

Selbstbestimmtes und angeleitetes Experimentieren im Schülerlabor

Sarah Hohrath*, Heiko Krabbe*, Sandra Aßmann*, Maria Opfermann[†]

*Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstr. 150, 44801 Bochum;

[†]Bergische Universität Wuppertal, Gaußstr. 20, 42119 Wuppertal

sarah.hohrath@ruhr-uni-bochum.de, heiko.krabbe@ruhr-uni-bochum.de,

sandra.assmann@ruhr-uni-bochum.de, opfermann@uni-wuppertal.de

Kurzfassung

Schülerlabore ermöglichen Schülerinnen und Schülern (SuS) wie echte Forschende in einer authentischen Lernumgebung zu agieren. In physikalischen Projekten können SuS z. B. einen Experimentierprozess planen, durchführen, auswerten und evaluieren – und somit selbstreguliert lernen. Im Rahmen dieser Mixed Methods-Studie soll untersucht werden, wie der Grad der Instruktion (angeleitet vs. selbstbestimmt) während des Experimentierens – in Abhängigkeit vom Vorwissen des Lernenden – den Kompetenzaufbau (FF1) beziehungsweise den Selbstregulationsprozess beeinflusst (FF2) und wie sich Vorwissen und Instruktionsgrad auf die Judgments of Performance der Lernenden auswirken (FF3). Die Erhebung ist ab Februar 2021 geplant: $N = 128$ SuS der 7. und 8. Jgst. experimentieren in Kleingruppen zum Phänomen des Sonnentalers im Schülerlabor. Hierbei erhalten sie identische Materialien und nach dem Predict-Observe-Explain-Ansatz strukturierte Arbeitsblätter. Die angeleitet experimentierenden Gruppen bekommen Vorgaben für den Ablauf des Experimentierprozesses, während die selbstbestimmt experimentierenden Gruppen explorativ vorgehen können. Während des Experimentierens werden einzelne Kleingruppen videographiert, um ihren Lernprozess hinsichtlich der Selbstregulation zu analysieren. Zudem werden die SuS Fachwissentests sowie Judgments of Performance und Confidence Judgments ausfüllen. Der Beitrag gibt erste Einblicke in das Projekt, Erkenntnisse aus einer Pilotierungsstudie und erläutert das geplante Forschungsvorhaben.

1. Theoretische Grundlagen

Schülerinnen und Schüler benötigen konkrete Erfahrungen mit Phänomenen, um daraus physikalische Konzepte entwickeln können (von Aufschnaiter & Rogge, 2010). Es besteht jedoch ein Zwiespalt, inwiefern die Konzeptbildung besser gelingt, wenn die Lernenden durch geeignete Anleitung zu den notwendigen Erfahrungen hingeführt werden oder sie diese beim eigenständigen forschenden Lernen selbstreguliert entdecken (z. B. Kirschner et al., 2006; Lazonder & Harmsen, 2016).

Im (deutschen) Physikunterricht findet teils „kochbuchartiges“ Experimentieren statt (Hopf & Berger, 2011), sodass die Lernenden nur einen vorgegebenen Plan bearbeiten und dementsprechend angeleitet arbeiten. Schülerexperimente ermöglichen es Schülerinnen und Schülern aber auch, selbstbestimmt ein Experiment zu planen, durchzuführen, und dabei gegebenenfalls Anpassungen vorzunehmen, und es abschließend auszuwerten (Wirth et al., 2008). Dies erfordert selbstregulierte Tätigkeiten, die Teil der metakognitiven Komponente des selbstregulierten Lernens sind (z. B. Boekaerts, 1999; Otto et al., 2011) und je nach Vorwissen und Selbstständigkeit der Lernenden, Unterstützung durch die Lehrkraft benötigen (Girwidz, 2015).

In diesem Projekt wird daher die Auswirkung von angeleitetem und selbstbestimmtem Experimentieren auf den Kompetenzaufbau untersucht und verglichen.

Wenn Schülerinnen und Schüler selbstbestimmt experimentieren, müssen sie sich eigenständig einen Experimentierplan überlegen, diesen durchführen und auf überraschende beziehungsweise unerwartete Ergebnisse reagieren und eigenständig Schlussfolgerungen anstellen. Dabei kann es passieren, dass sie wesentliche Aspekte des Experiments nicht entdecken. Experimentieren sie hingegen angeleitet, so entfällt der Planungsschritt. Sie müssen nicht auf unerwartete Ergebnisse mittels einer Umplanung von Experimenten reagieren, sondern werden gezielt durch alle für die Konzeptentwicklung relevanten Aspekte des Experiments geführt. Insbesondere für das selbstständige Experimentieren bieten Schülerlabore eine authentische Umgebung, sodass die Schülerinnen und Schüler wie echte Forscherinnen und Forscher handeln können (Sommer et al., 2018).

Die selbstregulierten Tätigkeiten werden von metakognitiven Urteilen begleitet, welche die Schülerinnen und Schüler während des Experimentierens bilden (Schraw, 2009) – wir beschränken uns hierbei auf Judgments of Performance (JoP) und Judgments of Learning (JoL), da beide Maße mit einem Lernerfolgstest in Beziehung gesetzt und interpretiert werden können (vgl. Kant et al., 2017). Die Judgments of Performance erheben prospektiv, wie Schülerinnen und Schüler ihre Leistung in einem zur Thematik passenden Test einschätzen, während die Judgments of Learning prospektiv eine Selbsteinschätzung des Verständnisses bezüglich der Thematik fordern

(DeBruin et al., 2017). Durch die prospektive Erhebung erhalten wir die bestmögliche unbeeinflusste Einschätzung der Lernenden über ihr Lernen und ihren Lernstand, weil die Schülerinnen und Schüler ihr Urteil auf Grundlage ihrer eigens gesammelten Erfahrungen während des Experimentierens fällen und diese noch nicht durch eine Leistungsabfrage – und das damit einhergehende Feedback – beeinflusst wurden. Wir gehen davon aus, dass Unterschiede im Instruktionsgrad während des Experimentierens (also selbstbestimmtes versus angeleitetes Arbeiten) einen Einfluss auf die Selbsteinschätzungen des Lernstandes ausüben und damit zu unterschiedlichen Judgments of Performance respektive of Learning führen.

2. Forschungsfragen

Daraus entwickeln sich die folgenden Forschungsfragen:

(FF1) Wie beeinflusst der Grad der Instruktion (angeleitet vs. selbstbestimmt) während des Experimentierens – in Abhängigkeit vom Vorwissen des Lernenden – den Konzeptaufbau?

(FF2) Wie beeinflusst der Grad der Instruktion (angeleitet vs. selbstbestimmt) während des Experimentierens – in Abhängigkeit vom Vorwissen des Lernenden – den Selbstregulationsprozess?

(FF3) Wie wirken sich das Vorwissen und der Instruktionsgrad auf die Judgments of Performance (JoP) und Judgments of Learning (JoL) der Lernenden aus?

3. Forschungsdesign der aktuellen Studie

Es werden das Schülerlaborprojekt, der Fachwissenstest und dessen Pilotierung, die Experimentierphase sowie die Erhebung der metakognitiven Urteile dargestellt.

3.1. Das Schülerlaborprojekt

Die Schülerinnen und Schüler nehmen im Klassenverband an einem Projekt im Alfred-Krupp-Schülerlabor der Ruhr-Universität Bochum teil, in dem das Phänomen der Sonntaler untersucht wird. Hierbei handelt es sich um kreisrunde Lichtflecken, die bei sonnigem Wetter unter einem Blätterdach zu sehen sind (Schlichting, 1994). Durch die Sonne als kreisrunde, ausgedehnte Lichtquelle entsteht bei der Abbildung der nicht kreisförmigen Lücken im Blätterdach auf dem Boden ein kreisförmiger Lichtfleck als Überlagerung (Schlichting, 1995). In unserem Projekt können die Schülerinnen und Schüler anhand von vier Lichtquellen (einer punktförmigen Taschenlampe, einer länglichen und einer mit 9 im Kreis angeordneten LEDs sowie einer ausgedehnten, matten Haushaltsglühlampe) und drei Blenden (einer dreieckigen, einer runden und einer viereckigen) das Phänomen anhand von diversen, selbst durchzuführenden Modellexperimenten untersuchen.

Der Projekttag ist dabei wie folgt aufgebaut: Nach der Begrüßung füllen die Teilnehmenden den Fachwissenstest zur Optik aus. Danach wird das nötige Vorwissen für die Experimente kurz aktiviert und die Teilnehmenden beginnen in Kleingruppen zu experimentieren. Nach dem Experimentieren geben die Schülerinnen und Schüler individuell ihre metakognitiven Urteile bezüglich ihrer Performance (JoP) und ihres eigenen Lernens (JoL) ab. Dann wird erneut der Fachwissenstest ausgefüllt und es findet eine Auflösung des Phänomens statt, indem die Entstehung der Sonntaler mit den Schülerinnen und Schülern besprochen wird. Abschließend erhalten die Schulklassen die Möglichkeit, ihr gelerntes Wissen auf Schattenexperimente zu übertragen, indem sie analoge Experimente mit Schattenkörpern statt Blenden durchführen.

3.2. Fachwissenstest

Der Fachwissenstest zu Beginn und Ende des Projekttag wurde basierend auf Two-Tier-Items von Teichrow und Erb (2019) entwickelt und um adaptierte Aufgaben nach Haagen-Schützenhöfer und Hopf (2013), Mavanga (2001) sowie McDermott und Shaffer (2009) ergänzt. Er umfasst die Themen Lichtausbreitung und Abbildungen an Blenden, bei Schattenkörpern und am ebenen Spiegel. Auf der ersten Ebene wird ein physikalischer Sachverhalt abgefragt, für den auf der zweiten Ebene eine Begründung gegeben werden muss. Die erste Ebene besteht aus Multiple-Choice-Single-Select-Aufgaben mit drei Antwortmöglichkeiten, die zweite Ebene aus Aufgaben mit vier Antwortmöglichkeiten. In Abb. 1 ist ein Beispielitem zu sehen. Insgesamt bestehen sowohl der Vorwissenstest als auch der Nachwissenstest aus 19 Items, die die Ausbreitung von Licht, Schattenabbildungen, Blendenabbildungen sowie Spiegelungen thematisieren.

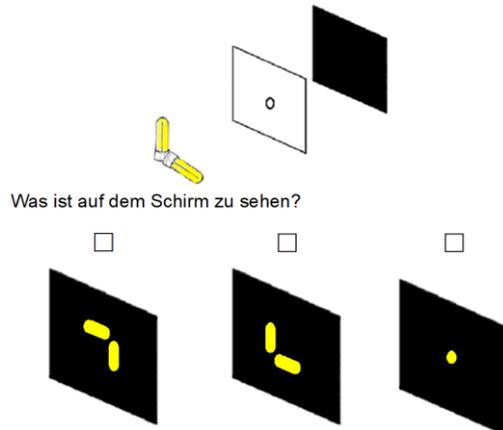
Bewertet wird der Test, indem ein Punkt für eine richtige Antwort auf der ersten Stufe gegeben wird und zusätzlich ein weiterer, wenn auch die Begründung stimmt. Die richtige Begründung führt bei einer falschen Antwort auf der ersten Stufe jedoch zu null Punkten. Somit können die Teilnehmenden 0, 1 oder 2 Punkte erhalten.

3.2.1. Pilotierung des Fachwissenstests

Der Fachwissenstest wurde von 12.2020 – 02.2021 pilotiert, wobei dies auf Grund des Wechsels von Präsenz- zu Distanzunterricht analog und digital stattfand. Insgesamt haben $N=83$ Schülerinnen und Schüler der siebten Jahrgangsstufe eines nordrhein-westfälischen Gymnasiums den Fachwissenstest ausgefüllt. Es wurden 33 Items auf 3 Testhefte in einem rotierenden System aufgeteilt und es konnte mittels einer Rasch-Analyse eine optimierte Itemauswahl von 19 Items für das endgültige Testheft vorgenommen werden. Die Personen-Reliabilität verbesserte sich von 0.46 bei 33 Items auf 0.48 bei den 19 verbleibenden Items. Die geringe Personen-Reliabilität deutet

darauf hin, dass die Konzepte zu optischen Abbildungen bei den Lernenden noch instabil und in der Entwicklung sind. Die Messung eines Lernfortschritts könnte damit trotzdem möglich sein (Lienert & Raatz, 1998). Eine Faktorenanalyse konnte auf Grund der Blockstruktur nicht durchgeführt werden.

Zwei Stablampen bilden zusammen ein „L“. Sie beleuchten eine Lochblende.



Was ist auf dem Schirm zu sehen?

-
- Welche Aussage erklärt deine Antwort am besten?
- Durch die geradlinige Lichtausbreitung wird nur das Loch abgebildet.
 - Durch die geradlinige Lichtausbreitung ist die Abbildung der Lampen seitenverkehrt.
 - Die Form der Lichtquellen bestimmt die Abbildung.
 - Die Form der Blende bestimmt die Abbildung.

Abb.1: Beispielaufgabe aus dem Fachwissenstest – Bereich Blendenabbildung

3.3. Experimentierphase

Während des Experimentierens werden die Kleingruppen auf die beiden Interventionen (angeleitet versus selbstbestimmt) aufgeteilt und untersuchen das Phänomen der Sonnentaler. In beiden Interventionen erhalten die Lernenden dieselben Materialien und Experimentieranschläge, in denen die Parameter Blende und Lichtquelle variiert werden. In der angeleiteten Gruppe ist die Abfolge der Experimentieranschläge festgelegt, in der selbstbestimmten Gruppe nicht.

Die Experimentieranschläge orientieren sich am Predict-Observe-Explain-Ansatz (White & Gunstone zitiert nach Mayer, 2008), sodass die Kleingruppen zuerst eine Erwartung für den Experimentausgang aufschreiben müssen und dann angeben, wie sicher sie sich mit ihrer Erwartung sind (Skala von 1 bis 7), um anschließend das Experiment durchzuführen. Nach der Beobachtung müssen die Schülerinnen und Schüler in ihren Kleingruppen eine Erklärung für das Beobachtete finden und auch hier angeben, wie sicher sie sich mit ihrer Erklärung sind.

3.4. Metakognitive Urteile

Die metakognitiven Urteile, zu denen unter anderem Judgments of Learning und Judgments of Performance gehören (Schraw, 2009), werden im Rahmen

des Schülerlabortages mittels jeweils zwei Fragen direkt nach dem Beenden der Experimentierphase erhoben. Die Fragen für die Einschätzungen sind jeweils an den Fachwissenstest angepasst und beziehen sich dementsprechend immer auf das Themenfeld der geometrischen Optik. Die erste Frage zum Judgment of Learning bzw. Judgment of Performance bezieht sich auf die erste Ebene im Fachwissenstest und erfasst, wie gut die Antwort erinnert bzw. gegeben werden kann. Die zweite Frage bezieht sich jeweils auf die zweite Ebene des Fachwissenstests, also auf die Begründung. Die Schülerinnen und Schüler geben ihre Einschätzung auf einer Skala von 0 bis 100 Prozent an.

4. Bisherige Erkenntnisse aus der Pilotierung

Im Rahmen einer Pilotierungsstudie, deren Datenerhebung im Januar 2020 stattfand, konnten bereits erste Erkenntnisse für das Forschungsprojekt gesammelt werden.

4.1. Stichprobe

Es haben insgesamt $N = 15$ Schülerinnen und Schüler einer achten Jahrgangsstufe eines Gymnasiums in Nordrhein-Westfalen an der Erhebung teilgenommen. Die Lernenden haben in Gruppen von $n = 3$ Lernenden zusammen experimentiert, wobei die Gruppen von der Lehrkraft zusammengesetzt wurden. Zwei der fünf Gruppen arbeiteten selbstbestimmt und die anderen drei Gruppen angeleitet.

4.2. Design der Pilotierung

Die Kleingruppen erhielten jeweils denselben Kontext (Sonnentaler), eine Leitfrage, die sie nach dem Experimentierprozess beantworten sollten, sowie sechs Experimentieranschläge, die die drei Lichtquellen (punktförmig, länglich, ausgedehnt) und zwei Blenden (rund, dreieckig) kombinierten. Darin wurden die Lernenden zuerst aufgefordert eine Erwartung der Abbildung aufzuschreiben (predict), anschließend das Experiment durchzuführen (observe) und schlussendlich eine Erklärung für das gesehene Lichtbild zu geben (explain).

Während die angeleitete Experimentierende die Bearbeitungsabfolge der Experimentieranschläge vorgegeben bekamen, mussten die selbstbestimmten Arbeitenden die Abfolge selbst festlegen. Es wurde erwartet, dass sie diese Entscheidung auf Basis der Erfahrungen aus den vorangegangenen Experimenten treffen. Durch die Experimentieranschläge sollte aber auch gesichert werden, dass alle Schülerinnen und Schüler die für die Konzeptbildung relevanten Situationen erleben.

In der Pilotierung wurden die Selbstregulierungsprozesse betrachtet, aber das Fachwissen und die metakognitiven Erfahrungen noch nicht erfasst.

4.3. Datenerfassung und Auswertung

Die Schülerinnen und Schüler wurden während des Experimentierens aus zwei Perspektiven audio- und videographiert, um einen möglichst umfangreichen Einblick in ihren Experimentier- und Lernprozess zu erhalten.

Die Videos der Experimentierphasen wurden nach Dresing und Pehl (2011) transkribiert und anschließend kodiert. Die Kodierung erfolgte in Anlehnung an eine Unterteilung von selbstreguliertem Lernen. Selbstreguliertes Lernen wird zum einen durch Komponentenmodelle, wie z. B. das Drei-Schichten-Modell von Boekaerts (1999), und zum anderen durch Prozessmodelle, wie z. B. das Selbstregulations-Prozessmodell von Schmitz, beschrieben (Götz & Nett, 2017). Im Rahmen dieser Pilotierung betrachten wir Komponenten des selbstregulierten Lernens, sodass das selbstregulierte Lernen anhand der Komponentenmodelle vorgestellt wird. Selbstregulierte Tätigkeiten können demnach in drei Komponenten unterteilt werden: die kognitive, die metakognitive und die motivationale. Die metakognitiven Lernstrategien sind den kognitiven übergeordnet (Schuster, 2019), da die kognitiven bei der Informationsaufnahme und -verarbeitung verwendet werden (Artelt & Wirth, 2014; Wild, 2018) und somit positiv durch die metakognitiven Strategien beeinflusst werden können (z. B. Schuster, 2019). Die metakognitiven Lernstrategien, die auch im Fokus der Arbeit standen, sind das Planen, Überwachen, Regulieren und Evaluieren des eigenen Lernens (z. B. Otto et al., 2011). Dies ist insbesondere für die selbstbestimmt-arbeitenden Gruppen unerlässlich, da diese sich einen eigenen Plan schreiben und eigenständig experimentieren mussten.

Wenn eine Planung zum Einsatz einer Lernstrategie für das weitere Vorgehen stattfindet, handelt es sich um eine metakognitive Planung (z. B. Thillmann, 2007). Basiert die Planung nur auf der reinen Organisation eines Ablaufs, ist es eine kognitive. Nicht alle Aussagen von Schülerinnen und Schülern sind eindeutig zuzuordnen, sodass die Kategorie der Planung unterteilt wurde in kognitive, metakognitive und nicht-eindeutig zuzuordnende Planung (siehe Tab. 1).

Unter überwachenden Lernstrategien, auch Monitoring genannt, fallen Äußerungen, in denen die Lernenden ihren eigenen Wissensstand bzw. ihr Vorgehen reflektieren (z. B. Hasselhorn & Artelt, 2018). Eine Regulation des eigenen Lernens findet wiederum statt, wenn auf Basis des Überwachten ein Eingreifen durch die Lernenden in den Arbeitsprozess stattfindet und dieser, beispielsweise auf Grund neuer Erkenntnisse, angepasst werden muss (z. B. Stebner et al., 2015). Die Evaluation umfasst die Fragen nach dem Erreichen des angestrebten Lernergebnisses und dem Verständnis des Inhaltes (z. B. Nückles & Wittwer, 2014).

Zudem wird das strategische Wissen der Schülerinnen und Schüler kodiert, um einen Einblick zu erhalten, inwieweit die Lernenden Ergebnisse miteinander

in Beziehung setzen, den Kontext nutzen oder eine Rollenverteilung vornehmen, denn all dies kann eine erfolgreiche Bewältigung einer Aufgabe unterstützen.

4.4. Ergebnisse

Durch die Kodierung anhand der Transkripte konnte folgende Tabelle 1 erstellt werden. Dabei ist zu beachten, dass die Gruppen 1 und 5 selbstbestimmt experimentiert haben und die Gruppen 2, 3 und 4 die Anleitung erhalten haben. Es wurde der Quotient „Kodierungen pro Minute“ zur besseren Vergleichbarkeit gebildet, da die einzelnen Kleingruppen unterschiedlich viel Zeit benötigt haben. Es konnte in der Stichprobe kein Unterschied in dem Selbstregulationsgrad zwischen den Interventionen ermittelt werden. In dieser Stichprobe lernen die selbstbestimmt-arbeitenden Kleingruppen nicht häufiger selbstreguliert als die angeleitet-arbeitenden. Insbesondere bei den Planungsstrategien wäre ein Unterschied zu erwarten gewesen, da die selbstbestimmt-arbeitenden Kleingruppen eine Planung vornehmen mussten, aber dies wird durch den Quotienten „Planungsstrategien pro Minute“ nicht belegt.

4.5. Diskussion

Offenbar reichte die Variation zwischen den beiden Gruppen angeleitet und selbständig nicht aus, um ein unterschiedliches Verhalten hervorzurufen. Die selbstbestimmt experimentierenden Gruppen zeigen kein schrittweises explorierendes Vorgehen, das sich an den vorhergehenden Beobachtungen orientiert, sondern arbeiten einen selbst zu Beginn festgelegten Plan unabhängig von den Resultaten ab. Ursache dafür kann sein, dass die geringe Anzahl von nur sechs Kombinationsmöglichkeiten kein Explorieren notwendig macht oder dass die Schülerinnen und Schüler aus dem Unterricht ein explorierendes Vorgehen nicht gewohnt sind.

Basierend auf den Ergebnissen, die auf Grund der Stichprobengröße nicht verallgemeinerbar sind, wird der Unterschied zwischen selbstbestimmtem und angeleitetem Experimentieren vergrößert. Die selbstbestimmten Gruppen bekommen keine Experimentier-vorschläge mehr, sondern nur Protokollbögen, die das Predict-Observe-Explain-Prinzip einfordern. Dabei werden sie angehalten, die Experimente schrittweise nacheinander zu planen. Außerdem wird das Experimentiermaterial um eine weitere Lampe (9-LED-Taschenlampe) und eine weitere Blendenform (viereckig) erweitert, um mehr Kombinationsmöglichkeiten zu schaffen. Für die Hinzunahme der Taschenlampe mit 9 LEDs spricht auch, dass allen Gruppen in der Pilotierung der gedankliche Schritt zur Überlagerung vieler punktförmiger Lichtquelle bei der ausgedehnten Lichtquelle schwerfiel. Die 9 LED-Taschenlampe bietet dafür einen gedanklichen Zwischenschritt an.

Gruppe	1 Selbst- bestimmt	2 Angeleitet	3 Angeleitet	4 Selbst- bestimmt	5 Angeleitet	Summe
Metakognitive Planung	0	0	2	4	3	9
Kognitive Planung	7	0	0	0	7	14
Nicht-eindeutig zu- zuordnende Planung	25	9	24	31	3	92
Monitoring	40	25	23	23	13	124
Regulation	56	15	12	20	13	116
Evaluation	41	25	24	44	9	143
Strategisches Wissen	7	6	5	23	6	46
Summe	176	80	90	145	54	544
Verwendete Zeit (in Min.)	70,85 Min.	50,85 Min.	20,3 Min.	54,45 Min.	26,15 Min.	
Kodierungen pro Minute	2,5	1,6	4,4	2,7	2,1	
Planungsstrategien pro Minute	0,5	0,2	1,3	0,6	0,5	

Tab. 1: Häufigkeitsverteilung der einzelnen Kategorien im Datenmaterial (entnommen aus Hohrath, 2020)

5. Zeitlicher Ablauf des Forschungsvorhabens

Bisher konnten der Schülerlabortag erstellt und die einzusetzenden Instrumente zusammengestellt sowie der Fachwissenstest pilotiert werden. Zudem war es möglich, mit einer kleinen Stichprobe erste qualitative Erkenntnisse zu sammeln. Nun steht die Datenerhebung im Alfred-Krupp-Schülerlabor der Ruhr-Universität Bochum an, die auf Grund der geltenden Corona-Beschränkungen noch nicht stattfinden konnte.

6. Literatur

- Artelt, C. & Wirth, J. (2014). Kognition und Metakognition. In T. Seidel & A. Krapp (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (6., vollständig überarbeitete Aufl., S. 167-192). Beltz Verlag.
- Boekaerts, M. (1999). Self-regulated learning: where we are today. *International Journal of Educational Research*, 31(6), 445-457.
- de Bruin, A., Dunlosky, J., & Cavalcanti, R. B. (2017). Monitoring and regulation of learning in medical education: the need for predictive cues. *Medical Education*, 51, 575-584.

- Dresing, T., & Pehl, T. (2011). *Praxisbuch Transkription. Regelsysteme, Software und praktische Anleitungen für qualitative ForscherInnen*. Eigenverlag.
- Girwidz, R. (2015): Medien im Physikunterricht. In E. Kircher, R. Girwidz, & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (3. Aufl., S. 193-245). Springer Spektrum.
- Götz, T. & Nett, U. E. (2017). Selbstreguliertes Lernen. In T. Götz (Hrsg.), *Emotion, Motivation und Selbstreguliertes Lernen* (2. Auflage, S. 143-184). Verlag Ferdinand Schöningh.
- Haagen-Schützenhöfer, C., & Hopf, M. (2013 – nicht veröffentlicht). Testheft Optik (Version März).
- Hasselhorn, M., & Artelt, C. (2018). Metakognition. In D. H. Rost, J. R. Sparfeldt, & S. R. Buch (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (5., überarbeitete und erweiterte Aufl., S. 520-525). Beltz Verlag.
- Hohrath, S. (2020). *Selbstregulative Fähigkeiten im Kontext von angeleitetem und selbstbestimmtem Experimentieren – Eine qualitative Studie*. Masterarbeit zur Erlangung des Grades Master of Education. Witten.
- Hopf, M., & Berger, R. (2011). Experimentieren. In H. Wiesner, H. Schecker, & M. Hopf (Hrsg.), *Physikdidaktik kompakt* (S. 106-114). Aulis Verlag.

- Kant, J. M., Scheiter, K., & Oschatz, K. (2017). How to sequence video modeling examples and inquiry tasks to foster scientific reasoning. *Learning and Instruction*, 52, 46-58.
- 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), 75-86.
- Lazonder, A. W., & Harmsen, R. (2016). Meta-analysis of inquiry-based learning: Effects of guidance. *Review of educational research*, 86(3), 681-718.
- Lienert, G. A. & Raatz, U. (1998). *Testaufbau und Testanalyse* (6. Aufl.). Weinheim: Beltz.
- Mavanga, G. G. (2001). *Entwicklung und Evaluation eines experimentell- und phänomenorientierten Optikcurriculums. Untersuchung zu Schülervorstellungen in der Sekundarstufe I in Mosambik und Deutschland*. Logos Verlag.
- Mayer, R. E. (2008). *Learning and Instruction* (2. Aufl.). Pearson.
- McDermott, L. C., & Shaffer, P. S. (2009). *Tutorien zur Physik*. In Zusammenarbeit mit der Physics Education Group University of Washington. Pearson Verlag.
- Nückles, M. & Wittwer, J. (2014). Lernen und Wissenserwerb. In T. Seidel & A. Krapp (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (6., vollständig überarbeitete Aufl., S. 225-252). Beltz Verlag.
- Otto, B., Perels, F., & Schmitz, B. (2011). Selbstreguliertes Lernen. In H. Reinders, H. Ditton, C. Gräsel, & B. Gniewosz, (Hrsg.). *Empirische Bildungsforschung. Gegenstandsbereiche* (S. 33-44). Springer VS.
- Schlichting, H. J. (1995). Sonnentaler fallen nicht vom Himmel. Geringfügig erweiterte Version eines Aufsatzes erschienen in *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 48/4, 199-207.
- Schlichting, H. J. (1994). Sonnentaler – Abbilder der Sonne. *Praxis der Naturwissenschaften – Physik*, 43/4, 19, 2-6.
- Schraw, G. (2009). Measuring metacognitive judgments. In D. J. Hacker, J. Dunlosky, & A. C. Graesser (Hrsg.), *Handbook of Metacognition in Education* (S. 415-428). Routledge.
- Schuster, C. (2019). *Transfer metakognitiver Strategien beim selbstregulierten Lernen: Ein Konzept zur Verknüpfung verschiedener Lerngelegenheiten im Ganztage*. Inauguraldissertation zur Erlangung des akademischen Grades einer Doktorin der Philosophie der Fakultät für Philosophie und Erziehungswissenschaft der Ruhr-Universität Bochum. Gladbeck.
- Sommer, K., Wirth, J., & Rummel, N. (2018). Authentizität der Wissenschaftsvermittlung im Schülerlabor – Einführung in den Thementeil. *Unterrichtswissenschaft*, 46, 253-260.
- Stebner, F., Schiffhauer, S., Schmeck, A., Schuster, C., Leutner, D. & Wirth, J. (2015). *Selbstreguliertes Lernen in den Naturwissenschaften. Praxis-material für die 5. und 6. Jahrgangsstufe*. Waxmann.
- Teichrow, A., & Erb, R. (2019). Entwicklung und Evaluation eines zweistufigen Testinstruments für Schülervorstellungen zur Anfangsoptik. *Didaktik der Physik – Frühjahrstagung*. Aachen.
- Thillmann, H. (2007). *Selbstreguliertes Lernen durch Experimentieren: Von der Erfassung zur Förderung*. Dissertation zur Erlangung des Grades Dr. Phil. Essen.
- von Aufschnaiter, C., & Rogge, C. (2010). Wie lassen sich Verläufe der Entwicklung von Kompetenz modellieren? *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, 95-114.
- Wild, K.-P. (2018). Lernstrategien und Lernziele. In: D. H. Rost, J. R. Sparfeldt, & S. R. Buch (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (5., überarbeitete und erweiterte Aufl., S. 467-473). Beltz Verlag.
- Wirth, J., Thillmann, H., Künsting, J., Fischer, H. E., & Leutner, D. (2008). Das Schülerexperiment im naturwissenschaftlichen Unterricht. Bedingungen der Lernförderlichkeit einer verbreiteten Lehrmethode aus instruktionspsychologischer Sicht. *Zeitschrift für Pädagogik*, 54, 361-375.

Danksagung

Dieses Forschungsprojekt ist Teil des Promotionskollegs „Metakognitives Monitoring in authentischen Lehr-/Lernkontexten im Schülerlabor (MeMo-akS)“ der Professional School of Education der Ruhr-Universität Bochum. Unser besonderer Dank geht an die Forschenden, die uns ihre Items für den Fachwissenstest zur Verfügung gestellt haben und an die Schülerinnen und Schüler und die Lehrkräfte, die an der Pilotierungsstudie sowie an der Pilotierung des Fachwissenstests mitgewirkt haben. Ohne diese Unterstützung wäre das Forschungsvorhaben bisher nicht umsetzbar gewesen.