

Auswirkung von Wahlfreiheit beim Experimentieren

Laura Sührig*, Roger Erb*, Holger Horz*, Albert Teichrew*, Mark Ullrich*, Jan Winkelmann⁺

*Goethe-Universität Frankfurt, ⁺ Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd
suehrig@physik.uni-frankfurt.de

Kurzfassung

Es ist eine anspruchsvolle Aufgabe, Fachunterricht nicht mehr an einer fiktiven Homogenität der Schüler*innenschaft auszurichten, sondern so zu gestalten, dass er allen Lernenden gerecht wird. Im Physikunterricht ist das Experimentieren ein wesentlicher Zugang, um Wissen oder Arbeitsweisen zu vermitteln. Damit Schüler*innen beim Experimentieren individuelle Lernwege vollziehen und ihren Lernprozess mitgestalten können, haben wir ein Unterrichtskonzept für inklusive Schüler*innenexperimente entwickelt, welches eine Wahl aus experimentellen Zugängen ermöglicht und damit individuellen Voraussetzungen und Interessen gerecht wird. Dieses Konzept wurde in Form einer Unterrichtseinheit an hessischen und thüringischen Schulen verschiedener Schulzweige evaluiert. In der zugehörigen Studie wird die Auswirkung der im Konzept verankerten Wahlfreiheit auf die Schüler*innen untersucht, sowie die Sichtweise der Lehrkräfte auf das Konzept in den Blick genommen. Die Gruppen mit Wahlfreiheit in der Experimentierphase zeigten eine signifikant bessere Entwicklung in der Subskala „Interesse und Vergnügen“ auf, beim „physikalischen Selbstkonzept“ profitierten eher die Gruppen ohne Wahl. Auch die Lehrkräfte bewerten die Unterrichtseinheit mit Wahlmöglichkeiten positiver im Hinblick auf „affektive Merkmale“ und „Differenzierung“.

1. Motivation und Hintergrund

Schüler*innenexperimente sind ein essentielles Element naturwissenschaftlicher Bildung (Committee on High School Science Laboratories: Role and Vision, 2004) und für viele Lehrkräfte ein zentraler Aspekt von Physikunterricht. Sie ermöglichen das Erleben von Phänomenen und das Kennenlernen naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen (Kircher et al., 2015). Es verwundert somit nicht, dass ein Großteil der Unterrichtszeit mit Experimentieren verbracht wird (Tesch & Duit, 2004).

Inklusive Schüler*innenexperimente sollten den Anforderungen von Lernenden mit unterschiedlichen Stärken, Schwächen, Interessen und Vorerfahrungen gerecht werden und ihnen die Möglichkeit geben, auf ihrem eigenen Weg zu lernen (Price et al., 2012). Eine Möglichkeit, dies zu erreichen, sind Wahlmöglichkeiten im Unterricht anzubieten: „One of the most powerful and effective ways of centering diversity, equity, and inclusion in our teaching is through student choice. We can let go of the idea that all classroom knowledge rests on teachers' shoulders, and instead consider students as co-creators in their own learning“ (Davis & Anderson, 2021).

In unserem Projekt haben wir daher den Vorschlag entwickelt, in der Experimentierphase verschiedene Zugänge in Form von fünf Experimentierformen anzubieten und die Schüler*innen selbst wählen zu lassen, welche Experimente sie machen wollen.

1.1. Universal Design for Learning

Das Angebot von Wahlmöglichkeiten findet sich sowohl im Kontext von Differenzierung (Krüger & Meyfarth, 2009) als auch im Universal Design für Learning (UDL). Letzteres ist ein etabliertes Framework zur Planung inklusiven Unterrichts. Der aus den USA stammende Ansatz verfolgt das Ziel, Lernumgebungen und Unterricht barrierefrei zu gestalten, sodass ein Zugang für alle Schüler*innen gewährleistet ist (Meyer et al., 2014). Das UDL besteht aus drei Prinzipien:

- Biete multiple Möglichkeiten der Förderung von Lernengagement.
- Biete multiple Mittel der Repräsentation von Informationen.
- Biete multiple Mittel für die Informationsverarbeitung und die Darstellung von Lernergebnissen.

Wir fokussieren in unserem Projekt das zweite Prinzip (b) in der ersten Zeile (siehe Abb. 1). Die Leitlinie dieser Zelle besagt „Biete Wahlmöglichkeiten bei der Perzeption“.

Diese Leitlinie lässt sich in zwei Bestandteile aufschlüsseln. Zum einen benennt sie multiple Mittel der Repräsentation, was bezogen auf das Experimentieren als Bereitstellung unterschiedlicher Experimentierformen übersetzt werden kann. Zum anderen enthält sie das Angebot von Wahlmöglichkeiten, was wir dahingehend interpretieren, dass Lernende aus verschiedenen Experimentierformen auswählen, welche sie bearbeiten möchten.

Biete multiple Mittel der Representation von Informationen.

Erkennungsnetzwerke
Das „WAS“ des Lernens

Biete Wahlmöglichkeiten bei der Perzeption. (1)

- Biete Möglichkeiten an, Informationsdarstellungen anzupassen. (1.1)
- Biete Alternativen für auditive Informationen an. (1.2)
- Biete Alternativen für visuelle Informationen an. (1.3)

Biete Wahlmöglichkeiten für Sprache und Symbole. (2)

- Biete Hilfestellung zur Klärung von Begriffen und Symbolen an. (2.1)
- Biete Hilfestellung zum Erkennen von Syntax und Textaufbau an. (2.2)
- Biete Hilfestellung beim Lesen geschriebener Texte u./o. mathematischer Formeln und Symbolen an. (2.3)
- Biete Möglichkeiten zur Nutzung von Kenntnissen in anderen Sprachen an. (2.4)
- Biete Möglichkeiten der nicht-sprachlichen Illustration von Schlüsselbegriffen an. (2.5)

Biete Wahlmöglichkeiten für das Verständnis. (3)

- Biete Möglichkeiten der Aktivierung oder Erarbeitung von Hintergrundinformationen an. (3.1)
- Biete Hilfen zum Hervorheben wichtiger Informationen, Leitideen oder Beziehungen an. (3.2)
- Biete Hilfen an, die eine systematische Informationsverarbeitung unterstützen. (3.3)
- Biete Hilfen an, die das Behalten und den Transfer unterstützen. (3.4)

Abb.1: Zweites Prinzip des UDL „Biete multiple Mittel der Repräsentation von Informationen“, Übersetzung von Martin Lüneberger.

2. Konzept

Die Umsetzung dieses UDL-Prinzips sieht in unserem Konzept wie folgt aus:

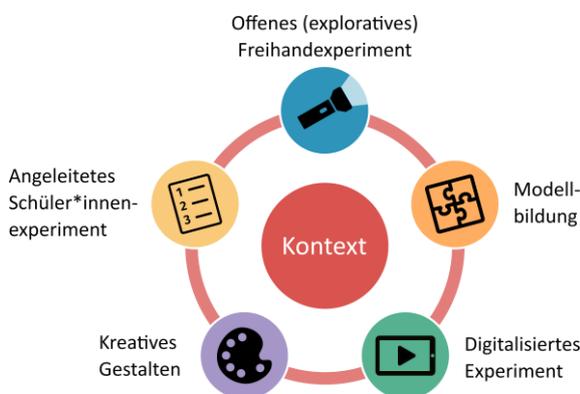


Abb.2: Konzept für die Experimentierphase.

Es werden fünf verschiedene Experimentierformen zu einem Kontext angeboten (siehe Abb. 2). Die Schüler*innen haben eine Wahl aus diesen. Der

Kontext wird Inhalt des jeweiligen Unterrichts, der sich wie ein roter Faden durch alle Phasen zieht.

Die angebotenen Experimentierformen (Überblick in Tab. 1) sollen unterschiedliche Zugänge zu dem Kontext anbieten und enthalten sowohl „klassische“, digitale und spielerische Formen des Experimentierens, die möglichst vielen Interessen und Vorlieben gerecht werden.

Tab. 1: Übersicht über die Experimentierformen.

| Experimentierform | Inhalt |
|---------------------------------------|--|
| Offenes Freihandexperiment | Schüler*innen forschen unter eigener Fragestellung mit bekannten Materialien. |
| Modellbildung | Schüler*innen arbeiten an einem interaktiven, experimentierfähigen Modell, um bei diesem Variablen zu verändern. |
| Digitalisiertes Experiment | Schüler*innen arbeiten mit einem interaktiven Experimentiervideo. |
| Kreatives Gestalten | Schüler*innen basteln und bauen zu Anwendungen des Kontextes. |
| Angeleitetes Schüler*innen-experiment | Schüler*innen experimentieren nach einer strukturierten Schritt-für-Schritt-Anleitung. |

Analogieexperimente wären eine weitere Experimentierform, die bewusst nicht in das Konzept integriert wurde, da es eher auf den Einsatz in der Sekundarstufe I fokussiert. Für einen Einsatz des Konzepts in der Oberstufe ist eine Erweiterung jedoch denkbar.

Das Konzept wurde in Form einer Unterrichtseinheit ausgestaltet, die in der Studie als Intervention eingesetzt wird.

3. Design und Durchführung

3.1. Hypothesen und erhobene Variablen

Die Studie hat zum Ziel, die Auswirkung von Wahlfreiheit auf bestimmte Schüler*innenvariablen zu untersuchen.

In der Literatur lässt sich eine empirisch gesicherte Auswirkung von Wahlfreiheit auf intrinsische Motivation identifizieren (Patall et al., 2008). Laut der Selbstbestimmungstheorie von Deci & Ryan beeinflusst Motivation positiv die Qualität des Lernens (Deci & Ryan, 1993). Qualität des Lernens ist durch eine Veränderung im Fachwissen messbar. Darüber hinaus lässt sich eine Wirkung von Wahlfreiheit auf die Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen vermuten, da eine bessere Passung zwischen Lerngegenstand und Lernendem erreicht wird. Zudem kann sich Wahlfreiheit auf das Selbstkonzept und die Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren

auswirken, da sich die Schüler*innen durch Wahlmöglichkeiten befähigt fühlen (Novak, 2016).

3.2. Studiendesign

Um die Wirkung von Wahlfreiheit beim Experimentieren zu evaluieren, werden zwei verschiedene Interventionen in Form von zwei Unterrichtseinheiten in einer Interventionsstudie mit Prä-Post-Design verglichen. Die Unterrichtseinheiten dienen als Beispiel für unser Konzept. Diese Interventionen sind jeweils Unterrichtseinheiten zum Kontext „Unsichtbarkeit“ von sog. Aquakugeln. Sie behandeln das Phänomen, dass Aquakugeln (aus dem Dekorationsbedarf) vermeintlich in Wasser verschwinden (siehe Abb. 3), was physikalisch mit dem Brechungsindex der beiden Stoffe zusammenhängt.



Abb.3: Aquakugeln verschwinden in Wasser. Oberes Foto: vor dem Befüllen, unteres Foto: nachher.

Beide Einheiten beginnen mit einer kurzen Instruktionsphase, die das Vorführen des „Unsichtbarwerdens“ der Aquakugeln sowie eine Hypothesensammlung dazu enthält, und schließen mit einer Plenumsphase ab, die die Experimentiererergebnisse mit Rückbezug auf die Hypothesen sammelt.

Die Einheiten unterscheiden sich nur in der Experimentierphase. Die Interventionsgruppe (INT) bekommt die Auswahl von zwei aus fünf Experimenten (siehe Tab. 2), die Vergleichsgruppe (VGL) macht zuerst das Freihandexperiment und danach das angeleitete Experiment. Diese Experimentierformen wurden für die Vergleichsgruppe ausgewählt, da sie die geläufigsten Experimentierformen repräsentieren, die im Regelunterricht am häufigsten vorkommen.

Tab. 2: Experimente der Unterrichtseinheit.

| Experimentierform | Experiment |
|--------------------------------------|---|
| Offenes Freihandexperiment | Untersuchung von Aquakugeln unter selbstgewählter Fragestellung |
| Modellbildung | Untersuchung eines Geo-Gebra-Modells einer Aquakugel |
| Digitalisiertes Experiment | Interaktives Experimentiervideo mit durchsichtigem Stab |
| Kreatives Gestalten | Herstellung von durchsichtigem Schleim |
| Angeleitetes Schüler*innenexperiment | Verschwindenlassen eines Reagenzglases |

Vor der Experimentierphase stellt die durchführende Lehrkraft die Experimente kurz vor, damit die Schüler*innen eine möglichst informierte Entscheidung treffen können. Für die Studie wäre es wünschenswert gewesen, wenn die Schüler*innen bereits im vorherigen Unterricht nach dem Konzept experimentiert hätten und ihnen die fünf Experimentierformen bereits bekannt gewesen wären. Das ist jedoch im Rahmen der Erhebung nicht möglich gewesen.

3.3. Testinstrument

Vor und nach den Unterrichtseinheiten füllten die Schüler*innen einen Fragebogen aus. Der Prätest besteht aus einem Fachwissenstest zur Lichtbrechung (adaptiert nach Weber et al., 2017), einer Skala zur Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen (aus dem SINUS-Transfer-Programm; Seidel, 2003), Skalen zum physikbezogenen Selbstkonzept (adaptiert nach Hoffmann et al., 1998) und zur Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren (Körner & Ihringer, 2016). Der Posttest enthält zusätzlich dazu die Kurzsкала intrinsische Motivation (Wilde et al., 2009) und die wahrgenommene Wahlfreiheit (Deci & Ryan, 2003), um festzustellen, ob die Schüler*innen der Interventionsgruppe die angebotene Wahlfreiheit wahrnehmen. Alle Skalen sind mit Ausnahme des Fachwissens (Single-Choice) Likert-skaliert.

3.4. Stichprobe

Für die Studie wurden Lehrkräfte zum einen über eine Fortbildung („Fortbildung zum inklusiven Experimentieren“ von September 2021 bis März 2022), zum anderen durch direkte Rekrutierung gewonnen. Insgesamt haben acht Lehrkräfte (davon vier aus der Fortbildung) mit 31 Klassen an der Studie teilgenommen.

Die Stichprobe besteht aus 518 „matched“ Datensätzen. „Matched“ bedeutet, dass die Schüler*innen sowohl den Prä- als auch den Posttest ausgefüllt haben. Für die weitere Analyse werden nur die gematchten Datensätze betrachtet, da nur bei diesen

Schüler*innen garantiert werden kann, dass sie an der Intervention vollständig teilgenommen haben.

Die Interventions- und Vergleichsgruppe waren von vergleichbarer Größe ($n_{INT} = 279$, $n_{VGL} = 239$).

Die Zuweisung zur Interventions- oder Vergleichsgruppe erfolgte nach dem Zufallsprinzip – es sei denn, die teilnehmenden Lehrkräfte gaben Präferenzen an.

Die Stichprobe unterscheidet sich in Klassenstufe, kognitiver Fähigkeit und Schulform. Zwei der teilnehmenden Klassen waren ausgewiesene Inklusionsklassen. In der Stichprobe sind vier Schulformen von der 6. bis zur 10. Klasse repräsentiert: Gymnasium, Realschule, Hauptschule und Integrierte Gesamtschule (IGS). Die 8. Klassen der Schulformen Gymnasium und Realschule sind in der Stichprobe am meisten vertreten, gefolgt von 7. Klassen Gymnasium und IGS. In der Interventionsgruppe überwiegen Gymnasialklassen, in der Vergleichsgruppe Realschulklassen. Begleitend zu den Schüler*innenfragebögen wurden zwei Skalen eines kognitiven Fähigkeitstest (Heller & Perleth, 2000) eingesetzt, der eine große Bandbreite an Fähigkeiten im Bereich der Wort- und Figurenanalogien in der Stichprobe zeigt.

4. Ergebnisse

4.1. Ergebnisse der Schüler*innenbefragung

Mit einer zweifaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) mit Messwiederholung wurde zunächst überprüft, ob sich die Werte der Gruppen durch die Intervention unterschiedlich verändern. Die Gruppen unterscheiden sich geringfügig in der Entwicklung des „physikbezogenen Selbstkonzepts“ (siehe Tab. 3) – dabei entwickelt sich die Vergleichsgruppe stärker.

Tab. 3: Ergebnisse zweifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung.

| Variable | p-Wert | Partielles η^2 |
|--|--------|---------------------|
| Fachwissen | .067 | .006 |
| Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen | .922 | .000 |
| Physikbezogenes Selbstkonzept | .040 | .009 |
| Selbstwirksamkeit beim Experimentieren | .287 | .002 |

Um die Skalen „intrinsische Motivation“ und „wahrgenommene Wahlfreiheit“ zu untersuchen, wurde eine einfaktorische ANOVA durchgeführt.

Es zeigt sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen bei der „wahrgenommenen Wahlfreiheit“: Die Interventionsgruppe schneidet signifikant besser ab als die Vergleichsgruppe. Somit scheint die Interventionsgruppe die Wahl, die sie hat, zu erkennen.

Es ist jedoch kein Unterschied zwischen den Gruppen in der allgemeinen intrinsischen Motivation zu sehen. Jedoch zeichnet sich in der Subskala „Interesse / Vergnügen“ ein signifikanter Unterschied ab (siehe Tab. 4): Die Interventionsgruppe mit Wahlmöglichkeit ist interessierter als die Vergleichsgruppe.

Tab. 4: Ergebnisse einfaktorische ANOVA.

| Variable | p-Wert | Partielles η^2 |
|--------------------------------|--------|---------------------|
| Intrinsische Motivation | .094 | .005 |
| <i>Interesse / Vergnügen</i> | .001 | .023 |
| <i>Wahrgenommene Kompetenz</i> | .667 | .000 |
| <i>Druck / Anspannung</i> | .543 | .001 |
| Wahrgenommene Wahlfreiheit | .001 | .018 |

4.2. Sichtweise der Lehrkräfte

Nach der Durchführung der Unterrichtseinheit wurden die Lehrkräfte als Follow-up mit einem qualitativen Fragebogen zu den Unterrichtseinheiten befragt.

Sie sollten jeweils den Ablauf der Unterrichtseinheiten (Interventions- und Vergleichs-Unterrichtseinheit) in der jeweiligen Klasse zuerst allgemein und dann im Hinblick auf verschiedene Aspekte einschätzen. Diese Aspekte bauen auf Kategorien auf, die wir in einer Vorstudie gefunden haben (Sührig et al., 2021).

Für die Analyse wurden die Aussagen der jeweiligen Kategorie als positiv, neutral oder negativ geratet. Für jede Kategorie wurde ein Score aus der Differenz zwischen positiven und negativen Aussagen geteilt durch die Gesamtanzahl der Antworten in der jeweiligen Kategorie errechnet.

Die in Tab. 5 dargestellten Ergebnisse basieren auf den von 27 Klassen zurückerhaltenen Bögen; es handelt sich somit um vorläufige Ergebnisse.

Es ist festzustellen, dass sich die Einschätzungen zu den jeweiligen Kategorien zwischen den Gruppen tendenziell ähnlich verhalten – es wurden somit die gleichen Kategorien eher positiv, neutral oder negativ bewertet. Große Unterschiede im Score sind in den Kategorien „affektive Merkmale“ und „Differenzierung“ zu finden, in denen wie erwartet (siehe Abschnitt 1.1 und 3.1) die Interventionsgruppe mehr positive Aussagen als die Vergleichsgruppe aufweist. Weiterhin ist ein äquivalenter Unterschied im Score der Kategorie „Inklusionsaspekte“ festzustellen, welcher jedoch auf die geringe Anzahl an Antworten (drei in der Interventionsgruppe und eine in der Vergleichsgruppe) zurückzuführen ist. Hervorzuheben ist auch, dass beim „Fachwissen“ der Score bei beiden Gruppen zwar ungefähr null ist, aber dieser sich

jeweils fast ausschließlich aus positiven und negativen Aussagen gebildet hat. Diese große Streuung zeigt, dass die Einschätzung zum Fachwissen stark von den individuellen Faktoren der Lehrkräfte und der jeweiligen Unterrichtssituation abhängt.

Tab. 5: Reflexionsscores der Lehrkräftebögen.

| Kategorie | INT | VGL |
|------------------------|------|-----|
| Affektive Merkmale | 1,0 | 0,7 |
| Sicherheit | 0,8 | 0,8 |
| Differenzierung | 0,7 | 0,4 |
| überfachl. Kompetenzen | 0,4 | 0,6 |
| Experimentierkompetenz | 0,0 | 0,2 |
| Unterrichtsqualität | 0,0 | 0,1 |
| Fachwissen | -0,1 | 0,0 |
| Inklusionsaspekte | -0,3 | 0,0 |

5. Diskussion und Ausblick

Wie in 3.1 dargelegt haben wir einen Einfluss von Wahlfreiheit auf die intrinsische Motivation, das Fachwissen, die Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen sowie das Selbstkonzept und die Selbstwirksamkeitserwartung erwartet.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass wir einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der Interventionsgruppe und der Vergleichsgruppe in Bezug auf „Interesse/Vergnügen“ mit kleinem Effekt und „wahrgenommene Wahlfreiheit“ mit kleinem Effekt festgestellt haben.

Das „Fachwissen“ und die „Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren“ wurden nicht davon beeinflusst, ob die Lernenden beim Experimentieren eine Wahl bekommen haben oder ob ihnen zwei Experimente vorgegeben wurden.

Beide Einheiten hatten keinen Einfluss auf die „Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen“.

Zudem lässt sich ein leichter Unterschied zwischen den Gruppen im „Selbstkonzept“ zugunsten der Vergleichsgruppe feststellen.

Die Studie weist darauf hin, dass Wahlfreiheit zu einem höheren Interesse beim Experimentieren führt, jedoch keinen Effekt auf den Fachwissenserwerb, die Einschätzung der Lehr-Lernbedingungen und die Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren hat. Auch die Lehrkräfte sehen die Interventions-Unterrichtseinheit positiver im Hinblick auf affektive Merkmale und Differenzierung. Um diese ersten Ergebnisse zu untermauern, sind weitere Erhebungen mit anderen Kontexten in der Intervention notwendig. Überraschend ist, dass die Gruppen ohne Wahlfreiheit nach der Unterrichtseinheit ein signifikant besseres physikbezogenes Selbstkonzept als die Gruppen aufweisen, die wählen durften. Ein Erklärungsansatz dafür kann in der Art der Experimente liegen. Die von

der Vergleichsgruppe durchgeführten Experimente stellen nur eine Teilmenge aller verfügbaren Experimente dar. Sie waren im Durchschnitt kognitiv weniger anspruchsvoll und es fehlte auch das kreative Gestalten, welches ein sehr beliebtes Experiment in der Interventionsgruppe war, das aufgrund seines eher spielerischen Ansatzes das Selbstkonzept der Schüler weniger verbessern dürfte.

Weitere Analysen sind erforderlich, um festzustellen, ob andere Faktoren wie Schulstufe, Schultyp, kognitive Fähigkeiten und die Lehrkraft die Ergebnisse beeinflussen haben. Diese Einflüsse prüfen wir in weiteren Regressionsanalysen.

6. Literatur

- Committee on High School Science Laboratories: Role and Vision. (2004). The role of practical work in the teaching and learning of science. In *America's Lab Report*. National Academy of Sciences.
- Davis, D., & Anderson, M. (2021, Juli 8). *Student Choice as a Vehicle for Diversity, Equity, and Inclusion*. ASCD. <https://www.ascd.org/el/articles/student-choice-as-a-vehicle-for-diversity-equity-and-inclusion>
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1993). Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. In *Zeitschrift für Pädagogik (DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation; Bd. 39, Nummer 2, S. 223–238)*. Beltz.
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2003). *Intrinsic Motivation Inventory*. <https://selfdeterminationtheory.org/intrinsic-motivation-inventory/>
- Heller, K., & Perleth, C. (2000). *Kognitiver Fähigkeitstest für 4. Bis 12. Klassen, Revision (KFT 4-12+R)*. Hogrefe.
- Hoffmann, L., Häussler, P., & Lehrke, M. (1998). *Die IPN-Interessenstudie Physik*. IPN.
- Kircher, E., Girwidz, R., & Häußler, P. (Hrsg.). (2015). *Physikdidaktik: Theorie und Praxis* (3. Auflage). Springer Spektrum.
- Körner, H.-D., & Ihringer, S. (2016). Selbstwirksamkeit beim Experimentieren – Mädchen und Jungen in den Naturwissenschaften. In C. Wiepcke & M. Kampshoff (Hrsg.), *Vielfalt geschlechtergerechten Unterrichts: Ideen und konkrete Umsetzungsbeispiele für die Sekundarstufen* (1. Aufl., S. 106–140). epubli.
- Krüger, D., & Meyfarth, S. (2009). Binnen—Kurzer Zeit—Differenzieren! In *Unterricht Biologie* (Bd. 33, Nummer 347/348, S. 2–10).
- Meyer, A., Rose, D. H., & Gordon, D. (2014). *Universal design for learning: Theory and practice*. CAST Professional Publishing, an imprint of CAST, Inc.

- Novak, K. (2016). *UDL now! A teacher's guide to applying universal design for learning in today's classrooms* (Revised&expanded edition). Cast Professional Publishing.
- Patall, E. A., Cooper, H., & Robinson, J. C. (2008). The effects of choice on intrinsic motivation and related outcomes: A meta-analysis of research findings. *Psychological Bulletin*, *134*(2), 270–300. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.134.2.270>
- Price, J. F., Johnson, M., & Barnett, M. (2012). Universal Design for Learning in the Science Classroom. In T. E. Hall, A. Meyer, & D. H. Rose (Hrsg.), *Universal design for learning in the classroom: Practical applications*. Guilford Press.
- Seidel, T. (Hrsg.). (2003). *Technischer Bericht zur Videostudie „Lehr-Lern-Prozesse im Physikunterricht“*. IPN.
- Sührig, L., Hartig, K., Teichrow, A., Winkelmann, J., Erb, R., Horz, H., & Ullrich, M. (2021). Experimente im inklusiven Physikunterricht: Was sagen Lehrkräfte? In S. Hundertmark, X. Sun, S. Abels, A. Nehring, R. Schildknecht, V. Serebet, & C. Lindmeier (Hrsg.), *Naturwissenschaftsdidaktik und Inklusion. 4. Beiheft zur Zeitschrift „Sonderpädagogische Förderung heute“* (S. 147–160). Beltz Juventa in der Verlagsgruppe Beltz.
- Tesch, M., & Duit, R. (2004). Experimentieren im Physikunterricht—Ergebnisse einer Videostudie. *ZfDN*, *10*, 51–69.
- Weber, J., Winkelmann, J., Erb, R., Wenzel, F., Ullrich, M., & Holger, H. (2017). Ein Fachwissenstest zur geometrischen Optik. In C. Maurer (Hrsg.), *Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis* (S. 107). Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Zürich 2016.
- Wilde, M., Bätz, K., Kovaleva, A., & Urhahne, D. (2009). Überprüfung einer Kurzsкала intrinsischer Motivation (KIM). *ZfDN*, *15*.

Förderung

Das Projekt „FINEX“ wird im Rahmen der gemeinsamen „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert.