



Erträge Didaktischer Rekonstruktion für Forschung und Unterricht am Beispiel von Lernaufgaben zum experimentellen Denken und Arbeiten

Andreas Vorholzer^{1,*}

¹ *Justus-Liebig-Universität Gießen*

** Kontakt: Justus-Liebig-Universität Gießen,
Institut für Didaktik der Physik,
Karl-Glöckner Str. 21C, 35394 Gießen
avorholzer@jlug.de*

Zusammenfassung: Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion wird seit über 20 Jahren in der Naturwissenschaftsdidaktik und darüber hinaus als theoretischer Rahmen für fachdidaktische Forschung und für die Entwicklung von Lernangeboten genutzt. Im Fokus der drei mit der didaktischen Rekonstruktion verbundenen Untersuchungsaufgaben – fachliche Klärung, Erfassung der Schüler*innenperspektive, didaktische Strukturierung – stehen dabei in der Regel fachinhaltliche Lerngegenstände (z.B. Evolution, Chaostheorie oder Klimawandel). Im Gegensatz dazu liegen bisher kaum forschungs- oder entwicklungsorientierte Arbeiten vor, in denen das Modell auf prozessbezogene Lerngegenstände (z.B. aus den Kompetenzbereichen Erkenntnisgewinnung oder Kommunikation) bezogen wird. Dem Beitrag liegt eine Interventionsstudie zugrunde, in der das Modell der didaktischen Rekonstruktion zur Entwicklung eines mehrere Schulstunden umfassenden Lernangebots genutzt wurde, welches auf den Aufbau experimenteller Denk- und Arbeitsweisen ausgerichtet ist. Anhand des Beispiels der vorgestellten Studie wird im Beitrag zum einen dargestellt, wie die Untersuchungsaufgaben des Modells auf einen prozessbezogenen Lerngegenstand bezogen sowie welche Prinzipien für die Entwicklung eines solchen Lernangebots aus Überlegungen zu diesen Aufgaben abgeleitet werden können. Ergänzend werden empirische Befunde eines Prä-Post-Vergleichs mit $N = 222$ Schüler*innen vorgestellt, die Evidenz für die Wirksamkeit des entlang dieser Prinzipien angelegten Lernangebots liefern. Zum anderen wird aus methodischer Perspektive diskutiert, welche Erträge der Einsatz des Modells der Didaktischen Rekonstruktion für Forschungsarbeiten liefern kann, in denen die Wirkung eines Lernangebots oder eines bestimmten Instruktionsmerkmals empirisch und unter möglichst kontrollierten Bedingungen untersucht werden soll.

Schlagwörter: Didaktische Rekonstruktion, Erkenntnisgewinnung, Interventionsstudie, experimentelle Denk- und Arbeitsweisen, explizite Instruktion



1 Einleitung

Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion (MDR) stellt einen theoretischen Rahmen dar, der sowohl für fachdidaktische Lehr-/Lernforschung als auch für die Planung und Entwicklung von Lernangeboten genutzt werden kann (z.B. Duit, Gropengießer, Kattmann, Komorek & Parchmann, 2012; Kattmann, Duit, Gropengießer & Komorek, 1997). In fachdidaktischer Lehr-/Lernforschung wird (auch über die Naturwissenschaften hinaus) auf das MDR zurückgegriffen, um aus dem Modell heraus Fragestellungen abzuleiten (z.B. Erfassung von Schüler*innenvorstellungen; zusammenfassend Reinfried, Mathis & Kattmann, 2009) oder um sicherzustellen, dass die Ergebnisse empirischer Untersuchungen für die Praxis relevant und nutzbar werden (Kattmann, 2007). Die zahlreichen und in ihrer Gestaltung vielfältigen Beispiele, in denen das MDR als Rahmenmodell für die Entwicklung von Lernangeboten genutzt wird (zusammenfassend u.a. in der Schriftenreihe „Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion“; Kattmann, 1997ff.), fokussieren typischerweise auf *fachinhaltliche* Lerngegenstände. Dazu gehören beispielsweise Lernangebote, die auf den Aufbau von Kompetenzen zu einem bestimmten Themenbereich abzielen (z.B. Evolution: Weitzel & Gropengießer, 2009, oder Chaostheorie: Duit, Komorek & Wilbers, 1997; zusammenfassend Kattmann, 1997ff.). Neben dem Aufbau solcher fachinhaltlichen Kompetenzen soll naturwissenschaftlicher Unterricht auch einen Beitrag zur Entwicklung der prozessbezogenen Kompetenzen von Schüler*innen leisten (KMK, 2005a, 2005b, 2005c). Schüler*innen sollen beispielsweise am Ende der Sekundarstufe I dazu in der Lage sein, einfache Experimente zu planen und durchzuführen (Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung; KMK, 2005c) oder die Ergebnisse solcher Experimente adressatengerecht zu kommunizieren (Kompetenzbereich Kommunikation; KMK, 2005c). Dazu, wie das MDR als theoretischer Rahmen für die Entwicklung und Erforschung von Lernangeboten zu solchen *prozessbezogenen* Lerngegenständen genutzt werden kann, liegen bisher jedoch kaum Beispiele vor. Arbeiten zu prozessbezogenen Lerngegenständen befassen sich vielmehr häufig primär mit der Rekonstruktion von fachlichen Vorstellungen und deren Genese oder mit der Erfassung der Schüler*innenperspektive (insbesondere mit Schwerpunkt auf empirische Lehr-/Lernforschung; s.u.). Solche Arbeiten sind wichtig, da sich aus ihnen u.a. Hinweise für die Gestaltung von Lernangeboten ableiten lassen. Sie lassen jedoch häufig offen, wie genau ein Lernangebot aussieht, das entlang dieser Hinweise angelegt ist, und inwiefern ein solches Angebot tatsächlich zum Kompetenzaufbau beiträgt. Hier setzt der vorliegende Beitrag an.

Ihm liegt ein Forschungsprojekt zugrunde, in dem das MDR genutzt wurde, um ein Lernangebot zu entwickeln, das auf den Aufbau von drei prozessbezogenen Kompetenzen aus dem Bereich der experimentellen Denk- und Arbeitsweisen abzielte: 1) Formulieren von Fragen und Hypothesen, 2) Planen von Untersuchungen und 3) Auswerten und Interpretieren von Daten (Vorholzer, von Aufschnaiter & Kirschner, 2016; vgl. auch Emden & Sumfleth, 2016). Ziel des Projekts war es u.a., die Wirkung von zwei unterschiedlichen Instruktionsansätzen zu vergleichen, die in der Literatur als Möglichkeiten zur Förderung dieser Kompetenzen diskutiert werden (explizite und implizite Instruktion; s.u.). Anhand dieses Projekts wird im Beitrag illustriert, wie die Untersuchungsaufgaben des MDR auf prozessbezogene Lerngegenstände bezogen werden können. Weil bisher vergleichsweise wenige Arbeiten dieser Art vorliegen, werden dabei sowohl das methodische Vorgehen bei der Bearbeitung der einzelnen Untersuchungsaufgaben als auch die jeweils zugehörigen Ergebnisse umfassend dargestellt und deren Umsetzung in ein Lernangebot illustriert. Anschließend werden empirische Ergebnisse berichtet, die auf die Wirksamkeit des entwickelten Lernangebots schließen lassen. Im Kontext der empirischen Untersuchung wird diskutiert, welchen Beitrag das MDR aus methodischer Perspektive dazu leisten kann, experimentelle Vergleiche unterschiedlicher Instruktionsansätze oder Untersuchungen zur Wirkung eines Lernangebots im Allgemeinen möglichst aussagekräftig zu gestalten.

2 Grundsätzliche Überlegungen zur Entwicklung eines prozessbezogenen Lernangebots entlang des MDR

Wird das MDR als theoretischer Rahmen zur Entwicklung eines Lernangebots genutzt, sind mit Blick auf den Lerngegenstand (hier: Kompetenzen des experimentellen Denkens und Arbeitens) drei Untersuchungsaufgaben zu bearbeiten: die fachliche Klärung, die Erfassung der Schüler*innenperspektive und die didaktische Strukturierung (z.B. Kattmann et al., 1997; Kattmann, 2007). Diese Untersuchungsaufgaben gilt es iterativ und unter wechselseitiger Bezugnahme zu bearbeiten (vgl. Kap. 2.1 bis 2.3). Wie genau die Untersuchungsaufgaben ausgelegt werden und welche der mit ihnen verknüpften Fragestellungen (siehe z.B. Übersicht in Kattmann, 2007) dabei besonders (wenig) intensiv bearbeitet werden, ist z.T. verschieden. Während in manchen Arbeiten beispielsweise die Aufarbeitung der historischen Genese fachlicher Begriffe als ein Kernelement der fachlichen Klärung oder sogar als eigenständige Untersuchungsaufgabe ausgewiesen wird (z.B. Heinicke, 2012), werden historische Aspekte in anderen Arbeiten kaum betrachtet (z.B. Rogge, 2010). Welche Fragen im Zuge der Didaktischen Rekonstruktion besonders relevant sind, hängt u.a. vom Lern- bzw. Forschungsgegenstand ab. Vor dem Hintergrund der zahlreichen mit den einzelnen Untersuchungsaufgaben verknüpften Fragestellungen erscheint eine Auswahl und Fokussierung somit notwendig und zielführend. Es ist deshalb an dieser Stelle zu betonen, dass es sich bei dem im Folgenden beschriebenen Vorgehen um eine mögliche Umsetzung der Untersuchungsaufgaben des MDR handelt, dass selbst im Hinblick auf denselben Lerngegenstand aber auch andere Vorgehensweisen denkbar sind.

Sollen die Untersuchungsaufgaben des Modells wie im vorgestellten Projekt auf einen prozessbezogenen Lerngegenstand bezogen werden, ist darüber hinaus zu bedenken, dass die zu entwickelnden Fragen, Aufgaben und Beispiele nicht nur eine prozessbezogene, sondern auch eine fachinhaltliche Komponente haben, da sie typischerweise in einen fachinhaltlichen Kontext eingebunden sind. Fragestellungen und Hypothesen werden beispielsweise zu einem *konkreten Phänomen* gestellt (z.B. „Welche Variablen beeinflussen die durchschnittliche Fallgeschwindigkeit eines Objekts in Luft?“) und Untersuchungen zur Klärung eines *bestimmten Zusammenhangs* (z.B. zwischen der Masse und der Fallgeschwindigkeit) geplant. Es ist davon auszugehen, dass die Wahl der fachinhaltlichen Kontexte auch dann einen Einfluss auf die Wirksamkeit eines Lernangebots hat, wenn dessen Ziel der Aufbau prozessbezogener Kompetenzen ist. Insbesondere wenn der gewählte Kontext für die Lernenden zu anspruchsvoll ist (also z.B. zentrale physikalische Größen nicht bekannt oder unverstanden sind), ist es wenig wahrscheinlich, dass eine zielführende Bearbeitung des Lernangebots gelingt (z.B. Renkl, 2016; vgl. auch Kap. 5). Bei der Entwicklung des Lernangebots wurden deshalb nicht nur der prozessbezogene Lerngegenstand fachlich geklärt und die zugehörige Schüler*innenperspektive erfasst, sondern auch der fachinhaltliche Kontext. Im Abgleich der Fach- und der Schülerperspektive konnte so sichergestellt werden, dass das Lernangebot die Schüler*innen aus fachinhaltlicher Sicht nicht über- oder unterfordert. Aus Platzgründen und da bereits eine Reihe von Beispielen für die Anwendung der Untersuchungsaufgaben auf fachinhaltliche Themengebiete vorliegt, wird im Folgenden primär die prozessbezogene Komponente in den Blick genommen. Für eine Darstellung der Überlegungen zur fachinhaltsbezogenen Komponente des Lernangebots siehe Vorholzer (2016).

2.1 Fachliche Klärung

In einem ersten Schritt gilt es bei der fachlichen Klärung festzulegen, welche prozessbezogenen Kompetenzen durch die Bearbeitung des Lernangebots gefördert werden sollen. Bezogen auf die im Projekt fokussierten experimentellen Denk- und Arbeitsweisen (EDAW) kann hierzu sowohl auf normative Beschreibungen (z.B. KMK, 2005c) als auch auf eine Reihe von Kompetenzmodellen zurückgegriffen werden (z.B. Wellnitz et

al., 2012). Beschreibungen von Kompetenzen zu EDAW orientieren sich häufig an einer idealisierten Abfolge der Schritte naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung und umfassen in der Regel mindestens die drei Teilkompetenzen *Fragen und Hypothesen formulieren (FH)*, *Untersuchungen planen und durchführen (UP)* und *Daten auswerten und interpretieren (AI)* (siehe z.B. die Übersichten in Emden & Sumfleth, 2016). Diese drei Teilkompetenzen wurden – unter anderem aufgrund ihrer zentralen Stellung in den nationalen Bildungsvorgaben (z.B. KMK, 2005c) – im Zuge der fachlichen Klärung in den Blick genommen.

Es besteht weitgehend Einigkeit darüber, dass sowohl Fähigkeiten als auch die zur Entfaltung dieser Fähigkeiten erforderlichen konzeptuellen Kenntnisse („Konzepte“; z.B. Regeln, Definitionen, Gesetze) wesentlicher Bestandteil von Kompetenz sind (z.B. Klieme et al., 2007; Weinert, 2000, 2001; vgl. auch die Diskussion in von Aufschnaiter & Hofmann, 2014). So umfasst die Teilkompetenz „Untersuchungen planen“ beispielsweise die Fähigkeit, kontrollierte und nicht (ausreichend) kontrollierte Experimente zu erkennen. Damit Schüler*innen dies gelingen kann, müssen sie u.a. wissen, dass bei einem kontrollierten Experiment immer nur eine Variable gleichzeitig verändert und alle anderen Variablen möglichst konstant gehalten werden. Mit Blick auf die drei angestrebten Teilkompetenzen wurden in einem zweiten Schritt deshalb die jeweils zugehörigen prozessbezogenen Fähigkeiten erfasst und untersucht, welche prozessbezogenen Konzepte zur Entfaltung dieser Fähigkeiten von den Lernenden mindestens intuitiv verstanden werden müssen (von Aufschnaiter & Hofmann, 2014). Hinweise auf Fähigkeiten lassen sich u.a. aus den Kompetenzbeschreibungen in den Bildungsstandards (z.B. KMK, 2005c) oder fachdidaktischen Arbeiten zur Modellierung und Messung von EDAW (z.B. Arnold, Kremer & Mayer, 2014; Grube, 2011; Wellnitz et al., 2012) ableiten. Dazu können die dort beschriebenen Standards bzw. Kompetenzen, die i.d.R. eine Reihe von Fähigkeiten umfassen und über einen vergleichsweise langen Zeitraum aufgebaut werden sollen, in einzelne Fähigkeiten „zerlegt“ werden, um sie so für die Planung eines zeitlich begrenzten Lernangebots handhabbar zu machen (z.B. von Aufschnaiter & Hofmann, 2014; Vorholzer, 2017). So kann z.B. der eher breit formulierte Standard: „die Lernenden [...] entwickeln Fragestellungen [und] leiten Hypothesen ab, die mit Untersuchungen oder Experimenten verifiziert bzw. falsifiziert werden“ (HKM, 2011, S. 19), u.a. in die in Tabelle 1 auf der folgenden Seite oben beschriebenen Fähigkeiten zerlegt werden. Bei dieser Zerlegung wurden nicht nur einzelne Teilaspekte (Fragen, Hypothesen) getrennt, sondern gleichzeitig jeweils vorlaufende Fähigkeiten ergänzt. Bevor Schüler*innen beispielsweise Fragen selbst „entwickeln“ bzw. „formulieren“, kann im Lernverlauf zunächst die weniger anspruchsvolle Fähigkeit, geeignete Fragen zu „identifizieren“ (vgl. Wellnitz et al., 2012), angestrebt werden. Aus einer rein fachlichen Perspektive ist die Aufnahme dieser Fähigkeit in die fachliche Klärung nicht erforderlich – wer geeignete Fragen entwickeln kann, kann sie mit hoher Wahrscheinlichkeit auch erkennen –; aus fachdidaktischer Perspektive ist sie dennoch sinnvoll, um anschließend in der didaktischen Strukturierung Lernverläufe anzulegen. Schwieriger als die fachliche Klärung der Fähigkeiten ist oftmals die Klärung der zu diesen Fähigkeiten gehörigen prozessbezogenen Konzepte, da diese in der Literatur nur selten explizit ausformuliert werden. Eine Ausnahme und einen Orientierungspunkt für die fachliche Klärung stellen z.B. die von Gott, Duggan, Roberts und Hussain (2014) formulierten Concepts of Evidence dar. Zum Teil finden sich auch in forschungsmethodischen Hand- und Lehrbüchern Hinweise (z.B. Bortz & Döring, 2006); insbesondere hier ist jedoch aus fachdidaktischer Sicht kritisch zu prüfen, inwiefern sich die dort formulierten Konzepte für schulische Lernangebote eignen (z.B. durch Abgleich mit den Vorerfahrungen und Vorstellungen der Schüler*innen; vgl. Schüler*innenperspektive in Kap. 2.2). Eine weitere Möglichkeit zur Erfassung prozessbezogener Konzepte besteht darin, aus vorliegenden (Test-)Aufgaben für Schüler*innen die zur Bearbeitung erforderlichen Konzepte zu rekonstruieren. Eine Möglichkeit für eine solche Rekonstruktion ist es, Aufgaben selbst zu bearbeiten

(z.B. selbst naturwissenschaftliche Fragen zu formulieren) und dabei das eigene Denken zu beobachten (z.B. zu überlegen: Worauf achte ich, wenn ich eine naturwissenschaftliche Frage formuliere?). Auch die so rekonstruierten Konzepte sind vor dem Hintergrund der Schüler*innenperspektive auf ihre Eignung für das geplante Lernangebot zu prüfen. Im vorgestellten Projekt wurden zur fachlichen Klärung a) Standards, Curricula (z.B. KMK, 2005c; HKM, 2011) und fachdidaktische Literatur analysiert (z.B. Gott et al., 2014; Hammann, Phan, Ehmer & Bayrhuber, 2006; Nawrath, Maiseyenka & Schecker, 2011), b) Fähigkeiten und Konzepte aus Aufgaben rekonstruiert (insbesondere aus Testinstrumenten; z.B. Arnold, Kremer & Mayer, 2013; Glug, 2009) und c) die identifizierten Fähigkeiten und Konzepte aus fachdidaktischer Sicht geprüft (für eine ausführliche Diskussion des Verfahrens vgl. Vorholzer et al., 2016; siehe auch von Aufschnaiter & Hofmann, 2014). Ein exemplarisches Ergebnis der fachlichen Klärung für die Teilkompetenz FH ist in Tabelle 1 dargestellt. Für eine umfassende Darstellung der zu allen drei Teilkompetenzen rekonstruierten Fähigkeiten und Konzepte siehe Vorholzer (2016, 2017).

Tabelle 1: Exemplarische Darstellung von Fähigkeiten und zugehörigen Konzepten zur Teilkompetenz „Fragen und Hypothesen formulieren“

Fähigkeiten	<p>Die Schüler*innen...</p> <ul style="list-style-type: none"> ... formulieren [bzw. identifizieren/erläutern den Unterschied zwischen] präzise(n) und allgemeine(n) naturwissenschaftliche(n) Fragen. ... formulieren [bzw. identifizieren] naturwissenschaftliche Fragen. ... erläutern den Unterschied zwischen naturwissenschaftlichen und nicht naturwissenschaftlichen Fragen. ... identifizieren [bzw. erläutern den Unterschied zwischen] Vermutungen und Hypothesen. ... formulieren [bzw. identifizieren] zu einer naturwissenschaftlichen Frage passende Vermutungen oder Hypothesen
Konzepte	<p>Eine naturwissenschaftliche Frage sollte immer möglichst präzise formuliert werden. In einer präzisen Frage ist genau festgelegt, welches Merkmal verändert und welches Merkmal in einer Untersuchung beobachtet werden soll.</p> <p>Eine naturwissenschaftliche Frage sollte möglichst offen und nicht als Ja-Nein-Frage formuliert werden.*</p> <p>Ein zentrales Merkmal einer naturwissenschaftlichen Frage ist, dass sie mit naturwissenschaftlichen Methoden (z.B. Messung, Zählung, Beobachtung objektivierbarer Ereignisse) untersucht werden kann.</p> <p>Eine naturwissenschaftliche Frage sollte auf einen verallgemeinerbaren Zusammenhang abzielen und nicht nur auf einen Einzelfall bezogen sein.*</p> <p>Vorhersagen über den Ausgang einer Untersuchung sollten nur formuliert werden, wenn man sie sinnvoll begründen kann und sie nicht geraten sind.</p> <p>Man unterscheidet bei Vorhersagen zwischen Vermutungen und Hypothesen.</p> <p>Bei Vermutungen basiert die Begründung der getroffenen Vorhersage auf phänomenologischen Vorerfahrungen, bei Hypothesen auf theoriebezogenen Überlegungen.</p> <p>Eine Vermutung oder Hypothese sollte auf einen verallgemeinerbaren Zusammenhang abzielen und nicht nur auf einen Einzelfall bezogen sein.*</p> <p>Eine Vermutung oder Hypothese sollte empirisch untersuchbar und falsifizierbar sein.*</p> <p>Eine Vermutung oder Hypothese muss zur Frage „passen“, d.h., eine Vorhersage über den im Rahmen der Fragestellung zu untersuchenden Zusammenhang treffen.*</p>

Anmerkungen: Zusätzlich in eckigen Klammern genannte Operatoren sind im Sinne weiterer Fähigkeiten zu verstehen, die zu Gunsten der Übersichtlichkeit nicht ausformuliert wurden. Die Reihung der Fähigkeiten/Konzepte entspricht der Abfolge, in der diese im Lernangebot angestrebt werden sollen.

* Konzept wurde nicht im Lernangebot thematisiert (vgl. Kap. 2.2).

2.2 Erfassung der Schüler*innenperspektive

Im Zuge der Erfassung der Schüler*innenperspektive ist u.a. der Frage nachzugehen, welche Vorstellungen die Lernenden bzgl. des Lerngegenstands mitbringen und welche lebensweltlichen Erfahrungen diesen Vorstellungen zugrunde liegen könnten (z.B. Kattmann, 2007). Während die Vorstellungen der Schüler*innen zu fachinhaltlichen Lerngegenständen vergleichsweise gut erforscht und dokumentiert sind (vgl. zusammenfassend Müller, Wodzinski & Hopf, 2007; Schecker, Wilhelm, Hopf & Duit, 2018), liegen bisher kaum konkrete Befunde dazu vor, welche Vorstellungen Schüler*innen zu EDAW haben. Hinweise lassen sich jedoch z.T. auch aus Befunden zu typischen Schwierigkeiten von Schüler*innen beim Experimentieren ableiten (z.B. Arnold et al., 2014; Hammann et al., 2006). Die identifizierten Schwierigkeiten (vgl. Tab. 2) wurden mit der Liste der Fähigkeiten und Konzepte abgeglichen, u.a. um sicherzustellen, dass typische Schüler*innenschwierigkeiten im Lernangebot thematisiert werden oder dass die angestrebten Fähigkeiten und Konzepte für die Schüler*innen angemessen anspruchsvoll sind (siehe auch didaktische Strukturierung). Beispielsweise deuten die Befunde in Hammann et al. (2006) darauf hin, dass Schüler*innen häufig Schwierigkeiten mit dem Herstellen der Verbindung zwischen einer Versuchsreihe und einer übergeordneten Hypothese haben, die sich z.B. darin zeigen, dass Versuche nicht zu der zu untersuchenden Hypothese passen (vgl. Tab. 2). Ausgehend von diesem Befund wurden in der fachlichen Klärung zur Teilkompetenz UP Konzepte zum Zusammenhang zwischen Hypothese und Versuchsreihe ergänzt und im zugehörigen Lernangebot thematisiert.

Tabelle 2: Typische Schwierigkeiten von Schüler*innen beim experimentellen Denken und Arbeiten

Schüler*innen...
... gehen davon aus, dass das Ziel eines naturwissenschaftlichen Experimentes das Erzeugen eines Effektes ist.
... haben Schwierigkeiten, systematisch zwischen abhängigen, unabhängigen und Kontrollvariablen zu unterscheiden.
... planen eine Untersuchung ohne einen oder nur mit einem unzureichenden Kontrollansatz.
... variieren Parameter in einer Untersuchung unsystematisch und/oder mehrere Parameter gleichzeitig (fehlende Variablenkontrolle).
... planen eine Untersuchung ohne oder nur mit unzureichender Berücksichtigung der zu Grunde liegenden Fragestellung/Vermutung/Hypothese.

Anmerkung: Aufgelistete Schwierigkeiten in Anlehnung an Hammann et al. (2006).

In neueren Beschreibungen des MDR wird verstärkt betont, dass in die Erfassung der Schüler*innenperspektive auch die Aufarbeitung von Befunden empirischer Lehr-/Lernforschung einzubeziehen ist (z.B. Duit et al., 2012). Im Sinne dieser breiten Auslegung der Schüler*innenperspektive wurde deshalb untersucht, welche Befundlagen zum fachbezogenen Lernen von Schüler*innen vorliegen und welche grundsätzlichen Ansatzpunkte für die Gestaltung lernförderlicher Angebote sich aus diesen Befunden ableiten lassen. Dazu wurden fachdidaktische Forschungsliteratur zum Lernen von Schüler*innen gesichtet und entsprechende Hinweise zusammengetragen. Der Fokus der Literaturrecherche lag auf empirisch abgesicherten Erkenntnissen zur Kompetenzentwicklung von Schüler*innen, die Hinweise darauf liefern können, wie Passung zwischen dem Lernangebot und den vorhandenen Kompetenzen der Lernenden hergestellt werden kann (z.B. von Aufschnaiter & Rogge 2010a, 2010b; siehe ausführlich in Kap. 2.3). Neben Literatur zum prozessbezogenen Lernen wurden dabei auch die vergleichsweise breiten Befundlagen zum fachinhaltlichen Lernen von Schüler*innen in den Blick genommen, da zu vermuten ist, dass sich diese Befunde mindestens teilweise auch auf prozessbezogenes Lernen übertragen lassen. Aus den identifizierten Befunden wurden anschließend

im Zuge der didaktischen Strukturierung konkrete Konstruktionsprinzipien für die Strukturierung des Lernangebots abgeleitet. Um die Verknüpfung zwischen den Befundlagen und den zugehörigen Konstruktionsprinzipien nachvollziehbar abzubilden, werden beide gemeinsam im Kapitel 2.3 „Didaktische Strukturierung“ beschrieben, obwohl die Erfassung und Aufbereitung der Befundlagen selbst Teil der Erfassung der Schüler*innenperspektive ist.

2.3 Didaktische Strukturierung

Die didaktische Strukturierung soll zu „grundsätzlichen und verallgemeinerbaren Ziel-, Inhalts- und Methodenentscheidungen“ (Kattmann, 2007, S. 96) führen, welche den Ausgangspunkt der Entwicklung des Lernangebots darstellen.

Auswahl und Reihung der Fähigkeiten und Konzepte

Mit Blick auf die Ziel- und Inhaltsentscheidungen wurden die Ergebnisse der fachlichen Klärung fachinhaltlicher *und* prozessbezogener Zusammenhänge sowie der Erfassung der zugehörigen Schülerperspektiven zusammengeführt, um festzulegen, welche Fähigkeiten und Konzepte im Lernangebot fokussiert und in welcher Reihung diese Fähigkeiten und Konzepte angestrebt werden sollen.

Bei der Auswahl gilt es einerseits zu klären, welche Fähigkeiten und Konzepte aus fachlicher Perspektive besonders relevant sind. Andererseits ist aus der Perspektive der Schüler*innen heraus zu prüfen, inwiefern davon ausgegangen werden kann, dass die Adressat*innen des Lernangebots (hier Schüler*innen der Einführungsphase; vgl. Kap. 4) diese Fähigkeiten bzw. Konzepte noch nicht hinreichend beherrschen, gleichzeitig aber die notwendigen Voraussetzung mitbringen, um sie mit entsprechender Instruktion aufzubauen. Zuletzt ist bei der Auswahl auch der zeitliche Rahmen zu bedenken, da die Fähigkeiten und Konzepte so gewählt werden müssen, dass sie in der geplanten Bearbeitungszeit des Lernangebots (hier eine Einzel- und zwei Doppelstunden) aufgebaut werden können. Tabelle 1 zeigt exemplarisch die zur Teilkompetenz FH angestrebten Fähigkeiten und Konzepte. Die mit * gekennzeichneten Konzepte wurden dabei zwar aus fachlicher Perspektive rekonstruiert, aufgrund der hier skizzierten Überlegungen aber nicht im Lernangebot angestrebt.

Bevor die Reihung der einzelnen Fähigkeiten festgelegt werden kann, ist zunächst zu entscheiden, in welcher Reihenfolge die drei übergeordneten Teilkompetenzen (FH, UP, AI) thematisiert werden sollen. Hier wurde die sachlogische Reihung entlang der Schritte eines idealisierten Erkenntnisgewinnungsprozesses beibehalten (zuerst FH, dann UP, danach AI), da diese auch aus lernlogischer Perspektive (siehe „lernlogisches Kriterium“; Rogge, 2010, S. 80) sinnvoll erscheint. So bilden beispielsweise Fragen (und ggf. Hypothesen) immer den Ausgangspunkt einer Untersuchung. Planung und Auswertung der Untersuchungen müssen deshalb nicht nur inhaltlich zielführend sein, sondern auch zur Frage bzw. Hypothese *passen*. Passungsbezogene Aspekte (z.B. beim Planen oder Auswerten) lassen sich wiederum nur dann sinnvoll thematisieren, wenn die Lernenden bereits erste Erfahrungen im Formulieren von Fragen und Hypothesen gesammelt haben.

Für die Reihung der Fähigkeiten innerhalb einer Teilkompetenz wurde auf die mit diesen Fähigkeiten verbundenen Denkprozesse zurückgegriffen, welche in Kompetenzmodellen typischerweise zur Graduierung genutzt werden (vgl. zusammenfassend Vorholzer, Hägele & von Aufschnaiter, 2020). Beispielsweise beschreiben Wellnitz et al. für den Kompetenzbereich „Erkenntnisgewinnung“ vier unterschiedlich anspruchsvolle Denkprozesse: „*Reproduzieren* [am wenigstens anspruchsvoll], *Selektieren*, *Organisieren* und *Integrieren* [am anspruchsvollsten]“ (Wellnitz et al., 2012, S. 270; Hervorh. i.O.). Bezogen auf die hier angestrebten Fähigkeiten ist deshalb anzunehmen, dass es den Lernenden leichter fällt, präzise naturwissenschaftliche Fragestellungen zu identifi-

zieren (selegieren), als solche Fragestellungen selbst zu formulieren (integrieren). Sowohl das Identifizieren als auch das Formulieren sind wiederum weniger anspruchsvoll als zu erläutern, was beispielsweise eine naturwissenschaftliche von einer nicht naturwissenschaftlichen Fragestellung unterscheidet; während es für das Identifizieren und Formulieren genügt, die zugehörigen Konzepte intuitiv verstanden zu haben, erfordert das Erläutern außerdem, dass die Schüler*innen die entsprechenden Konzepte explizieren können. Die hier genannten Überlegungen führen für die Teilkompetenz FH zu der in Tabelle 1 dargestellten Reihung der Fähigkeiten.

Bei der Reihung der den Fähigkeiten zugehörigen Konzepte wurde einerseits geprüft, welche Konzepte eine Voraussetzung für folgende Konzepte darstellen. Zudem wurde überlegt, welche Konzepte Schüler*innen vermutlich eher leicht zugänglich sind, z.B. weil sie sich unmittelbar aus Erfahrungen ableiten lassen (phänomenbasierte Konzepte; z.B. von Aufschnaiter & Rogge, 2010b, 2012) oder weil es sich um Konzepte handelt, zu denen bereits vielfältige und anschlussfähige Vorerfahrungen zu erwarten sind (vgl. Befunde empirischer Lehr-/Lernforschung unten). Das Ergebnis einer solchen Abwägung zwischen einer sachlogischen Reihenfolge („Welche Konzepte bauen inhaltlich aufeinander auf?“; Fachperspektive) und einer lernlogischen Reihenfolge („Welche Konzepte stellen *im Lernen* eine Voraussetzung für folgende Konzepte dar?“ bzw. „Welche Konzepte liegen näher an den vorunterrichtlichen Erfahrungen der Schülerinnen?“; Schüler*innenperspektive) ist für die Teilkompetenz FH in Tabelle 1 dargestellt.

Strukturierung des Lernangebots

Im Rahmen der didaktischen Strukturierung sind neben Entscheidungen bzgl. der Ziele und Inhalte des Lernangebots (z.B. Auswahl und Reihung der Fähigkeiten und Konzepte) auch methodische Entscheidungen zu treffen (Kattmann, 2007), die sich u.a. auf dessen Gestaltung beziehen. Hierzu wurden, ausgehend von Ergebnissen empirischer Lehr-/Lernforschung zum fachinhaltlichen Lernen von Schüler*innen, Konstruktionsprinzipien (KP) abgeleitet, die bei der Entwicklung des Lernangebots berücksichtigt wurden. Um den Zusammenhang zwischen den Befunden (Schüler*innenperspektive) und den KP (didaktische Strukturierung) deutlich zu machen, werden im Folgenden zunächst die Befunde skizziert und anschließend die daraus abgeleiteten KP genannt.

Empirische Untersuchungen der Lernprozesse von Schüler*innen haben gezeigt, dass die Entwicklung des Verständnisses fachinhaltlicher Konzepte ausgehend von der Exploration konkreter Fälle (Beispiele, Erlebnisse, Erfahrungen; Stufe 1) über intuitiv erfasste (Stufe 2) hin zu explizit erfassten Konzeptualisierungen im Sinne von Verallgemeinerungen (Stufe 3) erfolgt (u.a. von Aufschnaiter & Rogge, 2010a, 2010b). Es ist zudem davon auszugehen, dass die Entwicklung des Verständnisses entlang der oben beschriebenen Stufen nicht linear verläuft. Vielmehr zeigen Lernende auch nach dem einmaligen Erreichen eines explizit regelbasierten Verständnisses in darauffolgenden Situationen z.T. erneut „nur“ ein exploratives Verhalten oder ein intuitiv regelbasiertes Verständnis (von Aufschnaiter & Rogge, 2010b). Eine Stabilisierung auf Stufe 3 scheint somit nur auf vergleichsweise langen Zeitskalen und nur nach wiederholter Auseinandersetzung zu gelingen. Ausgehend von diesen Befunden wurden die folgenden KP für die Gestaltung des Lernangebots abgeleitet (siehe auch Vorholzer, 2017; Rogge, 2010):¹

KP1: Zu jedem angestrebten Konzept existiert eine Serie von mehreren Aufgaben.

KP2: Am Anfang einer Aufgabenserie erhalten die Lernenden Gelegenheiten, Beispiele zu erkunden und dabei erste konkrete Erfahrungen zu sammeln. Von

¹ Die den KP1–8 zugrundeliegenden Befundlagen stammen aus Forschungsarbeiten zum *fachinhaltlichen* Lernen von Schüler*innen. Zwar deuten die Ergebnisse zur Wirksamkeit der hier entwickelten Instruktion (vgl. Kap. 4) darauf hin, dass sich diese Befunde grundsätzlich auch auf *prozessbezogenes* Lernen übertragen lassen; diese Annahme gilt es jedoch in weiteren Studien systematisch zu prüfen.

Beispiel zu Beispiel werden dabei systematisch nur bestimmte Aspekte variiert, sodass Lernende durch das Vergleichen mehrerer ähnlicher Beispiele die mit Blick auf das angestrebte Konzept relevanten Gemeinsamkeiten und Unterschiede selbst entdecken können (Exploration, Stufe 1).

- KP3: Im weiteren Verlauf einer Aufgabenserie werden die Erfahrungen bzw. Beispiele genutzt, um im Hinblick auf das angestrebte Konzept relevante Aspekte hervorzuheben. Anschließend erhalten die Lernenden weitere Aufgaben, in denen sie diese Aspekte anwenden oder selbst wiederentdecken können (intuitiv regelbasiertes Niveau, Stufe 2).
- KP4: Erst nachdem die Lernenden über hinreichend konkrete Erfahrungen verfügen, wird ihnen das angestrebte Konzept (z.B. eine Regel, Erklärung oder Verallgemeinerung) explizit genannt oder das eigenständige Formulieren eines Konzepts eingefordert (explizit regelbasiertes Niveau, Stufe 3).
- KP5: Lässt sich ein angestrebtes Konzept nur schwer eigenständig von den Lernenden entdecken (z.B. Definitionen), wird das Konzept zu Beginn einer Aufgabenserie explizit genannt und erläutert. Anschließend wird die Aufgabenserie wie in KP2–KP4 beschrieben fortgesetzt, um den Lernenden Explorationsmöglichkeiten zu geben und das *Wiederentdecken* des Konzepts zu ermöglichen.
- KP6: Nach dem einmaligen Erreichen eines explizit regelbasierten Niveaus (Stufe 3) folgen in „losem Abstand“ weitere Aufgaben, die zur erneuten Auseinandersetzung und Anwendung des Konzepts anregen.

Analysen zur zeitlichen Strukturierung von Handlungs- und Denkprozessen legen nahe, dass diese spezifischen zeitlichen Dynamiken unterliegen. Zum einen zeigen Befunde, dass es nur ein Zeitfenster von ca. 30 Sekunden gibt, in dem Lernende einen Gedankengang entwickeln können. Brauchen sie länger, um beispielsweise die zur Lösung einer Aufgabe erforderlichen Konzepte miteinander zu vernetzen, scheinen sie häufig den „Faden zu verlieren“ (von Aufschnaiter, 2006, S. 115; siehe auch von Aufschnaiter & von Aufschnaiter, 2003) und müssen anschließend einen neuen Lösungsversuch unternehmen. Zum anderen hat sich gezeigt, dass Aufgaben innerhalb von fünf Minuten bearbeitbar sein bzw. innerhalb von fünf Minuten durch die Lernenden in bearbeitbare Teilaufgaben zerlegt werden können sollten (zusammenfassend von Aufschnaiter & von Aufschnaiter, 2003). Sich in diesem Zeitfenster einstellende Erfolge bei der Aufgabebearbeitung scheinen die Bereitschaft zur Weiterarbeit zu stabilisieren, während Misserfolge zu einem (kurzzeitigen) inhaltlichen „Aussteigen“ der Lernenden führen (z.B. von Aufschnaiter & von Aufschnaiter, 2003; von Aufschnaiter, 2006). Als Konsequenz lassen sich folgende KP ableiten:

- KP7: Insbesondere zu Beginn einer Aufgabenserie und/oder wenn davon auszugehen ist, dass die Lernenden kaum über Vorerfahrungen verfügen, sind die Aufgaben so angelegt, dass sie nur ein geringes Maß an Vernetzung und keine komplexen Gedankengänge erfordern.
- KP8: Die einzelnen Aufgaben einer Serie sind so vorstrukturiert, dass sie von den Lernenden in weniger als fünf Minuten bearbeitet und zumindest teilweise gelöst oder in bearbeitbare Teilaufgaben zerlegt werden können.

Neben diesen grundsätzlichen Überlegungen zur Strukturierung von Lernangeboten wurden auch Befunde berücksichtigt, die sich spezifischer auf das Lernen experimenteller Denk- und Arbeitsweisen beziehen. Hier scheint weitgehend Einigkeit darüber zu bestehen, dass eigenständiges experimentelles Denken und Arbeiten einen Beitrag dazu leisten kann, dass Schüler*innen entsprechende Fähigkeiten aufbauen (z.B. Blanchard Southerland, Osborne, Sampson, Annetta, & Granger, 2010; Crawford, 2014). Es stellt

sich jedoch gegenwärtig u.a. die Frage, wie die zugehörigen prozessbezogenen Konzepte im Unterricht thematisiert werden sollen. Grundsätzlich kann hier zwischen expliziten und impliziten Ansätzen unterschieden werden (zusammenfassend z.B. Alfieri, Brooks, Aldrich & Tenenbaum, 2011; Vorholzer & von Aufschnaiter, 2019). In impliziten Ansätzen werden die angestrebten prozessbezogenen Konzepte den Lernenden nicht mitgeteilt, sondern sie müssen von ihnen im Zuge der Bearbeitung des Materials selbstständig entdeckt werden. Hinter diesem Vorgehen steht u.a. die Annahme, dass dieses „Entdecken“ zu einem tieferen und nachhaltigeren Verständnis beiträgt (z.B. Dean & Kuhn, 2007). Charakteristisch für explizite Ansätze ist, dass den Lernenden die angestrebten Konzepte im Rahmen der Instruktion mitgeteilt und erläutert werden sowie dass sie Übungsgelegenheiten und Feedback zur Anwendung oder eigenständigen Verbalisierung dieser Konzepte erhalten (zusammenfassend in Alfieri et al., 2011; Vorholzer & von Aufschnaiter, 2019; Kalthoff, Theyssen & Schreiber, 2018). Aus diesen Überlegungen lassen sich die grundsätzlichen KP1–6 für den impliziten bzw. expliziten Ansatz präzisieren:

- KP9: Das Lernangebot enthält zahlreiche Beispiele für die korrekte Anwendung der angestrebten prozessbezogenen Konzepte (vgl. KP2 und KP3).
- KP10: Das Lernangebot enthält zahlreiche Fragen, Aufgaben usw., welche die Anwendung der angestrebten prozessbezogenen Konzepte erfordern (vgl. KP2 und KP3).
- KP11: Die angestrebten prozessbezogenen Konzepte werden den Lernenden nicht mitgeteilt, sondern müssen eigenständig entdeckt werden (*nur im impliziten Ansatz*; KP4 und KP5 entfallen für prozessbezogene Konzepte).
- KP12: Die angestrebten prozessbezogenen Konzepte werden den Lernenden mitgeteilt und erläutert (*nur im expliziten Ansatz*; vgl. KP4 und KP5).
- KP13: Das Lernangebot enthält Fragen, Aufgaben usw., die die Lernenden dazu auffordern, selbst die angestrebten prozessbezogenen Konzepte zu formulieren (*nur im expliziten Ansatz*; vgl. KP4 und KP5).

Im Zuge der Erfassung der Schüler*innenperspektive (insb. durch Befund empirischer Lehr-/Lernforschung) hat sich gezeigt, dass bisher zur Wirksamkeit von expliziten und impliziten Ansätzen fast ausschließlich entwicklungspsychologische Studien vorliegen, die sich auf das Lernen der Variablenkontrollstrategie beziehen (z.B. Chen & Klahr, 1999; Dean & Kuhn, 2007; Lorch, Lorch, Calderhead, Dunlap, Hodell & Freer, 2010). Aus empirischer Sicht ist deshalb noch zu klären, welcher dieser beiden Ansätze (bzw. der jeweils zugehörigen KP) für die Strukturierung von Lernangeboten zum Aufbau von EDAW besser geeignet ist. Die Untersuchung dieser Frage war ein zentrales Ziel des diesem Beitrag zugrundeliegenden Projekts (vgl. Kap. 3).

Neben den hier genannten KP sind in die Entwicklung des Lernangebots eine Reihe weiterer Überlegungen eingeflossen, z.B. zur optisch ansprechenden und inhaltlich klar strukturierten Gestaltung der Arbeitsmaterialien oder zur altersgerechten und möglichst einfachen Formulierung von Textelementen (Aufgaben, Informationen etc.). Die Umsetzung dieser Überlegungen erfolgte ausschließlich intuitiv; entsprechende KP wurden nicht formuliert (vgl. Grenzen des MDR in Kattmann, 2007).

3 Konkrete Umsetzung des Lernangebots

Ein Ziel des Projekts war es zu untersuchen, welchen Einfluss ein expliziter und ein impliziter Instruktionsansatz auf den Aufbau von Kompetenzen aus dem Bereich der EDAW haben und ob es Unterschiede bzgl. der Effektivität der beiden Ansätze gibt. Um diesen Fragen nachgehen zu können, wurde ausgehend von den in Kapitel 2 dargestellten Überlegungen eine explizite und eine implizite Variante des Lernangebots entwickelt. Beide Varianten wurden so angelegt, dass sie von den Lernenden selbstständig bearbeitet werden können, um die Lehrer*innen-Schüler*innen-Interaktion auf ein Minimum zu reduzieren und so einen Beitrag zur Vergleichbarkeit zwischen den Klassen bzw. Varianten des Lernangebots zu leisten. Dazu wurden den Lernenden alle Arbeitsaufträge, Informationen, Hinweise und Kontrollen schriftlich auf Aufgabenkarten zur Verfügung gestellt (siehe Beispiele in Abb. 1 auf der folgenden Seite) und das erforderliche Experimentiermaterial zu Beginn der Stunde ausgeteilt. Die Bearbeitung des Lernangebots erfolgte in Kleingruppen von zwei bis drei Schüler*innen, wobei allen Kleingruppen einer Klasse dieselbe Variante des Lernangebots zugeteilt wurde. Die Kleingruppen wurden nach der Präferenz der Schüler*innen zusammengestellt, um eine möglichst positive Kommunikation und konstruktive Zusammenarbeit innerhalb der Gruppen zu gewährleisten.

In beiden Varianten des Lernangebots wird der Aufbau der drei Teilkompetenzen FH, UP und AI angestrebt. Zur Thematisierung dieser Teilkompetenzen wurden jeweils die gleichen fachinhaltlichen Kontexte und soweit möglich auch die gleichen Experimente genutzt. Als fachinhaltliche Kontexte wurden, in Abstimmung mit den Physiklehrkräften der teilnehmenden Klassen, Themen aus der Mechanik gewählt (Schweredruck in Flüssigkeiten; freier Fall und Luftreibung; senkrechter, waagerechter und schiefer Wurf). Innerhalb der gewählten Kontexte wurden vor allem solche Beispiele und Experimente ausgewählt, zu denen Schüler*innen der Einführungsphase vermutlich über ausreichende Vorerfahrungen verfügen und die sich auch auf fachlich niedrigem Niveau bearbeiten lassen. Ziel dieser Auswahl war es, einen Einfluss des (möglicherweise fehlenden) fachinhaltlichen Vorwissens auf den Aufbau der EDAW zu vermeiden.

Um einen möglichst kontrollierten Vergleich des expliziten und des impliziten Lernangebots zu ermöglichen, wurden beide Varianten systematisch nach den Konstruktionsprinzipien KP1–10 angelegt (ausführlich in Vorholzer, 2016). In der impliziten Variante wurde zusätzlich KP11 und in der expliziten Varianten wurden zusätzlich KP12 und KP13 angewendet. So wurden den Schüler*innen beispielsweise in der expliziten Variante Konzepte zum Formulieren naturwissenschaftlicher Fragen (z.B.: Eine naturwissenschaftliche Frage sollte möglichst präzise formuliert sein; vgl. Tab. 1) mitgeteilt und erläutert (KP12; vgl. Abb. 1 links). Im Gegensatz dazu wurde in der implizite Variante nur dafür gesorgt, dass die Aufgaben, Fragen usw. so angelegt sind, dass die Konzepte von den Lernenden entdeckt werden können (z.B. indem alle im Material formulierten Fragen „präzise“ im Sinne des Konzepts formuliert sind; KP9 und KP11; vgl. Abb. 1 rechts).

Explizit

Natalja führt einen Versuch nach folgender Anleitung durch:

1. Füllen Sie zwei gleiche Gläser mit unterschiedlich viel Wasser.
2. Tauchen Sie zwei gleiche Trinkhalme gleich tief in beide Gläser ein.
3. Pusten Sie erst schwach und dann immer stärker gleichzeitig in beide Trinkhalme.

Versuchen Sie, eine Fragestellung zu formulieren, der Natalja mit diesem Versuch nachgehen könnte.

[Textfeld für Antwort]

Implizit

Mit einem Versuch kann einer Vielzahl von Fragestellungen nachgegangen werden, hier z. B.:

- a) Was passiert, wenn mit zwei Trinkhalmen gleichzeitig und immer stärker in zwei unterschiedlich hoch gefüllte Gläser hineingeblasen wird?
- b) In welchem Glas steigen zuerst Blasen auf, wenn mit zwei Trinkhalmen gleichzeitig und immer stärker in zwei unterschiedlich hoch gefüllte Gläser hineingeblasen wird?

In der Tabelle sehen Sie Merkmale, die man bei Nataljas Versuch beobachten könnte.

Welche Merkmale müsste Natalja beobachten, wenn sie einen Versuch zu Frage a) durchführt, welche bei einem Versuch zu Frage b)? Kreuzen Sie an!

a)	b)	Merkmal
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Wie groß die aufsteigenden Luftblasen sind.
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Wann Luftblasen im Glas aufsteigen.
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Wie sich das Gesicht des/der Pustenden während des Versuchs verändert.
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	...

[Lösungskarte mit angekreuzter Tabelle]

Frage a) „Was passiert, wenn ...“ beschreibt *allgemein*, was mit dem Versuch untersucht werden soll. Die Frage ist *wenig präzise* und daher können viele verschiedene Merkmale beobachtet werden, z. B.:

- *Gesicht des Experimentators*
- *Farbe des Wassers*
- *Größe der Luftblase*
- *...*

Frage b) „In welchem Glas steigen zuerst Blasen auf, wenn...“ beschreibt *präzise*, was mit dem Versuch untersucht werden soll; *das zu beobachtende Merkmal wird deutlich*.

[Anwendungsaufgabe zur Unterscheidung präzise/allgemein und Lösungskarte]

Eine präzise Fragestellung muss möglichst genau festlegen, welches Merkmal verändert und welches Merkmal beobachtet werden soll.

Diskutieren Sie kurz:

- 1) Wieso ist es nicht immer möglich, eine Fragestellung präzise zu formulieren?
- 2) Welche Vorteile hat es, eine Fragestellung so präzise wie möglich zu formulieren?

Eine naturwissenschaftliche Frage, die festlegt, was untersucht werden soll, könnte z. B. lauten:

In welchem Glas steigen zuerst Blasen auf, wenn in zwei unterschiedlich hoch gefüllte Gläser mit zwei Trinkhalmen gleichzeitig und immer stärker hineingepustet wird?

Führen Sie den Versuch durch und notieren Sie eine Antwort auf diese Frage.

[Textfeld für Antwort]

Mit dem Versuch, den Sie eben durchgeführt haben, können Sie nicht nur herausfinden, wo zuerst Luftblasen aufsteigen, sondern erhalten auch ein relatives Maß für den Druck im Wasser am Ende der beiden Trinkhalme.

Wenn Sie in beide Trinkhalme gleichzeitig pusten, gilt: **Am Ende des Trinkhalms, an dem zuerst Luftblasen aufsteigen, ist der Druck im Wasser kleiner als am Ende des anderen Trinkhalms.**

Beispiel: Den rechts abgebildeten Versuch haben Sie bereits durchgeführt und beobachtet, dass im linken Glas zuerst Luftblasen aufsteigen. Damit gilt auch:

Der Druck im Wasser ist am Ende des linken Trinkhalms kleiner als der Druck im Wasser am Ende des rechten Trinkhalms.

[Drei Aufgabenkarten zur Nutzung der Luftblasen als Indikator für den Druck]

Überlegen Sie sich einen Versuch, mit dem unterschiedliche Trinkhalm-Durchmesser untersucht werden können.

Formulieren Sie zunächst eine geeignete naturwissenschaftliche Fragestellung.

[Textfeld für Antwort]

Wenn Sie bereits eine begründete Vermutung darüber haben, was bei dem von Ihnen geplanten Versuch passieren wird, notieren Sie diese ebenfalls.

[Textfeld für Antwort]

Führen Sie den Versuch durch und beantworten Sie die von Ihnen formulierte Frage bzw. prüfen Sie die von Ihnen formulierte Vermutung.

Abbildung 1: Gekürzter und leicht modifizierter Auszug aus dem Lernangebot zur Teilkompetenz FH (links: explizite Variante; rechts: implizite Variante). Abbildung mit Genehmigung des Verlags entnommen aus Vorholzer, Hägele & von Aufschnaiter (2020).

4 Empirische Untersuchung der Wirkung des Lernangebots

Um zu untersuchen, welche Wirkung die explizite und die implizite Variante des Lernangebots auf den Kompetenzaufbau der Lernenden hat und insbesondere inwiefern sich die Wirkung der beiden Varianten unterscheidet, wurde eine Studie im quasi-experimentellen Design durchgeführt. An der Studie nahmen $N = 222$ Schüler*innen (Alter ca. 16–17 Jahre, 64,9 % weiblich) aus zwölf Parallelklassen eines Gymnasiums einer Mittelstadt in Hessen teil. Sechs der zwölf Klassen bildeten die Testgruppe und bearbeiteten die explizite Variante; die verbleibenden sechs Klassen bildeten die Kontrollgruppe und bearbeiteten die implizite Variante des Lernangebots. Die Erhebung bestand aus einem auf zwei Messzeitpunkte verteilten Prätest, der Bearbeitung des Lernangebots (Intervention) und einem Posttest (vgl. Abb. 2). Die Intervention umfasste drei Lerneinheiten, die über einen Zeitraum von drei Wochen im Rahmen des regulären Physikunterrichts bearbeitet wurden (eine Einheit pro Woche; Abb. 2).

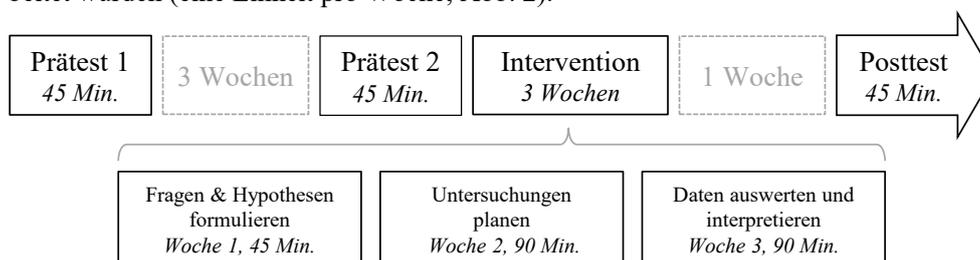


Abbildung 2: Überblick über den zeitlichen Ablauf der Studie

Im ersten Teil des Prätests wurden die fachinhaltsbezogenen Vorkenntnisse (Kombination aus Force Concept Inventory: Hestenes, Wells & Swackhamer, 1992, und Test zur Force and Motion Learning Progression: Alonzo & Steedle, 2009), die allgemeinen kognitiven Fähigkeiten (Kognitiver Fähigkeitstest 4–12+R, Subskala N2: Heller & Perleth, 2000), das fachbezogene Interesse (in Anlehnung an den Fragebogen zum Studieninteresse: Schiefele, Krapp, Wild & Winteler, 1993) und die fachbezogene Selbsteinschätzung (in Anlehnung an die WIRKSCHUL-Skala: Jerusalem & Satow, 1999) der Schüler*innen erhoben. Diese Daten wurden noch vor Beginn der Intervention ausgewertet und bei der Zuweisung der Klassen zur Test- bzw. Kontrollgruppe berücksichtigt, um möglichst vergleichbare Lernvoraussetzungen und damit auch die Vergleichbarkeit der beiden Gruppen sicherzustellen. Im zweiten Teil des Prätests (unmittelbar vor der Intervention) und im Posttest wurden die Kompetenzen im Bereich der EDAW erhoben, um die Wirkung der Intervention untersuchen zu können.² Eine Herausforderung bei in dieser Weise angelegten Untersuchungen ist, dass bereits das wiederholte Bearbeiten gleicher Testaufgaben dazu führen kann, dass die Schüler*innen im Posttest bessere Ergebnisse erzielen als im Prätest (practice effect), was zu einer Überschätzung der Wirkung der Intervention führen kann. Um diesen Effekt zu reduzieren, wurde ein Booklet-Design genutzt (Frey, Hartig & Rupp, 2009), bei dem den Schüler*innen im Prä- und im Posttest unterschiedliche Versionen des Testinstruments vorgelegt wurden. Im Posttest wurde dabei ein Teil der Aufgaben aus dem Prätest gegen neue, den Schüler*innen unbekannte Aufgaben ausgetauscht. Mit Hilfe der gemeinsamen Aufgaben beider Tests („Ankeraufgaben“) konnten anschließend im Rahmen einer Rasch-Analyse beide Versionen des Testinstruments miteinander verknüpft und so die Kompetenzwerte auf einer gemeinsamen Skala ausgewertet werden (Boone, Staver & Yale, 2014).

In einem ersten Auswertungsschritt wurde untersucht, inwiefern sich die EDAW-Kompetenzwerte der Schüler*innen zwischen den beiden Messzeitpunkten (Prä- und Posttest) verändert haben. Dazu wurde mit t -Tests für abhängige Stichproben geprüft,

² Für eine ausführliche Beschreibung der eingesetzten Testinstrumente, psychometrischen Kennwerte usw. siehe Vorholzer (2016).

inwiefern sich die mittleren Kompetenzwerte in jeder Gruppe zwischen Prä- und Posttest unterscheiden.

Tabelle 3: Ergebnisse der t-Tests zum Vergleich der mittleren EDAW-Kompetenzwerte im Prä- und Posttest für Test- und Kontrollgruppe

	N	Pretest		Posttest		Differenz der Mittelwerte ($p < .001$)	t	η^2
		MW	SA	MW	SA			
Testgruppe	65	483,72	90,19	555,48	120,06	71,75 ($p < .001$)	7,506	.46
Kontrollgruppe	65	478,41	87,23	513,26	88,34	34,85 ($p < .001$)	4,806	.26

Anmerkungen: MW = Mittelwert, SA = Standardabweichung.

Im Zuge der Rasch-Modellierung wurden die EDAW-Kompetenzwerte zur besseren Lesbarkeit auf die „PISA-Metrik“ reskaliert (MW = 500, SA = 100).

Die Ergebnisse der *t*-Tests (Tab. 3) zeigen, dass es sowohl in der Test- als auch in der Kontrollgruppe einen signifikanten Zuwachs bzgl. der Kompetenzen des experimentellen Denkens und Arbeitens gibt. Dieser Zuwachs entspricht in beiden Gruppen einem großen Effekt ($\eta^2 > 0.14$; Fritz, Morris & Richler, 2012). Aufgrund der großen Effektstärke und der Nutzung eines Booklet-Designs ist davon auszugehen, dass die beobachteten Effekte nicht allein auf die wiederholte Testung zurückzuführen sind. Vielmehr deuten die Ergebnisse darauf hin, dass das entlang des MDR entwickelte Lernangebot sowohl in der expliziten als auch in der impliziten Variante zum Aufbau von EDAW beiträgt.

In einem zweiten Auswertungsschritt wurde geprüft, inwiefern sich die Höhe des Kompetenzzuwachses zwischen der Test- und der Kontrollgruppe unterscheidet. Dazu wurde eine Kovarianzanalyse (ANCOVA) durchgeführt, in der die Kompetenzwerte des Posttests als die abhängige, die Zugehörigkeit zur Test- oder Kontrollgruppe als die unabhängige und die Kompetenzwerte des Prätest als die zu kontrollierende Kovariable gesetzt wurden. Die Ergebnisse der ANCOVA zeigen, dass der Kompetenzzuwachs in der Testgruppe signifikant größer ist als der Kompetenzzuwachs in der Kontrollgruppe ($F(1, 127) = 9.77, p = .002$; vgl. Abb. 3 auf der folgenden Seite). Der Unterschied zwischen den Gruppen entspricht dabei einem mittleren Effekt ($\eta_p^2 = .07$).

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse der empirischen Untersuchung, dass beide Varianten des Lernangebots zum Aufbau von Kompetenzen aus dem Bereich der EDAW beitragen. Gleichzeitig zeigen die Befunde aber auch, dass die explizite Variante deutlich effektiver ist als die implizite Variante. Die Befunde stehen im Einklang mit den Ergebnissen von Untersuchungen zur Wirkung expliziter und impliziter Instruktion auf den Aufbau der Variablenkontrollstrategie (u.a. Chen & Klahr, 1999; Lorch et al., 2010) und legen damit nahe, dass sich die dort gewonnenen Erkenntnisse auch für andere Bereiche des experimentellen Denkens und Arbeitens verallgemeinern lassen.

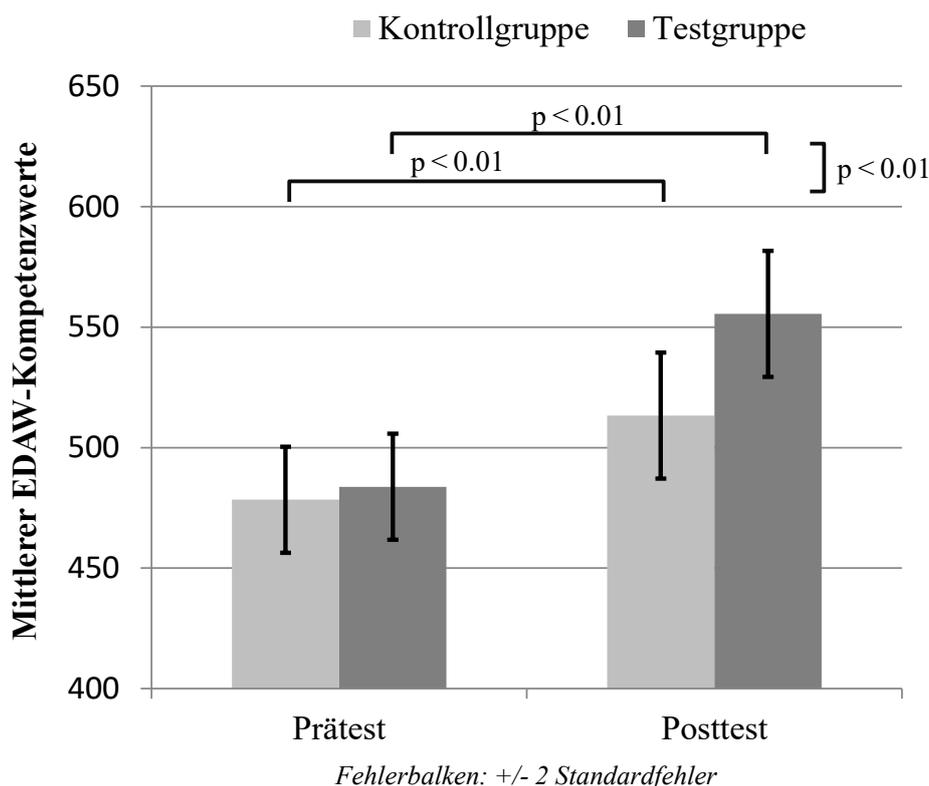


Abbildung 3: Mittlere EDAW-Kompetenzwerte der Test- und der Kontrollgruppe im Prä- und Posttest

5 Diskussion möglicher Erträge des MDR für die Entwicklung und Erforschung von Lernangeboten

Im Beitrag wurde dargestellt, wie das MDR als theoretischer Rahmen genutzt werden kann, um Lernangebote zum Aufbau prozessbezogener Kompetenzen kriteriengeleitet zu entwickeln sowie Fragen zur Wirksamkeit unterschiedlicher Instruktionsansätze abzuleiten und empirisch zu untersuchen. Das hier beschriebene Beispiel zeigt einerseits, dass die Untersuchungsaufgaben des MDR nicht nur auf fachinhaltliche, sondern auch auf prozessbezogene Lerngegenstände angewendet werden können. Die im Zuge der empirischen Untersuchung beobachteten Kompetenzzuwächse in Test- und Kontrollgruppe deuten zudem darauf hin, dass eine solche Anwendung nicht nur möglich, sondern auch zielführend ist. Darüber hinaus deutet der direkte Vergleich der beiden Gruppen darauf hin, dass Lernangebote, die den Konstruktionsprinzipien expliziter Instruktion (vgl. didaktische Strukturierung, KP 1–KP 9 + KP 11 und KP 12) folgen, für den Kompetenzaufbau der Schüler*innen günstiger sind als Lernangebote, welche entlang der Prinzipien impliziter Instruktion (KP 1–KP 9 + KP 10) angelegt sind. Die gewonnenen Erkenntnisse zur Wirkung des Lernangebots bzw. der Instruktionsansätze lassen sich auf das MDR zurückbeziehen und sind dort an der Schnittstelle der Schüler*innenperspektive und der didaktischen Strukturierung zu verorten. Die Erkenntnisse selbst ergänzen die vorliegenden Befunde empirischer Lehr-/Lernforschung und können somit in zukünftigen Didaktischen Rekonstruktionen prozessbezogener Lerngegenstände als Teil der Erfassung der Schüler*innenperspektive Berücksichtigung finden. Gleichzeitig liefern die Erkenntnisse aber auch Evidenz für die Wirksamkeit der im Zuge der didaktischen Strukturierung abgeleiteten Konstruktionsprinzipien und damit Hinweise für die

Entwicklung und Gestaltung zukünftiger Lernangebote, die auf den Aufbau von prozessbezogenen Kompetenzen gerichtet sind.

Gerade für Studien zur Wirksamkeit eines Lernangebots einer ausgewählten Methode oder eines bestimmten Instruktionsmerkmals stellt das MDR jedoch nicht nur eine Möglichkeit der theoretischen Einordnung dar, sondern kann gleichzeitig auch dazu beitragen, einigen methodischen Herausforderungen entsprechender Forschungsarbeiten zu begegnen. Um beispielsweise zu entscheiden, ob ein neu entwickeltes Unterrichtskonzept tatsächlich zu besseren Lernergebnissen führt oder die Veränderung eines bestimmten Instruktionsmerkmals tatsächlich eine positive Wirkung auf das Lernen der Schüler*innen hat, bedarf es in der Regel eines Prä-Post-Designs und einer aussagekräftigen Vergleichs- bzw. Kontrollgruppe (z.B. Campbell & Stanley, 1963). Gerade das Bilden einer geeigneten Kontrollgruppe ist in der fachdidaktischen Forschung oftmals aufwendig und anspruchsvoll, weil eine Vielzahl von Variablen berücksichtigt und kontrolliert werden muss (bzgl. der Lehrkraft, der inhaltlichen und methodischen Gestaltung des Lernangebots und vieles mehr; z.B. Theyßen, 2014). Soll die Wirksamkeit eines bestimmten Instruktionsansatzes (in der vorgestellten Studie z.B. explizite Instruktion) untersucht werden, sollte sich das Lernangebot der Test- und der Kontrollgruppe bestenfalls nur in den für diesen Ansatz spezifischen Merkmalen unterscheiden und ansonsten so ähnlich wie möglich sein. Zwar lassen sich selbst in Laborstudien wohl kaum alle potenziell relevanten Variablen vollständig kontrollieren; die Nutzung des MDR zur Entwicklung der Lernangebote kann jedoch einen wichtigen Beitrag zur Vergleichbarkeit von Test- und Kontrollgruppe leisten. Zunächst werden im Zuge der Erfassung der Schüler*innenperspektive die für den Lerngegenstand (hier EDAW) relevanten Ergebnisse empirischer Lehr-/Lernforschung zusammengetragen. Aus diesen Ergebnissen lassen sich Hinweise darauf ableiten, welche Variablen für den Lernerfolg der Schüler*innen vermutlich besonders bedeutsam sind und damit am dringendsten kontrolliert werden müssen. In der didaktischen Strukturierung können dann u.a. ausgehend von diesen Überlegungen konkrete KP abgeleitet werden, die wiederum dazu beitragen, dass eine Kontrolle (bzw. systematische Variation) dieser Variablen gelingt. Werden diese KP ausformuliert und in Forschungsarbeiten explizit angegeben, können sie einerseits dazu genutzt werden, die Umsetzung bzw. Einhaltung kritisch zu prüfen, und andererseits für andere Forscher*innen nachvollziehbarer machen, welche Variablen nicht systematisch kontrolliert wurden. Sie erleichtern damit auch das Durchführen von Reproduktionsstudien. Gerade in diesem „Explizit-Machen“ der KP liegt deshalb eine wesentliche Stärke des MDR (Kattmann et al., 1997).

Eine weitere Voraussetzung für die Untersuchung der Wirkung eines bestimmten Instruktionsmerkmals ist, dass die Anforderungen des zugehörigen Lernangebots, in das die Umsetzung dieses Merkmals eingebettet ist, zu den Voraussetzungen der Lernenden passen und die angestrebten Lernziele für die Lernenden (im Sinne der „Zone der nächsten Entwicklung“; Vygotsky, 1978) erreichbar sind. Wären beispielsweise die im Rahmen der Studie angestrebten EDAW deutlich zu anspruchsvoll für Schüler*innen der Einführungsphase, ließe sich die Wirkung expliziter Instruktion auch mit einer sinnvoll gewählten Kontrollgruppe kaum zielführend untersuchen. Die Schüler*innen würden in diesem Fall vermutlich unabhängig von der Ausprägung des Instruktionsmerkmals, welches untersucht werden soll, kaum etwas dazulernen, weil das, was gelernt werden soll, zu anspruchsvoll ist. Die kritische Auseinandersetzung mit den nicht im Fokus der Untersuchung stehenden Anforderungen des Lernangebots ist insbesondere dann von Bedeutung, wenn zu dessen Bearbeitung mehrere „Wissensbereiche relevant sind“ (Renkl, 2016, S. 240). Soll beispielsweise der Aufbau von EDAW durch die Bearbeitung von Aufgaben, Experimenten und Beispielen erfolgen, die in fachinhaltliche Kontexte eingebettet sind, erfordert dies von den Lernenden die Anwendung von prozessbezogenen *und* fachinhaltlichen Konzepten (vgl. Kap. 2). Insbesondere wenn die Lernenden zu beiden Wissensbereichen wenige Vorkenntnisse haben, können „sehr hohe Anforderungen

an Arbeitsgedächtnisressourcen“ entstehen, die (unabhängig von dem zu untersuchenden Instruktionsmerkmal) „zu nicht befriedigenden Lernergebnissen führen“ (Renkl, 2016, S. 242). Die Nutzung des MDR als Rahmenmodell für die Entwicklung von Lernangeboten kann dazu beitragen, auch dieser Herausforderung systematisch zu begegnen. Werden die fachlichen Zusammenhänge in den einzelnen, im Zuge der Bearbeitung zu integrierenden Wissensbereichen (hier z.B. fachinhaltliches und prozessbezogenes Wissen) erfasst und mit der Schüler*innenperspektive (u.a. Vorkenntnisse, Schüler*innenvorstellungen) abgeglichen, können Anforderungen systematisch geprüft und ggf. angepasst werden.

Beide hier diskutierten Aspekte, das systematische Explizieren von Konstruktionsprinzipien und die kriteriengeleitete Auseinandersetzung mit den Anforderungen eines Lernangebots, sind nicht nur in Forschungskontexten wichtig, sondern liefern auch konkrete Hinweise für die Entwicklung und Reflexion von schulischen Lernangeboten. Insgesamt zeigt das vorgestellte Beispiel, dass das MDR auch mehr als 20 Jahre nach seiner erstmaligen Beschreibung an viele aktuelle Fragen naturwissenschaftsdidaktischer Forschung anschlussfähig ist und wichtige Impulse für schulische Praxis liefern kann.

Literatur und Internetquellen

- Alfieri, L., Brooks, P.J., Aldrich, N.J., & Tenenbaum, H.R. (2011). Does Discovery-based Instruction Enhance Learning? *Journal of Educational Psychology*, *103* (1), 1–18. <https://doi.org/10.1037/a0021017>
- Alonzo, A., & Steedle, J. (2009). Developing and Assessing a Force and Motion Learning Progression. *Science Education*, *93* (3), 389–421. <https://doi.org/10.1002/sce.20303>
- Arnold, J., Kremer, K., & Mayer, J. (2013). Wissenschaftliches Denken beim Experimentieren – Kompetenzdiagnose in der Sekundarstufe II. In D. Krüger, A. Upmeyer zu Belzen, P. Schmiemann, A. Möller & D. Elster (Hrsg.), *Erkenntnisweg Biologiedidaktik 11* (S. 7–20). Kassel: Universitätsdruckerei Kassel.
- Arnold, J.C., Kremer, K., & Mayer, J. (2014). Understanding Students' Experiments – What Kind of Support Do They Need in Inquiry Tasks? *International Journal of Science Education*, *36* (16), 2719–2749. <https://doi.org/10.1080/09500693.2014.930209>
- Aufschnaiter, C. v. (2006). Zeit zum Denken, Zeit zum Lernen. Aufmerksamkeit und Zeittakte im Unterricht. Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung (Hrsg.), *Schüler. Wissen für Lehrer* (S. 114–116). Köln: BZgA.
- Aufschnaiter, C. v., & Aufschnaiter, S. v. (2003). Theoretical Framework and Empirical Evidence of Students' Cognitive Processes in three Dimensions of Content, Complexity, and Time. *Journal of Research in Science Teaching*, *40* (7), 616–648. <https://doi.org/10.1002/tea.10102>
- Aufschnaiter, C. v., & Hofmann, J. (2014). Kompetenz und Wissen. Wechselseitige Zusammenhänge und Konsequenzen für die Unterrichtsplanung. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, *67* (1), 10–16.
- Aufschnaiter, C. v., & Rogge, C. (2010a). Misconceptions or Missing Conceptions? *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, *6* (1), 3–18. <https://doi.org/10.12973/ejmste/75223>
- Aufschnaiter, C. v., & Rogge, C. (2010b). Wie lassen sich Verläufe der Entwicklung von Kompetenz modellieren? *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *16*, 95–114.
- Aufschnaiter, C. v., & Rogge, C. (2012). How Research on Students' Process of Concept Formation Can Inform Curriculum Development. In D. Jorde & J. Dillon (Hrsg.),

- Science Education Research and Practice in Europe. Retrospective and Prospective* (S. 63–90). Rotterdam: Sense Publishers. https://doi.org/10.1007/978-94-6091-900-8_4
- 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. <https://doi.org/10.1002/sce.20390>
- Boone, W.J., Staver, J.R., & Yale, M.S. (2014). *Rasch Analysis in the Human Sciences*. Dordrecht: Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-6857-4>
- Bortz, J., & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler* (4., überarb. Aufl.). Heidelberg: Springer Medizin. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-33306-7>
- Campbell, D.T., & Stanley, J.C. (1963). *Experimental and Quasi-Experimental Designs for Research*. Boston, MA: Houghton, Mifflin and Company.
- Chen, Z., & Klahr, D. (1999). All Other Things Being Equal. Acquisition and Transfer of the Control of Variables Strategy. *Child Development*, 70 (5), 1098–1120. <https://doi.org/10.1111/1467-8624.00081>
- Crawford, B.A. (2014). From Inquiry to Scientific Practices in the Science Classroom. In N.G. Lederman & S.K. Abell (Hrsg.), *Handbook of Research on Science Education*, Bd. 2 (S. 515–541). New York: Routledge.
- Dean, D., & Kuhn, D. (2007). Direct Instruction vs. Discovery. The Long View. *Science Education*, 91 (3), 384–397. <https://doi.org/10.1002/sce.20194>
- 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 & J. Dillon (Hrsg.), *Science Education Research and Practice in Europe. Retrospective and Prospective* (S. 13–37). Rotterdam: Sense Publishers. https://doi.org/10.1007/978-94-6091-900-8_2
- Duit, R., Komorek, M., & Wilbers, J. (1997). Studien zur Didaktischen Rekonstruktion der Chaostheorie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3 (3), 19–34.
- Emden, M., & Sumfleth, E. (2016). Assessing Students' Experimentation Processes in Guided Inquiry. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 14 (1), 29–54. <https://doi.org/10.1007/s10763-014-9564-7>
- Frey, A., Hartig, J., & Rupp, A.A. (2009). An NCME Instructional Module on Booklet Designs in Large-Scale Assessments of Student Achievement. Theory and Practice. *Educational Measurement: Issues and Practice*, 28 (3), 39–53. <https://doi.org/10.1111/j.1745-3992.2009.00154.x>
- Fritz, C.O., Morris, P.E., & Richler, J.J. (2012). Effect Size Estimates: Current Use, Calculations, and Interpretation. *Journal of Experimental Psychology. General*, 141 (1), 2–18. <https://doi.org/10.1037/a0024338>
- Glug, I. (2009). *Entwicklung und Validierung eines Multiple-Choice-Tests zur Erfassung prozessbezogener naturwissenschaftlicher Grundbildung*. Kiel: Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- Gott, R., Duggan, S., Roberts, R., & Hussain, A. (2014). *Research into Understanding Scientific Evidence*. Zugriff am 17.12.2020. Verfügbar unter: <https://community.dur.ac.uk/rosalyn.roberts/Evidence/cofev.htm>
- Grube, C.R. (2011). *Kompetenzen naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung. Untersuchung der Struktur und Entwicklung des wissenschaftlichen Denkens bei Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I*. Kassel: Universität Kassel.
- Hammann, M., Phan, T.T.H., Ehmer, M., & Bayrhuber, H. (2006). Fehlerfrei Experimentieren. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 59 (5), 292–299.

- Heinicke, S. (2012). *Aus Fehlern wird man klug. Eine genetisch-didaktische Rekonstruktion des „Messfehlers“*. Berlin: Logos.
- Heller, K., & Perleth, C. (2000). *Kognitiver Fähigkeitstest für 4. bis 12. Klassen, Revision: KFT 4–12+R*. Weinheim: Beltz.
- Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, 30 (3), 141–158. <https://doi.org/10.1119/1.2343497>
- HKM (Hessisches Kultusministerium). (2011). *Bildungsstandards und Inhaltsfelder – Das neue Kerncurriculum für Hessen: Sekundarstufe I Gymnasium Physik*. Zugriff am 17.12.2020. Verfügbar unter: https://kultusministerium.hessen.de/sites/default/files/media/kerncurriculum_physik_gymnasium.pdf.
- Jerusalem, M., & Satow, L. (1999). Schulbezogene Selbstwirksamkeitserwartung. In R. Schwarzer & M. Jerusalem (Hrsg.), *Skalen zur Erfassung von Lehrer- und Schülermerkmalen* (S. 15–16). Berlin: Freie Universität Berlin.
- Kalthoff, B., Theysen, H., & Schreiber, N. (2018). Explicit Promotion of Experimental Skills. And What about the Content-Related Skills? *International Journal of Science Education*, 93 (2), 1305–1326. <https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1477262>
- Kattmann, U. (1997ff.). *Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion* (Schriftenreihe zur fachdidaktischen Lehr-Lernforschung). Oldenburg: Didaktisches Zentrum Oldenburg.
- Kattmann, U. (2007). Didaktische Rekonstruktion – eine praktische Theorie. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (S. 93–104). Berlin & Heidelberg: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-68166-3_9
- 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), 3–18.
- Klieme, E., Avenarius, H., Blum, W., Döbrich, P., Gruber, H., Prenzel, M., et al. (2007). *Zur Entwicklung nationaler Bildungsstandards* (Bildungsforschung, Bd. 1). Bonn: Bundesministerium für Bildung und Forschung. Zugriff am 17.12.2020. Verfügbar unter: http://edudoc.ch/record/33468/files/develop_standards_nat_form_d.pdf.
- KMK (Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland). (2005a). *Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10)*. München: Luchterhand. Zugriff am 17.12.2020. Verfügbar unter: https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Biologie.pdf.
- KMK (Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland). (2005b). *Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10)*. München: Luchterhand. Zugriff am 17.12.2020. Verfügbar unter: https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Chemie.pdf.
- KMK (Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland). (2005c). *Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10)*. München: Luchterhand. Zugriff am 17.12.2020. Verfügbar unter: https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Physik-Mittleren-SA.pdf.
- Lorch, R.F., Lorch, E.P., Calderhead, W.J., Dunlap, E.E., Hodell, E.C., & Freer, B.D. (2010). Learning the Control of Variables Strategy in Higher and Lower Achieving Classrooms. Contributions of Explicit Instruction and Experimentation. *Journal of Educational Psychology*, 102 (1), 90–101. <https://doi.org/10.1037/a0017972>
- Müller, R., Wodzinski, R., & Hopf, M. (Hrsg.). (2007). *Schülervorstellungen in der Physik. Festschrift für Hartmut Wiesner* (2., unveränd. Aufl.). Köln: Aulis.

- Nawrath, D., Maiseyenko, V., & Schecker, H. (2011). Experimentelle Kompetenz. Ein Modell für die Unterrichtspraxis. *Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule*, 60 (6), 42–49.
- Reinfried, S., Mathis, C., & Kattmann, U. (2009). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion. Eine innovative Methode zur fachdidaktischen Erforschung und Entwicklung von Unterricht. *Beiträge zur Lehrerbildung*, 27 (3), 404–414.
- Renkl, A. (2016). Multiple Ziele: Warum Lernende oft (zu) viel beachten müssen und wie Lehrende damit umgehen könnten. *Unterrichtswissenschaft*, 44 (3), 239–251.
- Rogge, C. (2010). *Entwicklung physikalischer Konzepte in aufgabenbasierten Lernumgebungen*. Berlin: Logos.
- Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf, M., & Duit, R. (2018). *Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis*. Berlin & Heidelberg: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-57270-2>
- Schiefele, U., Krapp, A., Wild, K.-P., & Winteler, A. (1993). Der „Fragebogen zum Studieninteresse“ (FSI). *Diagnostika*, 39 (4), 335–351.
- Theyßen, H. (2014). Methodik von Vergleichsstudien zur Wirkung von Unterrichtsmedien. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 67–80). Berlin & Heidelberg: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-37827-0_6
- Vorholzer, A. (2016). *Wie lassen sich Kompetenzen des experimentellen Denkens und Arbeitens fördern? Eine empirische Untersuchung eines expliziten und eines impliziten Instruktionsansatzes*. Berlin: Logos.
- Vorholzer, A. (2017). Lernaufgaben zu fachmethodischen Kompetenzen. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 70 (2), 83–89.
- Vorholzer, A., & Aufschnaiter, C. v. (2019). Guidance in Inquiry-based Instruction – an Attempt to Disentangle a Manifold Construct. *International Journal of Science Education*, 41 (11), 1562–1577. <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1616124>
- Vorholzer, A., & Aufschnaiter, C. v. (2020). Dimensionen und Ausprägungen fachinhaltlicher Kompetenz in den Naturwissenschaften – ein Systematisierungsversuch. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 26, 1–18. <https://doi.org/10.1007/s40573-020-00107-w>
- Vorholzer, A., Aufschnaiter, C. v., & Kirschner, S. (2016). Entwicklung und Erprobung eines Tests zur Erfassung des Verständnisses experimenteller Denk- und Arbeitsweisen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 22 (1), 25–41. <https://doi.org/10.1007/s40573-015-0039-3>
- Vorholzer, A., Hägele, J.J., & Aufschnaiter, C. v. (2020). Instruktionen kohärent anlegen und Kompetenzaufbau untersuchen: Zugänge und Herausforderungen am Beispiel experimentbezogener Kompetenz. *Unterrichtswissenschaft*, 48 (1), 61–89. <https://doi.org/10.1007/s42010-019-00064-5>
- Vygotsky, L.S. (1978). *Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Weinert, F.E. (2000). Lehren und Lernen für die Zukunft. Ansprüche an das Lernen in der Schule. *Nachrichten der Gesellschaft zur Förderung Pädagogischer Forschung*, (2), 4–23.
- Weinert, F.E. (2001). Vergleichende Leistungsmessung in Schulen. Eine umstrittene Selbstverständlichkeit. In F.E. Weinert (Hrsg.), *Leistungsmessungen in Schulen* (S. 17–31). Weinheim et al.: Beltz.
- Weitzel, H., & Gropengießer, H. (2009). Vorstellungsentwicklung zur stammesgeschichtlichen Anpassung. Wie man Lernhindernisse verstehen und förderliche Lernangebote machen kann. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 15, 287–305.
- Wellnitz, N., Fischer, H.E., Kauertz, A., Mayer, J., Neumann, I., Pant, H.A., et al. (2012). Evaluation der Bildungsstandards – eine fächerübergreifende Testkonzeption für

den Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 18, 261–291.

Beitragsinformationen

Zitationshinweis:

Vorholzer, A. (2021). Erträge Didaktischer Rekonstruktion für Forschung und Unterricht am Beispiel von Lernaufgaben zum experimentellen Denken und Arbeiten. *HLZ – Herausforderung Lehrer*innenbildung*, 4 (2), 67–87. <https://doi.org/10.11576/hlz-2700>

Eingereicht: 13.11.2019 / Angenommen: 20.04.2020 / Online verfügbar: 26.02.2021

ISSN: 2625–0675



© Die Autor*innen 2021. 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: Benefits of Educational Reconstruction for Research and Teaching, Exemplified by Learning Tasks on Experiment-related Competencies

Abstract: For more than 20 years the Model of Educational Reconstruction has been used as a theoretical framework for research and the development of learning materials in science education. The three components of the model – clarification and analysis of science content, research on teaching and learning, design and evaluation of teaching and learning environments – are often used in the context of subject-matter related learning goals (e.g., evolution, chaos theory or climate change). In contrast, examples in which the model is applied for developing instruction for or conducting research on procedural learning goals are scarce. The paper is based on an intervention study, in which the Model of Educational Reconstruction is used to develop and test instruction that targets students' scientific inquiry abilities as well as corresponding procedural knowledge. The example of this study is used to illustrate how the model may be applied in the context of procedural learning goals and which design principals can be derived through the three components. In addition, results from a quasi-experimental pre-post-comparison with $N = 222$ students are presented that provide evidence for the effectiveness of the model-based instruction. Furthermore, it is discussed from a methodological point of view, how studies that aim at investigating and/or comparing the effects of a specific design principal or instructional materials may benefit from using the Model of Educational Reconstruction as a theoretical framework.

Keywords: Model of Educational Reconstruction, scientific inquiry skills, intervention study, procedural learning goals, explicit instruction