

Knoth, Saskia

Alternativen beim Experimentieren – Transformation von Hilfestellungen durch den Einsatz digitaler Medien

Egger, Christina [Hrsg.]; Neureiter, Herbert [Hrsg.]; Peschel, Markus [Hrsg.]; Goll, Thomas [Hrsg.]: In Alternativen denken. Kritik, Reflexion und Transformation im Sachunterricht. Bad Heilbrunn : Verlag Julius Klinkhardt 2024, S. 146-154. - (Probleme und Perspektiven des Sachunterrichts; 34)



Quellenangabe/ Reference:

Knoth, Saskia: Alternativen beim Experimentieren – Transformation von Hilfestellungen durch den Einsatz digitaler Medien - In: Egger, Christina [Hrsg.]; Neureiter, Herbert [Hrsg.]; Peschel, Markus [Hrsg.]; Goll, Thomas [Hrsg.]: In Alternativen denken. Kritik, Reflexion und Transformation im Sachunterricht. Bad Heilbrunn : Verlag Julius Klinkhardt 2024, S. 146-154 - URN: urn:nbn:de:0111-pedocs-290021 - DOI: 10.25656/01.29002; 10.35468/6077-13

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-pedocs-290021>

<https://doi.org/10.25656/01.29002>

in Kooperation mit / in cooperation with:



<http://www.klinkhardt.de>

Nutzungsbedingungen

Dieses Dokument steht unter folgender Creative Commons-Lizenz: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.de> - Sie dürfen das Werk bzw. den Inhalt unter folgenden Bedingungen vervielfältigen, verbreiten und öffentlich zugänglich machen sowie Abwandlungen und Bearbeitungen des Werkes bzw. Inhaltes anfertigen: Sie müssen den Namen des Autors/Rechteinhabers in der von ihm festgelegten Weise nennen. Dieses Werk bzw. der Inhalt darf nicht für kommerzielle Zwecke verwendet werden. Die neu entstandenen Werke bzw. Inhalte dürfen nur unter Verwendung von Lizenzbedingungen weitergegeben werden, die mit denen dieses Lizenzvertrages identisch oder vergleichbar sind. Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use

This document is published under following Creative Commons-Licence: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.en> - You may copy, distribute and transmit, adapt or exhibit the work in the public and alter, transform or change this work as long as you attribute the work in the manner specified by the author or licensor. You are not allowed to make commercial use of the work. If you alter, transform, or change this work in any way, you may distribute the resulting work only under this or a comparable license.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.



Kontakt / Contact:

peDOCS
DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation
Informationszentrum (IZ) Bildung
E-Mail: pedocs@dipf.de
Internet: www.pedocs.de

Mitglied der


Leibniz-Gemeinschaft

Saskia Knoth

Alternativen beim Experimentieren – Transformation von Hilfestellungen durch den Einsatz digitaler Medien

The study focuses on the conditions for the successful use of digital media in the context of the experimental process. It examines the extent to which differently varied, medially implemented learning support has a lasting influence on content-related knowledge growth and experimental competence. The implementation of the support varies at the different levels of the SAMR model (Puentedura 2006).

1 Einleitung

Für den naturwissenschaftlichen Unterricht in der weiterführenden Schule konnte bereits ein positiver Effekt des Einsatzes digitaler Werkzeuge auf die Lernleistung der Schülerinnen und Schüler nachgewiesen werden (Hillmayr, Ziernwald, Reinhold, Hofer & Reiss 2020). Inwiefern dieser positive Effekt digitaler Werkzeuge auf die Lernleistung auch für das naturwissenschaftliche Lernen von Grundschülerinnen und Grundschulern angenommen werden kann, wurde bisher kaum systematisch erhoben (Stegmann 2020). Dabei kommt dem Einsatz digitaler Lernwerkzeuge in verschiedener Weise eine positive Auswirkung zu, bspw. hinsichtlich der kognitiven Aktivierung oder durch das Anregen problem-lösender, konstruktiver und kooperativer Prozesse zu (ebd.).

2 Digitale Medien als unterstützendes System beim Experimentieren im naturwissenschaftlichen Sachunterricht

Experimentieren gilt als eine der zentralen Methoden der Erkenntnisgewinnung und -vermittlung im Sachunterricht der Grundschule (GDSU 2013). Experimentieren kann aber als Methode verschiedene Schwierigkeiten für Grundschülerinnen und -schüler aufweisen (u. a. Baur 2018; Grube 2010; Hammann, Phan, Ehmer & Bayrhuber 2006). Diese Schwierigkeiten, welche sich den unterschiedlichen Phasen des Experimentierens zuordnen lassen (s. u. a. Hammann et al. 2006),

bedürfen verschiedener Unterstützungen im Unterricht. Potential für eine solche Lernunterstützung bietet unter anderem der Einsatz digitaler Medien.

Der Einsatz digitaler Medien zur Unterstützung des Lernens muss dabei ebenso wie der Einsatz analoger Medien auf die Wirksamkeit hinsichtlich des Zuwachses von Wissen und weiteren Kompetenzen untersucht werden. Es ist nicht grundsätzlich davon auszugehen, dass sich durch den Einsatz digitaler Medien bspw. ein adaptiverer Unterricht erreichen lässt als mit analogen Medien. „Vielmehr dürfte es auf die Funktionen und Möglichkeiten ankommen, die die digitalen Werkzeuge bieten, und auf deren Nutzung durch Lernende und Lehrkräfte.“ (Lipowsky 2020, 99). Die Einordnung des Einsatzes digitaler Medien hinsichtlich der verschiedenen Möglichkeiten und Funktionen ist dabei auch für Lehrkräfte aufgrund der Komplexität nicht trivial. Ein Modell, welches sich aus diesem Grund in den Schulen großer Popularität erfreut, ist das SAMR-Modell (Puentedura 2006). Dieses ermöglicht eine erste Einordnung hinsichtlich eines funktionalen Mehrwerts der digitalen Medien für den Unterricht (Baz, Balçıkanlı, & Cephe 2018). Die Abkürzung SAMR steht dabei für die einzelnen Stufen (Substitution, Augmentation, Modification, Redefinition). Mit Steigerung der Stufe von S bis R verbindet Puentedura auch die Annahme, dass der pädagogische Nutzen und die Qualität des Einsatzes digitaler Medien erhöht wird (Puentedura 2006). Während auf der Stufe der Substitution noch die reine „Ersetzung“ des analogen Mediums durch ein digitales Äquivalent erfolgt, geht Puentedura (2006) in der höchsten Stufe, der Redefinition, von einem neuartigen Medieneinsatz aus, der analog nicht umsetzbar ist.

Einfluss könnten die unterschiedlichen Umsetzungen in den verschiedenen Potenzialen digitaler Medien haben, also auf den Ebenen der Lernmotivation, des Erkenntnisgewinns und des Lernergebnisses.

Nach konstruktivistischer Auffassung stellt die *Motivation* einen besonders bedeutsamen Faktor des Lernens dar (Krapp 1993). Intrinsische Lernmotivation ist dabei besonders förderlich und kann durch die Befriedigung der grundlegenden menschlichen Bedürfnisse („basic human needs“) „Autonomie oder Selbstbestimmung, Kompetenz oder Wirksamkeit, soziale Eingebundenheit“ erreicht werden (Deci & Ryan 1993). Gerade das Experimentieren an sich motiviert die Lernenden bereits stark intrinsisch (Waldenmaier, Müller, Köster & Körner 2015), wobei insbesondere das selbstbestimmte Experimentieren das Interesse erhöhen kann (ebd.). Die Motivation, welche die Lernenden beim Experimentieren empfinden, scheint durch die Herausforderung zu entstehen, das Experiment erfolgreich zu bewältigen; der naturwissenschaftliche Hintergrund hingegen scheint irrelevant („Leistungsmotivation statt Sachinteresse“, Mézes 2016).

Es zeigte sich, dass beim Einsatz digitaler Medien eine erhöhte Motivation und Konzentrationsfähigkeit nachgewiesen werden konnte (BITKOM 2011; Herzig 2014) die jedoch nur durch eine veränderte Lernkultur (u. a. Steigerung der

Adaptivität des Unterrichts, individuelle Rückmeldungen, Unterstützung des selbstgesteuerten Lernens) auch über einen längeren Zeitraum verbleibt (siehe BITKOM 2011; Eickelmann, Schulz-Zander & Gerick 2009). Für den Einsatz digitaler Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht konnte gezeigt werden, dass die Schülerinnen und Schüler bessere Leistungen aufweisen und motivierter sind (Hillmayr, Reinhold, Ziernwald, & Reiss 2017). Als Nebeneffekt zeigt sich eine Verbesserung der generellen Einstellung der Schülerinnen und Schüler zu MINT-Fächern, die Arbeit mit iPads fördert zudem die intrinsische Motivation (Genz & Bresges 2017). Da die Motivationssteigerung durch digitale Medien maßgeblich von der Gestaltung des Unterrichts mit diesen digitalen Medien abhängt (Hillmayr et al. 2017), stellt sich die Frage, welchen Einfluss der unterschiedliche Medieneinsatz auf den verschiedenen Stufen des SAMR-Modells (Puentedura 2006) hat.

Auf der Ebene der *Erkenntnisgewinnung* im Lernprozess zeigt sich, dass Experimentieren keinesfalls selbsterklärend ist und es vielfältiger Kompetenzen und zentraler Arbeitsweisen auf Seiten der Schülerinnen und Schüler bedarf (Haider & Fölling-Albers 2013; Haider & Munser-Kiefer 2019). Beim Experimentieren baut sich experimentelle Kompetenz auf (Schecker, Neumann, Theyßen, Eickhorst & Dickmann 2016). Eine Förderung experimenteller Kompetenzen ist bereits im Grundschulalter sinnvoll und wird für möglich erachtet (Chen & Klahr 1999; Lawson & Wollman 1976). Zu klären bleibt die Frage, inwieweit experimentelle Kompetenz gefördert werden kann.

Auf der Ebene der *Lernergebnisse* dient Unterricht unter anderem dem Aufbau von Wissen (Terhart 2004). Gemessen wird dies am Wissenszuwachs. Dieser lässt sich durch kognitive Aktivierung und inhaltliche Strukturierung unterstützen (Hardy & Einsiedler 2010). Daraus ergibt sich die Frage, inwiefern der Erkenntnisgewinn beim Experimentieren durch den Einsatz digitaler Medien unterstützt werden kann.

3 Methode

Im Rahmen dieses Artikels sollen die Fragestellungen beantwortet werden, *inwiefern unterschiedliche digitale Umsetzungen Schülerinnen und Schüler der dritten Jahrgangsstufe beim Experimentieren hinsichtlich des Wissenszuwachses, der motivationalen Ausprägung und des Zuwachses der experimentellen Kompetenz unterstützen können*. Außerdem wird geklärt, *inwiefern durch das Aufsteigen der Unterstützungsmaßnahmen in den Ebenen des SAMR-Modells eine Verbesserung hinsichtlich des Erfolgs der Lernunterstützung erreicht werden kann*.

3.1 Design und Stichprobe

Zur Beantwortung der Fragestellungen wird ein Teil einer Studie ausgewertet, die als quantitative Interventionsstudie mit quasiexperimentellem Cross-Over-Design (Wirtz 2020) mit Kontrollgruppe angelegt wurde. Erhoben wurden die abhängigen Variablen Wissenszuwachs, motivationale Ausprägung und Zuwachs der experimentellen Kompetenz sowie deren Veränderung durch einen digital unterstützten Unterricht. Für die Fragestellungen wird der Einfluss dieser Variation auf die abhängigen Variablen geprüft.

Insgesamt haben an der Studie 243 Schülerinnen und Schüler des dritten Schuljahrs teilgenommen. Nach einer Vorentlastung des Medieneinsatzes arbeiteten die Teilnehmenden in vier Unterrichtseinheiten mit je einem Experiment zum Themenkomplex Hebel. Thematisch wurden die Experimente so gewählt, dass sie zwar inhaltlich eng beieinander liegen, die Inhalte aber dennoch deutlich voneinander unabhängig abgebildet werden können. Die Unterrichtsphasen der gemeinsamen Einführung und Zusammenführung am Ende wurden bewusst kurzgehalten, sodass die zentrale und dominante Unterrichtsphase die Arbeit am Experiment darstellt. Für die vorliegende Fragestellung wurde die digitale Lernumgebung orientiert am SAMR-Modell variiert. Zusätzlich wurden Daten einer Kontrollgruppe erhoben, welche mit einer rein-analogen Lernumgebung gearbeitet hat.

Das Cross-Over-Design bietet die Möglichkeit der Stichprobenvergrößerung: so arbeiteten die Schülerinnen und Schüler in jeder Unterrichtsstunde mit einer anderen digitalen oder auch analogen Lernumgebung. Dadurch ergibt sich für jeden Schüler, jede Schülerin in jeder Unterrichtsstunde ein anderer Wert der abhängigen Variable, mit welcher im Folgenden gerechnet werden kann.

Zur Beantwortung der Fragestellung wurden die unabhängigen Variablen Unterrichtsstunde und Medium dummykodiert, sodass mit folgender Stichprobengröße gerechnet werden konnte.

Tab. 1: Stichprobengröße der unabhängigen Variablen

Unabhängige Variablen			
Experiment		Medium	
	N		N
Unterrichtsstunde 1	243	Stufe S	183
Unterrichtsstunde 2	243	Stufe A	194
Unterrichtsstunde 3	243	Stufe M	211
Unterrichtsstunde 4	243	Stufe R	187
		analog	197

3.2 Messinstrumente

Für die Betrachtung der hier dargestellten Fragestellung wurden folgende Messinstrumente adaptiert, validiert und schließlich verwendet:

- Vier unabhängige Wissenstests zu den Themen der einzelnen Unterrichtsstunden („einarmiger Hebel“, „zweiarmiger Hebel“, „Gleichgewicht“ und „Schwerpunkt“, adaptiert aus dem DFG-Projekt von Lohrmann & Hartinger nach Schwelle 2016)
- Tests zur Erhebung der experimentellen Kompetenz (adaptiert nach Konsortium HarmoS Naturwissenschaften+ 2010, demnach wird experimentelle Kompetenz immer in konkreten inhaltlichen Situationen gezeigt und kann daher nicht losgelöst von den Inhalten erhoben werden)
- Erhebung der intrinsischen Motivation durch die Kurzskaala Intrinsische Motivation (KIM-Skala – Wilde, Bätz, Kovaleva, & Urhahne 2009)

4 Ergebnisse

Um die Ergebnisse der hier zu beantwortenden Fragestellungen einschätzen zu können, soll kurz auf die Ergebnisse einer vorhergehenden Auswertung im Rahmen des Gesamtprojekts Bezug genommen werden: So konnte bereits festgestellt werden, dass alle Schülerinnen und Schüler unabhängig von einer digitalen oder analogen Unterstützung hinsichtlich des Zuwachses von Wissen in allen vier Unterrichtsstunden profitieren konnten (Knoth 2023). Für den Zuwachs der experimentellen Kompetenz ergab sich in den einzelnen Unterrichtsstunden, unabhängig einer Zuordnung zu analoger und digitaler Unterstützung, ein weniger homogenes Bild, sodass hier eine weitere Untersuchung der Daten notwendig war (ebd.).

Für die erste formulierte Fragestellung wurde nach der Prüfung der Voraussetzungen multiple lineare Regressionen mit den unabhängigen Variablen Unterrichtsstunde und Medium berechnet.

Im Rahmen der Ergebnisse dieser Interventionsstudie kann nicht von einem einheitlichen Bild bezüglich der Umsetzung von Lernunterstützungen mit digitalen Medien ausgegangen werden. Stattdessen muss aufgrund der teilweise nicht signifikanten Interaktions- und auch Haupteffekte von einem heterogenen Bild der Ergebnisse ausgegangen werden. Für die fünf unterschiedlichen medialen Umsetzungen (SAMR-Stufen + analoge Umsetzung der Kontrollgruppe) zeigt sich nur für die Umsetzung auf Stufe R ein signifikanten Haupteffekt für alle drei abhängigen Variablen (Wissenszuwachs, motivationale Ausprägung, Zuwachs an experimenteller Kompetenz). Dieser wird jedoch durch die jeweiligen Interaktionseffekte etwas abgeschwächt.

Die infolgedessen für die erste Fragestellung berechnete mehrfaktorielle Varianzanalyse für die unabhängige Variable der medialen Ausprägung ergibt ein signifikantes Ergebnis ($F(12, 1706.8)=2.722$, $p=0.001$, Wilk's $\Lambda =0.951$). Die einzelnen abhängigen Variablen können unterschiedlich gut durch die mediale Ausprägung erklärt werden:

Für den *Wissenszuwachs* lässt sich jeweils ein signifikanter Haupteffekt zwischen der analogen Umsetzung und der Umsetzung auf den Stufen A, M und R feststellen. Somit ist der Wissenszuwachs auf den digitalen Umsetzungen der Stufen A, M und R höher als bei der analogen Umsetzung. Auch der Unterschied zwischen der Umsetzung auf Stufe S und den nachfolgenden Stufen A, M und R ist signifikant. Der Unterschied zwischen Stufe S und der Kontrollgruppe ist jedoch nicht signifikant. Das adjustierte R^2 liegt hier bei 0.081.

Hinsichtlich der *motivationalen Ausprägung* lassen sich im Unterschied nur leichte Unterschiede für die einzelnen medialen Ausprägungen feststellen. Die Motivation ist aufgrund eines signifikanten Haupteffekts zwischen Stufe R und der analogen Umsetzung auf Stufe R höher als auf den anderen Stufen, jedoch verringern die Interaktionseffekte den Haupteffekt signifikant. Das adjustierte R^2 liegt bei 0.174. Zuletzt wurde der *Zuwachs der experimentellen Kompetenz* ausgewertet: Hierbei ist in allen vier Unterrichtsstunden auf allen Umsetzungsstufen dieser Zuwachs signifikant höher als bei der Umsetzung auf Stufe M. Der positive Haupteffekt zwischen Stufe R und den anderen medialen Umsetzungen lässt darauf schließen, dass der Zuwachs der experimentellen Kompetenz hier höher ist als auf den anderen medialen Umsetzungen. Das adjustierte R^2 liegt hier bei 0.290.

Die zweite formulierte Fragestellung, welche die Modellimplikation des SAMR-Modells hinsichtlich der Lernunterstützung empirisch prüft, wurden paarweise t-Tests berechnet. Dabei wurden die einzelnen abhängigen Variablen immer hinsichtlich zweier Stufen des SAMR-Modells miteinander verglichen. Somit sind jeweils drei Teilrechnungen notwendig.

Bezüglich des *Wissenszuwachs* ist nur der Vergleich zwischen Stufe S und Stufe A (95% - CI [-0.09, -0.01]), ($t(308.51) = -2.56$, $p = 0.01$, $d = 0.18$) signifikant. Die Schülerinnen und Schüler, welche eine Lernunterstützung auf der Stufe A bekommen haben, hatten somit einen leicht höheren Wissenszuwachs als jene, die eine Lernunterstützung auf der Stufe S bekamen. Die anderen Stufen unterscheiden sich hinsichtlich des Wissenszuwachs nicht signifikant voneinander.

Für die *motivationale Auswirkung* kann der aufsteigende Modellcharakter des SAMR-Modells für keine der abhängigen Variablen bestätigt werden. Es lassen sich keine statistisch signifikanten Unterschiede mithilfe der berechneten t-Tests feststellen.

Zuletzt wird wieder der *Zuwachs der experimentellen Kompetenz* betrachtet: hierbei werden zwei der geprüften Mittelwertvergleiche signifikant. Dies betrifft den Zuwachs der experimentellen Kompetenz auf den Stufen A und M, zugunsten

eines höheren Mittelwerts des Zuwachses der experimentellen Kompetenz auf Stufe A ($t(332) = 2.48, p < 0.05, d = 0.20$). Auch der Vergleich des Zuwachses der experimentellen Kompetenz zwischen Stufe M und Stufe R zeigt einen signifikanten Mittelwertvergleich, nun zugunsten der Stufe R ($t(322) = -2.41, p = 0.008, d = 0.21$).

Es zeigt sich, dass die aufgestellte Hypothese verworfen werden muss. Durch die besser umsetzbaren Hilfestellungen – inklusive der Ergänzung um Bild- und Tonunterstützung mit Aufsteigen der Modellebenen – zeigt sich keine Verbesserung der Lernunterstützung mit Folge einer höheren Ausprägung der einzelnen abhängigen Variablen.

5 Zusammenfassung

Die Hypothesen der einzelnen abhängigen Variablen, nämlich, dass die Lernunterstützungen auf den Stufen M und R des SAMR-Modells aufgrund der erweiterten digitalen Möglichkeiten einen größeren Effekt auf die unterschiedlichen abhängigen Variablen haben, können für keine der drei abhängigen Variablen verifiziert werden. Dementsprechend kann auch für keine der drei abhängigen Variablen der aufsteigende Modellcharakter verifiziert werden. Somit zeigt sich auch, dass die beschriebenen Annahmen des SAMR-Modells von Puentedura (hinsichtlich des steigenden pädagogischen Nutzens und der Qualität) nicht bestätigt werden können. Einschränkend muss erwähnt werden, dass sich Puenteduras Modell jedoch auf einen generellen Medieneinsatz und nicht spezifisch auf die Arten digitaler Lernunterstützung beziehen.

Dennoch gibt es einige interessante Effekte, welche sich anhand der hier dargestellten Ergebnisse bestätigen lassen. So zeigt sich die Stufe R für den Wissenszuwachs, die motivationale Ausprägung und den Zuwachs der experimentellen Kompetenz gewinnbringender als einzelne niedrigere mediale Umsetzungen. Ein komplett neu entworfener Einsatz digitaler Medien, welcher neue Möglichkeiten eröffnet, zahlt sich demnach also für die Unterrichtsqualität, gemessen am inhaltlichen und methodischen Lernfortschritt sowie an der Variable der intrinsischen Motivation aus.

Es bleibt die Frage offen, welche anderen Faktoren die eher unsystematische Befundlage aufklären können und Aufschluss über die sinnvolle Transformation von Hilfestellungen durch den Einsatz digitaler Medien geben können. Dafür wurden im Rahmen der hier nur ausschnittsweise vorgestellten Studie weitere Daten erhoben, die in naher Zukunft ausgewertet werden. Die Befunde deuten auch an, dass es einer guten didaktischen Reflexion bedarf und weitere Studien zu inhaltlich unterschiedlichen Themen sowie andersartigen Auslegungen des SAMR-Modells notwendig sind, um empirisch begründete Aussagen bzgl. eines spezifischen Einsatzes digitaler Medien zur Lernunterstützung treffen zu können.

Literatur

- Baur, A. (2018): Fehler, Fehlkonzepte und spezifische Vorgehensweisen von Schülerinnen und Schülern beim Experimentieren. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 24, Nr. 1, 115–129. <https://doi.org/10.1007/s40573-018-0078-7>.
- Baz, E. H., Balçıkanlı, C. & Cephe, P. T. (2018): Introducing an innovative technology integration model: Echoes from EFL pre-service teachers. In: Education and Information Technologies, 23, No. 5, 2179–2200. <https://doi.org/10.1007/s10639-018-9711-9>.
- BITKOM (2011): Schule 2.0—Eine repräsentative Untersuchung zum Einsatz elektronischer Medien an Schulen aus Lehrersicht. <https://www.bitkom.org/Bitkom/Publicationen/Studie-Schule-20.html> [17.11.2023].
- Chen, Z. & Klahr, D. (1999): All Other Things Being Equal: Acquisition and Transfer of the Control of Variables Strategy. Child Development, 70, No. 5, 1098–1120. <https://doi.org/10.1111/1467-8624.00081>.
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (1993): Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung fuer die Paedagogik. In: Zeitschrift für Pädagogik, 39, Nr. 2, 223–238.
- Eickelmann, B., Schulz-Zander, R. & Gerick, J. (2009): Erfolgreich Computer und Internet in Grundschulen integrieren—Eine empirische Analyse aus Sicht der Schulentwicklungsforschung. In: Röhner, C., Henrichwark, C. & Hopf, M. (Hrsg.): Europäisierung der Bildung. Konsequenzen und Herausforderungen für die Grundschulpädagogik. S. 236–240. https://doi.org/10.1007/978-3-531-91721-4_35.
- Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (Hrsg.) (2013): Perspektivrahmen Sachunterricht. Vollständig überarbeitete und erweiterte Ausgabe. Klinkhardt.
- Genz, F. & Bresges, A. (2017): Projektbeispiele für Design-Based Research im naturwissenschaftlichen Unterricht. In: Bastian, J. & Aufenanger, S. (Hrsg.): Tablets in Schule und Unterricht: Forschungsmethoden und -perspektiven zum Einsatz digitaler Medien. S. 63–86 https://doi.org/10.1007/978-3-658-13809-7_4.
- Grube, C. R. (2010): Kompetenzen naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung. Kassel.
- Haider, M. & Fölling-Albers, M. (2013): Anschlussfähiges Lernen im naturwissenschaftlichen Sachunterricht der Grundschule. In: Schulverwaltung, Bayern, 36, Nr. 12, 324–328.
- Haider, M. & Munser-Kiefer, M. (2019): Elaborierende Strategien—Hypothesen bilden und prüfen. In: Praxis Grundschule, 4, 28–35.
- Hammann, M., Phan, T. T. H., Ehmer, M. & Bayrhuber, H. (2006): Fehlerfrei Experimentieren. In: Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht, 59, 292–299.
- Einsiedler, W. & Hardy, I. (2010): Kognitive Strukturierung im Unterricht. Einführung und Begriffsklärungen. In: Unterrichtswissenschaft, 38, Nr. 3, 194–209.
- Herzig, B. (2014): Wie wirksam sind digitale Medien im Unterricht? Bertelsmann Stiftung. https://www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/BSSt/Publicationen/GrauePublicationen/Studie_IB_Wirksamkeit_digitale_Medien_im_Unterricht_2014.pdf [17.1.2023].
- Hillmayr, D., Reinhold, F., Ziernwald, L. & Reiss, K. (2017): Digitale Medien im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht der Sekundarstufe: Einsatzmöglichkeiten, Umsetzung und Wirksamkeit. Zentrum für Internationale Vergleichsstudien. Münster.
- Hillmayr, D., Ziernwald, L., Reinhold, F., Hofer, S. I. & Reiss, K. M. (2020): The potential of digital tools to enhance mathematics and science learning in secondary schools: A context-specific meta-analysis. In: Computers & Education, 153, 103897. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103897>.
- Konsortium HarmoS Naturwissenschaften+. (2010): Kompetenzmodell und Vorschläge für Basisstandards Naturwissenschaften. Kurzbericht. <https://www.phbern.ch/naviplus/kompetenzmodell> [17.1.2023].
- Knoth, S. (2023): Einfluss digitaler Lernumgebungen auf den Experimentierprozess. In: Haider, M., Böhme, R., Gebauer, S., Gößinger, C., Munser-Kiefer, M. & Rank, A. (Hrsg.): Nachhaltige Bildung in der Grundschule. Bad Heilbrunn.

- Knoth, S. (2023): Unterstützung des Experimentierprozesses im naturwissenschaftlichen Sachunterricht durch den Einsatz digitaler Medien. Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde der Fakultät für Humanwissenschaften der Universität Regensburg.
- Krapp, A. (1993): Die Psychologie der Lernmotivation. Perspektiven der Forschung und Probleme ihrer pädagogischen Rezeption. In: *Zeitschrift für Pädagogik*, 39, Nr. 2, 187-206.
- Lawson, A. E. & Wollman, W. T. (1976): Encouraging the transition from concrete to formal cognitive functioning-an experiment. In: *Journal of Research in Science Teaching*, 13, No. 5, Article 5. <https://doi.org/10.1002/tea.3660130505>.
- Lipowsky, F. (2020): Unterricht. In: Wild, E. & Möller, J. (Hrsg.): *Pädagogische Psychologie*. Berlin, Heidelberg. S. 69-118. https://doi.org/10.1007/978-3-662-61403-7_4.
- Mézes, C. (2016): *Zur Motivation beim Experimentieren im Physikunterricht*. PH Schwäbisch Gmünd.
- Puentedura, R. R. (2006): *Transformation, Technology, and Education*. <http://hippasus.com/resources/tte/> [17.11.2023].
- Schecker, H., Neumann, K., Theyßen, H., Eickhorst, B. & Dickmann, M. (2016): Stufen experimenteller Kompetenz. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 22, Nr. 1, 197-213. <https://doi.org/10.1007/s40573-016-0050-3>.
- Schwelle, V. (2016): *Lernen mit (un-)ähnlichen Beispielen*. Münster.
- Stegmann, K. (2020): Effekte digitalen Lernens auf den Wissens- und Kompetenzerwerb in der Schule. Eine Integration metaanalytischer Befunde. In: *Zeitschrift für Pädagogik*, 66, Nr. 2, 174-190. <https://doi.org/10.25656/01:25790>.
- Terhart, E. (2004): Unterricht. In: Lenzen, D. (Hrsg.): *Erziehungswissenschaft: Ein Grundkurs*. Reinbek, S. 133-158.
- Waldenmaier, C., Müller, B., Köster, H. & Körner, H.-D. (2015): Engagiertheit und Motivation in unterschiedlichen Experimentiersituationen im Sachunterricht. In: Fischer, H.-J., Giest, H. & Michalik, K. (Hrsg.): *Bildung im und durch Sachunterricht*. Bad Heilbrunn, S. 87-92.
- Wilde, M., Bätz, K., Kovaleva, A. & Urhahne, D. (2009): Überprüfung einer Kurzsкала intrinsischer Motivation (KIM). In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 15, 31-45.
- Wirtz, M. A. (Hrsg.) (2020): *Dorsch - Lexikon der Psychologie*. 19. überarb. Aufl. Bern.

Autorinnenangaben

Saskia Knoth

<https://orcid.org/0000-0002-4913-1904>

Lehrstuhl für Pädagogik (Grundschulpädagogik)

Universität Regensburg

saskia.knoth@ur.de