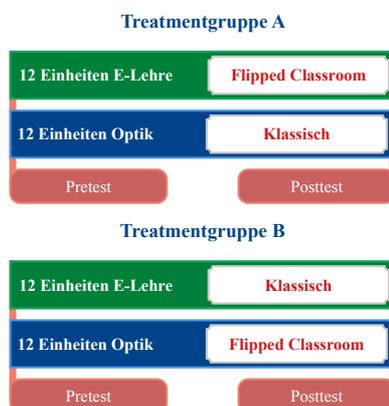


Abb. 18: Cross-Over-Design der Vergleichsstudie

5. Literatur

- Abels, S., Lautner, G. & Lembens, A. (2014). Mit „Mysteries“ zu Forschendem Lernen im Chemieunterricht. *Chemie & Schule*, 29(3), 20-21.
- Abels, S. und Lembens, A.: Mysteries als Einstieg ins Forschende Lernen im Chemieunterricht. *Chemie & Schule*, 2015. 30(1b): S. 3-5.
- Abels, S., Brauns, S. & Egger, D. (2020). Forschendes Lernen im inklusiven naturwissenschaftlichen Unterricht. In: *Innovationen machen Schulen top* S. 10-14.
- Abrams, E., Southerland, S. A. & Evans, C. (2008). Introduction. *Inquiry in the classroom: Identifying Necessary Components of a Useful Definition*. In E. Abrams, S. A. Southerland & P. Silva (Eds.), *Inquiry in the classroom. Realities and Opportunities* (pp. xi-xlii). Charlotte, North Carolina: Information Age Publishing.
- Andersson, B. & Kärrqvist, C. (1983). How Swedish pupils, aged 12-15 years, understand light and its properties. *International Journal of Science Education*, 5(4), 387-402.
- Baumert, J., Kunter, M., Brunner, M., Krauss, S., Blum, W., & Neubrand, M. (2004). Mathematikunterricht aus der Sicht der PISASchülerinnen und -Schüler und ihrer Lehrkräfte. In M. Prenzel, J. Baumert, W. Blum, R. Lehmann, D. Leutner & M. Neubrand (Hrsg.), *PISA 2003: Der Bildungsstand der Jugendlichen in Deutschland – Ergebnisse des zweiten internationalen Vergleichs* (S. 314-354). Münster: Waxmann.
- Blanchard, M. R., Southerland, S. A., Osborne, J. W., Sampson, V. D., Annetta, L. A. & Granger, E. M. (2010). Is Inquiry Possible in Light of Accountability?: A Quantitative Comparison of the Relative Effectiveness of Guided Inquiry and Verification Laboratory Instruction. *Science Education*, 94(4), 577-616.
- Bos, W., Lorenz, R., Endberg, M., Eickelmann, B., Grafe, S., & Vahrenhold, J. (2017). *Schule digital – der Länderindikator 2017. Schulische Medienbildung in der Sekundarstufe I mit besonderem Fokus auf MINT-Fächer im Bundesländervergleich und Trends von 2015 bis 2017*. Münster: Waxmann.
- Bybee, R. W., Taylor, J. A., Gardner, A., Van Scotter, P., Carlson Powell, J., Westbrook, A. & Landes, N. (2006). *The BSCS 5E Instructional Model: Origins and Effectiveness*.
- Bybee, R. W. (2009). *The BSCS 5E instructional model and 21st century skills*. Washington, DC: National Academies Board on Science Education.
- Craik, F. I., & Lockhart, R.S. (1972). Levels of processing: a framework for memory research. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 11(6), 671-684.

- Deutsches Museum (2020). Die spiegelnde Luftblase – Totalreflexion. Link: <https://www.deutsches-museum.de/angebote/jugend-im-museum/experimentierenhome/die-spiegelnde-luftblase/> (Stand 5/2021)
- Duit, R. (2009). Bibliography—STCSE: Students' and teachers' conceptions and science education. Retrieved October 20, 2009
- Duit, R.; Gropengießer, H.; Kattmann, U.; Komorek, M. & Parchmann, I. (2012). The Model of Educational Reconstruction – a Framework for Improving Teaching and Learning Science. In: D. Jorde und J. Dillon (Hrsg.): Science education research and practice in Europe. Springer, S.13–37.
- Duit, R., Schecker, H., Höttecke, D., & Niedderer, H. (2014). Teaching physics, in Handbook of Research on Science Education, edited by N. G. Lederman and S. K. Abell (Routledge, London, 2014), pp. 434–456.
- Eickelmann, B. und Vennemann, M. (2013). Digitale Medien in der Grundschule Deutschland und Österreich im Spiegel der internationalen Vergleichsstudie TIMSS 2011. Medienimpulse, 51 (2): 1–27.
- Ejersbo, L.R., Engelhardt, R., Frølund, L., Hanghøj, T., Magnussen, R. & Misfeldt, M. (2008). Balancing product design and theoretical insights. In Kelly, A.E., Lesh, R.A. & Baek, J.Y. (Hrsg.), Handbook of design research methods in education: Innovations in science, technology, engineering, and mathematics learning and teaching (S. 149–163): Routledge.
- Galili, I. (1996). Students' conceptual change in geometrical optics. International Journal of Science Education, 18(7), 847–868.
- Haagen-Schützenhöfer, C., Fehringer, I., Rottensteiner, J. (2017). Optik für die Sekundarstufe I.
- Haagen-Schützenhöfer C., Hopf M. (2018 a): Schülervorstellungen zur geometrischen Optik. In: Schecker H., Wilhelm T., Hopf M., Duit R. (eds) Schülervorstellungen und Physikunterricht. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-57270-2_5 (Stand 5/2021)
- Haagen-Schützenhöfer, C.; Hopf, M. (2018 b). Design-Based Research: Unterrichtsgang zur Anfangsoptik. In Maurer, C. (Hrsg.): Qualitätsvoller Chemie- und Physikunterricht – normative und empirische Dimensionen, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Regensburg 2017, Band 38, 2018, S. 118–121
- Haase, S.; Kirstein, J. & Nordmeier, V. (2016): tet.folio: Neue Ansätze zur digitalen Unterstützung individualisierten Lernens. Didaktik der Physik. Frühjahrstagung Hannover 2016. <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/737/871> (Stand 5/2021)
- Hattie, John. 2012. Visible learning for teachers: Maximizing impact on learning. London: Routledge.
- Helmke, A. (2012). Unterrichtsqualität und Lehrerprofessionalität. Seelze: Klett.
- Herdt, D. (1989). Einführung in die elementare Optik. Vergleichende Untersuchung eines neuen Lehrgangs. Essen: Westarp.
- Herzig, B. (2014). Wie wirksam sind digitale Medien im Unterricht? Gütersloh: Bertelsmann Stiftung. Link: https://www.bertelsmannstiftung.de/fileadmin/files/BSt/Publikationen/GrauePublikationen/Studie_IB_Wirksamkeit_digitale_Medien_im_Unterricht_2014.pdf (Stand 5/2021).
- Hillmayr, D., Reinhold, F., Ziernwald, L., & Reiss, K. (2017). Digitale Medien im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht der Sekundarstufe. Einsatzmöglichkeiten, Umsetzung und Wirksamkeit. Münster: Waxmann.
- Hofstein, A., Navon, O., Kipnis, M. & Mamlok-Naaman, R. (2005). Developing Students' Ability to Ask More and Better Questions Resulting from Inquiry- Type Chemistry Laboratories. Journal of Research in Science Teaching, 00(00), 1-16.
- IBE REBR02 (1998, Institut für Fachdidaktik Physik und Lehrerbildung, Technische Universität Berlin)
- Jung, W. (1982). Fallstudien zur Optik. *physica didactica*, 9, 199–220.
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H. & Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 3, 3–18.
- Lipowsky, F. (2009). Unterricht. In E.Wild & J. Möller (Hrsg.), Springer-Lehrbuch. Pädagogische Psychologie (S. 73–101). Berlin: Springer.
- Lutz, W., Burde, J.P., Wilhelm, T. & Trefzger, T. (2020). Digitale Unterrichtsmaterialien zum Elektronengasmodell. In: PhyDid B.
- Lutz, W., Haase, S., Burde, J.P., Wilhelm, T. & Trefzger, T. (2021). Nutzung digitaler Materialien zum Elektronengasmodell im Homeschooling. In: Sebastian Habig (Hg.), Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch? Online Jahrestagung der GDGP 2020, S. 137-140.
- Lyman, F. (1981). The Responsive Classroom Discussion. In A. S. Anderson (Ed.), *Mainstreaming Digest* (pp. 109-113). College Park, MD: University of Maryland College of Education.
- 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

- Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest (mpfs) (2020): JIM-Studie 2019. Jugend, Information, (Multi-) Media. Stuttgart. URL: https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/JIM/2019/JIM_2019.pdf (Stand 5/2021)
- Nawrath, D., Maiseykenka, V. & Schecker, H. (2011). Experimentelle Kompetenz – Ein Modell für die Unterrichtspraxis. In: PdN PHYSIK in der Schule Heft 6 Jahrgang 60: S. 42-49.
- Niegemann, H. M., Hessel, S., Hochscheid-Mauel, D., Aslanski, K., Deimann, M., & Kreuzberger, G. (2004). Kompendium E-Learning: 10 Video in E-Learning Umgebungen. Berlin: Springer.
- Oser, Fritz K. und Franz J. Baeriswyl. 2001. Choreographies of teaching: Bridging instruction to learning. In Handbook of research on teaching, hrsg. von Virginia Richardson. 4. Aufl., 1031–65. Washington: American Educational Research Association.
- Puentedura, R. (2006). Transformation, technology, and education. Link: <http://hippasus.com/resources/tte/> (Stand 5/2021).
- Renkl, A. & Atkinson, R. K. (2007). Interactive learning environments: contemporary issues and trends. An introduction to the special issue. Educational Psychology Review 19 (3): 235–38.
- Reinmann, G. (2005): Innovation ohne Forschung? Ein Plädoyer für den Design-Based Research-Ansatz in der Lehr-Lernforschung. In: Unterrichtswissenschaft 33 (1), S. 52–69.
- Romrell, D., Kidder, L. C., & Wood, E. (2014). The SAMR Model as a Framework for Evaluating mLearning. Journal of Asynchronous Learning Networks 18 (2).
- Schecker H., Duit R. (2018) Schülervorstellungen und Physiklernen. In: Schecker H., Wilhelm T., Hopf M., Duit R. (eds) Schülervorstellungen und Physikunterricht. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-57270-2_1 (Stand 5/2021)
- Schnotz W., Duit R., denbeck, C., Müller, R., Wiesner, H., Herdt, D. & Engelhardt, P. (2005). Unterricht Physik, Optik III/2. Wölb- und Hohlspiegel, Spiegelteleskop, Auge, Farben, Köln: Aulis.
- 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
- Stark, R. (2004): Eine integrative Forschungsstrategie zur anwendungsbezogenen Generierung relevanten wissenschaftlichen Wissens in der Lehr- Lern-Forschung. In: Unterrichtswissenschaft, Heft 3/32, S. 257-273
- Sweller, J., Ayres, P. & Kalyuga, S. (2011). Cognitive Load Theory. New York: Springer. doi:10.1007/978-1-4419-8126-4
- Totter, A., Häbig, J., Müller-Kuhn, D., und Zala-Mezö, E. (2020). Zwischen traditionellem Schulbuch und hybridem Lehrmittel. Bedingungen, Möglichkeiten und Herausforderungen von Lernen und Lehren in einer digitalen Welt. Zeitschrift MedienPädagogik 17 (Jahrbuch Medienpädagogik), 169–193.
- University of Colorado Boulder (2019). PhET Interactive Simulations – Lichtbrechung. Link: <https://phet.colorado.edu/de/simulation/bending-light> (Stand 5/2021)
- Wiesner, H., Engelhardt, P. & Herdt D. (1995). Unterricht Physik, Optik I. Lichtquellen, Reflexion, Köln: Aulis Verlag Deubner & Co.
- Wiesner, H., Engelhardt, P. & Herdt D. (1996). Unterricht Physik, Optik II. Brechung, Linsen, Köln: Aulis Verlag Deubner & Co.
- Wiesner, H., Herdt, D. & Engelhardt, P. (2003). Unterricht Physik, Optik III/1. Optische Geräte, Köln: Aulis.