

Die Natur der Naturwissenschaften im Schüler*innen-Labor Physik vermitteln

Matthias Ungermann*, Verena Spatz*

* Physikdidaktik, FB Physik, Technische Universität Darmstadt, Hochschulstraße 12, 64289 Darmstadt
matthias.ungermann@physik.tu-darmstadt.de

Kurzfassung

Die Natur der Naturwissenschaften (NOS) wird unter gesellschaftlichen und lernpsychologischen Gesichtspunkten als immer wichtigeres Bildungsziel angesehen. Darum wurde an der TU Darmstadt ein Schüler*innen-Labor Physik entwickelt, welches mithilfe des Ansatzes des forschend-entdeckenden Experimentierens die Vermittlung von NOS-Aspekten und der Variablenkontrollstrategie (VKS) in den Mittelpunkt stellt. Zudem wird dabei die aktuelle Forschung am Fachbereich adressatengerecht aufbereitet und vorgestellt. Zur Erfassung der Wirksamkeit des Labors wird eine Begleitstudie durchgeführt. Hierzu wurde ein Messinstrument pilotiert, welches auf dem Fragebogen von Kremer (2010) basiert und um eigene Items zur VKS erweitert wurde. Die Ergebnisse legen eine neue Skalenfindung zu den Items zu NOS nahe. Die Items zur VKS können aufgrund der Werte von Lösungswahrscheinlichkeit und Trennschärfe in der Studie eingesetzt werden.

1. Motivation

Neben dem Bildungsziel des „Lernens von Physik“ rückt das „Lernen über Physik“ (Jung, 1979; Niederer & Schecker, 1982), also das Lernen über die „Natur der Naturwissenschaften“ (NOS), in der aktuellen Bildungsdebatte immer mehr in den Fokus. Dieses Ziel beinhaltet im engeren Sinne bei naturwissenschaftlichen Lerngelegenheiten erkenntnis- und wissenschaftstheoretische Fragen (Kircher, Girwidz & Häußler, 2015), im weiteren Sinne allgemeine Strukturen sowie ethische und fachimmanente Grenzen (Klafki, 1963, 130 ff) zu thematisieren.

Die Forderung adäquater Vorstellungen von NOS als Bildungsziel einer durch MINT-Wissenschaften geprägten Gesellschaft (Euler, Schüttler & Hausmann, 2015; Höttecke, 2001, 2008; Kircher, Girwidz & Häußler, 2015; OECD, 2016; Pommeranz et al., 2016) zu verankern lässt sich leicht mit einem Hinweis auf die lernpsychologische Forschung erklären, die den Einfluss von epistemologischen Überzeugungen auf Lernprozesse und -ergebnisse vielfach zeigen konnte (Hofer & Pintrich, 2016). Dies ist nicht verwunderlich, da das Wissen über die Natur der Naturwissenschaften eine Schlüsselkompetenz zum Verständnis und Lernerfolg in Physik zu sein scheint (Hofer & Pintrich, 2016; Köller, Baumert & Neubrand, 2000).

Als Gelingensfaktoren gelten dabei die explizite anstelle der impliziten Instruktion von NOS (Abd-El-Khalick & Lederman, 2000) sowie die fundierte Auseinandersetzung mit authentischen Kontexten (Roth, 1995). Beides lässt sich im Regelunterricht, aber noch leichter in außerschulischen Lernorten, z.B. forschungsnahen Schülerlaboren, umsetzen. Denn neben der „Vermittlung eines zeitgemäßen Bildes“ (Euler, Schüttler & Hausmann, 2015, 762) ermöglichen

Schülerlabore eine „Begegnung mit moderner Naturwissenschaft und Technik durch erfahrungsbasierte Zugänge zu Prozessen der Forschung und Entwicklung.“ (Euler, Schüttler & Hausmann, 2015, 762). Darüber hinaus haben sie, bis auf wenige Ausnahmen (Uhlmann & Priemer, 2010), das Ziel implizit die Ansichten der Schüler*innen über die Natur der Naturwissenschaften positiv zu verändern.

Eine weitere Säule der Arbeit in Schülerlaboren ist das „Experimentieren, Forschen, Ausprobieren durch die Kinder und Jugendlichen [...]“. Dabei steht der Forschungsprozess im Mittelpunkt, der durch das entdeckende Experimentieren oder das geführte entdeckende Experimentieren gekennzeichnet ist.“ (Haupt et al., 2013, 3). Entsprechend Bruner (1970) sollen so für Physik typische Denk- und Arbeitsweisen sowie Persönlichkeitsentwicklung und Kommunikationsfähigkeit durch die unmittelbare Realitätserfahrung der Versuche und der authentischen Umgebung geschult werden. Ebenfalls können durch die Selbstständigkeit bei den Versuchen im Labor Problemlösetechniken und die Motivation der Schüler*innen sich mit (naturwissenschaftlicher) Forschung zu beschäftigen stark gefördert werden (Ausubel, 1974).

Daher erscheint „forschend und konstruierend-entwickelnd zu lernen [...] ein ebenso natürlicher wie authentischer Zugang zu Naturwissenschaften“ (Euler, Schüttler & Hausmann, 2015, 771). In diesem Zusammenhang gilt es allerdings aber auch den Schüler*innen eine korrekte Arbeitsmethodik, in diesem Fall der Variablenkontrollstrategie (VKS), zu vermitteln.

2. Schüler*innen-Labor Physik der TU Darmstadt

Im Schüler*innen-Labor Physik der TU Darmstadt wird untersucht, inwieweit sich in einem außerschulischen Lernort durch ein einmaliges Treatment adäquatere Vorstellungen der Schüler*innen zu NOS und der Arbeitsmethodik in den Naturwissenschaften vermitteln lassen. Die Fülle der Aspekte von NOS (McComas, 2002; Osborne et al., 2003) wird dazu entsprechend Schwartz et al. (2008) auf vier wesentliche Aspekte begrenzt. Diese entsprechen vier der sieben von Kremer (2010) bzw. der sechs von Ertl (2013) identifizierten Kategorien, nämlich Rechtfertigung von Wissen, Entwicklung von Wissen, Zweck der Naturwissenschaften und Kreativität der Naturwissenschaftler*innen.

Die Arbeitsmethodik in Naturwissenschaften, das bedeutet hier die VKS, wird entsprechend der Adaption des SDDS-Modells (Klahr & Dunbar, 2000) durch Hammann (2008) und Ehmer (2008) im Schüler*innen-Labor untersucht.

Konkret werden die Metakompetenzen jeweils zu einem bestimmten Thema explizit behandelt. Die Themen im Schüler*innen-Labor zeichnen sich dabei vor allem durch die gute inhaltliche Passung zur aktuellen Forschung am Fachbereich aus. So wird eine Analogie zu einem aktuellen Forschungsfeld gesucht und mit den Schüler*innen erkundet. Für die Schulklassen ist somit ein Tag im Schüler*innen-Labor ein Eintauchen in die aktuelle naturwissenschaftliche Forschung am Fachbereich Physik der TU Darmstadt.

Für die Phase des Experimentierens orientiert sich die Konzeption des Schüler*innen-Labors implizit an einer Adaption des Modellierungsprozesses des biologisch-mathematischen Problemlösens nach Schultz-Siatkowski (2012), um Aspekte des forschend-entdeckenden Lernens (Höttecke, 2010) und des SDDS-Modells von Dunbar und Klahr (2000) einfließen lassen zu können.

Dementsprechend wird den Schüler*innen der 7. bzw. 8. Jahrgangsstufe ein zentraler Forschungsanlass in Form einer Videobotschaft eines Professors zu Beginn eines Labortags präsentiert. Dieser spannt den thematischen Bogen von selbst erkundetem und selbst entdecktem Wissen zur aktuellen Forschung am Fachbereich Physik, so dass im Sinne des genetischen Lernens nach Wagenschein (2013) ein bruchloser Übergang von vorwissenschaftlichen Erfahrungen hin zur Physik ermöglicht wird. Ausgehend von

diesem Forschungsanlass entwickeln die Schüler*innen im ersten Teil des Labortags Hypothesen, um das Thema phänomenologisch fassen zu können. Diese Hypothesen überprüfen sie anschließend forschend-entdeckend in Kleingruppen. Ihre Ergebnisse stellen sie dann im Sinne einer „Postersession“ ihren Mitschüler*innen vor und entwickeln ausgehend von ihren Erkenntnissen neue zu überprüfende Hypothesen, welche in einer zweiten Experimentierphase getestet werden. Dieses Vorgehen betont die ständige Weiterentwicklung des Forschungsstands und das Wechselspiel von Experiment und Hypothese im Forschungsalltag – ein Aspekt der in der Schulpraxis oft übergangen wird. Für die Erkenntnisgewinnung der Schüler*innen steht dabei die Frage „Konnte die Hypothese bestätigt oder widerlegt werden? Oder kann anhand des Experiments keine Aussage darüber getroffen werden?“ im Vordergrund.

Nach der eigenständigen Erkundung des Forschungsfelds findet im zweiten Teil des Labortags ein Treffen mit Doktorand*innen des Fachbereichs statt. Diese sind Mitglieder der Forschungsgruppen, aus denen die Themen entlehnt werden, so dass die Schüler*innen die Chance haben ihre Erkenntnisse mit den Erfahrungen aus erster Hand abgleichen zu können. Dadurch ermöglicht die Gestaltung des Labortags, dass die Schüler*innen Ergebnisse und Forschungsmethoden, die sie vormittags erarbeitet haben, in der Forschung der Fachgruppen wiederentdecken und dabei an einem authentischen Lernort mit Forscher*innen in Kontakt kommen.

3. Forschungsfragen

Zur Messung der Wirksamkeit des Schüler*innen-Labors Physik an der TU Darmstadt erfolgt eine Begleitstudie. Dabei werden im Wesentlichen die beiden folgenden Fragen betrachtet:

- Wie ist die Entwicklung der Vorstellungen über die Natur der Naturwissenschaften und die Kompetenzen zur Variablenkontrollstrategie in den ersten beiden Lernjahren Physik?
- Welchen Einfluss darauf hat ein Besuch im Schüler*innen-Labor kurz nach dem Besuch und am Ende des Schuljahres?

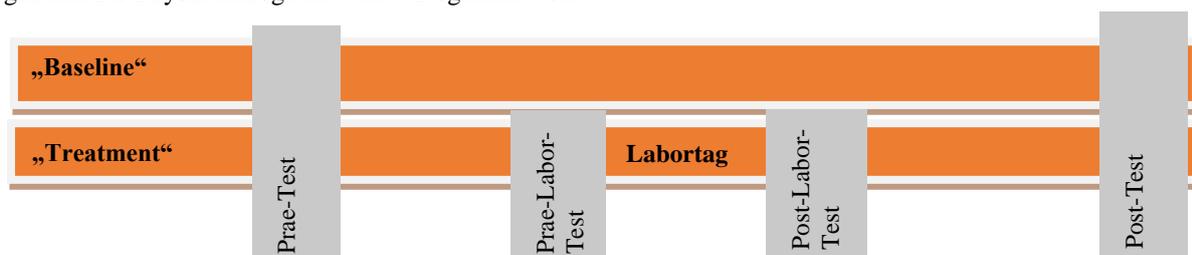


Abb. 1: Studiendesign der Begleitstudie zum Schüler*innen-Labor

4. Studiendesign und Messinstrument

Diese Forschungsfragen sollen in einer Längsschnittstudie beantwortet werden. Dementsprechend werden für die Studie zwei Gruppen untersucht:

Bei beiden Gruppen werden zu Beginn und am Ende des Schuljahrs die Vorstellungen des Schüler*innen über NOS und VKS erfasst wird.

Während eine Gruppe („Baseline“) nur den Regelunterricht erfährt, kommt eine zweite Gruppe („Treatment“) in das Schüler*innen-Labor. Bei dieser Gruppe wird zusätzlich direkt vor und nach der Teilnahme an einem Labortag eine weitere Erhebung durchgeführt (vgl. Abbildung 1).

Zur Erfassung der Vorstellungen über NOS wurde auf den von Kremer (2010) validierten Fragebogen zurückgegriffen. Kremer entwickelte theoriegestützt Items und konnte so sieben Kerndimensionen, nämlich Herkunft des Wissens, Sicherheit des Wissens, Entwicklung des Wissens, Rechtfertigung des Wissens, Einfachheit der Theorie, Zweck der Naturwissenschaften und Kreativität der Naturwissenschaftler*innen, identifizieren. Zur Messung wurde eine fünfstufige Likert-Skala (1 „stimmt gar nicht“, 2 „stimmt kaum“, 3 „stimmt teils-teils“, 4 „stimmt ziemlich“, 5 stimmt völlig“) eingesetzt.

Um den Lerninhalt und den zeitlichen Aufwand des Ausfüllens der Fragebögen an die Jahrgangsstufen 7 und 8 anzupassen, haben wir aus den sieben Kerndimensionen wiederum die vier Dimensionen Kreativität der Naturwissenschaftler*innen, Rechtfertigung des Wissens, Entwicklung des Wissens und Zweck der Naturwissenschaften ausgewählt, um sie im Schüler*innen-Labor zu vermitteln. Die Items zum Test des Verständnisses zur Variablenkontrollstrategie wurden an die Untersuchungen von Phan und Hamann (2008) sowie Ehmer (2008) angelehnt und entsprechend an physikalische Inhalte angepasst (vgl. Abbildung 2).

Experimente zum Erwärmen (1)

Andreas macht ein Experiment zur Erwärmung. Er verwendet dazu zwei Töpfe ohne Deckel und füllt in beide Töpfe 2 Liter Wasser. Er stellt Topf 1 auf einen Herd mit kleiner Hitze und Topf 2 auf einen Herd mit großer Hitze. Nach 5 Minuten misst er die Temperatur des Wassers in beiden Töpfen.

Warum macht Andreas dieses Experiment?

Kreuze die richtige Antwort an.

Weil er die Flüssigkeiten so schnell wie möglich erwärmen will.

Weil er vermutet, dass die Menge und die Art der Flüssigkeit die Erwärmung beeinflussen.

Weil er vermutet, dass die Hitze des Herds die Erwärmung beeinflusst.

Weil er vermutet, dass die Hitze des Herds und die Menge der Flüssigkeiten die Erwärmung beeinflussen.

Abb. 2: Beispielaufgabe zur VKS, hier: „Identifizieren von Hypothesen“

Es wurden acht Aufgaben (T1- T4 und K1- K4) erstellt, wobei jeweils vier das Identifizieren von Hypothesen (Aufgaben T1, T2, K1 und K2) und vier das Planen von Experimenten (Aufgaben T3, T4, K3 und K4) testen. Dabei sind die Aufgaben T4 und K4 komplexer und werden daher nicht wie die anderen Aufgaben mit 0 oder 1 Punkt, sondern mit bis zu 2 Punkten bewertet.

5. Ergebnisse und Diskussion

Die hier vorgestellten Ergebnisse dienen der Pilotierung des Messinstruments. Die Erhebung wurde am Ende des vergangenen und zu Beginn des aktuellen Schuljahres im Regelunterricht unter Anwesenheit einer Lehrkraft durchgeführt. Die selbstständige Bearbeitung des Fragebogens dauerte etwa 20 Minuten. An dieser Voruntersuchung nahmen 108 Schüler*innen (weiblich: 38, männlich: 68, o.A.: 2 | Klassenstufe 7: 32, Klassenstufe 8: 76 | gymnasial: 73, IGS/H&R: 18, o.A.: 17) teil.

5.1. Natur der Naturwissenschaften

Die Beurteilung der Items zu NOS erfolgt im Vergleich zu der Vorgängerstudie von Kremer. Betrachtet man hierbei die Reliabilitäten der Skalen (vgl. Tabelle 1) fällt auf, dass bei den Skalen Entwicklung, Kreativität und Zweck die hier vorgestellte Studie leicht höhere Werte erzielen. Allerdings ist die Reliabilität der Skala Rechtfertigung in dieser Studie etwas schlechter als bei Kremer.

Mithilfe der erhobenen Daten wurde eine konfirmatorische Faktorenanalyse durchgeführt. Mit der Annahme von vier latenten Faktoren, entsprechend den Skalen von Kremer, ergab sich allerdings für die gesamte Stichprobe eine nicht positive Kovarianzmatrix. Eine Betrachtung der Kovarianzmatrix legt die Vermutung einer verborgenen Linearität zwischen der Skala Rechtfertigung und den anderen Skalen nahe, was sich mit den Reliabilitäten der Skalen in Einklang bringen lässt.

Topf 1



2 Liter, Wasser, kein Deckel, kleine Hitze

Topf 2



2 Liter, Wasser, kein Deckel, große Hitze

Skala	Itembeispiel	Itemanzahl	Cronbachs Alpha (Kremer)	Cronbachs Alpha (Schüler*innen-Labor)
Entwicklung	Manchmal verändern sich die Vorstellungen in den Naturwissenschaften.	8	.71	.74
Kreativität	Naturwissenschaftliches Wissen ist auch ein Ergebnis menschlicher Kreativität.	5	.54	.58
Rechtfertigung	In den Naturwissenschaften kann es mehrere Wege geben, um Vorstellungen zu überprüfen.	9	.71	.67
Zweck	Naturwissenschaftler führen Experimente durch, um neue Entdeckungen zu machen.	5	.62	.67

Tab. 1: Reliabilitäten der Skalen zu NOS im Vergleich zur Vorgängerstudie und der hier vorgestellten Pilotierung

Aufgrund der unbefriedigenden Ergebnisse der konfirmatorischen Faktorenanalyse wurde anschließend eine explorative Faktorenanalyse nach der Hauptkomponentenmethode mit Varimax-Rotation durchgeführt. Ein Scree-Test nach Cattell (1966) unterstützt die theoretische Vorhersage, dass die Items sich in vier Skalen zusammenfassen lassen. Dies Skalen unterscheiden sich jedoch zum Teil stark von der Einteilung von Kremer.

Im Vergleich zwischen der hier vorgestellten Studie und Kremer fällt neben der höheren aufgeklärten Gesamtvarianz (Kremer: 33%; vorgestellte Stichprobe: 43%) auch der Unterschied zwischen den Gesamtreliabilitäten (Kremer: .84, vorgestellte Stichprobe: .78) auf. Dieser könnte jedoch über die unterschiedliche Anzahl der verwendeten Items erklärt werden.

Die Auswertung der Pilotierung der Items zu NOS impliziert also, dass eine neue Skalenfindung für den verwendeten Fragebogen sinnvoll scheint.

5.2. Variablenkontrollstrategie

Zur Auswertung der Aufgaben zur VKS wurde ebenfalls zunächst eine konfirmatorische Faktorenanalyse durchgeführt. Hier wurden aufgrund der theoretischen Konstruktion der Aufgaben zwei latente Faktoren, nämlich „Identifizieren von Hypothesen“ und „Planen von Experimenten“, angenommen. Dabei ergab sich ein komparativer Anpassungsindex (CFI) von 1.000 bei einer Approximationsdiskrepanzwurzel (RMSEA) von 0.000 und einer standardisierten Residualdiskrepanzwurzel (SRMR) von 0.055. Damit entspricht nach Hu und Bentler (Hu & Bentler, 1999) und Browne und Cudeck (Browne & Cudeck, 2016) die Einteilung der Aufgaben sehr gut dem Modell.

Die Gesamtreliabilität dieses Teils des Tests lag bei .84. Eine explorative Faktorenanalyse bestätigt die Einteilung der Aufgaben in die zwei Faktoren und ergab eine aufgeklärte Gesamtvarianz von 62,1%. Die Reliabilitäten der beiden Skalen sind mit .64 und .80 ebenfalls akzeptabel.

Betrachtet man die Lösungswahrscheinlichkeiten der Aufgaben so liegen bis auf die Aufgabe T3 allen zwischen 20% und 80% (vgl. Tabellen 2 und 3). Die

Trennschärfen sind durchweg größer als .30. Dementsprechend können die Aufgaben zur VKS (Lienert, 1989) im Messinstrument eingesetzt werden.

Items „Identifizieren von Hypothesen“	Lösungswahrscheinlichkeit (Standardfehler)	Trennschärfe
T1	63 % (.047)	.36
T2	75 % (.042)	.47
K1	58 % (.048)	.31
K2	66 % (.046)	.57
Cronbachs Alpha	.64	

Tab. 2: Lösungswahrscheinlichkeiten und Trennschärfen der Aufgaben zum „Identifizieren von Hypothesen“.

Items „Planen von Experiment“	Lösungswahrscheinlichkeit (Standardfehler)	Trennschärfe
T3	81 % (.038)	.60
T4	63 % (.077)	.68
K3	80 % (.039)	.68
K4	73 % (.081)	.73
Cronbachs Alpha	.80	

Tab. 3: Lösungswahrscheinlichkeiten und Trennschärfen der Aufgaben zum „Planen von Experimenten“

6. Fazit

Zusammengefasst kann festgehalten werden, dass die TU Darmstadt ein Schüler*innen-Labor konzipiert und in Betrieb genommen hat, das den Ansatz des forschend-entdeckenden Experimentierens mit der Vermittlung der aktuellen Forschung vereint. Ziel des Schüler*innen-Labors ist neben der Vorstellung des Fachbereichs vor allem die Vermittlung ausgewählter Aspekte von NOS und der VKS. Die Wirksamkeit des Labors wird mithilfe einer Begleitstudie untersucht.

Die hier dargestellten Ergebnisse umfassen die Ergebnisse der Pilotierung des in der Begleitstudie eingesetzten Messinstruments.

Im Hinblick auf die Skalen zu NOS bleibt festzustellen, dass in der vorliegenden Stichprobe die NOS Items sich nicht in die Skalen von Kremer einordnen lassen. Eine explorative Faktorenanalyse legt neue Skalenfindung nahe. Dies soll nun in einer größeren Stichprobe weiter untersucht werden.

Die Aufgaben zur VKS bilden die beiden vorgegebenen Kategorien „Identifizieren von Hypothesen“ und „Planen von Experimenten“ ab. Zudem entsprechen sie in den Lösungswahrscheinlichkeiten und Trennschärfen den von Lienert (1989) geforderten Kriterien zur Testentwicklung. Sie können daher zur Erfassung der Vorstellungen der Schüler*innen zur VKS eingesetzt werden.

7. Literatur

- Abd-El-Khalick, F. & Lederman, N.G. (2000). Improving science teachers' conceptions of nature of science. A critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 22(7), 665–701.
- Ausubel, D.P. (1974). *Psychologie des Unterrichts*, Weinheim: Beltz.
- Browne, M.W. & Cudeck, R. (2016). Alternative Ways of Assessing Model Fit. *Sociological Methods & Research*, 21(2), 230–258.
- Bruner, J. (1970). Gedanken zu einer Theorie des Unterrichts. In Dohmen, G. (Hrsg.), *Unterrichtsforschung und didaktische Theorie. Texte* (S. 188–218). München: Piper.
- Cattell, R.B. (1966). The Scree Test For The Number Of Factors. *Multivariate behavioral research*, 1(2), 245–276.
- Ehmer, M. (2008). *Förderung von kognitiven Fähigkeiten beim Experimentieren im Biologieunterricht der 6. Klasse*. Kiel, Christian-Albrechts-Universität, Diss., 2008. Universitätsbibliothek Kiel.
- Ertl, D. (2013). Sechs Kernaspekte zur Natur der Naturwissenschaft. *Plus Lucis: Mitteilungsblatt des Vereins zur Förderung des Physikalischen und Chemischen Unterrichts und des Fachausschusses LHS der Österreichischen Physikalischen Gesellschaft*(1-2), 16–20.
- Euler, M., Schüttler, T. & Hausamann, D. (2015). Schülerlabore. Lernen durch Forschen und Entwickeln. In Kircher, E., Girwidz, R. & Häußler, P. (Hrsg.), *Physikdidaktik* (S. 759–782). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Hammann M., Phan T.H., Bayrhuber H. (2008). Experimentieren als Problemlösen: Lässt sich das SDDS- Modell nutzen, um unterschiedliche Dimensionen beim Experimentieren zu messen? In Prenzel, M., Gogolin, I. & Krüger, H.-H. (Hrsg.), *Kompetenzdiagnostik. Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden.
- Haupt, O., Domjahn, J., Martin, U., Skiebe-Corrette Petra, Vorst, S. & Hempelmann, R. (2013). Schülerlabor - Begriffsschärfung und Kategorisierung. *LeLa magazin*(Ausgabe 5), 2–4.
- Hofer, B.K. & Pintrich, P.R. (2016). The Development of Epistemological Theories. Beliefs About Knowledge and Knowing and Their Relation to Learning. *Review of Educational Research*, 67(1), 88–140.
- Höttecke, D. (2001). Die Vorstellungen von Schülern und Schülerinnen von der "Natur der Naturwissenschaften". *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*(7), 7–23.
- Höttecke, D. (2008). D. (2008), Was ist Naturwissenschaft. Physikunterricht über die Natur der Naturwissenschaften. in: *Naturwissenschaften im Unterricht – Physik 103/2010*, S. 4-12. *Naturwissenschaften im Unterricht – Physik*(103/2010), 4–12.
- Höttecke, D. (Hrsg.) (2010). *Forschend-entdecken des Lernen*, Seelze, Stuttgart: Friedrich; Klett.
- Hu, L.-t. & Bentler, P.M. (1999). Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis. Conventional criteria versus new alternatives. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, 6(1), 1–55.
- Jung, W. (1979). *Aufsätze zur Didaktik der Physik und Wissenschaftstheorie*, Frankfurt am Main, Berlin, München: Diesterweg.
- Kircher, E., Girwidz, R. & Häußler, P. (Hrsg.) (2015). *Physikdidaktik*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Klafki, W. (1963). *Studien zur Bildungstheorie und Didaktik*, Weinheim/Bergstr.: Beltz.
- Klahr, D. & Dunbar, K. (2000). *Exploring science. The cognition and development of discovery processes*, Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Köller, O., Baumert, J. & Neubrand, J. (2000). Epistemologische Überzeugungen und Fachverständnis im Mathematik- und Physikunterricht. In Baumert, J., Bos, W. & Lehmann, R. (Hrsg.), *Mathematische und physikalische Kompetenzen am Ende der gymnasialen Oberstufe* (S. 229–269). Opladen: Leske + Budrich.
- Kremer, K.H. (2010). *Die Natur der Naturwissenschaften verstehen*. Kassel, Univ., Diss., Kassel: Universitätsbibliothek Kassel.
- Lienert, G.A. (1989). *Testaufbau und Testanalyse*, München: Psychologie-Verl.-Union.
- McComas, W.F. (Hrsg.) (2002). *The Nature of Science in Science Education. Rationales and Strategies*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

- Niedderer, H. & Schecker, H. (1982). Ziele und Methodik eines wissenschaftstheoretisch orientierten Physikunterrichts. In , *Der Physikunterricht. PU* (Band 2) (S. 58–71). Seelze.
- Osborne, J., Collins, S., Ratcliffe, M., Millar, R. & Duschl, R. (2003). What ideas-about-science should be taught in school science? A Delphi study of the expert community. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(7), 692–720.
- (2016). *PISA 2015 assessment and analytical framework. Science, reading, mathematics and financial literacy*, Paris: OECD Publishing.
- Pommeranz, H.-P., Dittmer, F., Kaminski, E., Schülbe, R. & Talanow, M. (2016). Fachlehrplan Gymnasium - Physik. https://www.bildungs-lsa.de/pool/RRL_Lehrplaene/Erprobung/Gymnasium/FLP_Gym_Physik_LTn.pdf?rl=106 (7.8.2018).
- Roth, W.-M. (1995). *Authentic School Science*, Dordrecht: Springer Netherlands.
- Schultz-Siatkowski, A. & Elster, D. (2012). Experimentieren als biologisch-mathematisches Problemlösen -ein Modellierungsprozess -Projektskizze. *Erkenntnisweg Biologie*(11), 71–86.
- Schwartz, R., Lederman, N. & Lederman, J. (2008). An Instrument To Assess Views Of Scientific Inquiry: The VOSI Questionnaire, Baltimore, MD: Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science.
- Uhlmann, S. & Priemer, B. (2010). Das Experiment in Schule und Wissenschaft - ein „Nature of Science“ - Aspekt explizit in einem Projekt im Schülerlabor. *PhyDid B - Didaktik der Physik*.
- Wagenschein, M. (2013). *Verstehen lehren. Genetisch, sokratisch, exemplarisch*, Weinheim: Beltz.