

Forschendes Lernen in der Biologie

*Till Bruckermann, Julia Arnold, Kerstin Kremer
und Kirsten Schlüter*

- 2.1 Inhaltliche Ausrichtung und Voraussetzungen – 13**
- 2.2 Das Experiment als Erkenntnismethode – 14**
- 2.3 Anforderungen an Lernende beim Forschenden
Experimentieren – 16**
- 2.4 Instruktions- und Sozialformen – 18**
 - 2.4.1 Lernunterstützungen – 19**
 - 2.4.2 Lösungsbeispiele und gestufte Lernhilfen beim
Experimentieren – 19**
 - 2.4.3 Kooperatives Lernen beim Experimentieren – 20**
- 2.5 Erwerb von Professionswissen zum Forschenden
Lernen – 21**
- Literatur – 24**

Dieser Beitrag befasst sich mit dem Forschenden Lernen in der Biologie an Schule und Hochschule. Das Forschende Lernen ist eine zentrale Lehr-/Lernmethode im Biologieunterricht, die sich am Vorgehen des naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozesses orientiert. Aufgrund der zahlreichen Schwierigkeiten, die Biologielehrkräfte mit dem Forschenden Lernen in der Praxis haben (Krämer et al. 2015a, b), ergibt sich die Notwendigkeit, Forschendes Lernen bereits während der Lehramtsausbildung an der Hochschule zu vermitteln.

Die Lehramtsausbildung gliedert sich in bildungswissenschaftliche, fachdidaktische und fachwissenschaftliche Studien und folgt so dem Modell professioneller Kompetenz nach Baumert und Kunter (2006). Die Modularisierung von Studiengängen erleichtert eine interdisziplinäre Ausbildung, indem in den Modulen fachwissenschaftliche und fachdidaktische Inhalte aufeinander abgestimmt und im Verbund vermittelt werden können. Dadurch, dass die Module neben dem Erlernen fachlicher Inhalte auch das Erlernen ihrer Vermittlung thematisieren, wird ein didaktischer Doppeldecker geschaffen. In diesem Fall unterstützt der didaktische Doppeldecker zum Forschenden Lernen einerseits das Erlernen von Fach- und Methodenwissen und kann andererseits als Unterrichtsmodell für die Lehramtsstudierenden dienen. Im Folgenden wird erläutert, wie Forschendes Lernen dazu beitragen kann, neben fachlichen auch fachdidaktische Inhalte zu vermitteln.

Methoden naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung können in Schule und Hochschule als Lern- oder Forschungsmethoden eingesetzt werden. Zwar sind Forschungsprozesse immer auch Lernprozesse (Huber 2014), doch ist nicht jeder Lernprozess auch ein Forschungsprozess (Hodson 2014). Für einen forschungsbezogenen Lernprozess differenziert Hodson (2014) zwischen drei verschiedenen Typen von Lernzielen, die jeweils ihre eigene Lernmethode erfordern. So unterscheidet er Lernziele zum Erlernen

- der fachwissenschaftlichen Inhalte (*learning science*),
- der Prinzipien naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung (*learning about science*) und
- der Arbeitsmethoden zur naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung (*doing science*).

Die gewählte Unterrichtsmethode muss dabei zum Ziel passen, und es können in der Regel nicht alle Ziele gleichzeitig erreicht werden. Außerdem ist es sinnvoll, die Lernziele explizit zu benennen. Hodson (2014) merkt aber auch an, dass die Unterscheidung der Lernziele zwar hilfreich ist, dass Experimentieren im Sinne des Praktisch-tätig-Seins (*doing science*) aber immer auch das Lernen von Inhalten und Prinzipien einschließt (S. 2551). Forschendes Lernen kann somit in der Lehramtsausbildung neben den Arbeitsmethoden auch Prinzipien der Erkenntnisgewinnung sowie fachliche Inhalte vermitteln. Darüber hinaus schließt es (zumindest implizit) ebenso Aspekte des fachdidaktischen Wissens über das Forschende Lernen ein (Modellierung aus der Perspektive Lernender vgl. Capps et al. 2012).

Innerhalb der Hochschuldidaktik wird das Forschende Lernen in verschiedenen Studiengängen eingesetzt, und somit ist die inhaltliche Ausgestaltung stark von den Erkenntnisprozessen der jeweiligen Disziplin geprägt. Es lassen sich allerdings methodische Gemeinsamkeiten aller Ansätze identifizieren: Laut Huber (2014, S. 22) sind dies eine Orientierung an den Lernenden (Studierenden), am *deep level learning* sowie an Lernformen, die Selbstständigkeit, Aktivität und Kooperation erfordern und dabei problem- und projektorientiert angelegt sind. Das Forschende Lernen, wie es für den *Biologieunterricht* beschrieben wird, vereint Elemente aus verschiedenen, sich überlappenden Ansätzen: z. B. entdeckendes Lernen (Neber 2001), Forschender Unterricht (Fries und Rosenberger 1970) sowie Forschend-Entwickelnder Unterricht (Schmidkunz und Lindemann 2003). Martius et al. (2016) geben hierzu einen Überblick und entwickeln daraus die in ■ Tab. 2.1 dargestellte zusammenfassende Definition (ähnliche Ausführungen finden sich in Arnold et al. 2014a und Arnold 2015).

■ **Tab. 2.1** Forschendes Lernen im naturwissenschaftlichen Unterricht (nach Martius et al. 2016)

Inhaltliche Ausrichtung	<i>Frage an die Natur</i> als Ausgangspunkt des Forschenden Lernens <i>Subjektiv Neues</i> wird von den Schüler(innen) gelernt <i>Relevante Themen</i> aus der Lebens- und Erfahrungswelt der Schüler(innen) werden behandelt
Unterrichtsschritte	<i>Phasierung des Unterrichts:</i> Lernanlässe schaffen Benennung des Problems/der Forschungsfrage Hypothesenbildung Planung des Lösungsvorschlags Durchführung und Dokumentation Auswertung Veröffentlichung Transfer
Sozialform	<i>Kooperative Lernformen</i> für ein gegenseitiges Unterstützen der Schüler(innen) <i>Gestufte Offenheit</i> von lehrendenzentriert zu lehrendenzentriert
Erkenntnismethode	<i>Experiment und Beobachtung</i> als zentrale Elemente naturwissenschaftlicher Forschung

Ob im schulischen Biologieunterricht angewendet oder als Ausbildungsinhalt von angehenden Lehrkräften an der Hochschule selbst praktiziert, in beiden Bereichen ist Forschendes Lernen auf die Lernenden zentriert und betont Selbstständigkeit und Kooperation. Außerdem wird eine idealtypische Schrittfolge zum Forschenden Lernen festgelegt, welche die Benennung einer Fragestellung, die Bildung von Hypothesen, das Planen der Datenerhebung, die Durchführung sowie die Datenauswertung – und manchmal noch weitere Phasen (■ Tab. 2.1) – umfasst. Speziell für das Forschende Lernen im Biologieunterricht ist allerdings die inhaltliche und methodische Ausrichtung am Erkenntnisprozess der Disziplin, welcher die Frage an die Natur sowie die naturwissenschaftlichen Forschungsmethoden des Experiments und der Beobachtung umfasst.

Wie ist es nun also möglich, biologiedidaktische Ansätze zum Forschenden Lernen mit den hochschuldidaktischen in der Lehramtsausbildung zu verknüpfen? Im Folgenden sollen theoretische Aspekte zum Forschenden Lernen für die Hochschule benannt und darauf aufbauend didaktische Formate für die Gestaltung von Forschenden Lernprozessen vorgestellt werden, die für eine experimentelle Lehramtsausbildung im Rahmen der fachlichen Ausbildung nutzbar gemacht werden können. Es soll (angehenden) Lehrkräften ermöglicht werden, die Methode selbst, quasi als „Lernender oder Lernende“, erfahren zu können. Es wird davon ausgegangen, dass auf dieser Erfahrung aufbauend das Forschende Lernen als didaktische Methode besser im Unterricht eingesetzt werden kann (Capps et al. 2012).

2.1 Inhaltliche Ausrichtung und Voraussetzungen

An der Hochschule setzt Forschendes Lernen ein Suchen nach Lernsituationen voraus, die als Forschungssituationen genutzt werden können und Bedingungen bieten, in denen das Lernen in einem Forschungsprozess angelegt wird (Huber 1998), z. B. durch

- „die Nachstellung historischer Problemkonstellationen, deren Lösungen in eigenen Versuchen nachzuvollziehen sind; [... oder durch]
- komplexere Laboraufgaben mit Offenheit der Ergebnisse, nicht nur [mit] der einen richtigen Lösung (*open end labs*); [... oder durch]
- eigene Untersuchungen, wie sie in Hauptseminar-, Diplom-, und Staatsexamensarbeiten erwartet werden und weiterhin erwartet werden sollen“ (ebd., S. 7).

Forschendes Lernen sollte auf Erkenntnisgewinnung ausgerichtet sein, die über das Interesse von Lernenden und Lehrenden hinausgeht (Huber 2009). Schneider und Wildt (2009) betonen, dass im Forschenden Lernen der Forschungsprozess durch Verknüpfung mit dem Lernprozess in jedem Falle bedeutsame Erkenntnisse für das Subjekt erzeugt. In seiner inhaltlichen Ausrichtung ist Forschendes Lernen gestuft und reicht vom experimentellen Nachvollzug von vorläufig gesichertem Wissen bis hin zum Betreten von Wissensneuland (Priemer 2011). Wo dieses Neuland beginnt, soll nicht aus gesellschaftlicher, sondern aus individueller Sicht und mit Bezug auf das Vorwissen der Lernenden betrachtet werden. Forschendes Lernen basiert somit auf individuellen Neuigkeiten und neu Erfahrbarem (Aepkers 2002; Bönsch 1994). Die Themen sollen so gewählt werden, dass sie das Vorwissen der Lernenden aufgreifen und sich auf ihre Lebenswelt beziehen (Messner 2009). Die dort gemachten Alltagserfahrungen münden in einer Frage an die Natur, welche die Lernenden untersuchen sollen (Puthz 1988). Um aber zur Frage passende Hypothesen aufstellen zu können, müssen die Lernenden Vorwissen zum Phänomenbereich aufweisen.

Auch im hochschuldidaktischen Kontext kann das Nachvollziehen von Problemen und ihrer Lösung Forschendes Lernen vorbereiten (Huber 1998). Huber (1998) spricht aber erst von Forschendem Lernen, wenn die Ergebnisse mehr als nur eine Lernleistung der Studierenden darstellen. Gyllenpalm und Wickman (2011) weisen auf eine Vermischung vom Experiment als Lehr-Lern- und Forschungsmethode hin. Aus diesem Grund sollte klar sein, ob Experimente zum Lernen von bekannten *Theorien* (*learning science content*), *Arbeitsweisen* (*learning to do inquiry*) oder *Prinzipien der Erkenntnisgewinnung* (*learning about science*) eingesetzt werden oder ob sie als Forschungsmethode dienen (Gyllenpalm und Wickman 2011, S. 922). Für die Lehramtsausbildung ergänzen Gyllenpalm und Wickman (2011) das Erlernen der *Vermittlung* naturwissenschaftlicher Inhalte (*learning to teach science*) als Zweck von Experimenten. Laut Ergebnissen von Studierendenbefragungen beschränkt sich allerdings der Zweck der Anwendung von Forschungsmethoden wie dem Experimentieren lediglich auf die Vermittlung fachwissenschaftlicher Inhalte (Gyllenpalm und Wickman 2011, S. 923). Diese eingeschränkte Sichtweise der Lernenden, aber auch der Lehrenden gilt es zu weiten.

2.2 Das Experiment als Erkenntnismethode

Die Wichtigkeit des Experiments für die Lehramtsausbildung wird sowohl national (KMK 2010) als auch international betont (z. B. NSTA 2012) und empirisch gestützt (Minner et al. 2010). Auch wenn der Begriff des Experiments in Schule und Fachdidaktik sehr weitgefasst interpretiert und angewendet wird (Berck 2001; Mayer und Ziemek 2006), so ist streng genommen damit die Suche nach dem kausalen Zusammenhang zwischen einer unabhängigen und einer abhängigen Variable gemeint (Wellnitz und Mayer 2008). International wird das Experiment im engeren Sinne auch als *fair testing* bezeichnet (Gott et al. 2016). Die unabhängige

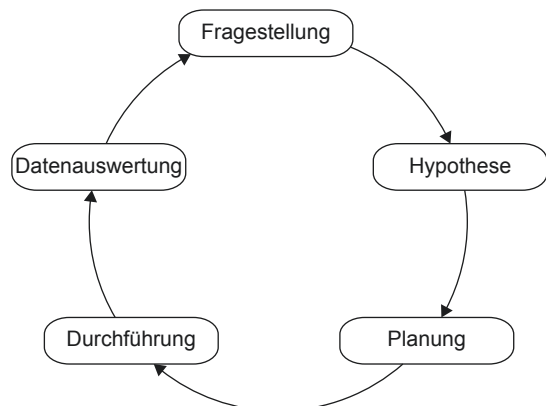
Variable (bzw. „zu testende Variable“ Gropengießer 2013, S. 284) ist der Faktor, der variiert, also bewusst verändert wird. Die abhängige Variable wird dabei beobachtet bzw. gemessen. Andere Einflüsse sollten konstant gehalten werden (Kontrollvariablen bzw. „zu kontrollierende Variablen“, ebd., S. 284).

Das (naturwissenschaftliche) Experiment ist ein hypothetisch-deduktives Verfahren und als solches eine bedeutsame Methode in der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung. Es wird immer dann eingesetzt, wenn ein Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung erschlossen werden soll (und nur da, denn „wo aufgrund historischer Entwicklung die Ursache-Wirkungs-Beziehung nicht reproduziert werden kann, ist man auf Beobachtungen und Vergleiche angewiesen“; Puthz 1988, S. 13). Das Experiment wird vereinfacht in einer Schrittfolge dargestellt, die meist zyklisch angelegt ist (■ Abb. 2.1). Die zyklische Darstellung des hypothetisch-deduktiven Verfahrens kann in Teilschritte unterteilt werden, was die Gliederung des Lernprozesses beim Experimentieren ermöglicht (Mayer und Ziemek 2006). Da wissenschaftliches Arbeiten in der Realität nicht ausschließlich diesen Schritten folgt (McComas 1996), sondern einzelne Schritte ineinander übergreifen (Hodson 1996), handelt es sich um eine idealisierte Darstellung, die im Forschungsprozess unbedingt reflektiert werden sollte.

Aus kognitionspsychologischer Sicht ist Experimentieren ein Problemlöseprozess (Klahr und Dunbar 1988): Von einer Problemstellung ausgehend werden Hypothesen formuliert und experimentell überprüft (Mayer 2007). Eine Fragestellung ergibt sich meist aus einer Beobachtung, die nicht durch Vorwissen erklärt werden kann, oder aus Modellen und Theorien, die hinterfragt werden (Huber 2009; Mayer und Ziemek 2006; Puthz 1988). Wenn zu diesen Fragen vorläufige Vermutungen und Erklärungsansätze existieren, werden diese als Hypothesen (begründete Vermutungen) formuliert (Gropengießer 2013). Diese Vermutungen können dann experimentell an der Wirklichkeit (bzw. ihrem Abbild im Laborexperiment) überprüft werden. Die gewonnenen Daten beinhalten die Antwort auf die Frage, doch müssen sie zunächst beschrieben werden. Durch die Beschreibung werden die Daten intersubjektiv nachvollziehbar. Anschließend können die beschriebenen Daten interpretiert und auf die Hypothesen bezogen werden. Meist wirft die Interpretation neue Fragen auf, die dann in weiteren Untersuchungen beantwortet werden können (Mayer und Ziemek 2006; Puthz 1988).

Das Experiment unterliegt den Gütekriterien des wissenschaftlichen Arbeitens: Objektivität, Reliabilität und Validität. Die Objektivität eines Experiments sichert die intersubjektive

■ **Abb. 2.1** Vereinfachte Schrittfolge zum hypothetisch-deduktiven Verfahren (nach Arnold et al. 2014a)



Nachvollziehbarkeit, die Reliabilität die Messgenauigkeit und verlässliche Wiederholbarkeit eines Experiments und die Validität die Gültigkeit der Daten, was bedeutet, dass man mit dem Experiment auch wirklich das misst, was man erheben möchte (Gott et al. 2016).

2.3 Anforderungen an Lernende beim Forschenden Experimentieren

Die Anforderungen, denen Schülerinnen und Schüler beim Experimentieren im Biologieunterricht begegnen müssen, können anhand der Teilschritte in **Abb. 2.1** beschrieben werden. Kompetente Lernende müssen also alle Schritte der Problemlöseprozedur auch in ihrem gegenseitigen Bezug beim Experimentieren kennen, verstehen und anwenden können: Fragestellungen formulieren, Hypothesen aufstellen, Experimente planen und durchführen und Daten auswerten (Kremer et al. 2014; Mayer 2007; Meier und Mayer 2012). Für Lehrkräfte gilt umso mehr, dass sie diese Erfahrungen selbst als Lernende gemacht haben müssen (Capps et al. 2012). Und obwohl wissenschaftliche Erkenntnisgewinnung nie einem definierten Algorithmus folgt (Hodson 1996, S. 125; McComas 1996), ist es sinnvoll, verschiedene Phasen beim Experimentieren zu unterscheiden und entsprechende Anforderungen zu beschreiben (vgl. Übersicht in Martius et al. 2016):

Fragestellung: Zu Beginn des Forschungsprozesses steht ein *Phänomen*, das beobachtet werden kann und nicht dem Erwarteten entspricht, das heißt, nicht durch bestehende Theorien erklärt werden kann (Bönsch 1991, 1994). Vom Phänomen ausgehend kann nun ein Problem und die damit verbundene *Fragestellung* benannt werden (Chinn und Malhotra 2002; Fradd et al. 2001; Mayer und Ziemek 2006). Bei Experimenten schließt die Fragestellung das kausale Verhältnis (Ursache – Wirkung) zwischen unabhängiger und abhängiger Variable ein (vgl. Mayer et al. 2008).

Hypothesen: Mögliche Antworten auf die Fragestellung geben die Hypothesen (Mayer und Ziemek 2006). Hypothesen werden als Konditionalsätze (*Wenn ..., dann ...; Je ..., desto ...*) formuliert und stellen die unabhängige und die abhängige Variable in einen prüfbaren Zusammenhang. Sie sind potenziell falsifizierbar (*Gegenhypothese*) und treffen eine Aussage über den Einzelfall hinaus (Bortz und Döring 2006). Dabei wird eine Hypothese stets durch Vorwissen bzw. Theorien begründet (Klahr und Dunbar 1988; Mayer und Ziemek 2006).

Planung und Durchführung: Mittels Planung und Durchführung eines Experiments soll nun die Hypothese überprüft werden (Bönsch 1991; Mayer und Ziemek 2006; Fradd et al. 2001). Dazu müssen die unabhängige und abhängige Variable *operationalisiert*, d. h. messbar gemacht werden (Bortz und Döring 2006). Die unabhängige Variable soll dadurch in festgelegten Stufen variiert, die abhängige Variable gemessen werden. Alle weiteren Einflüsse auf die abhängige Variable sollten als Störvariablen identifiziert und kontrolliert (konstant gehalten) werden (Gropengießer 2013). Weiterhin müssen Messzeiten festgelegt (Mayer et al. 2008) und Wiederholungen des Experiments vorgenommen werden (Arnold et al. 2014a; Wellnitz und Mayer 2013).

Datenauswertung: Die experimentell gewonnenen Daten müssen aufgezeichnet (Fradd et al. 2001) und beschrieben werden, um intersubjektiv nachvollziehbar zu sein (Mayer et al. 2008). Erst dann sollten sie mit Bezug zur Hypothese interpretiert werden. Die Interpretation sollte auch hinsichtlich ihrer Sicherheit und Einschränkungen der Gültigkeit reflektiert werden (Mayer und Ziemek 2006; Wellnitz und Mayer 2013). Solche Einschränkungen der Gültigkeit können sich auch aus der Kritik am methodischen Vorgehen ergeben, das im Hinblick auf weitere

■ **Tab. 2.2** Anforderungen beim Experimentieren (nach Arnold et al. 2014a)

Teilkompetenz	Kompetenzaspekt	Anforderung an die Lernenden
Fragestellung	Die Lernenden sollen zu einem Phänomen eine naturwissenschaftlich prüfbare Fragestellung formulieren und dazu ...	
	Abhängige Variable	... die abhängige (zu messende) Variable identifizieren können
	Unabhängige Variable	... eine unabhängige (zu untersuchende) Variable identifizieren können
	Frage nach kausalem Zusammenhang	... die Variablen in Form einer Frage in einen kausalen Zusammenhang stellen können
Hypothese	Die Lernenden sollen eine wissenschaftliche Hypothese formulieren und dazu ...	
	Abhängige Variable	... die abhängige (zu messende) Variable identifizieren können (sofern dies nicht bereits im Rahmen der Fragestellung erfolgt ist)
	Unabhängige Variable	... eine unabhängige (zu untersuchende) Variable identifizieren können (sofern dies nicht bereits im Rahmen der Fragestellung erfolgt ist)
	Vorhersage	... den Zusammenhang der Variablen in Form einer Vorhersage der erwarteten Ergebnisse formulieren können
	Begründung	... ihre Hypothese begründen können
	Nullhypothese(n) und Alternativhypothese(n)	... eine Nullhypothese sowie eine Alternativhypothese benennen können
Planung und Durchführung	Die Lernenden sollen ein wissenschaftliches Experiment planen und durchführen und dazu ...	
	Unabhängige Variable	... die unabhängige Variable in geeigneter Weise variieren können
	Abhängige Variable	... die abhängige Variable in geeigneter Weise operationalisieren können
	Störvariablen	... Störvariablen identifizieren und in geeigneter Weise kontrollieren können
	Messzeiten	... Zeitpunkt, Dauer und Intervalle der Messung in geeigneter Weise festlegen können
	Wiederholungen	... eine adäquate Zahl an Wiederholungen bzw. Parallelansätzen des Experiments berücksichtigen können
Datenauswertung	Die Lernenden sollen die Daten eines naturwissenschaftlichen Experiments auswerten und dazu ...	
	Beschreibung	... die Daten beschreiben können
	Interpretation	... die Daten interpretieren können
	Sicherheit	... die Sicherheit der Deutung diskutieren können
	Methodenkritik	... das gesamte Vorgehen des Experiments kritisch reflektieren können
	Ausblick	... einen Ausblick auf folgende Untersuchungen geben können

Untersuchungen verbessert werden sollte (Chinn und Malhotra 2002; Mayer und Ziemek 2006). Meist ergeben sich aus der Analyse der Daten neue Forschungsfragen, die durch einen Ausblick thematisiert werden können.

Präsentation und Transfer: Auch wenn in **Tab. 2.2** die Phase der Vermittlung und Veröffentlichung nicht extra aufgeführt ist, so handelt es sich dennoch um eine sehr wichtige Phase. Denn jetzt werden unter Bezug auf die ursprünglich aufgestellte Hypothese die Untersuchungsmethoden, die erhobenen Daten und gezogenen Schlüsse der Bezugsgruppe, den Peers (d. h. in der Ausbildung den anderen Lernenden bzw. in der Wissenschaft den anderen Forschenden) präsentiert und kritisch reflektiert (Bönsch 1994; Fradd et al. 2001; Martius et al. 2016). Wie in einem späteren Abschnitt noch deutlich wird, ist Forschung ein kollaborativer Prozess, der zur Qualitätssicherung auf den Austausch mit Peers angewiesen ist (► Abschn. 2.4.3).

2.4 Instruktions- und Sozialformen

Forschendem Lernen wird das Potenzial zugeschrieben, *Fach- und Methodenwissen* ebenso wie *Kompetenzen der Erkenntnisgewinnung* (Anderson 2002; Capps und Crawford 2013; Hof 2011; Völzke et al. 2013; Arnold 2015 bzw. Arnold et al. 2016) sowie eine *positive Einstellung* zu den Naturwissenschaften zu fördern (Hmelo-Silver et al. 2007; Eysink et al. 2009). Dennoch gibt es eine Diskussion über die Wirksamkeit des Forschenden Lernens (Kirschner et al. 2006; Hmelo-Silver et al. 2007; Sweller et al. 2007). Hierbei spielen auch Definitions- und Abgrenzungsschwierigkeiten des Begriffs „Forschendes Lernen“ und die unterschiedlichen Zielsetzungen eine Rolle.

Kirschner et al. (2006) argumentieren, dass Forschendes Lernen als konstruktivistische Lernform nur minimal angeleitet sein kann und deshalb die Lernenden überfordere. Die *Cognitive Load Theory* (CLT; Sweller et al. 1998) geht davon aus, dass die kognitive Kapazität begrenzt ist und einerseits durch das inhaltliche Anspruchsniveau und die Komplexität des Materials (*intrinsic cognitive load*) sowie andererseits durch die äußerliche Gestaltung des Materials (*extraneous cognitive load*) beansprucht wird. Kirschner et al. (2006) gehen von einer höheren Lernwirksamkeit der direkten Instruktion aus, da durch diese Methode die gestaltungsbedingte kognitive Belastung reduziert ist.

Direkte Instruktion widerspricht jedoch dem Anspruch des Konstruktivismus (Hmelo-Silver et al. 2007) und würde dem Forschenden Lernen somit zumindest in Teilen seinen authentischen Charakter nehmen (Chinn und Malhotra 2002). Deshalb empfehlen Hmelo-Silver et al. (2007) *scaffolding* als möglichen Weg zur kognitiven Unterstützung der Lernenden. *Scaffolds* sind gerüstartige Lernunterstützungen (► Abschnitt 2.4.1), welche variabel an die Lernvoraussetzungen angepasst werden („student’s zone of proximal development“; ebd., S. 100) und mit fortschreitender Entwicklung ausgeschlichen, d. h. schrittweise immer weiter reduziert und schließlich ganz eingestellt werden können.

Die Balancierung des Dilemmas aus Vor- und Nachteilen beider Ansätze (direkte Instruktion und konstruktivistische Vorgehensweise) und ihrer unterschiedlichen Lernziele stellt Lehrkräfte vor eine große Herausforderung. Deshalb sollten Lehrkräfte Erfahrungen bei der Gestaltung von Unterrichtseinheiten zum Forschenden Lernen sammeln. Sie sollten Hilfsmaßnahmen kennenlernen, durch welche sie die Lernenden bei ihrem Forschungsprozess unterstützen können, ohne dass dabei der forschende Charakter dieser Lehr-Lern-Form verloren geht. Geeignete Unterstützungsmaßnahmen werden im Folgenden vorgestellt.

2.4.1 Lernunterstützungen

Forschendes Lernen kann als kognitiv komplexer *Problemlöseprozess* (Klahr und Dunbar 1988; Mayer 2007) schnell zur kognitiven Überlastung der Lernenden führen (Kirschner et al. 2006). Wenn das Vorwissen und benötigte Fähigkeiten zu gering ausgeprägt sind, kann die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses schnell ausgelastet sein (CLT; Sweller et al. 1998). Gemäß der *Cognitive Load Theory* kommt es zur Überlastung, weil aufgrund der begrenzten Kapazität des Arbeitsgedächtnisses keine Ressourcen mehr für die Konstruktion neuen Wissens genutzt werden können. Eine Möglichkeit, die Ressourcen beim Lernen zu bündeln, stellen Lernunterstützungen dar (Arnold et al. 2014b). Sie sollen für kognitive Entlastung (materialbedingter *extraneous cognitive load* sinkt) sorgen, sodass mehr Kapazität für bedeutsame Lernprozesse zur Verfügung steht (lernförderlicher *germane cognitive load* steigt).

Mögliche Lernunterstützungen werden mit einem Gerüst verglichen (engl. *scaffolds*; Puntambekar und Hübscher 2005). *Scaffolds* sind unterstützende Interaktionen zwischen Lernendem und Lehrendem, die dazu führen, dass Lernende ein Problem lösen können, das ohne Unterstützung unlösbar geblieben wäre. Mit dem fortschreitenden Lernprozess werden die Unterstützungen jedoch immer weiter abgebaut (ausgeschlichen). Eine weitere Auslegung des Begriffs umfasst inzwischen verschiedene unterstützende Interaktionen, wie z. B. auch Interaktionen zwischen dem Lernenden und dem Material (materialbasierte Aufgabenformate) sowie Peerinteraktionen (Sozialform; vgl. Puntambekar und Hübscher 2005). Materialbasierte *scaffolds* sind im Vorfeld an die Voraussetzungen der Lernenden angepasst.

Im Folgenden sollen gestufte Lernhilfen (► Abschn. 2.4.2) zur Unterstützungen des Forschenden Lernens vorgestellt werden, welche sowohl den Prozess des Forschenden Lernens strukturieren bzw. anleiten (Arbeitshinweise) als auch konkrete Umsetzungsmöglichkeiten aufzeigen (Rückmeldungen, Lösungsbeispiele). Darüber hinaus kann das kooperative Lernen (► Abschn. 2.4.3) als Sozialform die Reflexion über den Prozess bestärken.

2.4.2 Lösungsbeispiele und gestufte Lernhilfen beim Experimentieren

In der Diskussion zwischen Hmelo-Silver et al. (2007), Kirschner et al. (2006) und Sweller et al. (2007) schlagen Letztere *worked examples* (Lösungsbeispiele) vor, um das Forschende Lernen durch diese angeleitete Komponente effektiver werden zu lassen. Lösungsbeispiele umfassen neben Problemstellung und Lernziel auch eine mögliche Lösung auf dem Weg dorthin. Durch die dargebotenen Schritte zur Lösung können die Lernenden generalisierte Lösungsschemata ableiten (van Merriënboer et al. 2003). Sweller et al. (2007) sehen einen sich anbahnenden Konsens in der Lernforschung, dass auch in konstruktivistischen Lernformen direkte Instruktion von Bedeutung ist und somit strukturell integriert werden kann. Insofern sehen sie Lösungsbeispiele (*worked examples*) als den ultimativen Schritt für eine effektive Unterstützung beim Forschenden Lernen an. Gestufte Lernhilfen sind eine Weiterentwicklung dieser Lösungsbeispiele, indem sie die Vorteile von Lösungsbeispielen und *scaffolds* vereinen.

Lösungsbeispiele können zu höherer Lernleistung führen (Sweller et al. 2007). Einschränkend zeigen Schmidt-Weigand et al. (2008) jedoch auf, dass es bei großem Vorwissen durchaus zu einem *expertise reversal effect* (Kalyuga et al. 2001) kommen kann. Durch die Lösungsbeispiele können die sehr fähigen Lernenden von einer eigenständigen Lösungsfindung abgehalten werden. Umgekehrt könnten aber auch die Lösungsbeispiele noch zu schwierig sein.

Schmidt-Weigand et al. (2008) leiten daraus ab, dass die Unterstützung an den Lernenden angepasst werden muss. Sie schlagen vor, „Lernende während des Lernens zu Selbsterklärungen aufzufordern (prompting)“, um an vorhandene Fähigkeiten anzuknüpfen, und dass die Lehrpersonen daraufhin „instruktionale Erklärungen [...] als Rückmeldungen für zuvor erzeugte Selbsterklärungen“ (S. 368) geben.

Als gestufte Lernhilfen werden solche Unterstützungsmaßnahmen bezeichnet, die zu (1) „lernrelevanten (kognitiven) Handlungen“ auffordern und (2) „eine Antwort oder inhaltliche Erläuterung, die als Rückmeldung“ dient, geben (Schmidt-Weigand et al. 2008, S. 369). Mit diesen gestuften Lernhilfen können die Lernenden (1) ihre Bedürftigkeit im *scaffolding* (Umfang des benötigten Hilfsgerüsts) selbst diagnostizieren (Puntambekar und Hübscher 2005), um dann (2) auf die jeweiligen konkreten Hilfestellungen und Tipps zurückzugreifen. So nutzen die Lernenden Arbeitshinweise und Lösungen nur dann, wenn sie auch erforderlich sind. Weiterhin können die Unterstützungen von den Lernenden selbst „abgebaut“ werden, sobald diese aufgrund ihrer wachsenden Fähigkeiten bemerken, dass sie die Hilfestellungen nicht mehr benötigen.

Schmidt-Weigand et al. (2008) konnten die Wirksamkeit gestufter Lernhilfen (schrittweise abrufbare Handlungsaufforderungen und Problemlösungsschritte) für eine komplexe naturwissenschaftliche Problemstellung in einer neunten Jahrgangsstufe in Physik nachweisen. Arnold (2015) sowie Arnold et al. (2016) gelang der Übertrag der gestuften Lernhilfen auf die Förderung des wissenschaftlichen Denkens durch Forschendes Lernen in der gymnasialen Oberstufe im Fach Biologie. Bruckermann et al. (2017) konnten die Wirksamkeit des Ansatzes bezüglich der Förderung des wissenschaftlichen Denkens in der Lehramtsausbildung Biologie nachweisen.

2.4.3 Kooperatives Lernen beim Experimentieren

Neben der Strukturierung des Experimentierens durch gestufte Lernhilfen bietet auch die Sozialform des kooperativen Lernens eine Unterstützungsmaßnahme für den Lernprozess an. Es handelt sich hierbei um *scaffolding*, also um den Bau eines Hilfsgerüsts, bedingt durch Peerinteraktionen (Puntambekar und Hübscher 2005). Nicht nur das Lernen in der Schule oder der universitären Ausbildung ist durch Kooperationsprozesse geprägt, sondern auch der wissenschaftliche Forschungsprozess, denn Forschung ist Teamarbeit:

- » Prozesse der Hervorbringung neuen Wissens, der Wissensaneignung, der Wissensmodifikation oder des Wissenstransfers sind nur als (zumindest indirekte) Kooperationskonstellationen denkbar. (Wehner et al. 2004, S. 168)

Das Forschende Lernen folgt der kooperativen Vorgehensweise im wissenschaftlichen Forschungsprozess, indem es kein Konzept für Einzelkämpfende, sondern für kreative Gruppen ist. Forschendes Lernen umfasst das kooperative Lernen somit als wichtigen Baustein (Mayer und Ziemek 2006; Messner 2009; Martius et al. 2016).

Eine Methode des kooperativen Lernens, welche zu einer Phasierung des Forschenden Lernens führt, ist der Dreischritt des *Think-Pair/Square-Share*. Durch diesen Dreischritt werden kooperativ arbeitende Gruppen aufgefordert, den Prozess unter Beteiligung aller Lernenden zu diskutieren. Dazu werden z. B. die Hypothesen in Einzelarbeit vorbereitet (*Think*) und anschließend in der Gruppe diskutiert (*Pair/Square*). Nach Abschluss des Experiments werden die Ergebnisse präsentiert und mit den Peers diskutiert (*Share*). Die Präsentation der Ergebnisse kann auf der Grundlage eines Protokolls erfolgen. Das Protokoll erfordert, dass die Lernenden ihr

theoretisches Wissen und ihre praktischen Fähigkeiten reflektieren, um den Experimentierprozess umfassend zu dokumentieren (Hmelo-Silver 2006, S. 151). Der Dreischritt aus *Think-Pair-Square-Share* verbindet unterschiedliche Sozialformen aus Einzel-, Gruppen- (bzw. Partner-) und Plenumsarbeit miteinander. Sozialformen, die kooperatives Lernen anregen, können *scaffolds* zur Verfügung stellen, indem sich Lernende gegenseitig unterstützen. In der Taxonomie nach Hmelo-Silver (2006) regen sie zu Austausch, Diskussion und Erklärungen an („eliciting articulation“, S. 151).

2.5 Erwerb von Professionswissen zum Forschenden Lernen

Ob die genannten Vorteile des Forschenden Lernens (Erwerb von Fach- und Methodenwissen sowie von Kompetenzen der Erkenntnisgewinnung) von Lehrkräften in der Schule genutzt werden, hängt von ihrem *fachlichen Wissen* über Erkenntnisgewinnung und *fachdidaktischen Wissen* über Forschendes Lernen sowie ihren *Einstellungen* zum Lehren und Lernen ab (Crawford 2007, S. 636). Oft sind es Erfahrungen aus ihrem Studium, die Lehramtsstudierende in ihrem Unterricht beeinflussen. Der Stillstand in der Lehramtsausbildung durch das Festhalten an instruktionalen Lehrformen spiegelt sich somit im Schulunterricht wider. Dagegen sollten Studierende während ihrer Ausbildung bereits Erfahrungen mit jenen Lehr-Lern-Konzepten machen, die sie später in ihren Unterrichtsstunden auch einmal selber einsetzen sollten (Bohnsack 2000, S. 94f.). In der Biologiedidaktik wäre ein solches wünschenswertes Lehr-Lern-Konzept das Forschende Lernen inklusive der dazu passenden Prüfungsformen (Crawford 2007, S. 638). Die universitäre Lehre hat also eine Modellfunktion für den späteren Schulunterricht, insbesondere auch hinsichtlich der Vermittlung des Forschenden Lernens.

Wie es gelingen kann, Lehrkräfte im Bereich des Forschenden Lernens zu professionalisieren, zeigen Capps et al. (2012, S. 299ff.) in einem Review, worin sie neun Faktoren für eine gelungene Aus- bzw. Fortbildung im Forschenden Lernen identifizieren („inquiry professional development“):

1. ausreichend lange Kursdauer zur Behebung von Zweifeln und Fehlvorstellungen zum Forschen und Forschenden Lernen,
2. längerfristige Unterstützung der Lehrkräfte in ihrem eigenen Unterricht über den Kurs hinaus,
3. authentische Erfahrungen in der Forschung,
4. Kohärenz zu bestehenden Ausbildungsstandards,
5. Entwicklung eigener Unterrichtsstunden zum Forschenden Lernen,
6. Forschendes Lernen durch modellhafte Unterrichtsstunden persönlich erfahren,
7. Reflexionen über das Forschende Lernen durch Diskussionen und Protokolle,
8. explizite Überlegungen für den Transfer der Methode des Forschenden Lernens in die eigene Schule und
9. Vermittlung von Fachwissen (u. a. über Forschungsmethoden und die Natur der Naturwissenschaften).

Forschendes Lernen sollte in der Lehramtsausbildung alle oben genannten Faktoren adressieren. Dabei kann es unterschiedliche Funktionen umfassen. So kann Forschendes Lernen dazu dienen,

- subjektiv neues (Fach-)Wissen zu erwerben,
- selbst Forschen zu lernen und
- Forschendes Lernen zu unterrichten zu lernen.

Dabei sollte mit der potenziell lernhinderlichen Vermischung vom Experiment als Teil von Forschung oder Lehre reflexiv umgegangen werden, wie Gyllenpalm und Wickman (2011) beschreiben. In ihrem Sinne sollte beim Forschenden Lernen mit Experimenten herausgestellt werden, inwieweit hiermit bekannte Theorien veranschaulicht („learning science content“), Laborfertigkeiten eingeübt („learning to do inquiry“) und/oder Prinzipien der Variablenkontrolle („learning about inquiry“) erlernt werden sollen (ebd. S. 922). In der Lehramtsausbildung kommt als zusätzliches Ziel noch das Erlernen, wie Naturwissenschaften im Unterricht vermittelt werden können, hinzu („learning to teach science“) (S. 923).

Letzteres Ziel kann beim Forschenden Lernen beispielsweise in Form des Nachvollziehens historischer Problemstellungen (Erwerb von subjektiv neuem Wissen) Anwendung finden. Durch das Bearbeiten „ehemaliger“ Forschungsfragen der Wissenschaft können die Lehramtsstudierenden

- modellhaft ausgewählte, einfach durchführbare Forschungsprozesse durchlaufen und damit Erfahrungen mit der Lehr-Lern-Form des Forschenden Lernens sammeln und diese reflektieren (Crawford 2007; Capps et al. 2012),
- Inhaltswissen zu den Prinzipien der Erkenntnisgewinnung erwerben (*learning about science*; Gyllenpalm und Wickman 2011),
- eine forschende Haltung entwickeln, auf deren Grundlage weitere Forschungsideen und -arbeiten entstehen können (Huber 2009).

Eine gelungene Lehramtsausbildung zum Forschenden Lernen berücksichtigt insbesondere die nachfolgend genannten vier Faktoren aus folgenden Gründen (Capps et al. 2012):

1. Ausbildungsstandards enthalten Anforderungen an angehende Lehrerinnen und Lehrer, die im Rahmen der Ausbildung berücksichtigt werden müssen und auf die spätere Tätigkeiten im Unterricht vorbereiten.
2. Modelliertes Forschendes Lernen ermöglicht, die Lernchancen und -schwierigkeiten dieses Lehr-Lern-Konzepts „am eigenen Leib“ zu erfahren.
3. Inhaltswissen ist beim Forschenden Lernen eine notwendige Voraussetzung, denn worüber man nichts weiß, kann man nicht sprechen.
4. Authentische Erfahrungen mit Forschungsprozessen fördern eine forschende Haltung, welche die Grundlage zum Angehen neuer Forschungsprojekte bildet.

Im Folgenden wird erläutert, inwiefern die vier genannten (Erfolgs-)Faktoren in dem Konzept zum Forschenden Lernen, welches diesem Buch zugrunde liegt, in der Lehramtsausbildung berücksichtigt werden können.

Ausbildungsstandards: In den ländergemeinsamen inhaltlichen Anforderungen für die Fachwissenschaften und Fachdidaktiken in der Lehramtsausbildung, welche von der Kultusministerkonferenz (2010) herausgegeben wurden, beziehen sich die dort genannten Ausbildungsstandards auch auf das Forschende Lernen mit Experimenten als Erkenntnismethode (► Abschn. 2.2). Sie verlangen den Kompetenzerwerb in „basalen Arbeits- und Erkenntnismethoden der Biologie“ und im „hypothesengeleiteten Experimentieren als auch im Vergleichen sowie im Handhaben von (schulrelevanten) Geräten“ (KMK 2010, S. 18).

Modelliertes Forschendes Lernen: Forschendes Lernen mit gestuften Lernhilfen wurde anhand ausgewählter Inhalte für den schulischen Biologieunterricht erprobt (Arnold 2015). Die kognitiven Lernhilfen knüpfen dabei an das Vorwissen der Lernenden an und unterstützen die

Entwicklung kognitiver Lösungsschemata (Schmidt-Weigand et al. 2008). Forschendes Lernen mit gestuften Lernhilfen soll jetzt auch in der Lehramtsausbildung eingesetzt werden. Die Lehramtsstudierenden erleben dabei aus Lernerperspektive modellartig den Prozess des Forschens und werden mittels gestufter Lernhilfen schrittweise durch diesen geführt. Die Lernhilfen unterstützen die Studierenden darin, subjektiv neues Wissen an bereits bestehendes Vorwissen anzuknüpfen und für sie notwendige Unterstützungsmaßnahmen selbst zu diagnostizieren und einzuholen. Dadurch übernehmen die Studierenden Verantwortung für ihren Lern- und Erkenntnisprozess.

Inhaltswissen: Die gestuften Lernhilfen unterstützen explizit den Erwerb von Wissen über die Prinzipien der Erkenntnisgewinnung, indem sie zur Selbsterklärung anleiten (Schmidt-Weigand et al. 2008, S. 369). Dabei fordern Fragen (*Prompts*) die Lernenden zunächst zur eigenen Erklärung der geforderten Aspekte beim Experimentieren auf. Die von den Lernenden gegebenen Erklärungen können anschließend, wenn notwendig, durch Lösungsbeispiele überprüft werden und dienen als Rückmeldung zu den Selbsterklärungen. Diese Abstufung bzw. Zerteilung der Lernhilfen ermöglicht einen an das Vorwissen der Lernenden angepassten Wissenserwerb.

Forschende Haltung: Capps et al. (2012, S. 300) betonen, wie wichtig es ist, dass Lehrerinnen und Lehrer authentische Erfahrungen in der Forschung machen. Nur so lernen sie, wie Lernende im Forschungsprozess unterstützt werden können. Dieser Forschungsprozess fordert eine innerliche Haltung, die durch Neugier geprägt ist (NRC 2000, S. XII). Eine solche Neugier muss auch die Triebfeder beim Forschenden Lernen sein, selbst wenn es sich hierbei nur um ein Nachdecken und den Erwerb subjektiv neuen Wissens handelt. Wecken und aufrechterhalten lässt sich diese Neugier, wenn bei den Forschungsfragen ein Lebensweltbezug besteht und sich die Fragen mit dem bereits vorhandenen Wissen und den Fähigkeiten der Lernenden bearbeiten lassen. Der Nachvollzug historischer Problemstellungen kann diesen Anforderungen zumindest ansatzweise entsprechen und somit eine forschende Haltung fördern (Huber 2009).

Hodson (1996) schlägt vor, dass Forschendes Lernen in drei Phasen der Modellierung, angeleiteter Übung und Anwendung realisiert werden soll. Die Modellierung entspricht dabei dem eigenständigen Durchlaufen vorstrukturierter, eher historisch ausgerichteter, nur subjektiv neuer Forschungsprozesse. Das Ziel dieser Modellierung ist, Wissen über Erkenntnisprinzipien zu vermitteln und eine forschende Haltung zu fördern. Daran anschließend sollten in der Lehramtsausbildung weitere authentische Forschungserfahrungen möglich sein. Hierfür könnten die Studierenden zuerst unter Anleitung und dann selbstständig eigene Forschungsfragen entwickeln und bearbeiten. Dies kann sowohl im Fach, also in der Biologie, als auch in den Bildungswissenschaften erfolgen. Darauf aufbauend (gegebenenfalls auch parallel dazu) sollten die Lehramtsstudierenden eigene Unterrichtsideen bzw. -stunden zum Forschenden Lernen entwickeln und diese dann mit (Klein-)Gruppen von Schülerinnen und Schülern praktisch durchführen. Von den verschiedenen Ausbildungsphasen zur Realisierung des Forschenden Lernens im späteren Schulunterricht wird in diesem Buch die erste Phase in einem didaktischen Doppeldecker aufgegriffen: die Modellierung

- zum Erwerb von subjektiven Forschungserfahrungen und
- von forschenden Unterrichtsstunden aus Lernendenperspektive.

Die hier vorgestellten materialgebundenen Fördermaßnahmen sind offen für Abänderungen, denn auch beim Forschenden Lernen sind die erreichbaren Lernziele von der Passung der Methode abhängig (Hmelo-Silver et al. 2007).

Literatur

- Aepkers M (2002) Forschendes Lernen – einem Begriff auf der Spur. In: Aepkers M, Liebig S (Hrsg) Basiswissen Pädagogik. Unterrichtskonzepte und -techniken. Band 4. Entdeckendes, forschendes und genetisches Lernen. Schneider-Verlag Hohengehren, Baltmannsweiler, S 69–87
- Anderson RD (2002) Reforming science teaching: what research says about inquiry. *J Sci Teach Educ* 13:1–12
- Arnold J (2015) Die Wirksamkeit von Lernunterstützungen beim Forschenden Lernen. Eine Interventionsstudie zur Förderung des Wissenschaftlichen Denkens in der gymnasialen Oberstufe. Logos, Berlin
- Arnold J, Kremer K, Mayer J (2014a) Schüler als Forscher – Experimentieren kompetenzorientiert unterrichten und beurteilen. *Mathematisch und naturwissenschaftlicher Unterricht (MNU)* 67:83–91
- Arnold J, Kremer K, Mayer J (2014b) Understanding students' experiments – what kind of support do they need in inquiry tasks? *Int J Sci Educ* 36:2719–2749. doi:10.1080/09500693.2014.930209
- Arnold J, Kremer K, Mayer J (2016) Concept Cartoons als diskursiv-reflexive Szenarien zur Aktivierung des Methodenwissens beim Forschenden Lernen. *Biologie Lehren und Lernen – Zeitschrift für Didaktik der Biologie* 20:33–43. doi:10.4119/UNIBI%2Fzdb-v1-i20-324
- Baumert J, Kunter M (2006) Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaften* 9:469–520
- Berck K-H (2001) *Biologiedidaktik Grundlagen und Methoden*. Quelle und Meyer, Wiebelsheim
- Bohnsack F (2000) Probleme und Kritik der universitären Lehrerbildung. In: Bayer M, Bohnsack F, Koch-Priewe B, Wildt J (Hrsg) *Lehrerin und Lehrer werden ohne Kompetenz? Professionalisierung durch eine andere Lehrerbildung*. Klinkhardt, Bad Heilbrunn, S 52–123
- Bönsch M (1991) *Variable Lernwege. Ein Lehrbuch der Unterrichtsmethoden*. Schöningh, Paderborn
- Bönsch M (1994) Forschendes Lernen als Lernprozeß im Sachunterricht der Grundschule. *Sachunterricht und Mathematik in der Primarstufe* 22:286–290
- Bortz J, Döring N (2006) *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler*. Springer, Berlin
- Bruckermann, T., Aschermann, E., Bresges, A., & Schlüter, K. (2017). Metacognitive and multimedia support of inquiry learning in science teacher preparation. *Int J Sci Educ*, 39, 1–26. doi: 10.1080/09500693.2017.1301691
- Capps DK, Crawford BA (2013) Inquiry-based instruction and teaching about nature of science: are they happening? *J Sci Teach Educ* 24: 497–526. doi: 10.1007/s10972-012-9314-z
- Capps DK, Crawford BA, Constan MA (2012) A review of empirical literature on inquiry professional development: alignment with best practices and a critique of the findings. *J Sci Teach Educ* 23:291–318
- Chinn CA, Malhotra BA (2002) Epistemologically authentic inquiry in schools: a theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Sci Educ* 86:175–218
- Crawford BA (2007) Learning to teach science as inquiry in the rough and tumble of practice. *J Res Sc Teach* 44:613–642
- Eysink THS, Jong T de, Berthold K, Kolloff B, Opfermann M, Wouters P (2009) Learner performance in multimedia learning arrangements: an analysis across instructional approaches. *Am Educ Res J* 46:1107–1149. doi:10.3102/0002831209340235
- Fradd SH, Lee O, Sutmann FX, Saxton MK (2001) Promoting science literacy with English language learners through instructional materials development: a case study. *Biling Res J* 25:417–439
- Fries E, Rosenberger D (1970) *Forschender Unterricht. Ein Beitrag zur Didaktik und Methodik des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts in der Volks- und Realschule*. Verlag Moritz Diesterweg, Frankfurt a. M.
- Gott R, Duggan S, Roberts R (2016) Concepts of evidence. Resource document. University of Durham. <http://crystaloutreach.ualberta.ca/en/ScienceReasoningText/~media/crystal/Documents/ScienceReasoningText/ConceptsOfEvidenceGott.pdf>. Zugriffen:10. Mai 2016
- Gropengießer H (2013) Experimentieren. In: Gropengießer H, Harms U, Kattmann U (Hrsg) *Fachdidaktik Biologie*. Aulis Verlag, Hallbergmoos, S 284–293
- Gyllenpalm J, Wickman P-O (2011) „Experiments“ and the inquiry emphasis conflation in science teacher education. *Sci Educ* 95:908–926
- Hmelo-Silver CE (2006) Design principles for scaffolding technology-based inquiry. In: O'Donnell AM, Hmelo-Silver CE, Erkens G (Hrsg) *Collaborative learning, reasoning, and technology*. Routledge, New York, S. 147–170
- Hmelo-Silver CE, Duncan RG, Chinn CA (2007). Scaffolding and achievement in problem-based and inquiry learning: a response to Kirschner, Sweller, and Clark (2006). *Educ Psychol* 42:99–107. doi:10.1080/00461520701263368
- Hodson D (1996) Laboratory work as scientific method: three decades of confusion and distortion. *J Curriculum Stud* 28:115–135

- Hodson D (2014) Learning science, learning about science, doing science: different goals demand different learning methods. *Int J Sci Educ* 36:2534–2553
- Hof S (2011) Wissenschaftsmethodischer Kompetenzerwerb durch Forschendes Lernen. Entwicklung und Evaluation einer Interventionsstudie. Kassel University Press, Kassel
- Huber L (1998) Forschendes Lehren und Lernen – eine aktuelle Notwendigkeit. *Das Hochschulwesen* 46:3–10
- Huber L (2009) Warum Forschendes Lernen möglich und nötig ist. In: Huber L, Hellmer J, Schneider F (Hrsg) *Forschendes Lernen im Studium*. UniversitätsVerlagWebler, Bielefeld, S 9–35
- Huber L (2014) Forschungsbasiertes, Forschungsorientiertes, Forschendes Lernen: Alles dasselbe? Ein Plädoyer für eine Verständigung über Begriffe und Unterscheidungen im Feld forschungsnahen Lehrens und Lernens. *Das Hochschulwesen. Forum für Hochschulforschung, -praxis und Politik* 62:22–29
- Kalyuga S, Chandler P, Tuovinen J, Sweller J (2001) When problem solving is superior to studying worked examples. *J Educ Psychol* 93:579–588
- Kirschner PA, Sweller J, Clark RE (2006) Why minimal guidance during instruction does not work: an analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educ Psychol* 41:75–86
- Klahr D, Dunbar K (1988) Dual space search during scientific reasoning. *Cognitive Sci* 12:1–48
- Krämer P, Nessler S, Schlüter K (2015a) Forschendes Lernen als Herausforderung für Studierende & Dozenten. Schlussfolgerungen und Lösungsvorschläge für die Lehramtsausbildung. In: Hammann M, Mayer J, Wellnitz N (Hrsg) *Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik*, Band 6. Studienverlag, Innsbruck
- Krämer P, Nessler S, Schlüter K (2015b) Teacher students' dilemmas when teaching science through inquiry. *Res Sci Technol Educ* 33:325–343. doi:[10.1080/02635143.2015.1047446](https://doi.org/10.1080/02635143.2015.1047446)
- Kremer K, Specht C, Urhahne D, Mayer J (2014) The relationship in biology between the nature of science and scientific inquiry. *J Biol Educ* 48:1–8. doi:[10.1080/00219266.2013.788541](https://doi.org/10.1080/00219266.2013.788541)
- Kultusministerkonferenz [KMK] (2010) Ländergemeinsame inhaltliche Anforderungen für die Fachwissenschaften und die Fachdidaktiken in der Lehrerbildung. Resource document. Kultusministerkonferenz. http://www.akkreditierungsrat.de/fileadmin/Seiteninhalte/KMK/Vorgaben/KMK_Lehrerbildung_inhaltliche_Anforderungen_aktuell.pdf. Zugriffen: 10. Mai 2016
- Martius T, Delvenne L, Schlüter K (2016) Forschendes Lernen im naturwissenschaftlichen Unterricht – Verschiedene Konzepte, ein gemeinsamer Kern? *Mathematisch und naturwissenschaftlicher Unterricht (MNU)* 69:220–228
- Mayer J (2007) Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlösen. In: Krüger D, Vogt H (Hrsg) *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung*. Springer, Berlin, S 177–184
- Mayer J, Ziemek HP (2006) Offenes Experimentieren. *Forschendes Lernen im Biologieunterricht. Unterricht Biologie* 317:4–12
- Mayer J, Grube C, Möller A (2008) Kompetenzmodell naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung. In: Harms U, Sandmann A (Hrsg) *Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik*, Band 3. Studienverlag, Innsbruck, S 63–79
- McComas WF (1996) Ten myths of science: re-examining what we think we know about the nature of science. *Sch Sci Math* 96:10–15
- Meier M, Mayer J (2012) Experimentierkompetenz praktisch erfassen – Entwicklung und Validierung eines anwendungsbezogenen Aufgabendesigns. In: Harms U, Bogner FX (Hrsg) *Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik*, Band 5. Studienverlag, Innsbruck, S 81–98
- Messner R (2009) Forschendes Lernen aus pädagogischer Sicht. In: Messner R (Hrsg) *Schule Forscht. Ansätze und Methoden Forschenden Lernens*. Körber-Stiftung, Hamburg, S 15–30
- Minner DD, Levy AJ, Century J (2010) Inquiry-based science instruction – what is it and does it matter? Results from a research synthesis years 1984 to 2002. *J Res in Sci Teach* 47:474–496
- National Research Council (2000) *Inquiry and the national science education standards*. National Academy Press, Washington
- National Science Teachers Association [NSTA] (2012). Knowledge base supporting the 2012 standards for science teacher preparation. Resource document. National Science Teacher Association. <http://www.nsta.org/preserve/docs/KnowledgeBaseSupporting2012Standards.pdf>. Zugriffen: 10. Mai 2016
- Neber H (2001) Entdeckendes Lernen. In: Rost D (Hrsg) *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie*. Beltz, Weinheim, S 115–121
- Priemer B (2011) Was ist das Offene beim offenen Experimentieren? *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 17:315–337
- Puntambekar S, Hübscher R (2005) Tools for scaffolding students in a complex learning environment: what have we gained and what have we missed? *Educ Psychol* 40:1–12

- Puthz V (1988) Experiment oder Beobachtung. Überlegungen zur Erkenntnisgewinnung in der Biologie. *Unterricht Biologie* 132:11–13
- Schmidkunz H, Lindemann, H (2003) Das Forschend-entwickelnde Unterrichtsverfahren. Problemlösen im naturwissenschaftlichen Unterricht. Paul List Verlag, München
- Schmidt-Weigand F, Franke-Braun G, Hänze M (2008) Erhöhen gestufte Lernhilfen die Effektivität von Lösungsbeispielen? Eine Studie zur kooperativen Bearbeitung von Aufgaben in den Naturwissenschaften. *Unterrichtswissenschaft* 36:365–384
- Schneider R, Wildt J (2009) Forschendes Lernen und Kompetenzentwicklung. In: Huber L, Hellmer J, Schneider F (Hrsg) *Forschendes Lernen im Studium*. UniversitätsVerlagWebler, Bielefeld, S 53–69
- Sweller J, van Merriënboer JJ, Paas FG (1998) Cognitive architecture and instructional design. *Educ Psychol Rev* 10:251–296
- Sweller J, Kirschner PA, Clark RE (2007) Why minimally guided teaching techniques do not work: a reply to commentaries. *Educ Psychol* 42:115–121
- van Merriënboer JJ, Kirschner PA, Kester L (2003). Taking the load off a learner's mind: Instructional design for complex learning. *Educ Psychol* 38:5–13
- Völzke K, Arnold J, Kremer K (2013) Schüler planen und beurteilen ein Experiment – Denken und Verstehen beim naturwissenschaftlichen Problemlösen. *Zeitschrift für interpretative Schul- und Unterrichtsforschung (ZISU)* 2:58–86
- Wehner T, Dick M, Clases C (2004) Wissen orientiert Kooperation–Transformationsprozesse im Wissensmanagement. In: Reinmann K, Mandl F (Hrsg) *Psychologie des Wissensmanagements*. Hogrefe, Göttingen, S 161–175
- Wellnitz N, Mayer J (2008) Evaluation von Kompetenzstruktur und -niveaus zum Beobachten, Vergleichen, Ordnen und Experimentieren. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik* 7:129–144
- Wellnitz N, Mayer J (2013) Erkenntnismethoden in der Biologie – Entwicklung und Evaluation eines Kompetenzmodells. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 19:315–345

Forschendes Lernen im Experimentalpraktikum Biologie

Eine praktische Anleitung für die Lehramtsausbildung

Bruckermann, T.; Schlüter, K. (Hrsg.)

2017, XIII, 206 S. 34 Abb., Softcover

ISBN: 978-3-662-53307-9