

# transfer

Forschung ↔ Schule

Heft 6

Forschendes Lernen



**transfer**  
Forschung ↔ Schule

**transfer**

**Forschung ↔ Schule**

**Herausgeberinnen und Herausgeber**

MMag. Claus Oberhauser, PhD.

Gregor Örely, BEd. Msc.

VR Dr. Irmgard Plattner

**Redaktion**

Mag. Kerstin Mayr-Keiler

Dr. Inés Pichler

**transfer**  
Forschung ↔ Schule

6. Jahrgang (2020)

Heft 6  
Forschendes Lernen

*Herausgeber*  
Axel Eghtessad  
Thorsten Kosler  
Claus Oberhauser

Korrespondenzadresse der Redaktion:  
Pädagogische Hochschule Tirol  
transfer Forschung ↔ Schule  
Pastorstraße 7  
A-6020 Innsbruck  
email: transfer@ph-tirol.ac.at



Erscheinungsweise:  
transfer Forschung ↔ Schule erscheint jährlich, jeweils im Herbst.

Die Hefte sind über den Buchhandel zu beziehen.  
Das Einzelheft kostet EUR (D) 17,90, im Abonnement EUR (D) 17,90 (gegebenenfalls zzgl. Versandkosten).

Bestellungen und Abonnentenbetreuung:  
Verlag Julius Klinkhardt  
Ramsauer Weg 5  
D-83670 Bad Heilbrunn  
Tel: +49 (0)8046-9304  
Fax: +49 (0)8046-9306  
oder nutzen Sie unseren webshop:  
[www.klinkhardt.de](http://www.klinkhardt.de)

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

2020.ng © by Julius Klinkhardt.  
Das Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt.  
Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne  
Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen,  
Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung  
in elektronischen Systemen.

Coverabbildung: Hans Braxmeier / pixabay.  
Druck und Bindung: AZ Druck und Datentechnik, Kempten.  
Printed in Germany 2020.  
Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem alterungsbeständigem Papier.

ISSN: 2365-3302  
ISBN 978-3-7815-2420-0

# Inhalt

**Editorial [dt.]** ..... 9  
**Editorial [engl.]** ..... 11

## Grundlagenartikel

*Irina Streich und Jürgen Mayer*  
 Inquiry und die Variablen-Kontroll-Strategie – Unterschiedliche Öffnungsgrade  
 können den Erwerb von Fach- und Methodenwissen beim  
 Forschenden Lernen unterschiedlich begünstigen  
 Inquiry and the Control of Variables Strategy – Different degrees of openness  
 differentially support content and methodological knowledge acquisition  
 during inquiry-based learning ..... 13

*Melanie Platz*  
 „Forscher spielen“ und mathematisches Beweisen in der Primarstufe  
 “Playing Researcher” and mathematical proving in primary school ..... 30

*Vera Kirchner und Isabelle Penning*  
 An Fragen wachsen –  
 Forschendes Lernen in der technischen und ökonomischen Bildung  
 Learning through questions –  
 research-oriented learning in technical and economic education ..... 44

*Elisabeth Hofer und Sandra Puddu*  
 Forschendes Lernen im naturwissenschaftlichen Unterricht –  
 Begrifflichkeiten, Ausprägungen, Zielsetzungen  
 Inquiry-based Learning in Science Classes –  
 Terminology, Characteristics, Objectives ..... 57

*Christian Wiesner und Claudia Schreiner*  
 Eine theoretische Rahmung für das Forschende Lernen als vielperspektivische  
 Herangehensweise  
 A theoretical framework for the research-teaching nexus as a  
 multi-perspective approach ..... 72

*Edvina Bešić, Lisa Paleczek und Barbara Gasteiger-Klicpera*  
 „Weil wir ja auch am allerbesten wissen, wie’s Kindern geht,  
 weil wir ja selber Kinder sind.“  
 „We know best how children feel because we are children.” ..... 88

## Im Dialog

<i>Dagmar Hilfert-Rüppell und Heike Wolter</i> Forschendes Lernen .....	101
--	-----

## Praxisbeiträge

<i>Michaela Kaiser</i> Wie Kultur in die Schule kommt. Forschende Perspektiven auf Kulturschulentwicklung Research perspectives on cultural school development .....	111
<i>Horst Zeinz und Andrea Gerhardt</i> Von der „Zauberhaften Physik“ zum „Weg des Regentropfens“ – Ein Beitrag zur Praxis des Forschenden Lernens From “The Enchanting Physics“ to “The Way of the Raindrop“ – A Contribution to the Practise of Learning by Doing Research .....	119
<i>Verena Röhl und Andreas Eberth</i> Forschendes Lernen im Rahmen von schulischen Exkursionen zu Welterbestätten Inquiry-based learning as part of school trips to World Heritage sites .....	126
<i>Katharina Ogris und Klemens Karner</i> Das Fragen als Ausgangspunkt für Kompetenzerwerb in der Hochschullehre: Ein Praxisbeitrag The use of questions as a starting point for competence acquisition in pre-service teacher education: Insights into good practice .....	135
<i>Dominik Herzner</i> Jahresberichte als Möglichkeit des Forschenden Lernens im Geschichtsunterricht Annual reports as a possibility for explorative learning in history .....	143
<i>Alexander Küpper, Thomas Hennemann und Andreas Schulz</i> Entwicklung einer Experimentierbox zum Lösen astronomischer Problemstellungen für Lernende mit und ohne Förderbedarf Development of an experiment box for solving astronomy problems for students with and without special educational needs .....	150
<i>Sebastian Goreth</i> Problem- und Handlungsorientierung im Fachbereich Technisches Werken – Handlung ja, Problem nein? Orientation towards practice and problem-solving in Technological Education – action yes, problem no? .....	158

*Clemens Bernhardt und Britta Breser*  
 Eine weitreichende Wahl-Entscheidung. Forschendes Lernen als Teil der  
 Partizipationsförderung in der Primarstufe  
 A Far-Reaching Choice. Explorative Learning as a Way of Increasing  
 Pupil Participation at Primary Level ..... 167

*Susanne Schirgi*  
 Individualisiertes Lernen im Übergang Kindergarten-Schule –  
 Ein Jahresprojekt zum Thema „Wasser“  
 Individualized learning in the transition from kindergarten to school –  
 an annual project on water ..... 176

*Ines Deibl und Lisa Virtbauer*  
 Forschendes Lernen an außerschulischen Lernorten –  
 Schüler\*innen erforschen die Welt der Bienen  
 Research-based learning in external educational places –  
 Pupils explore the world of bees ..... 186

*Sarah Brauns, Daniela Egger und Simone Abels*  
 Forschendes Lernen auf Hochschul- und Unterrichtsebene beforschen  
 Researching inquiry-based learning at university and classroom level ..... 201

*Matthias Forcher-Mayr und Sabine Mahlknecht*  
 Entrepreneurship Learning Gardens und forschendes Lernen.  
 Das Beispiel ländlicher Schulen in Südafrika  
 Entrepreneurship Learning Gardens and research-based learning.  
 The example of rural schools in South Africa ..... 212

**Forschungsskizzen**

*Jan Winkelmann, Mark Ullrich und Mareike Freese*  
 Physikalische Phänomene erforschen – zeitgleiches Experimentieren  
 und digitales Modellieren mit Hilfe von Augmented Reality  
 Investigate Physical Phenomena – Simultaneous Practical Work  
 and Digital Modelling Using Augmented Reality ..... 225

*Stefan Puchberger, Nele Hameister und Nina Dunker*  
 Entwicklung eines reflexiv-forschungsorientierten Habitus und individuelle  
 Neigung zum Denken (NFC) bei Studierenden des Grundschullehramts  
 Development of a reflective research oriented habitus and the individual inclination  
 to abstract reasoning (NFC) in undergraduates of primary school teaching ..... 228

*Hanne Rautenstrauch und Maike Busker*

Forschendes Lernen mit offenen Experimentalaufgaben im Chemielehramtsstudium  
 Inquiry-based learning with open experimental tasks for students  
 of chemical education ..... 231

*Alexander Koch, Seamus Delaney und Kelly MacCabe*

Interaktive Lerngelegenheiten im frühen mathematisch-naturwissenschaftlichen  
 Unterricht: Eine bedarfsorientierte Auswertung.  
 Interactive learning in early mathematics and science education:  
 A demand-oriented evaluation ..... 237

*Eva Freytag und Claudia Haagen-Schützenhöfer*

„Experimente verändern“ – ein Lehr-Lern-Arrangement zur  
 Förderung experimenteller Kompetenzen beim Forschenden Lernen“  
 Changing Experiments“ – a teaching-learning arrangement  
 to promote experimental skills in research learning ..... 242

*Silvia Pichler und Martin Huchler*

Lesson Study im Kontext von Forschendem Lernen  
 Lesson Study in context of inquiry-based learning ..... 246

## Fallbeispiele

*Birgit Peuker*

Forschendes Lernen und Erkenntnistransfer –  
 ein Mehrwert: Wenn Lehramtsstudierende nach dem Forschen andere fortbilden  
 The added value of research-based-learning and knowledge transfer:  
 Students of education train teachers according to research ..... 253

*Waltraud Rehm*

Naturwissenschaftliche Versuche in der Volksschule  
 Scientific experiments in primary school ..... 261

*Christine Reiter und Manuela Walder*

Forschendes Lernen in der VS Reichenau  
 Enquiry-based learning in VS Reichenau ..... 266

## Editorial

Über welche Kompetenzen sollen Schüler\*innen im 21. Jahrhundert verfügen und welche Rolle spielt dabei forschendes Lernen? Mit dieser Frage konfrontierten wir die beiden Diskutantinnen an unserer Rubrik „Im Dialog“. Beide bekräftigen, dass es gerade forschendes Lernen ist, das den Prozess vom Pauk- zum Denkfach nachhaltig unterstützen kann. Aber was ist überhaupt forschendes Lernen, verstehen Disziplinen dasselbe darunter, geht es um das Überfachliche oder doch um domänenspezifische Kompetenzausprägungen? Wenn forschendes Lernen einen nachhaltigen Einfluss auf eine Schule der Zukunft haben soll, dann dürfen die Curricula nicht mehr so eng gefasst sein, dann braucht es die Bereitschaft von allen Beteiligten im Bildungssystem, sich auf eine gewisse Offenheit einzulassen, dann kann forschendes Lernen sogar der Katalysator der Individualisierung sein, indem möglichst eigene, kreative Lösungsansätze zugelassen werden.

Ist forschendes Lernen nicht eher ein Thema der naturwissenschaftlichen Didaktiken, hört man es aus der gesellschaftswissenschaftlichen Ecke raunen. Es mag sein bzw. es ist ganz sicher so, dass es eine längere Forschungstradition in diesem Bereich gibt. Aber selbst ein oberflächlicher Blick auf den wissenschaftlichen Buchmarkt zeigt nachdrücklich, dass das forschende Lernen in quasi allen Disziplinen als Forschungsthema anzutreffen ist, was auch durch die Diversität und Heterogenität der Zugänge der in diesem Heft versammelten Beiträge augenscheinlich ist.

Auf unseren Call meldete sich eine Vielzahl von Forscher\*innen und Praktiker\*innen. Dies machte es nötig, eine Auswahl zu treffen, die viele Diskussionen im Herausgeber\*innen-Team mit sich brachte. Wir danken den Fachgutachter\*innen, die uns die Entscheidung wesentlich leichter gemacht haben. In den Grundlagenartikeln wird gezeigt, wie forschendes Lernen in technischer und ökonomischer Bildung umgesetzt werden kann, wie Lehramtsstudierende in einem Projekt ihre gewonnenen Erkenntnisse in Lehrer\*innenfortbildungen transferieren, wie sich forschendes Lernen in den naturwissenschaftlichen Didaktiken entwickelte und weiterentwickeln wird. Es wird auch danach gefragt, welcher theoretische Rahmen vor dem Hintergrund vieler perspektivischer Zugänge möglich ist, welchen Einfluss forschendes Lernen auf die Herangehensweise an mathematisches Beweisen in der Primarstufe hat und welchen Einfluss forschendes Lernen auf den Methoden- und Fachwissenserwerb hat. Im Mittelpunkt unserer Zeitschrift ist wie immer der Dialog, der die Grundlagenartikel mit Praxisbeiträgen, Forschungsskizzen und/oder Fallbeispielen verbindet. Wir haben uns bewusst dazu entschieden, forschendes Lernen anhand von zwei (Forschungs-)perspektiven zu beleuchten und dabei die Schule und den Unterricht nie aus dem Fokus zu nehmen.

Die eher praktisch orientierten Beiträge zeigen gekonnt, wie forschendes Lernen im unterrichtspragmatischen Vollzug vor dem Hintergrund von verschiedenen theoretischen und disziplinären Zugängen funktionieren kann. Die Forschungsskizzen geben einen spannenden Einblick in neue, gerade im Entstehen begriffene Forschungsprojekte.

Was decken wir also nicht ab? Forschendes Lernen ist auch in der Hochschuldidaktik nicht mehr wegzudenken. Lehrepreise und ähnliches werden dafür vergeben. Wir haben uns auf-

grund der Ausrichtung unserer Zeitschrift dazu entschieden, Beiträge, die das Schulgeschehen in den Blick nehmen, zu präferieren.

Das sechste Heft unserer Zeitschrift steht auch für einen Wandel im Herausgeber\*innen-Team: Die Gründungsherausgeberinnen Christa Juen-Kretschmer und Kerstin Mayr-Keiler, welche die ersten fünf Hefte der Zeitschrift hervorragend begleiteten und aktiv gestalteten, scheidet mit diesem Heft aus. Während Christa Juen-Kretschmer in den Ruhestand getreten ist, hat Kerstin Mayr-Keiler eine neue Funktion als Redaktionsleitung und wird dadurch der Zeitschrift erhalten bleiben. Vielen Dank!

Die Herausgeber\*innen

## Editorial

What competencies should pupils have in the 21st century, and what is the role of inquiry-based learning in this? This was the question we confronted the two discussants within our “In Dialogue” section. Both confirm that it is inquiry-based learning which can sustainably support the process of moving from a subject of instruction to a subject of thought. But what is inquiry-based learning anyway? Is there a common understanding of inquiry-based learning? Is it about developing interdisciplinary or domain-specific competencies? If inquiry-based learning is to have a lasting impact on a school of the future, then curricula must no longer be narrowly defined, then all those involved in the education system must be willing to accept a certain degree of openness. If so, inquiry-based learning can act as a catalyst for individualisation by allowing for students’ different creative approaches to problem-solving. But isn’t inquiry-based learning more a topic of science education, one might hear it whispered from the social science corner. Of course there is a long-standing research tradition in science education. However, just a superficial glance at the academic book market clearly shows that inquiry-based learning can be found as a research topic in virtually all disciplines, which also becomes evident from the diversity and heterogeneity of the approaches to the articles collected in this issue.

A large number of researchers and practitioners responded to our call for papers. Selection was necessary, carefully guided by discussion among the editing team. Here we would like to express our special thanks to the experts, whose short-reviewing made choices much easier. We then would like to express our special thanks to the peer reviewers for their full reviews during stage two of the process. The articles in this issue show how inquiry-based learning can be implemented in technical and economic education. They also demonstrate how in a project student teachers apply their gained knowledge in courses of continuing professional development (cpd), how inquiry-based learning has developed, and will further develop, in science education. Backed by numerous perspectives, further contributions in this issue deal with questions of appropriate theoretical frameworks. Others focus on questions regarding the influence of inquiry-based learning when primary school pupils busy themselves with mathematical proofs. Last but not least, some articles discuss the effects of inquiry-based learning on the acquisition of subject knowledge and subject skills. As always, an expert dialogue is at the heart of our journal. It links the more theoretical articles, the more practical contributions, the research sketches, and the case studies gathered in this issue. We have consciously decided to illuminate inquiry-based learning based on two (research) perspectives, while not de-focussing on school and teaching.

The more practically oriented contributions skilfully show how inquiry-based learning can work in pragmatic teaching practice with regard to various theoretical and disciplinary approaches. The research sketches give an exciting insight into new, emerging research projects. So what are we not covering? Inquiry-based learning has become an integral part of university didactics. Teaching awards and the like are awarded accordingly. Due to the orientation of our journal, we have decided to give preference to articles that focus on school events.

The sixth issue of our journal also marks a change in the editorial team: The founding editors Christa Juen-Kretschmer and Kerstin Mayr-Keiler, who provided excellent support for and actively designed the first five issues of the journal, are leaving with this issue. While Christa Juen-Kretschmer has retired, Kerstin Mayr-Keiler has a new role as editor-in-chief and will thus remain with this journal. Thank you so much!

The editors

---

# Grundlagenartikel

---

*Irina Streich und Jürgen Mayer*

## **Inquiry und die Variablen-Kontroll-Strategie – Unterschiedliche Öffnungsgrade können den Erwerb von Fach- und Methodenwissen beim Forschenden Lernen unterschiedlich begünstigen**

## **Inquiry and the Control of Variables Strategy – Different degrees of openness differentially support content and methodological knowledge acquisition during inquiry-based learning**

---

### **Zusammenfassung**

Eine zentrale Unterrichtsmethode zur Vermittlung naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung ist das Forschende Lernen: Durch die aktive Auseinandersetzung mit einer naturwissenschaftlichen Problemstellung erwerben die Schüler\*innen sowohl fachliche als auch methodische Wissensinhalte. Im Fokus dieses Beitrags steht die Auseinandersetzung mit der Frage, welchen Beitrag Forschendes Lernen zum Erwerb von Fach- und Methodenwissen leisten kann. Es soll diskutiert werden, ob der Erwerb dieser beiden Wissensarten von unterschiedlichen Öffnungsgraden profitiert. Darüber hinaus wird erörtert, wie sich Lernprozesse nachhaltigen Lernens unterstützen lassen und welche Voraussetzungen sie erfordern.

### **Abstract**

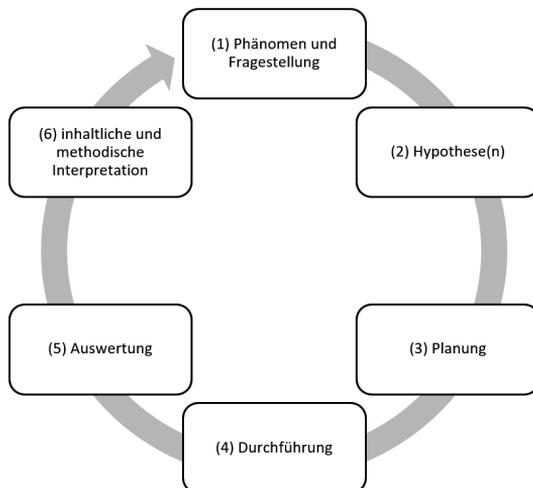
Inquiry-based learning is a central learning approach in which students can acquire an understanding of scientific concepts and scientific reasoning skills by engaging in inquiry activities and thinking processes in order to solve a scientific problem. This paper focuses on the question of how inquiry-based learning contributes to the acquisition of content knowledge and methodological knowledge. It will be analyzed whether the acquisition of these two types of knowledge benefits from different degrees of openness. Moreover, it will be discussed how to support learning processes of sustainable learning and the prerequisites they require.

## 1 Förderung naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung durch Forschendes Lernen (Inquiry-Based Learning)

Der Erwerb eines hinreichenden Verständnisses für die Natur der Naturwissenschaften (*nature of science*) und die naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung (*nature of inquiry*) sind wesentliche Elemente einer angemessenen naturwissenschaftlichen Grundbildung (*scientific literacy*) (Harms, Mayer, Hammann, Bayrhuber & Kattmann, 2004; Mayer, 2004; Kremer & Mayer, 2013; NRC, 1996; Schwartz & Crawford, 2006). Eine zentrale Unterrichtsmethode zur Vermittlung naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung (*nature of inquiry*) ist das Forschende Lernen (*Inquiry-Based Learning*) (bspw. Alfieri, Brooks, Aldrich & Tenenbaum, 2011; Dobber, Zwart, Tanis & Van Oers, 2017; Pedaste et al., 2015). In den *National Science Education Standards* wird Forschendes Lernen explizit als Lehr-/Lernansatz beschrieben, der eine Schlüsselrolle in der Vermittlung und dem Erwerb naturwissenschaftlicher Inhalte und Kompetenzen einnimmt. Hierbei werden die Schüler\*innen aktiv in die Konstruktion von Wissen durch die naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung eingebunden (NRC, 2012, S. 55). Der Lernprozess wird dabei analog zum naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnungsprozesses gestaltet. Er erfolgt entlang eines idealisierten, hypothetisch-deduktiven Verfahrens, das neben dem Erwerb methodischer Kompetenzen zugleich das selbständige Erkunden von Fachkonzepten ermöglicht (Klahr & Dunbar, 1988; Klahr, 2000; Mayer, 2007, 2013).

Kennzeichnende Aspekte des Forschenden Lernens sind neben eigenständigem, offenem Lernen zudem Lernen in Kontexten, problemorientiertes Lernen und kooperatives Lernen (Mayer & Ziemek, 2006). Das Maß an Offenheit und Eigenständigkeit beim Problemlösen kann dabei innerhalb einzelner Phasen des Erkenntnisweges (*kontinuierlich*) oder im Laufe des Prozesses (*stufenweise*) variiert werden (Abrams, Southerland & Evans, 2008). Eine der fundamentalen Problemlösestrategien, die beim Forschenden Lernen erworben und genutzt werden soll, ist die *Variablen-Kontroll-Strategie* (VKS) (Chen & Klahr, 1999; Kuhn & Dean, 2005). Sie erlaubt es, Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge naturwissenschaftlicher Phänomene aufzudecken und diese auf Basis stichhaltiger Belege zu erklären. Das Einhalten allgemeiner Gütekriterien wissenschaftlichen Arbeitens (*Objektivität*, *Validität* und *Reliabilität*) gewährleistet intersubjektive Nachvollziehbarkeit und Wiederholbarkeit, Gültigkeit sowie Messgenauigkeit (Bortz & Döring, 2006; Gott & Roberts, 2008; Wellnitz & Mayer, 2008). Die Kommunikation und Diskussion der inhaltlichen und methodischen Ergebnisse in Kleingruppen soll zum einem ein tieferes konzeptuelles Verständnis für die gegenwärtigen Fachinhalte erzielen und zugleich das Verständnis für die Natur der Erkenntnisgewinnung (*nature of inquiry*) und die Natur der Naturwissenschaften (*nature of science*) fördern (Dobber et al., 2017). Forschendes Lernen lässt sich somit als Unterrichtsprozessmodell beschreiben, bei dem die Schüler\*innen dazu aufgefordert sind, mittels einer naturwissenschaftlichen Problemlöseprozedur, gemeinsam einen naturwissenschaftlichen kausalen, korrelativen oder funktionalen Zusammenhang oder ein hierarchisches System zu untersuchen, indem sie weitestgehend selbständig Fragestellungen formulieren, passende Hypothesen generieren, eine angemessene Untersuchung (Beobachtung, Vergleich oder Experiment) planen, durchführen, die gewonnenen Daten inhaltlich sowie methodisch auswerten und interpretieren (Wellnitz & Mayer, 2008). Im Anschluss werden die Ergebnisse reflektiert und anderen kommuniziert (Lazonder & Harmsen, 2016; Pedaste et al., 2015).

Abbildung 1 veranschaulicht die einzelnen Phasen des naturwissenschaftlichen Erkenntnisweges, die beim Forschenden Lernen im Folgenden am Beispiel der Untersuchungsmethode des Experimentierens erläutert werden sollen:



**Abb.1:** Vereinfachte Darstellung des hypothetisch-deduktiven Verfahrens im Inquiry-Cycle. Arnold, Kremer & Mayer, (2014); verändert

### Fragestellung und Hypothese(n)

- (siehe Abb. 1) Ausgehend von einem Phänomen erfolgt die Formulierung einer wissenschaftlichen *Frage* zu Beginn des Erkenntnisprozesses (Huber, 1995; Mayer & Ziemek, 2006; Wellnitz & Mayer, 2008). Allerdings haben Schüler\*innen, und insbesondere diejenigen mit geringem Vorwissen, Probleme, eine wissenschaftliche Fragestellung eigenständig zu generieren (Hofstein, Navon, Kipnis & Mamlok-Naaman, 2005). Häufig besteht das Problem darin, sich bei der Formulierung lediglich auf einzelne Variablen zu fokussieren, die untersucht werden sollen (Kuhn & Dean, 2005).
- (siehe Abb. 1) Eine aufgeworfene Fragestellung kann in der Regel durch den aktuellen Erkenntnisstand bzw. mit bereits vorhandenem Vorwissen der Lernenden in Form einer *Hypothese* vorläufig, beantwortet werden. Es ist darauf zu achten, dass die generierte Hypothese begründet und mittels empirischer Untersuchungsmethoden überprüfbar sein muss. Damit ist sie in einer Weise zu verfassen, die das Ergebnis der Untersuchung vorhersagt, zugleich aber auch die Widerlegung (Falsifikation) der Hypothese erlaubt. Ohne einen spezifischen Hinweis auf diesen Erkenntnisschritt verzichten Schüler\*innen häufig gänzlich auf das Aufstellen von Hypothesen und sind sich dadurch der Vorhersage, die hinter der Planung ihres Experiments steckt, nicht bewusst (Hammann, Phan, Ehmer, & Bayrhuber, 2006). Darüber hinaus werden Hypothesen oft als Annahmen verstanden, die es zu bestätigen gilt, statt als Vorhersagen, die geprüft werden müssen. Nicht zuletzt fällt Schüler\*innen daher die Formulierung von Alternativhypothesen schwer (Klahr & Dunbar, 1988; Klahr, Fay & Dunbar, 1993) und verleitet sie oft dazu, ihre Ausgangshypothese nicht zu verwerfen, selbst wenn ihre Daten sie widerlegen (Dunbar, 1993).

### Planung und Durchführung

3. (siehe Abb. 1) Im Vorfeld der eigentlichen Durchführung der Untersuchung steht eine ausführliche *Planung* des Vorgehens. Dabei werden angemessene Methoden, Materialien, Instrumente und Settings ausgewählt, mit denen die aufgestellte Hypothese überprüft werden kann (Mayer & Ziemek, 2006). Die Planung sollte zudem nachvollziehbar und somit replizierbar sein. Eindeutige, personen-, zeit- und ortsunabhängige Planungsschritte sind dabei entscheidend. Um den Einfluss einer unabhängigen Variable (UV) auf die abhängige Variable (AV) zu untersuchen, sollten während der Planung folgende Schritte im Sinne der VKS erfolgen: (a) Identifikation und Variation der unabhängigen Variable, (b) Identifikation und Operationalisierung der abhängigen Variable sowie (c) Identifikation und Kontrolle aller Kontroll- bzw. Störvariablen (KV) (Chen & Klahr, 1999; Tschirgi, 1980). Im Zuge der Versuchsplanung gilt es außerdem – meist auf Seiten der Lehrkraft – auf ein geeignetes Messkonzept zu achten: eine angemessene Stichprobengröße und eine adäquate Anzahl an Versuchswiederholungen. Darüber hinaus ist eine begründete Auswahl sinnvoller Materialien und die konkrete Festlegung von Zeitpunkt, Gesamtdauer und Intervalle der Messungen notwendig. Insbesondere die VKS ist Gegenstand zahlreicher empirischer Untersuchungen, die diverse Schülerfehler beschreiben. Nicht selten wird lediglich eine Variable betrachtet, statt den Zusammenhang zweier Variablen zu analysieren (Schauble, Glaser, Duschl, Schulze & John, 1995). In ihrer Planung und Durchführung verzichten viele Schüler\*innen oft auch auf einen Kontrollversuch. Ohne die notwendige Unterscheidung von Test- und Kontrollvariable zu verstehen und tatsächlichen Nachweis zu erhalten, leiten sie dennoch einen Ursache-Wirkungs-Zusammenhang ab (Hammann, Phan, Ehmer & Grimm, 2008). Nicht selten kommt es auch vor, dass sie gleichzeitig mehr als nur eine Variable variieren und die dadurch entstandene Konfundierung des Experiments nicht erkennen (Chen & Klahr, 1999). Schlussendlich sind auch viele Schüler\*innen nicht in der Lage Störvariablen zu kontrollieren (Duggan, Johnson & Gott, 1996).
4. (siehe Abb. 1) Bei der *Durchführung* des Versuchs ist darauf zu achten, dass die Schritte der Versuchsplanung inklusive der Skizze im Detail eingehalten und nicht im Verlauf der Durchführung nachträglich geändert werden. Die gewonnenen Ergebnisse werden ausführlich festgehalten. Alle besonderen Vorkommnisse, unerwarteten Einflüsse und Fehler werden ebenfalls protokolliert.

### Versuchsauswertung

5. (siehe Abb. 1) Während der *Versuchsauswertung* werden aus den Rohdaten mittels Rechnungen oder graphischer Darstellung (Tabellen, Diagramme, Abbildungen) aussagekräftige Ergebnisse gewonnen und beschrieben, die im nächsten Schritt, der Interpretation, in Bezug auf die Hypothese gedeutet werden können.
6. (siehe Abb. 1) In der Phase der fachlichen *Interpretation* werden die gewonnenen Daten schlussendlich unter Einbezug des Fachwissens und mit Rückbezug zur Hypothese interpretiert. Durch den Einfluss des aktuellen Wissensstands kann die subjektive Deutung ein und derselben (objektiv beschriebenen) Ergebnisse sehr unterschiedlich ausfallen. Jeder inhaltlichen Interpretation geht allerdings eine methodische Diskussion (Fehleranalyse) voraus, in der die gewonnenen Daten kritisch reflektiert werden, um die Grenzen der Aussagekraft der Untersuchung aufzuzeigen. Alle aufgetretenen Störvaria-

blen gilt es hierbei zu identifizieren und im Hinblick auf ihren Einfluss auf die gewonnenen Ergebnisse zu analysieren. Die gewonnenen Ergebnisse können häufig wieder neue Fragestellungen aufwerfen, wodurch der Prozess der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung erneut von vorne beginnen kann (Mayer & Ziemek, 2006). Germann und Aram (1996) führen an, dass Schüler\*innen Schwierigkeiten haben, sich bei der Auswertung ihrer Untersuchung auf die eingangs aufgestellte Hypothese zu beziehen und ihre Schlussfolgerungen fachlich zu begründen. Zudem fällt es ihnen schwer, abweichende Daten zu identifizieren und zu interpretieren (Lubben & Millar, 1996; Roberts & Gott, 2004). Des Weiteren zeigt sich, dass Schüler\*innen dazu neigen, unlogische Schlussfolgerungen aus falsch geplanten oder durchgeführten Experimenten zu ziehen und dabei ggf. Variablen miteinzubeziehen, die gar nicht variiert wurden. Häufig liegt das Problem dieser Phase auch darin, dass Schüler\*innen ihre zu Beginn aufgestellten Hypothesen um jeden Preis belegen möchten und die Widerlegung ihrer aufgestellten Hypothese nicht in Betracht ziehen. Unerwartete Daten werden dabei schlichtweg ignoriert (Hammann et al., 2006). Während vor allem in den Phasen (1) Fragestellung formulieren, (2) Hypothesen generieren und (6) inhaltliche Interpretation von Daten die Vermittlung und der Abruf von Fachwissen entscheidend sind, spielen erkenntnismethodische und prozedurale Aspekte, und damit domänenspezifisches Methodenwissen, insbesondere bei der (3) Planung sowie innerhalb der (6) methodischen Diskussion (Fehleranalyse) der Ergebnisse eine zentrale Rolle.

## 2 Die kognitiven Dimensionen des Fach- und Methodenwissens beim Forschenden Lernen

Durch die Auseinandersetzung mit einer naturwissenschaftlichen Problemstellung entlang des Inquiry Cycle können parallel sowohl fachliche als auch methodische Wissensinhalte erworben werden (Mayer, 2007; Mayer & Ziemek, 2006). Forschendes Lernen steigert somit sowohl deklaratives als auch prozedurales Wissen, jedoch nicht mit derselben Effektivität (Furtak, Seidel, Iverson & Briggs, 2012; Hof, 2011). Furtak et al. (2012) sprechen von vier kognitiven Dimensionen, die durch Forschendes Lernen gefördert werden können (verändert nach Duschl, 2003, 2008): Dazu zählen (1) das Fachwissen (fachinhaltliche Dimension) und das (2) Methodenwissen, das wiederum in (2a) eine prozedurale und (2b) eine epistemologische Dimension unterteilt wird, sowie (4) eine soziale Dimension, die im Rahmen kollaborativer und kommunikativer Prozesse beim Forschenden Lernen ausgebildet werden kann. Welchen Einfluss (ko-)konstruktive Lernprozesse auf die Entwicklung der unterschiedlichen Dimensionen haben können, ist bislang noch nicht eindeutig geklärt. Zudem mangelt es an Untersuchungen, die eine klare Differenzierung nach kurzfristiger und langfristiger Lernwirksamkeit aktiver und passiver Lernformen für die fachliche und methodische Dimension vornehmen (z.B. Dean & Kuhn, 2007).

Da lediglich die Auseinandersetzung mit dem Aspekt des eigenständigen, offenen Lernens (Mayer & Ziemek, 2006) im Fokus dieser Betrachtung liegt – und nicht die soziale Dimension kooperativen Lernens – sollen im Nachfolgenden nur die kognitiven Dimensionen des Fach- und Methodenwissens beschrieben werden (Furtak et al. 2012; verändert nach Duschl, 2003, 2008):

1. Forschendes Lernen ist stets in einen fachlichen Kontext eingebettet. Diesen gilt es zu entdecken, zu erweitern oder zu definieren (Rutherford, 1964), indem neu erworbenes Wissen mit bereits vorhandenem Wissen der Schüler\*innen zur vorliegenden Thematik verknüpft wird. Das Fachwissen bzw. die fachinhaltliche Dimension beim Forschenden Lernen beinhaltet Fakten, Konzepte und Prinzipien der Naturwissenschaften, und damit (ggf. bereits gewonnene) naturwissenschaftliche Erkenntnisse innerhalb des Kontexts.
2. Das Methodenwissen umfasst sowohl eine (2a) prozedurale als auch eine (2b) deklarativ-epistemologische Dimension:
  - 2a. Die prozedurale Dimension beschreibt Methoden und Heuristiken, die zur Erkenntnisgewinnung genutzt werden: das Generieren von Forschungsfragen und Hypothesen, die Planung von Experimenten mit Anwendung domänenspezifischer Methoden, die Planungsdurchführung und die Nutzung unterschiedlicher Repräsentationen zur Darstellung der gewonnenen Daten (NRC, 2001; Schwab, 1962). Dieser Dimension werden in Mayers (2007) Rahmenkonzept wissenschaftsmethodischer Kompetenzen die beiden Kompetenzkonstrukte *Wissenschaftliches Denken (scientific reasoning)* und *manuelle Fertigkeiten (practical skills)* zugeschrieben.
  - 2b. Die epistemologische Domäne basiert auf Wissen und Überzeugungen, die Schüler\*innen zur Funktion naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung haben – ein Verständnis für naturwissenschaftliche Methoden, deren Grenzen und Möglichkeiten. Diese Dimension umfasst die Charakteristika der Naturwissenschaften (*nature of science*), denen im Rahmenkonzept von Mayer (2007) das Kompetenzkonstrukt des *Wissenschaftsverständnisses* zugeordnet wird. Ein solches Verständnis kann beim Forschenden Lernen u.a. dadurch erworben werden, dass Schüler\*innen eigene Ergebnisse sammeln, die Qualität ihrer Daten analysieren und bewerten, bevor sie ihre Ergebnisse inhaltlich interpretieren (NRC, 1996, 2001, 2007). Durch die Ähnlichkeit ihres Vorgehens zur tatsächlichen naturwissenschaftlichen Arbeitsweise im realen Forschungsprozess wird ihnen bewusst, dass die Interpretation von Forschungsergebnissen Veränderungen durch neue Erkenntnisse, aber auch methodischen Fehlern unterliegen kann (bspw. Bell, Lederman & Abd-El-Khalick, 1998).

Während es sich beim Fachwissen (1) eindeutig um deklaratives bzw. konzeptuelles Wissen handelt, enthält Methodenwissen (2) neben einer (2a) prozeduralen Handlungsebene (Wissenschaftliches Denken, Strategien und manuelle Fertigkeiten) auch eine (2b) deklarative Wissensebene (epistemologische Dimension/Wissenschaftsverständnis). Methodisches Wissen lässt sich somit zwei distinkten Gedächtnissystemen des Langzeitgedächtnisses zuordnen – dem prozeduralen und dem deklarativen Gedächtnis.

### 3 Effektivität verschiedener Öffnungsgrade beim Forschenden Lernen für den Erwerb von Fach- und Methodenwissen

Obwohl Forschendes Lernen seit vielen Jahren als entscheidende Unterrichtsmethode zur Vermittlung eines tiefgehenden Verständnisses für *nature of inquiry* als auch *nature of science* im naturwissenschaftlichen Bildungsbereich postuliert wird und sich zahlreiche positive Tendenzen für die Effektivität dieser Unterrichtsform finden lassen (bspw. Furtak et al., 2012; Hmelo-Silver, Duncan & Chinn, 2007; Lazonder & Harmsen, 2016; Schwichow, Croker, Zimmerman, Höffler & Härtig, 2016; Schroeder et al., 2007), wird die Lernwirksamkeit dieser Unterrichtsmethode aufgrund ihrer hohen kognitiven Belastung (*Cognitive Load Theory*, Sweller, 1988, 1989) für Schüler\*innen kontrovers diskutiert (bspw. Kirschner, Sweller & Clark, 2006; Hmelo-Silver et al., 2007). Dennoch zeigen viele bisherige Erkenntnisse, dass konstruktive Lernprozesse beim Forschenden Lernen effektiver und nachhaltiger sein können als Lernen mit direkten Instruktionen (Alfieri et al., 2011; Furtak et al., 2012; Minner, Levy & Century, 2010) und sich naturwissenschaftliche Grundbildung (*scientific literacy*) erst durch die aktive Auseinandersetzung mit dem Prozess der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung erwerben lässt (Berg, Bergendahl, Lundberg & Tibell, 2003; Chinn & Malhotra, 2002; Krystyniak & Heikkinen, 2007).

Furtak et al. (2012) vergleichen in ihrer Metaanalyse zur Effektivität Forschenden Lernens im naturwissenschaftlichen Unterricht 37 Studien der Jahre 1996-2006. Sie ermitteln einen mittleren positiven Effekt ( $d = 0.50$ ) des Ansatzes hinsichtlich des naturwissenschaftlichen Verständnisses im Vergleich zu Unterricht mit stark lehrerzentrierter Instruktion. Differenzierte Analysen zweier Dimensionen – Kognitive Prozesse (1) und Grad an instruktionaler Unterstützung (2) – machen deutlich, dass insbesondere das Wissenschaftsverständnis (epistemologische Dimension) durch Forschendes Lernen gesteigert werden kann ( $d = 0.75$ ); sind Schüler\*innen darüber hinaus in soziale Aktivitäten und Phasen der prozeduralen Dimension (Planung, methodische Interpretation der Ergebnisse) aktiv eingebunden, offenbart sich der Unterricht nach dem forschenden Lehr-/Lernansatz ebenfalls als äußerst lernwirksam ( $d = 0.72$ ). Darüber hinaus wird aufgezeigt, dass sich naturwissenschaftlicher Unterricht besonders dann als effektiv erweist, wenn Schüler\*innen nicht nur aktiv, sondern auch gemeinschaftlich am Prozess der Wissenskonstruktion teilhaben (bspw. durch die gemeinsame Entwicklung eines Versuchsplanes, die Dokumentation und Aufbereitung der Daten sowie die Präsentation und Diskussion der Ergebnisse). Des Weiteren zeigt die Metaanalyse von Furtak et al. (2012) die Bedeutung instruktionaler Unterstützung durch die Lehrkraft. Auch die Befunde aus der zuvor veröffentlichten Metaanalyse von Alfieri et al. (2011) zeigen, dass eine Lenkung durch die Lehrkraft erforderlich ist und die Lernleistungen der Schüler\*innen besonders von Feedback, Lösungsbeispielen (worked examples), Scaffolding und expliziten Erklärungen beim Forschenden Lernen profitieren.

In der Mehrheit der Studien zur Lernwirksamkeit Forschenden Lernens werden kognitive Prozesse und der Grad an instruktionaler Unterstützung untersucht. Die Art der Enkodierung der Wissensinhalte (aktiv generierend vs. passiv rezipierend) und der Instruktion (begleitend vs. anleitend, darbietend) kann innerhalb einzelner Phasen des Erkenntnisweges (*kontinuierlich*) oder im Laufe des Prozesses (*stufenweise*) im Grad der Offenheit variiert werden (Abrams et al., 2008). In der Forschung werden die Öffnungsgrade anhand zweier etwas unterschiedlicher Modelle dargestellt (Rönnebeck, Bernholt & Ropohl, 2016): *Kontinuummodell* (1) (Furtak et al., 2012) und *Stufenmodell/ Levels of Inquiry* (2) (Blan-

chard, Southerland, Osborne, Sampson, Annetta & Granger, 2010; Colburn, 2000; Schwab, 1962).

Im *Kontinuummodell* von Furtak et al. (2012) kann der Öffnungsgrad in jeder Phase des Erkenntnisprozesses (Fragestellung, Hypothese, Planung, Durchführung, Auswertung, Interpretation) zwischen lehrergelenkt (teacher-led) – lehrergeleitet (teacher-guided) – schülergelenkt (student-led) variieren (Tabelle 1), während im *Stufenmodell* von Blanchard et al. 2010 vier sogenannte *Levels of Inquiry* unterschieden werden: Level 0 (*verification*), Level 1 (*structured*), Level 2 (*guided*) und Level 3 (*open*).

**Tab. 1:** Continuum of guidance nach Furtak et al., 2012

Fragestellung	Hypothese	Planung	Durchführung	...
lehrergelenkt	lehrergelenkt	lehrergelenkt	lehrergelenkt	lehrergelenkt
↕	↕	↕	↕	↕
schülergelenkt	schülergelenkt	schülergelenkt	schülergelenkt	schülergelenkt

**Tab. 2:** Levels of Inquiry nach Blanchard et al., 2010

		Vorbereitung	Durchführung	Auswertung
<b>Level 0</b>	Verification	lehrergelenkt	lehrergelenkt	lehrergelenkt
<b>Level 1</b>	Structured	lehrergelenkt	lehrergelenkt	schülergelenkt
<b>Level 2</b>	Guided	lehrergelenkt	schülergelenkt	schülergelenkt
<b>Level 3</b>	Open	schülergelenkt	schülergelenkt	schülergelenkt

Kritiker offener Formen des Forschenden Lernens betonen die Notwendigkeit direkter Instruktion, die erst die erforderliche Senkung der kognitiven Belastung von Schüler\*innen für die Ausbildung wissenschaftsmethodischer Kompetenzen ermöglicht (Chen & Klahr, 1999; Klahr & Nigam, 2004; Kirschner et al., 2006). Der Verzicht auf jegliche Form von Anleitung und Instruktion kann insbesondere für leistungsschwache Schüler\*innen mit geringem Vorwissen kognitiv überfordernd wirken (Kirschner et al., 2006; Mayer, 2004; Mayer & Ziemek, 2006) und darüber hinaus als zeitaufwändig und frustrierend empfunden werden (Sadeh & Zion, 2009 zit. n. Arnold, 2015). Nichtsdestotrotz plädieren zahlreiche Forscher\*innen weiterhin für den Einsatz einer möglichst offenen Form des Unterrichtsprozessmodells. In ihren Untersuchungen veranschaulichen sie die Bedeutung des höchsten Grades an Offenheit (*open inquiry*) für den Zugang zu einem tieferen Verständnis der Natur der Naturwissenschaften, die Entwicklung besserer methodischer Fertigkeiten sowie die Förderung vernetzten Denkens (Berg et al., 2003; Chinn & Malhotra, 2002; Krystyniak & Heikkinen, 2007; Zion & Mendelovici, 2012). Doch die hohe kognitive Belastung der

Schüler\*innen, die mit zunehmendem Öffnungsgrad parallel zur kognitiven Aktivierung einhergeht, ist nicht von der Hand zu weisen (Kirschner et al., 2006).

Die widersprüchlichen Ergebnisse hinsichtlich des optimalen Grades an lehrerzentrierter Unterstützung sind u.a. das Ergebnis von oft nur schwer untereinander vergleichbaren Studien, denen ein unterschiedliches methodisches Design, unterschiedliche Altersgruppen, verschiedene fachliche Kontexte, unterschiedliche Messintervalle und zudem keine einheitliche Definition des Lehr-/Lernansatzes „Inquiry“ zugrunde liegt, da eine allgemein anerkannte Definition fehlt (Furtak et al. 2012; Gormally, Brickman, Armstrong & Hallar, 2009). Erschwert wird die Vergleichbarkeit zusätzlich dadurch, dass die Untersuchungen unterschiedliche Formen und Modelle der Öffnungsgrade heranziehen. Während Blanchard et al. (2010), Dean und Kuhn (2007) sowie Klahr und Nigam (2004) das *Stufenmodell* nutzen, basieren die Ergebnisse von Furtak et al. (2012) und Hof (2011) auf dem *Kontinuummodell*.

Studien, denen das *Kontinuummodell* zugrunde liegt (Furtak et al., 2012; Hof, 2011; Lazonder & Harmsen, 2016), zeigen einen klaren Nutzen eines offenen Instruktionsansatzes bei der Vermittlung eines naturwissenschaftlichen Verständnisses, betonen jedoch zugleich, wie entscheidend die Steuerung des Lernprozesses durch Unterstützungsmaßnahmen der Lehrkraft ist. Die Analysen von Furtak et al. (2012) hinsichtlich der zweiten Dimension – dem Grad an Lernsteuerung – offenbaren, dass lehrergelenkte Unterrichtseinheiten wirksamer sind ( $d = 0.65$ ) als überwiegend durch die Schüler\*innen gelenkte Lerneinheiten. Hohe Lernerträge können nur dann erzielt werden, wenn die Aktivität der Schüler\*innen durch die Lehrkraft angeleitet und begleitet wird. Auch aus einer nachfolgenden Metaanalyse von Lazonder & Harmsen (2016) mit 72 Studien aus den Jahren 1993-2013 wird der bedeutende Faktor der Lernunterstützung sowohl für Lernaktivitäten, den Durchführungserfolg als auch den Lernerfolg der Schüler\*innen ersichtlich. Dabei nimmt das Format der Unterstützungsmaßnahme keinen signifikanten Einfluss auf den Erfolg, obgleich die Effektstärken der Maßnahmen insbesondere für den Durchführungserfolg unterschiedlich hoch ausfallen (Heuristiken ( $d = 1.17$ ), Prompts ( $d = 0.50$ ), Scaffolds ( $d = 0.80$ ), Erklärungen ( $d = 1.45$ )). Zusätzliche Moderatoranalysen der Metastudie machen deutlich, dass die Effektivität der Lernunterstützung nicht von der Dauer der Unterrichtseinheit, dem Alter der Schüler\*innen oder methodischen Faktoren wie dem Studiendesign abhängt.

Bei genauerer Betrachtung der abhängigen Variable *Lernerfolg* fällt allerdings auf, dass Testformate, die methodisches Wissen und Fertigkeiten erfragen, höhere Effekte hervorbringen ( $d = 0.78$ ) als Leistungskontrollen, die auf rein fachliche Inhalte fokussieren ( $d = 0.37$ ). Auch andere Studien zeigen, dass das Forschende Lernen weitaus größere Effekte auf die Ausbildung prozeduraler Kenntnisse (wie die VKS) hat als auf den Erwerb von deklarativem/ konzeptuellem Wissen (Hof, 2011; Furtak et al., 2012). Sobald die VKS einmal erworben ist, kann sie schnell und routiniert von Schüler\*innen angewandt werden (Chinn & Malhotra, 2002). Auch Hof (2010) stellt fest, dass Forschendes Lernen das epistemische Verständnis und prozedurale Fertigkeiten stärker fördert als die fachinhaltliche Dimension des Lerngegenstandes. Sie kommt zu dem Schluss, dass vor allem die Vermittlung methodischer Kompetenzen von offeneren Formen des Forschenden Lernens profitieren kann, während bei der Vermittlung fachlicher Konzepte eine stärker angeleitete Unterrichtsform vorzuziehen ist. In einer experimentellen Studie von Kaiser, Mayer und Malai (2018), die gezielt den Einfluss der angeleiteten

und dennoch eigenständigen Konstruktion/Generierung von methodischen bzw. prozeduralen Wissensinhalten beim Forschenden Lernen (somit einer Form von lehrergeteiletem inquiry) untersuchte, konnte gezeigt werden, dass das erfolgreiche Generieren methodischer Inhalte zu höheren Lernerfolgen führen kann – wenn auch erst nach einem Retentionsintervall von einer Woche. Die Behaltensleistung in einer Vergleichsgruppe, die dieselben Inhalte passiv rezipierte, nahm hingegen nach einer Woche signifikant ab. Der Generierungserfolg der Schüler\*innen während des Lernprozesses erweist sich dabei als notwendige Voraussetzung für die langfristige Speicherung der Inhalte. Bezüglich deklarativer Inhalte konnten in einer parallelen Studie zwischen passivem Lesen und aktivem Generieren (mit Feedback) keine vergleichbaren Unterschiede nachgewiesen werden – selbst bei Kontrolle eines hohen Generierungserfolgs der Lernenden (Streich & Mayer, in Vorb.). Die höheren Effekte für das eigenständige Generieren prozeduraler Wissensinhalte in offeneren Formen des Forschenden Lernens werden u.a. von Metaanalysen zum Generierungseffekt gestützt. Sie zeigen, dass das aktive Generieren von prozeduralen Inhalten höhere Effektstärken erzielt als das Generieren deklarativer Inhalte (Bertsch, Pesta, Wiscott & McDaniel, 2007; McNamara & Healy, 2000). Deklarative und prozedurale Inhalte scheinen somit auf unterschiedliche Weise von konstruktiven Lernprozessen bzw. Öffnungsgraden zu profitieren. Das Format, mit dem Inhalte verschiedener Wissensdomänen beim Forschenden Lernen enkodiert (aktiv generiert oder passiv rezipiert) werden, nimmt unterschiedlichen Einfluss auf die Konsolidierung und/oder den Abruf der Inhalte.

Nichtsdestotrotz darf hinsichtlich des Grads an Offenheit auch bei der Vermittlung methodischer Fertigkeiten nicht vollkommen auf eine Lenkung durch die Lehrkraft verzichtet werden. Lazonder & Harmsen (2016) kommen in ihrer Metaanalyse zu verschiedenen Unterstützungsmaßnahmen beim Forschenden Lernen zu dem Schluss, dass der Erwerb methodischer Fertigkeiten ( $d = 0.78$ ) sogar stärker von Unterstützungsformaten profitiert als die Aneignung von Fachinhalten ( $d = 0.37$ ). Aus den Studien von Kaiser et al. (2018, 2019) wird ersichtlich, dass der Generierungserfolg neben (korrektivem) Feedback, insbesondere vom methodischen Vorwissen sowie der kognitiven Belastung der Schüler\*innen während des Lernprozesses moderiert wird. Des Weiteren zeigt sich, dass durch die Demonstration eines Lösungsbeispiels (zur Nutzung der VKS im hypothetisch-deduktiven Verfahren des Experimentierens) vor der eigentlichen Experimentiereinheit nach einer Woche höhere Lerneffekte erzielt werden können. Selbst wenn sich das Beispiel unmittelbar nach der Experimentiereinheit noch nicht als profitabel erweist, ermöglicht es, dass vor der eigentlichen Durchführung der forschenden Lerneinheit eine Wissensbasis erworben wird, auf der neue Inhalte und Zusammenhänge generiert werden können, wodurch die lernbezogene kognitive Belastung der Schüler\*innen erhöht wird und die Behaltensleistung gesteigert werden kann (Kaiser & Mayer, 2019).

Auch in vielen Studien, die das *Stufenmodell* des Forschenden Lernens nutzen, wird der lernförderliche Einfluss von Anleitung und Instruktion deutlich (Blanchard et al., 2010; Dean & Kuhn, 2006; Klahr & Nigam, 2004). Sie zeigen, dass beide Extremformen des Forschenden Lehr-Lernansatzes, Level 0 (*verification inquiry*) und Level 3 (*open inquiry*), den Zwischenformen, Level 1 (*structured inquiry*) und 2 (*guided inquiry*), zumindest langfristig gesehen unterlegen sind. Bspw. konnten Blanchard et al. (2010) in einer groß angelegten Studie mit 1700 Probanden aufzeigen, dass Level 2 (*guided inquiry*) im Ge-

gensatz zu Level 0 (*verification inquiry*) höhere und langfristige Lerneffekte in drei der vier kognitiven Dimensionen (Furtak et al. 2012; Duschl, 2003, 2008) erzielt: sowohl die prozedurale, die epistemologische als auch die fachliche Dimension können durch eine höhere Offenheit stärker gefördert werden. Ferner machen sie darauf aufmerksam, dass jüngere Schüler\*innen der Middle-School weniger von Level 2 profitieren als ältere Schüler\*innen der High-School, und voraussichtlich höhere Leistungen in Level 1 erbringen könnten. Bei ihrer Annahme stützen sie sich auf Befunde von Lederman, Lederman, Wickman und Lager-Nyqvist (2007) und Abrams et al. (2008), die zeigen, dass das fachliche und methodische Vorwissen der Schüler\*innen einen entscheidenden Einfluss auf die Wahl des optimalen *Level of Inquiry* haben sollte. Schüler\*innen mit geringem Vorwissen benötigen detailliertere lehrerzentrierte Instruktionen als erfahrene Schüler\*innen. Entsprechend konnten Klahr und Nigam (2004) auch in ihrer Studie mit 112 Schüler\*innen eine klare Überlegenheit direkter Instruktionen gegenüber einer sehr offenen Form des Forschenden Lernens beim Erwerb der VKS für Dritt- und Viertklässlern nachweisen. Eine Studie von Dean und Kuhn (2006) konnte die Tragweite dieser häufig zitierten Ergebnisse, die oft als Kritik gegen offenere Formen des Inquiry angeführt werden, allerdings einschränken, indem sie zwar die Befunde von Klahr und Nigam (2004) unmittelbar nach der Lerneinheit replizierten, den Vorteil direkter Instruktion jedoch hinsichtlich langfristiger Messungen (nach sechs Wochen) und für den Transfer auf neue Kontexte in ihrer Studie nicht fanden. Dabei verglichen Dean und Kuhn (2006) drei Gruppen mit jeweils 15 Viertklässlern\*innen: Die erste Gruppe nahm an einer zehnwöchigen Lerneinheit bestehend aus zwölf Sitzungen teil, in der die Schüler\*innen dazu aufgefordert waren unter Nutzung der VKS naturwissenschaftliche bzw. technische Fragestellungen zu klären (*open inquiry*). Die zweite Gruppe durchlief dieselbe Lerneinheit, nachdem sie direkte Instruktionen zum Einsatz der VKS erhielt. Die dritte Gruppe erhielt lediglich die einführende Anleitung zur Nutzung der VKS ohne an der anschließenden praktischen Lerneinheit teilzunehmen. Anzumerken ist, dass die Autoren\*innen die Lernzeit der Gruppen nicht kontrollierten. Beide Gruppen, die sich aktiv in einer praktischen Lerneinheit mit der VKS auseinandersetzen, wendeten weitaus mehr Zeit für den Erwerb der Strategie auf als die Gruppe, der lediglich die Nutzung der VKS gezeigt wurde. Ungeachtet dessen, dass diese methodische Einschränkung keinen fairen Vergleich aller Gruppen erlaubt, führen Dean und Kuhn (2006) an, dass der zeitliche Mehraufwand und die aktive Einbindung der Schüler\*innen in praktische Übungen zu langfristigen Lernerfolgen führen könne. Frühere Untersuchungen durch Chen & Klahr (1999) zeigten allerdings, dass in erster Linie direkte Instruktionen zur Nutzung der VKS erforderlich sind, um robuste und nachhaltige Lerneffekte zu erzielen sowie den Transfer der Strategie auf neue Problemstellungen und Kontexte zu fördern. Die Wichtigkeit des Aspekts „Verwendung von Demonstration (Anleitung)“ für den Lernerfolg von Schüler\*innen wird durch Metastudien zum Erwerb der VKS durch Forschendes Lernen deutlich (Ross, 1988; Schwichow et al., 2016). Die Demonstration eines korrekt durchgeführten Experiments bietet Schüler\*innen die Gelegenheit sich dem Verständnis zentraler Elemente beim Experimentieren zu widmen, wohingegen bei der eigenständigen Durchführung zusätzlich auch entscheidende wissenschaftliche Arbeitstechniken – und damit die Ebene der manuellen Fertigkeiten (Mayer, 2007) – berücksichtigt werden müssen. Ferner erweist sich die Kombination aus „Verwendung einer Demonstration“ und einem wei-

teren einflussreichen Faktor „Erzeugung eines kognitiven Konflikts“ laut Schwichow et al. (2016) als besonders lernwirksam. Ein kognitiver Konflikt kann bspw. dadurch erzeugt werden, dass ein konfundiertes Experiment präsentiert wird, aus dem uneindeutige und/oder erwartungswidrige Ergebnisse hervorgehen, die die Schüler\*innen vorab nicht vermutet hätten. Entscheidend ist, dass die Schüler\*innen vor der Demonstration tatsächlich Gelegenheit finden, ihre Vermutungen zum Ausgang des Experiments zu äußern. Die anschließende Auseinandersetzung mit möglichen Erklärungen für den eigentlichen Ausgang des Experiments und den eigenen (gegebenenfalls Fehl-)Vorstellungen regt ein tiefgehendes Verständnis des Ursache-Wirkungs-Prinzips an (Schwichow et al., 2016).

Obwohl unterschiedliche Studien, die die Lernwirksamkeit verschiedener Öffnungsgrade Forschenden Lernens untersuchen, zu keinem klaren wissenschaftlichen Konsens unabhängig vom jeweiligen Modell (*Kontinuummodell*, *Stufenmodell*) kommen (z.B. Blanchard et al., 2010; Dean & Kuhn, 2007; Furtak et al., 2012; Hof, 2011; Klahr & Nigam, 2004), machen Hmelo-Silver et al. (2007) deutlich, dass die Effektivität von angeleitetem Forschendem Lernen nicht länger in Frage gestellt werden dürfe, da sie wiederholt nachgewiesen werden konnte. Zahlreiche Studien zeigen, dass eine gewisse Strukturierung und Lernunterstützung des Experimentierprozesses insbesondere bei jungen bzw. unerfahrenen Schüler\*innen mit geringem Vorwissen zu höheren Lernergebnissen führt als eine besonders starke Offenheit oder zu enge Lenkung (Alferi et al., 2011; Arnold et al., 2014; Lazonder & Harmsen, 2016). Hmelo-Silver et al. (2007) weisen darauf hin, dass der Fokus nachfolgender Untersuchungen weniger auf den optimalen Grad an Offenheit als vielmehr auf die Art der Lernerträge und entscheidenden Rahmenbedingungen gerichtet werden sollte, unter denen Schüler\*innen mit unterschiedlichen Lernvoraussetzungen (nachhaltige) Lernerfolge durch angeleitete Formen des Forschenden Lernens erzielen können. Zudem sollte der Blick stärker auf die Nachhaltigkeit der Methode gerichtet werden: Aus Sicht kognitionspsychologischer Forschung scheinen Maßnahmen, die lediglich Enkodierungsprozesse vereinfachen, um die Performanz von Schüler\*innen zu erhöhen – wie es bei stark angeleiteten Formen des Forschenden Lernens der Fall ist – recht fraglich, wenn es um die Steigerung langfristiger Behaltensleistung geht (Bjork & Bjork, 2011). Nachhaltiges und anwendungsbezogenes Wissen kann nach Annahme der sogenannten *Wünschenswerten Erschwernisse* (*desirable difficulties*) erst dann erworben werden, wenn die Wissensaneignung durch gezielte Lernstrategien (subjektiv) beeinträchtigt und somit verlangsamt wird. Dadurch können lern- und verstehensförderliche Prozesse stärker angeregt werden (Bjork, 1994). Befunde zum Forschenden Lernen von Dean und Kuhn (2006) sowie Kaiser et al. (2018) stützen diese Annahme, indem sie aufzeigen, dass ein geringer Grad an Offenheit zwar kurzfristig lernförderlich ist, für nachhaltige Lernerwerbe jedoch offenere Formate benötigt werden, die die eigenständige Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand und die Konstruktion von neuem Wissen ermöglichen.

#### 4 Implikationen

Naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung bildet einen festen Bestandteil naturwissenschaftlicher Grundbildung und wird im Unterricht über den Lehr-/Lernansatz des For-

schenden Lernens vermittelt. Hierbei sind Schüler\*innen dazu aufgefordert sich aktiv mit einer naturwissenschaftlichen Problemstellung auseinanderzusetzen, wodurch sie neben fachlichen Wissensinhalten (deklaratives Wissen) gleichzeitig auch domänenspezifisches Methodenwissen (epistemologisches und prozedurales Wissen) erwerben. Der Erwerb dieser beiden Wissensarten profitiert unterschiedlich stark von dieser Unterrichtsmethode. Forschendes Lernen sollte als Unterrichtsprozessmodell insbesondere dann gewählt werden, wenn die Lernziele der Stunde in hohem Maße auf den Erwerb methodischen Wissens sowie der Reflexion epistemologischer Überzeugungen (*nature of science*) ausgerichtet sind. Schüler\*innen sollten dabei aktiv in Phasen der prozeduralen Dimension, d.h. in die Versuchsplanung und Fehlerdiskussion, eingebunden werden. Notwendig dabei bleibt allerdings die Bereitstellung von ausreichend Anleitung und Feedback durch die Lehrkraft, um die kognitive Belastung zu senken und häufige Schülerfehler zu vermeiden. Das richtige Maß an lehrergestützter Instruktion hängt dabei vom Alter, dem Vorwissen und der Leistungsfähigkeit der Schüler\*innen ab.

Zwei Modelle – nämlich das Kontinuummodell und das Stufenmodell – vermögen die Wichtigkeit von Öffnungsgraden für den sukzessiven Erwerb methodischer Kompetenzen aufzuzeigen. Beide illustrieren für die Phasen des Erkenntnisprozesses die Adaptivität der Lerninhalte an das Vorwissen der Schüler\*innen und die schrittweise Steigerung des Grades an Offenheit. Die allmähliche Steigerung des Öffnungsgrads scheint insbesondere zur Förderung von Methodenwissen (Variablen-Kontroll-Strategie) erstrebenswert, da das eigenständige Generieren der Wissensinhalte den Transfer und die Nachhaltigkeit des Wissens nur dann begünstigt, wenn ein hoher Lernerfolg bzw. Generierungserfolg erzielt werden kann. Mögliche methodische Elemente zur Erhöhung des Lernerfolgs sind die Einbeziehung von Demonstrationen der Variablen-Kontroll-Strategie bereits vor der eigentlichen Durchführung der forschenden Lerneinheit (Kaiser & Mayer, 2019; Schwichow et al., 2016) oder die Bereitstellung verschiedener Unterstützungsmaßnahmen während der Durchführung, wie Scaffolding (Arnold, 2015), Forscherhefte (Arnold et al., 2014), gestufte Aufgaben (Schmidt-Weigand, Hänze, & Wodzinski, 2009) oder digitale Lernunterstützung beim Experimentieren (Meier & Kastaun, 2017). Die Demonstration eines Beispiels zur Variablen-Kontroll-Strategie erweist sich insbesondere in Kombination mit der Erzeugung eines kognitiven Konflikts, der zur aktiven Auseinandersetzung mit dem Beispiel anregt, als besonders nachhaltig für den Erwerb methodischer Kenntnisse (wie der VKS). Der kognitive Konflikt kann bspw. durch eine Störvariable ausgelöst werden, die im Beispiel absichtlich nicht kontrolliert wird und zu unerwarteten Ergebnissen führt. Ferner kann es hilfreich sein, wenn die Schüler\*innen ausreichend Vorkenntnisse zu fachlichen Inhalten besitzen, da diese entlastend auf den Lernprozess wirken und die Fokussierung auf methodische Aspekte erleichtern. Schlussendlich erweist sich der Erwerb von fachlichen Inhalten durch Forschendes Lernen als weniger effektiv. Doch es werden Maßnahmen erforscht, die auch die Konsolidierung deklarativer Inhalte beim Forschenden Lernen langfristig steigern. Eine Möglichkeit stellt die Nutzung von Feedbacktests dar (Cohonner & Mayer, 2018). Dies ist eine didaktische Maßnahme, die die lernrelevanten Elemente *Feedback* und *Test* miteinander verbindet. Die Tests werden dabei als Lerngelegenheit verstanden, um fachliche Inhalte im Laufe der forschenden Lerneinheit aktiv aus dem Langzeitgedächtnis abzurufen. Das Feedback wird genutzt, um sicherzustellen, dass die Inhalte fachlich korrekt im Langzeitgedächtnis gespeichert werden.

## Literatur

- Abrams, E., Southerland, S. A. & Evans, C. (2008). Inquiry in the classroom: identifying necessary components of a useful definition. In E. Abrams, S. Southerland & P. Silva (Hrsg.), *Inquiry in the Science Classroom: Challenges and Opportunities* (S. 11–42). Charlotte, NC: Information Age Publishing.
- Alfieri, L., Brooks, P. J., Aldrich, N. J., & Tenenbaum, H. R. (2011). Does discovery-based instruction enhance learning? *Journal of educational psychology*, 103(1), S. 1–18. doi: 10.1037/a0021017
- Arnold, J., Kremer, K. & Mayer, J. (2014). Schüler als Forscher – Experimentieren kompetenzorientiert unterrichten und beurteilen. *Mathematisch und naturwissenschaftlicher Unterricht (MNU)*, 67(2), S. 83–91. doi: 10.1080/09500693.2014.930209
- Arnold, J. (2015). *Die Wirksamkeit von Lernunterstützungen beim Forschenden Lernen. Eine Interventionsstudie zur Förderung des Wissenschaftlichen Denkens in der gymnasialen Oberstufe*. Logos: Berlin.
- Bell, R. L., Lederman, N. G. & Abd-El-Khalick, F. (1998). Implicit versus Explicit Nature of Science Instruction: An Explicit Response to Palmquist and Finley. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(9), 1057–61.
- Berg, C. A. R., Bergendahl, V. C. B., Lundberg, B., & Tibell, L. (2003). Benefiting from an open-ended experiment? A comparison of attitudes to, and outcomes of, an expository versus an open-inquiry version of the same experiment. *International Journal of Science Education*, 25(3), S. 351–372. doi: 10.1080/09500690210145738
- Bertsch, S., Pesta, B. J., Wiscott, R., & McDaniel, M. A. (2007). The generation effect: A meta-analytic review. *Memory & cognition*, 35(2), S. 201–210.
- Bjork, R. A. (1994). Memory and metamemory considerations in the training of human beings. In J. Metcalfe & A. P. Shimamura (Hrsg.), *Metacognition: Knowing about* (S. 185–205). Cambridge: The MIT Press.
- Bjork, E. L. & Bjork, R. A. (2011). Making things hard on yourself, but in a good way: Creating desirable difficulties to enhance learning. In M. A. Gernsbacher, R. W. Pew, L. M. Hough & J. R. Pomerantz (Hrsg.), *Psychology and the real world: Essays illustrating fundamental contributions to society* (S. 56–64). New York: Worth Publishers.
- 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), S. 577–616. doi: 10.1002/sc.20390
- Bortz, J., & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler*. Heidelberg: Springer.
- Chen, Z. & Klahr, D. (1999). All Other Things Being Equal: Acquisition and Transfer of the Control of Variables Strategy. *Child Development*, 70(5), S. 1098–1120. doi: 10.1111/1467-8624.00081
- Chinn, C. A. & Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86(2), S. 175–218. doi: 10.1002/sc.10001
- Cohonner, A. & Mayer, J. (2018). Retrieval-based learning in the context of inquiry-based learning. *Challenges in Biology Education Research*, 273.
- Colburn, A. (2000). An inquiry primer. *Science Scope*, 23(6), S. 42–44.
- Dean Jr, D. & Kuhn, D. (2006). Direct instruction vs. discovery: The long view. *Science Education*, 91(3), S. 384–397. doi: 10.1002/sc.20194
- Dobber, M., Zwart, R., Tanis, M. & van Oers, B. (2017). Literature review: The role of the teacher in inquiry-based education. *Educational Research Review*, 22, S. 194–214. doi: 10.1016/j.edurev.2017.09.002
- Duggan, S., Johnson, P. & Gott, R. (1996). A critical point in investigative work: Defining variables. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(5), S. 461–474.
- Dunbar, K. (1993). Concept Discovery in a Scientific Domain. *Cognitive Science*, 17(3), S. 397–434. doi: org/10.1207/s15516709cog1703\_3
- Duschl, R. (2003). Assessment of inquiry. In J. M. Atkin & J. Coffey (Hrsg.), *Everyday assessment in the science classroom* (S. 41–59). Arlington, VA: NSTA Press.
- Duschl, R. (2008). Science education in three-part harmony: Balancing conceptual, epistemic, and social learning goals. *Review of research in education*, 32(1), S. 268–291. doi:10.3102/0091732X07309371
- Furtak, E. M., Seidel, T., Iverson, H. & Briggs, D. C. (2012). Experimental and quasi-experimental studies of inquiry-based science teaching. *Rev. Educ. Res.*82, S. 300–329. doi:10.3102/0034654312457206
- Germann, P. J. & Aram, R. J. (1996). Student Performances on the Science Processes of Recording Data, Analyzing Data, Drawing Conclusions, and Providing Evidence. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(7), S. 773–798. doi: 10.1002/(SICI)1098-2736(199609)33:7<773::AID-TEA5>3.0.CO;2-K

- Gormally, C., Brickman, P., Hallar, B. & Armstrong, N. (2009). Effects of inquiry-based learning on students' science literacy skills and confidence. *International journal for the scholarship of teaching and learning*, 3(2), n2. doi: 10.20429/ijstol.2009.030216
- Gott, R. & Roberts, R. (2008). *Concepts of evidence and their role in open-ended practical investigations and scientific literacy; background to published papers*. Abgerufen von [https://www.dur.ac.uk/resources/education/research/res\\_rep\\_short\\_master\\_final.pdf](https://www.dur.ac.uk/resources/education/research/res_rep_short_master_final.pdf).
- Hammann, M., Phan, T. T. H., Ehmer, M. & Bayrhuber, H. (2006). Fehlerfrei Experimentieren. *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht*, 5(59), S. 292–299.
- Hammann, M., Phan, T. T. H., Ehmer, M. & Grimm, T. (2008). Assessing pupils' skills in experimentation. *Journal of Biological Education*, 42(2), S. 66–72. doi:10.1080/00219266.2008.9656113
- Harms, U., Mayer, J., Hammann, M., Bayrhuber, H. & Kattmann, U. (2004). Kerncurriculum und Standards für den Biologieunterricht in der gymnasialen Oberstufe. In H.-E. Tenorth (Hrsg.), *Kerncurriculum Oberstufe II – Biologie, Chemie, Physik, Geschichte, Politik. Expertisen – im Auftrag der Ständigen Konferenz der Kultusminister (KMK)* (S. 22–84). Weinheim: Beltz.
- Hmelo-Silver, C. E., Duncan, R. G. & Chinn, C. A. (2007). Scaffolding and Achievement in Problem-Based and Inquiry Learning: A Response to Kirschner, Sweller, and Clark (2006). *Educational Psychologist*, 42(2), S. 99–107. doi: 10.1080/00461520701263368
- Hof, S. (2011). *Wissenschaftsmethodischer Kompetenzerwerb durch Forschendes Lernen: Entwicklung und Evaluation einer Interventionsstudie*. Kassel: University Press.
- Hofstein, A., Navon, O., Kipnis, M. & Mamlok-Naaman, R. (2005). Developing students' ability to ask more and better questions resulting from inquiry-type chemistry laboratories. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(7), S. 791–806. doi: 10.1002/tea.20072
- Huber, O. (1995). Beobachtung. In E. Roth & K. Heidenreich (Hrsg.), *Sozialwissenschaftliche Methoden* (S. 126–145). München: Oldenbourg.
- Kaiser, I., Mayer, J. & Malai, D. (2018). Self-Generation in the Context of Inquiry-Based Learning. *Frontiers in Psychology*. doi: 10.3389/fpsyg.2018.02440
- Kaiser I. & Mayer J. (2019). The Long-Term Benefit of Video Modeling Examples for Guided Inquiry. *Frontiers in Education*, 4:104. doi: 10.3389/educ.2019.00104
- Kirschner, P. A., Sweller, J. & Clark, R. E. (2006). Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), S. 75–86. doi: 10.1207/s15326985ep4102\_1
- Klahr, D. (2000). *Exploring Science: The Cognition and Development of Discovery Processes*. Cambridge: MIT.
- Klahr, D., Fay, A. L. & Dunbar, K. (1993). Heuristics for Scientific Experimentation: A Developmental Study. *Cognitive Psychology*, 25(1), S. 111–146. doi: 10.1006/cogp.1993.1003
- Klahr, D. & Dunbar, K. (1988). Dual space search during scientific reasoning. *Cognitive Science*, 12(1), S. 1–48. doi: 10.1207/s15516709cog1201\_1
- Klahr, D. & Nigam, M. (2004). The equivalence of learning paths in early science instruction – Effects of direct instruction and discovery learning. *Psychological Science*, 15(10), S. 661–667. doi: 10.1111/j.0956-7976.2004.00737.x
- Kremer, K. & Mayer, J. (2013). Entwicklung und Stabilität von Vorstellungen über die Natur der Naturwissenschaften. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften (ZfDN)*, 19, S. 77–101.
- Krystyniak, R. A. & Heikkinen, H. W. (2007). Analysis of verbal interactions during an extended, open-inquiry general chemistry laboratory investigation. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 44(8), S. 1160–1186. doi:10.1002/tea.20218
- Kuhn, D. & Dean, D. (2005). Is developing scientific thinking all about learning to control variables? *Psychological Science*, 16(11), S. 866. doi: 10.1111/j.1467-9280.2005.01628.x
- Lazonder, A. W. & Harmsen, R. (2016). Meta-Analysis of Inquiry-Based Learning. *Review of Educational Research*, 86, S. 681–718. doi: 10.3102/0034654315627366
- Lederman, J. S., Lederman, N. G., Wickman, P.-O. & Lager-Nyqvist, L. (2007). *An international, systematic investigation of the relative effects of inquiry and direct instruction*. Paper präsentiert auf der Annual International Conference of the National Association for Research in Science Teaching, New Orleans, LA.
- Lubben, F. & Millar, R. (1996). Children's ideas about the reliability of experimental data. *International Journal of Science Education*, 18(8), S. 955–968. doi: 10.1080/0950069960180807
- Mayer, J. (2004). Qualitätsentwicklung im Biologieunterricht. *Mathematischer und Naturwissenschaftlicher Unterricht*, 57(2), S. 92–99.