

Marcus Kubsch¹
 Peter Wulff²
 David Buschhüter³

¹IPN Kiel
²Pädagogische Hochschule Heidelberg
³Universität Potsdam

Schwerpunkttagung Maschinelles Lernen und computerbasierte Textanalysen: Potentiale und Herausforderungen für die Naturwissenschaftsdidaktik

Motivation der Tagung

Fortschritte in der Computertechnologie erlauben automatisiert komplexe Daten wie Texte oder Bilder zu klassifizieren oder sehr große Datenmengen systematisiert nach Zusammenhängen zu durchsuchen. Einschlägige Anwendungen in Domänen wie der Physik (z.B.: Entdeckung neuer Gesetzmäßigkeiten; van Nieuwenburg Liu & Huber, 2017), Biologie (z.B.: Proteinfaltung, Noé, De Fabritiis & Clementi, 2019) oder der Medizin (z.B.: Klassifikation von Röntgenaufnahmen, Goodfellow, Bengio, & Courville, 2016) verdeutlichen das große Potential entsprechender Anwendungen. Im Kontext von Bildung sind dabei für Lehre und Forschung zuvorderst maschinelles Lernen (ML) und computerbasierte Sprachverarbeitung (engl. Natural Language Processing, kurz: NLP) vielversprechende Technologien. Insbesondere digitale Lernumgebungen (Neumann & Waight, 2020) bieten dabei das Potential zur sinnvollen Anwendung von ML und NLP.

Während im internationalen Raum das Thema seit einiger Zeit in der Forschung mit steigendem Interesse behandelt wird (Korkmaz & Correia, 2019; Zhai, Yin, Pellegrino, Haudek & Shi, 2020), existieren im Bereich der deutschsprachigen Naturwissenschaftsdidaktiken erst wenige Studien dazu (z.B.: Krüger und Krell, 2020; Wulff et al., 2020). Zum jetzigen Zeitpunkt ist es deshalb wünschenswert, Gebiete für die Anwendung von ML und NLP im Bereich der Naturwissenschaftsdidaktik zu identifizieren und Chancen und Grenzen dieser Verfahren in der Community zu diskutieren. Die Schwerpunkttagung hatte zum Ziel konsensfähiges Orientierungswissen zu Potentialen und Grenzen zu generieren, sodass eine nachhaltige und den wissenschaftlichen Gütekriterien der Naturwissenschaftsdidaktiken entsprechende Implementation und Forschung angeregt wird.

Spezifisch wurden die Aspekte der digitalen Lehr-Lern-Umgebungen, des maschinellen Lernens sowie der computerbasierten Sprachverarbeitung entlang der Themenkorridore (1) Forschungsfragen und Erkenntnisgewinnung, (2) Lehre und Praxisimplementation, sowie (3) methodische Innovationen bearbeitet. Damit wurde das Ziel verfolgt, eine möglichst breite Beteiligung der naturwissenschaftsdidaktischen Forschungsgemeinschaft zu erreichen.

Tagungsprogramm

Das Tagungsprogramm wurde von David Buschhüter (Universität Potsdam), Marcus Kubsch (IPN), Tobias Ludwig (PH Karlsruhe), Andreas Nehring (LUH), Knut Neumann (IPN) und Peter Wulff (PH Heidelberg, damals Universität Potsdam) gestaltet.

Um die Vorkenntnisse, Einstellungen und Erwartungen der Teilnehmenden zu erheben, führten wir vor Veranstaltungsbeginn eine anonyme Online-Befragung durch. Dabei wurde unter anderem nach den Potentialen, Risiken/Grenzen von ML und NLP, sowie nach Erwartungen in Bezug auf die Schwerpunkttagung gefragt. Die Freitextantworten der 14 Befragten, die teilgenommen hatten, wurden analysiert. Im Hinblick auf die Potentiale ergaben sich dabei die zwei Kategorien: „Potentiale aufgrund der Limitationen des Menschen“ (z.B. Vereinfachung der Datenauswertung) und „Aufgabenfelder der Maschine allgemein“ (z.B. Feedback). Dies war insofern bemerkenswert, als dass sich die Aufgabenfelder prinzipiell aus den Limitationen

des Menschen ergeben. Darüber hinaus gab es weitere Anmerkungen, wie z.B., dass die Maschinen-Perspektive auf bestimmte Forschungsgegenstände der Fachdidaktik an sich bereits einen Forschungsbeitrag darstellt. Ein ähnliches Muster konnten wir bei den Antworten auf die Frage zu den Grenzen und Risiken identifizieren. Zwei größere Kategorien waren hier „Maschinenfehler/-grenzen“ (z.B. Bias, unzureichende Trennung von Sprache und Inhalt) und die Gefahr für die Überbewertung der neuen Methoden, wenn diese Limitationen nicht ausreichend beachtet werden. Diese Gefahr ist u.a. im Kontext sogenannter Hype-Zyklen im Feld der Künstlichen-Intelligenz-Forschung bereits gut bekannt. Andere Kategorien bezogen sich auf das Problem der (mangelnden) Akzeptanz von modernen Methoden und digitalen Werkzeugen, auf die Gefahr eines Defizits von Menschlichkeit/Persönlichkeit in der Lehre, auf einen möglichen Verlust von Kreativität bei der Analyse, und auf die Aspekte Datenschutz und Ethik. Nach unserer Analyse der Erwartungen an die Tagung wünschten sich die Teilnehmenden insbesondere Einblicke und Überblicke in Bezug auf aktuelle Forschung zum Tagungsthema, Wissen zur technischen Umsetzung sowie Vernetzungsmöglichkeiten.

Die Tagung wurde mit insgesamt 47 Teilnehmenden virtuell über Gather.town durchgeführt und begann im Sinne des in der Online-Befragung geäußerten Wunsches nach Wissen zur technischen Umsetzung mit einem ausgebuchten Pre-Conference-Workshop von Prof. Joshua Rosenberg (University of Tennessee, Knoxville), in dem die Umsetzung von einführenden ML-Verfahren in R behandelt wurde. Das Hauptprogramm der Tagung war über zwei Tage aufgeteilt. Der Großteil des ersten Tages war geprägt von zwei Keynotes (Prof. Bruce Sherin, Northwestern University; Prof. Detmar Meurers, Universität Tübingen) und einer Postersession. In dieser Weise wurden Einblicke und Überblicke in Bezug auf aktuelle Forschung zum Tagungsthema gegeben. Im Anschluss folgten Round-Table-Gespräche. Der zweite Tag wurde eingeleitet mit einer Zusammenfassung der Ergebnisse des ersten Tages sowie einem interaktiven Vortrag zu Praxisperspektiven auf den Einsatz von ML und NLP in der Schule. Nach einem weiteren Round-Table-Gespräch fand ein Abschlussplenum statt.

Die Tagung wurde von einem Podcast *Maschinelles Lernen in der Naturwissenschaftsdidaktik*, welcher von den Autoren dieses Beitrags produziert wurde, begleitet (<https://open.spotify.com/show/1UaS4tTu0a7R74ARGbTjpe>). Im Podcast, der bisher über 300-mal aufgerufen wurde, berichteten Prof. Joshua Rosenberg, Prof. Bruce Sherin und Prof. Detmar Meurers von ihrer Forschung im Kontext ML/NLP und lieferten interessante Einblicke und Hintergründe in ihre Arbeit und ihre Perspektiven auf die Themen der Tagung.

Keynotes

Für die Keynotes konnten zwei ausgewiesene Experten aus den Bereichen Computerlinguistik bzw. Naturwissenschaftsdidaktik gewonnen werden. Prof. Detmar Meurers ist Computerlinguist an der Eberhard Karls Universität zu Tübingen und beschäftigt sich in seiner Forschung unter anderem mit der Verbesserung von Lehr- und Lernprozessen in verschiedenen Fächern wie Englisch oder Geographie. Detmar Meurers nutzt NLP unter anderem zur Interpretation von authentischen Lernprodukten, insbesondere auch mit Big Data. Des Weiteren hat er mit seiner Arbeitsgruppe formative Evaluationssysteme wie das FeedBook (<http://feedbook.website/>) als ein unmittelbares sowie interaktives Feedbacksystem entwickelt und damit plastisch gezeigt, wozu trainierte Maschinen in der Lage sein können. Auf Basis einer Analyse von Geographiebüchern hat Meurers den Tagungsteilnehmenden illustriert, auf welche Weise ML und NLP dazu genutzt werden können, eine fehlende Passung von Lehrmaterialien zu zeigen: Die durchschnittliche Satzlänge der betrachteten Schulbücher übersteigt hier signifikant das Niveau der Schülerinnen und Schüler (Berendes et al., 2018). Solche diagnostischen Informationen können dann von Forschenden verwendet werden, um Lehrbuchtexte zu verbessern.

Anhand des FeedBooks zeigte Meurers eindrücklich auf welche Weise ML und NLP zur adaptiven und sofortigen Rückmeldung bei Englischlernenden verwendet werden können, die auf Basis eines Lernendenmodells jeweils den aktuellen Lernstand in einer grafischen Darstellung ausgibt. Auch hier sind die Potentiale von ML und NLP für die Weiterentwicklung von schulischen Lernumgebungen sehr deutlich. Prof. Bruce Sherin von der Northwestern University, Chicago, USA, hat die Keynote von Meurers durch eine explorative Analyse ergänzt. Sherin zeigte, dass ML und NLP Methoden dazu verwendet werden können, um Erklärungen von Schülerinnen und Schülern zu den Jahreszeiten in Interviewtranskripten zu identifizieren (Sherin, 2013). Sherin hat damit verdeutlicht, dass auch im Bereich Naturwissenschaftsdidaktik ML und NLP Methoden neue Erkenntnispotentiale bieten.

Postersession

Im Rahmen der Postersession (Abb. 1) wurden insgesamt zehn Poster vorgestellt und diskutiert. Das virtuelle Format auf der Plattform Gather.town erlaubte es den Teilnehmenden dabei für eine Online-Konferenz vergleichsweise realitätsnah zu interagieren, sodass produktive Diskussionen zustande kamen.

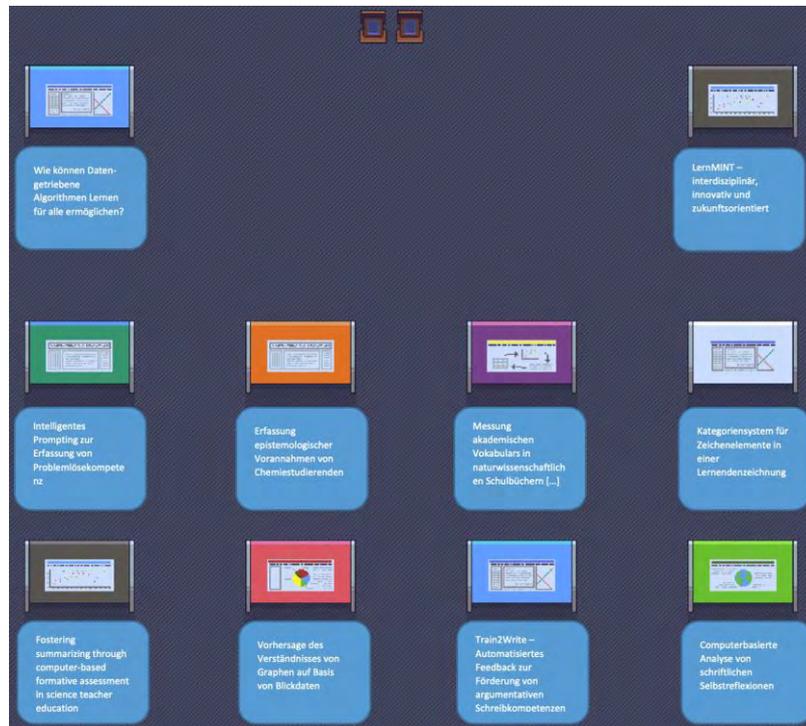


Abb. 1. Postersession auf Gather.town.

Round-Table-Gespräche

In der ersten Phase der Round-Table-Gespräche wurden insbesondere Fragen nach Potentialen und Grenzen von ML und NLP diskutiert. Die zweite Phase konkretisierte die Diskussion mit dem Ziel der Erarbeitung spezifischer Anliegen fachdidaktischer Forschung. Dabei sollte beschrieben werden, inwiefern ML und NLP Potentiale in Bezug auf diese Anliegen bieten können und welche Herausforderungen sich ergeben. Diese Fragen wurden in Gruppen mit den

Schwerpunkten individualisiertes Lernen und Kompetenzdiagnose diskutiert, da sich diese Strukturierung in der ersten Phase als nützlich erwiesen hatte. Die Teilnehmenden hatten die Möglichkeit ihre Ergebnisse mittels digitaler Notizen festzuhalten.

Zusammenfassung

Ein zentrales Anliegen der Tagung war es, an den Themen ML und NLP Interessierte aus der naturwissenschaftsdidaktischen Forschungsgemeinschaft in Deutschland zusammenzubringen und gemeinsam Potentiale und Grenzen der neuen Technologien für Forschung und Praxis zu diskutieren. Dies wurde aus unserer Sicht in den anregenden und intensiven Round-Table-Diskussionen häufig erreicht. Daneben sollte die Tagung auch dazu beitragen Forschende über Standortgrenzen hinweg zu vernetzen und vor allem auch den wissenschaftlichen Nachwuchs zu befähigen ML und NLP in der eigenen Forschung einzusetzen. Letzteres wurde aus unserer Sicht vor allem durch den Pre-Conference-Workshop und die im Anschluss an die Tagung stattfindenden zwei weiteren Workshops erreicht. Nachdem der Pre-Conference-Workshop auf ML fokussierte, wurde im ersten Folgeworkshop (ebenfalls von Prof. Joshua Rosenberg geleitet) der Fokus auf NLP gelegt. Im letzten Workshop, welcher von Prof. Christina Krist geleitet wurde, stand die Frage nach sinnvollen Anwendungen der neuen Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung im Vordergrund. Über die insgesamt drei Termine hinweg konnte sich somit eine Kerngruppe von ca. 15 Nachwuchswissenschaftler*innen vernetzen und umfangreich zur Anwendung von ML und NLP fortbilden.

Danksagung

An dieser Stelle möchten wir uns noch einmal herzlich bei der Deutsche Telekom Stiftung bedanken, welche die Tagung finanziell unterstützt hat, sodass die Teilnahme für alle kostenfrei erfolgen konnte. Außerdem danken wir der Joachim Herz Stiftung für die finanzielle Unterstützung zur Realisierung der fortgesetzten Workshopreihe zu ML und NLP.

Literatur

- Berendes, K., S. Vajjala, D. Meurers, D. Bryant, W. Wagner, M. Chinkina & U. Trautwein (2018). Reading demands in secondary school: Does the linguistic complexity of textbooks increase with grade level and the academic orientation of the school track? *Journal of Educational Psychology* 110(4), 518–543.
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep learning*. MIT press.
- Krüger, D., & Krell, M. (2020). Maschinelles Lernen mit Aussagen zur Modellkompetenz. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 26(1), 157–172. <https://doi.org/10.1007/s40573-020-00118-7>
- Roberts, M. E., Stewart, B. M., & Tingley, D. (2019). stm: An R Package for Structural Topic Models. *Journal of Statistical Software*, 91(2), 1–40. <https://doi.org/10.18637/jss.v091.i02>
- Sherin, B. (2013). A Computational Study of Commonsense Science: An Exploration in the Automated Analysis of Clinical Interview Data. *Journal of the Learning Sciences*, 22(4), 600–638. <https://doi.org/10.1080/10508406.2013.836654>
- Wang, J., Olsson, S., Wehmeyer, C., Pérez, A., Charron, N. E., De Fabritiis, G., ... & Clementi, C. (2019). Machine learning of coarse-grained molecular dynamics force fields. *ACS central science*, 5(5), 755–767.
- Van Nieuwenburg, E. P., Liu, Y. H., & Huber, S. D. (2017). Learning phase transitions by confusion. *Nature Physics*, 13(5), 435–439.
- Waight, N., & Neumann, K. (2020). 21st-century science education digital ecologies: Technology, technique, shoelaces, promise, and pitfalls? *Journal of Research in Science Teaching*, 57(9), 1313–1321. <https://doi.org/10.1002/tea.21667>
- Wulff, P., Buschhüter, D., Nowak, A., Westphal, A., Becker, L., Robalino, H., Stede, M. & Borowski, A. (2020). Computer-Based Classification of Preservice Physics Teachers' Written Reflections. In: *Journal of Science Education and Technology*. DOI: 10.1007/s10956-020-09865-1.

Tatjana K. Stürmer-Steinmann¹
 Julian A. Fischer²
 Daniel Laumann³
 Knut Neumann²
 Susanne Weßnigk¹

¹Leibniz Universität Hannover
²IPN Kiel
³Westfälische Wilhelms-Universität Münster

Digitale Energieeinheiten: Analyse eines Implementationsprozesses

Hintergrund und Zielsetzung

Erkenntnisse fachdidaktischer Forschung werden selten dauerhaft in der Unterrichtspraxis umgesetzt (Gräsel & Parchmann, 2004) und das, obwohl sich wiederkehrend zeigt, dass der Einsatz fachdidaktisch fundierter Unterrichtsgänge die Unterrichtsqualität erhöhen kann (u. a. Charalambous & Hill, 2012; Greinert & Weßnigk, 2019). Zur Generierung derartiger Vorschläge für die Unterrichtsgestaltung werden bspw. *Ansätze für Innovationen fachdidaktisch* theoriebasiert entwickelt und methodisch abgesichert evaluiert. Derart evidenzbasierte Beiträge zu einer innovativen Unterrichtsgestaltung finden ihren Eingang in die Unterrichtspraxis (Schrader, Hasselhorn, Heteisch & Goeze, 2020).

Ziel des DFG-Transferprojekts „energie.TRANSFER“ ist der Transfer von Ergebnissen fachdidaktischer Forschung zum Basiskonzept Energie in die Schule durch Entwicklung und Implementation *digitaler Unterrichtseinheiten*, die sich inhaltlich am Basiskonzept Energie und am phänomenbasierten Lernen orientieren (Fischer et al., 2021). Die Unterrichtseinheiten wurden in digitalisierter Form in die Lehr-Lern-Plattform Moodle eingebettet (Weßnigk, Neumann & Kerres, 2020). Beispiel für eine solche Einheit wäre eine 3-5 stündige in sich geschlossene Lerneinheit zur Verknüpfung der Energieformen kinetische Energie und Lageenergie im Kontext „Achterbahn“ (Laumann et al., 2018).

Perspektive der Lehrkräfte in Innovationsprozessen

Akzeptanz bestimmt die bewusste Entscheidung der Lehrkräfte für einen Einsatz von Unterrichtsmaterialien (Beerenwinkel & Gräsel, 2005). Lehrkräfte haben zwar in der Regel wenig Einblick in aktuelle fachdidaktische Forschung (Duit, Schecker, Höttecke & Niederderer, 2014), jedoch haben sie Vorstellungen über das Ziel und die Nutzung einer Innovation. Die innovationsbezogenen Einstellungen und die wahrgenommene Nutzen-Aufwands-Relation haben einen Einfluss auf diese Akzeptanz (Ajzen & Fishbein, 1980; Rogers, 1983). Diese Faktoren, verbunden mit den individuellen Bedenken und Interessen wirken sich auf den Implementationsprozess von Innovationen aus (Davis, Palinscar, Smith, Arias & Kademian, 2017; Hall & Hord, 2006). Für die fachdidaktische Forschung lassen sich die innovationsbezogenen Einstellungen, Interessen, Bedenken und Kenntnisse als affektiv-kognitive Auseinandersetzung mit der Innovation zusammenfassen und mit einem siebenstufigen Modell der Stages of Concern aus dem Concern-Based-Adoption-Model (CBAM) strukturiert erfassen (Hall et al. 2011) (Abb.1):

- Unrelated: Auf Stufe 0 fehlt der Bezug zu der Innovation. Das Interesse daran ist gering.
- Self: Auf den Stufen 1 bis 2 ist die Auseinandersetzung mit der Innovation personenbezogen. Zuerst werden Informationen zur Innovation beschafft und dann die Auswirkung auf sich selbst fokussiert.

- Task: Auf Stufe 3 stehen organisatorische Aspekte im Vordergrund. Die persönliche Betroffenheit (Stufe 2) wird von aufgabenbezogenem Denken abgelöst.
- Impact: Auf den Stufen 4, 5 und 6 ist die Wirkung der Innovation zentral: die Auswirkungen auf den Unterricht und die Lernenden. Eine Zusammenarbeit mit anderen Lehrkräften und die Überarbeitung der Innovation werden angestrebt, um deren Nutzen zu vergrößern. Die Auseinandersetzung ist wirkungsbezogen.

Nach diesem Modell verschiebt sich die affektiv-kognitive Auseinandersetzung während der Implementation von Unrelated zu Self über Task bis zu Impact (Hall und Hord 2006).

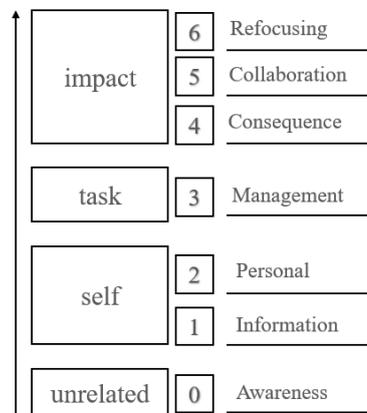


Abb. 1: Sieben Stufen der affektiv-kognitiven Auseinandersetzung

Fragestellung

Lehrkräfte können durch Bereitstellung von Unterrichtsmaterialien bei der Weiterentwicklung von Unterricht unterstützt werden (Breuer, Vogelsang & Reinhold 2018). Jedoch reicht eine Herausgabe von Unterrichtsmaterial an Lehrkräfte allein oft nicht aus. Die Implementation von *digitalen Unterrichtseinheiten* kann bspw. durch Fortbildungen unterstützt werden, um so Akzeptanzfaktoren wie Wissen oder Einstellungen zu beeinflussen (Lipowsky, 2010), das wahrgenommene Aufwand-Nutzen-Verhältnis ist allerdings weniger leicht zugänglich (Ajzen & Fishbein, 1980). Eine weniger aufwändige Möglichkeit stellt die selbstständige Auseinandersetzung mit den *digitalen Unterrichtseinheiten* mittels zusätzlicher Herausgabe einer Handreichung dar.

Bisher existieren wenig Studien über eine zielorientierte Gestaltung und Begleitung von Implementationsprozessen. Für das bessere Verständnis der Auseinandersetzung der Lehrkräfte mit der konkreten Innovation „*Digitale Unterrichtseinheit*“, wurde deren Implementation forschend begleitet. Folgende Frage wird im vorliegenden Beitrag beantwortet:

In welchem Maß unterscheidet die affektiv-kognitive Auseinandersetzung mit den *digitalen Unterrichtseinheiten* zwischen einer *Fortbildungs-* und einer *Handreichungsgruppe* über den gesamten Implementationsprozess?

Methodik

Zur Untersuchung der Fragestellung wurden zwei Implementationsmodi entwickelt. Die Lehrkräfte in der Fortbildungsgruppe (n=48) nahmen an einer modular aufgebauten Webinarfortbildung teil. Zur Vorbereitung wurden die Lehrkräfte individuell gecoach. Die Lehrkräfte in der Handreichungsgruppe (n=28) setzten sich selbstständig mit einer im Moodlekurs eingefügten Anleitung mit den Unterrichtseinheiten auseinander. Beide Modi fokussierten den Einsatz der *digitalen Unterrichtseinheiten*. In einem pre-while-post Design wurden die Lehrkräfte zu ihrer affektiv-kognitiven Auseinandersetzung mit den *digitalen Unterrichtseinheiten* befragt. Die affektiv-kognitive Auseinandersetzung wurde jeweils mit 5 Items pro Stufe (achtstufige Likert-Skala von 0 (nicht relevant), 1 (trifft nicht zu) bis 7 (trifft völlig zu) mit dem Stages of Concern Fragebogen von Hall & Hord (2006) erfasst.

Ergebnisse

Pre: Vor der Auseinandersetzung mit den *digitalen Unterrichtseinheiten* weisen die Lehrkräfte auf keiner Stufe einen Unterschied auf. Zu diesem Zeitpunkt dominieren die selbstbezogene Auseinandersetzung und, etwas schwächer, die Auswirkungen auf die Schüler und Schülerinnen (Stufe 4).

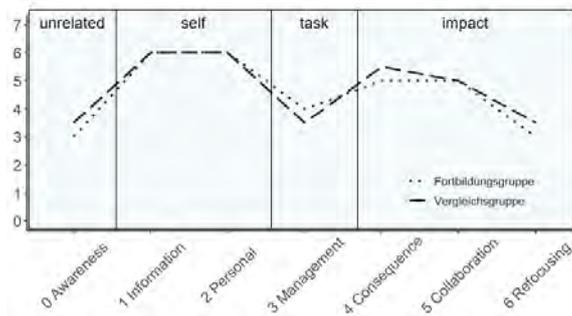


Abb. 2: Affektiv-kognitive Auseinandersetzung, Zeitpunkt pre

While: Die Auseinandersetzung mit den Unterrichtseinheiten hat sich in den Gruppen bis zum Zeitpunkt *while* (nach der Fortbildung bzw. der selbstständigen Auseinandersetzung) unterschiedlich „entwickelt“. Nun unterscheiden sich die beiden Gruppen auf den Stufen 0, 1, 2 und 6 signifikant.

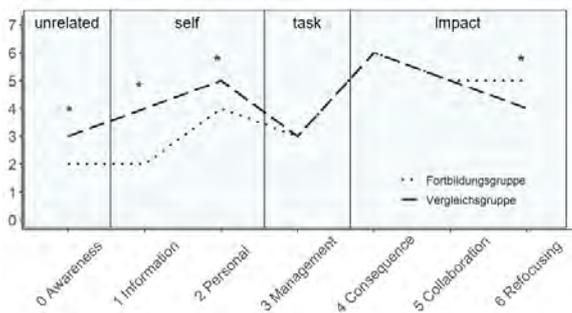


Abb. 3: Affektiv-kognitive Auseinandersetzung, Zeitpunkt while

Post: Zum Zeitpunkt *post* finden sich weitere Veränderungen in der Auseinandersetzung mit den Unterrichtseinheiten. Zu diesem Abfragezeitpunkt unterscheidet sich die Auseinandersetzung zwischen den Gruppen auf den Stufen 1, 2 und 6.

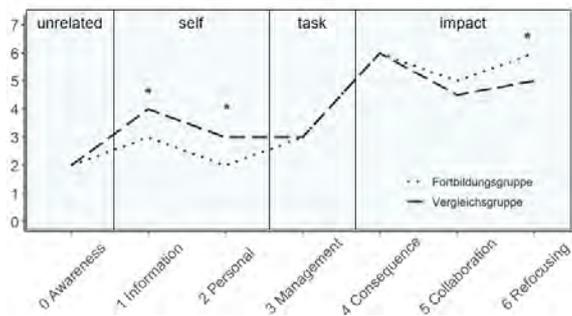


Abb. 4: Affektiv-kognitive Auseinandersetzung, Zeitpunkt post

Zusammenfassung

Die Teilnahme an einer Fortbildung und die selbstständige Auseinandersetzung mit den *digitalen Unterrichtseinheiten* wirken sich über den Implementationsprozess auf die affektiv-kognitive Auseinandersetzung aus. Die Teilnahme an der Fortbildung scheint sich beim Vergleich mit der Handreichungsgruppe zu lohnen. Die Fortbildung hat einen Einfluss auf das Bewusstsein (Stufe 0) und die personen- und wirkungsbezogene Auseinandersetzung (Stufe 2, 3, 6). Zu allen Zeitpunkten ist für die Lehrkräfte die Auswirkungen auf den Unterricht sowie auf die Schüler und Schülerinnen relevant (Stufe 4). Transferprozesse sollten sich demnach zu jedem Zeitpunkt mit Aspekten, die die Wirkung der *digitalen Unterrichtseinheiten* betrifft, beschäftigen.

Literatur

- Ajzen, I., & Fishbein, M. (1980). *Understanding attitudes and predicting social behavior*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall
- Beerenwinkel, A., & Gräsel, C. (2005). Texte im Chemieunterricht: Ergebnisse einer Befragung von Lehrkräften. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 11, 21–39
- Breuer, J., Vogelsang, C., & Reinhold, P. (2018). Implementation fachdidaktischer Innovation am Beispiel des Münchener Unterrichtskonzepts zur Quantenmechanik. In: V. Nordmeier und H. Grötzebauch (Hg.): *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung. Fachverband Didaktik der Physik*. Würzburg, 133–139
- Charalambous C., & Hill H., (2012). Teacher knowledge, curriculum materials, and quality of instruction: Unpacking a complex relationship. *Journal of curriculum studies* 44 (4), 443–466
- Davis, E., Palinscar, A., Smith, S., Arias, A., & Kademian, S. (2017). Uptake, Impact, and Implications for Research and Design. *Educational Researcher*, 46 (6), 293-304
- Duit, R., Schecker, H., Höttercke, D. & Niedderer, H. (2014). Teaching Physics. In N. G. Lederman & S. K. Abell (Hrsg.), *Handbook of Research on Science Education, Volume II* (S. 599-629). Hoboken: Taylor and Francis.
- Fischer, J. A., Steinmann, T., Kubsch, M., Laumann, D., Weßnigk, S., Neumann, K., & Kerres, M. (2021). Die Rettung der Phänomene! Durch Leitfragen sinnstiftendes Lernen initiieren und strukturieren. *MNU Journal*, 2, 140–146.
- Gräsel, C., & Parchmann, I. (2004). Implementationsforschung - oder: der steinige Weg, Unterricht zu verändern. *Research on Implementation: The Problems of Changing Teaching and Learning. Unterrichtswissenschaft*, 32 (3), 196–214
- Greinert, L., & Weßnigk, S. (2019). Energieentwertung mit der IR-Kamera – Studie zum Einfluss der IR-Kamera auf das Energieverständnis in einem curriculumorientierten Lehrgang mit Fokus auf Energietransfer. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1007/s40573-019-00102-w>
- Hall, G. E., & Hord, S. M. (2006). *Measuring implementation in schools. Using the tools of the Concern-Based-Adoption-Model*. Austin: Southwest Educational Development Laboratory
- Hall, G. E., Shirley M., & Hord, S. M. (2011). *Implementing change: patterns, principles, and potholes*. Pearson.
- Laumann, D., Fischer, J., Weßnigk, S., Kerres, M., Wenderoth, D., & Neumann, K. (2018). Entwicklung basiskonzeptorientierter Unterrichtseinheiten zur Energie. *Naturwissenschaftliche Bildung Als Grundlage Für Berufliche Und Gesellschaftliche Teilhabe. Gesellschaft Für Didaktik Der Chemie Und Physik Jahrestagung in Kiel 2018*, 815–818
- Lipowsky, F. (2010). Lernen im Beruf. Empirische Befunde zur Wirksamkeit von Lehrerfortbildung. In: F. H. Müller (Eds), *Lehrerinnen und Lehrer lernen. Konzepte und Befunde zur Lehrerfortbildung*. Münster: Waxmann, 51–70
- Rogers, E.M., (1983). *Diffusion of innovations* (3rd ed.). New York: Free Press of Glencoe.
- Schrader, J., Hasselhorn, M., Hetsch, P. & Goeze, A. (2020). Stichwortbeitrag Implementationsforschung: Wie Wissenschaft zu Verbesserungen im Bildungssystem beitragen kann. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 23 (1), 9-59.
- Weßnigk, S., Neumann, K., & Kerres, M. (2020). Energie unterrichten über eine digitale Plattform. Konzeption von Unterrichtseinheiten mit digitalen Medien und Werkzeugen. *Unterricht Physik*. (179), 31–36.