

Gelingsbedingungen physikalischer Erklärungen - Zu einer konstruktivistischen Auffassung des Erklärens -

Christoph Kulgemeyer

Institut für Didaktik der Naturwissenschaften, Abteilung Physikdidaktik, Universität Bremen, Otto-Hahn-Allee
1, 28359 Bremen, kulgemeyer@physik.uni-bremen.de

Kurzfassung

Erklären ist eine Standardsituation des Physikunterrichts. Gerade angehende Lehrkräfte sehen im Erklären eine Hauptschwierigkeit im Fachunterricht [1]. Erklären kann als ein wesentlicher Teil fachdidaktisch kompetenten Handelns von Lehrkräften aufgefasst werden („Explanation is at the core of science education“ ([2], S. 68)), doch auch Schülerinnen und Schüler müssen in sozialen Lernformen wie beispielsweise Gruppenpuzzles Physik in Form einer Erklärung aufbereiten und kommunizieren können.

Dennoch gibt es nur wenige Studien, die Erklärungen in ihrer Wirkung analysieren oder sogar empirisch fundierte Gelingsbedingungen von Erklärungsprozessen beschreiben. In diesem Beitrag wird dargestellt, welche empirisch und theoretisch abgesicherten Ergebnisse zur effektiven Gestaltung von Erklärungen vorliegen (z.B. [3], [4]). Zudem wird vor einem konstruktivistischen Hintergrund argumentiert, warum das Erklären auch Teil modernen Physikunterrichts sein kann. Dies mündet in den Einblick in ein aktuelles Forschungsprojekt, das sich mit Erklärungen von Physik beschäftigt.

1. Einleitung

„Explanation is at the core of science education“ ([2], S. 68)). Dieser Satz bringt sehr deutlich zum Ausdruck, welche Bedeutung Erklärungen im Unterricht beigemessen werden kann. [1] beschreibt, dass das Erklären zudem von Berufsanfängern im Lehramt der Physik als besonders schwierig empfunden wird. Es ist vor diesem Hintergrund verwunderlich, dass einschlägige Physikdidaktik-Lehrbücher wie [5] oder [6] diesem Thema kein Kapitel beimessen; auch in der fachdidaktischen Forschung ist das Erklären unterrepräsentiert. Für die Lehrpraxis scheint es dennoch hoch relevant zu sein. Ein möglicher Grund für dieses Missverhältnis könnte sein, dass das Erklären im Unterricht immer unter dem Verdacht steht, identisch mit dozierendem Frontalunterricht zu sein oder diesen zumindest zu befördern. Durch den nahezu als Konsens anzusehenden konstruktivistischen Lernbegriff in der fachdidaktischen Lehr-Lern-Forschung ist jedoch Schülerorientierung stark in den Fokus der Forschung zu Unterrichtsmethoden gerückt. Kann also vor dem Hintergrund eines konstruktivistischen Lernbegriffs nicht mehr von Erklären als Bestandteil guten Unterrichts gesprochen werden? Gehört Erklären aus der Lehrpraxis verdrängt? Und wenn es dennoch in der Praxis so relevant ist, wie die eingangs genannten Quellen vermuten lassen – wie kann man dann gut erklären? Welche Fähigkeiten braucht ein guter Erklärer?

2. Der Begriff des Erklärens

In der physikdidaktischen Literatur – und auch in der naturwissenschaftsdidaktischen Literatur allge-

mein – ist dem Erklären kein großer Stellenwert zugewiesen. Die bereits in der Einleitung dieses Beitrags angesprochene leitende Rolle des Konstruktivismus für alle modernen Theorien über Lehr- und Lernprozesse ist vermutlich ein wichtiger Grund dafür. Wurde beispielsweise noch in den 1980er Jahren systematisch untersucht, was Elemente guter Erklärungen sind, so ist seitdem deutlich weniger in diesem Bereich gearbeitet worden, grundlegend Neues ist nicht hinzu gekommen. Zu stark erinnert Erklären wohl an lehrerzentrierten Unterricht und zu wenig ist es gelungen, einen konstruktivistischen Begriff des Erklärens zu entwickeln, der die aktive Konstruktion von Wissen auf Seiten des Adressaten einer Erklärung berücksichtigt. Dennoch gibt es einige Arbeiten, die sich damit auseinandergesetzt haben, was erklären bedeuten kann.

In der naturwissenschaftsdidaktischen Literatur wird dem Erklären hauptsächlich unter zwei Perspektiven begegnet. Zum einen wird sich mit der Frage auseinandergesetzt, was *naturwissenschaftliches* Erklären überhaupt ausmacht. Zum Anderen wird betrachtet, wie naturwissenschaftliche Information einem Gegenüber verstehbar dargestellt werden kann. [7] unterscheidet diese beiden Perspektiven, indem er die erste als „scientific content explanations“ bezeichnet und die zweite als „science teaching explanations“ – in diesem Beitrag soll dieser Terminologie gefolgt werden, da sie den Unterschied beider Perspektiven treffend akzentuiert.

Bei der Perspektive „scientific content explanations“ wird stark an wissenschaftsphilosophische Überlegungen angeschlossen. Hier spielt vor allem die Struktur einer Erklärung eine Rolle, beispielsweise

wie ein Phänomen unter Berücksichtigung bereits bekannten Wissens verstanden werden kann – und das heißt in diesem Fall „knowing how and why a phenomenon occurs“ [8]. Dazu gibt es mehrere Strategien, insbesondere (1) deduktiv von Gesetzen ausgehendes Erklären, (2) deduktiv von Statistik ausgehendes Erklären und (3) induktiv von Statistik ausgehendes Erklären [9]. Hier geht es also darum, ein Phänomen zu verstehen, indem es auf bereits bekannte Ursachen zurückgeführt wird – z.B. indem es aus Gesetzen oder Theorien konsistent abgeleitet wird. Der kommunikative Aspekt des Erklärens, also die Frage, wie dieses Phänomen in seinem Ablauf einem Gegenüber verstehbar gemacht werden kann, ist in dieser Perspektive nur untergeordnet vorhanden. In einigen Studien wird der Begriff der „scientific explanation“ verwendet, hier gibt es auch Konzepte, wie Schülerinnen und Schüler erlernen können, naturwissenschaftliche Erklärungen zu erstellen (z.B. [10], [11], [12]). Angestrebt ist hier eine Verzahnung der Konzepte Erklärung und Argumentation: eine Erklärung gibt Auskunft darüber, wie und warum ein Phänomen wie beobachtet abläuft und kann argumentativ, also unter Bezug auf naturwissenschaftliche Fakten bzw. Messergebnisse weiter gegeben werden. Auch hier spielen jedoch die besonderen Bedürfnisse eines Adressaten keine Rolle, einem Experten kann argumentativ dieselbe Erklärung unterbreitet werden wie einem Laien.

Der andere Blick auf das Erklären – „science teaching explanations“ – betont gerade diese Komponente. Hier werden beispielsweise die Rollen von Metaphern und Analogien beim Erklären herausgestellt und betrachtet, wie abstrakte naturwissenschaftliche Information in verstehbare Information transferiert werden kann. Wesentlich ist hierbei die Frage, wie einem Gegenüber die Vorstellung von einem Phänomen vermittelt werden kann. Dazu gibt es deutlich weniger Arbeiten, [13] beklagt insbesondere ein großes Defizit an Erkenntnis über effektive Lehrerklärungen. [14] bilden hierbei eine der wenigen Ausnahme, sie beschreiben effektives Erklären im Naturwissenschaftsunterricht, indem sie auf Unterrichtsstrategien Bezug nehmen, z.B. das Erzeugen mentaler Bilder durch das Einbinden der Erklärung in Geschichten und die Verwendung von Analogien. [15] analysieren die Erklärungen von Wissenschaftlern ausgehend von einem an [16] anschließenden Modell professioneller Handlungskompetenz für Lehrkräfte durch Fähigkeiten in den Bereichen Fachwissen, fachdidaktisches Wissen und pädagogisches Wissen.

Neben der Unterscheidung von Erklärung und Argumentation ([20], [8]) ist ebenfalls die Unterscheidung zwischen Erklärungen und Beschreibungen Gegenstand von Diskussion: [9] heben beispielsweise als Wesen der Erklärung hervor, dass sie die Fragen „warum“ und „wie“ auf ein Phänomen bezogen beantworteten. Beschreibungen hingegen seien in der Regel oberflächliche Darstellungen von Beschaffenheit, in der Regel unter Zuhilfenahme von Quantisierungen bzw. Bemessungen. Unter Berücksichtigung dieser Unterscheidung wäre beispielsweise die

Kinematik eine Beschreibung und die Dynamik eine Erklärung von Bewegungen.

Um das Erklären einzubetten in den Konstruktivismus und somit anschlussfähig zu gestalten, muss der Vorgang des Erklärens konstruktivistisch verstehbar sein. Nicht direkt aus der Naturwissenschaftsdidaktik stammen die Arbeiten von Gage (z.B. [17]). Sie sind jedoch einflussreich und können dienlich sein, um ein angemessenes, konstruktivistisches Verständnis vom Erklären zu entwickeln. Er hat einen wesentlichen Einfluss auf die „teacher effectiveness research“ gehabt; von ihm und im Anschluss an seine Arbeiten wurde empirisch untersucht, welche Elemente von Erklärungen zu größeren Behaltensleistungen von Schülerinnen und Schülern führen. Allerdings hat er seiner Forschung keinen dezidiert konstruktivistischen Lernbegriff zugrunde gelegt. Er definiert das Erklären als „the skill of engendering comprehension“ ([17], S. 3). In diesem Kontext wird jedoch zumindest implizit davon ausgegangen, dass allein die gute Präsentation eines Sachverhalts bereits zu Verständnis führt. Dem liegt ein behavioristischer Kommunikationsbegriff zugrunde, wie er zum Beispiel in Shannon und Weavers berühmtem Sender-Empfänger-Modell angedacht wird. Im konstruktivistischen Sinne kann diese direkte Informationsübertragung selbstverständlich nicht angenommen werden. Erklärungsprozesse oder Kommunikationsprozesse im Allgemeinen sind allerdings auch nicht auf eine behavioristische Perspektive angewiesen. Im Rahmen einer modernen Auffassung müsste man sagen, dass eine gute Erklärung selbstverständlich nicht Verständnis erzeugt, wie es Gage (1968) beschreibt – aber eine gute Erklärung eine Voraussetzung dafür ist, dass ein Sachverhalt überhaupt *verstehbar* ist, d.h. dass jemand den sprachlichen Code entschlüsseln und daraus Bedeutung konstruieren kann.

In diesem Beitrag soll an die Auffassung von [17] angeschlossen werden. Erklärungsfähigkeit ist demnach die Fähigkeit, (physikalische) Fachinformation adressatengemäß und sachgerecht so aufzubereiten, dass sie ein Adressat daraus wahrscheinlich Bedeutung konstruieren kann. Dazu gehört explizit auch die Fähigkeit, zu erkennen, welche Voraussetzungen ein Adressat bezüglich Vorwissen und Interessen mitbringt. Damit wird auch an ein konstruktivistisch gehaltenes Modell der Kommunikationskompetenz von Schülerinnen und Schülern angeschlossen, das davon ausgeht, dass das Erklären der Kern physikalischer Kommunikationskompetenz ist ([18], [19]). Diese Sichtweise wird im Abschnitt „Beschreibung von Erklärungen“ weiter ausgeführt.

3. Erklären im Physikunterricht

Im Physikunterricht spielt das Erklären (wie eingangs angedeutet) in der Praxis eine anscheinend durchaus relevante Rolle, dies wird von einigen Autoren auch immer wieder betont: „Explaining science is the bread and butter of the science teachers’ existence“ ([20]). Erklären ist allerdings auch

alles andere als trivial und muss erlernt werden. So wird es von Berufsanfängerinnen und – anfängern im Physiklehramt als größte Herausforderung wahrgenommen [1]. Erklärungsphasen sind also relevant und für die Lehrkräfte schwierig. Die fachdidaktische Ausbildung scheint dies jedoch – wenn man die aktuellen Lehrwerke als Maßstab ansieht – weitgehend nicht zu berücksichtigen. Auch hier kann davon ausgegangen werden, dass der Fokus auf Schülerorientierung in Forschung und unterrichtsmethodischer Ausbildung dazu geführt hat, das Erklären zu vernachlässigen. Dies ist sicherlich aus gutem Grund geschehen: Da dem frontale Unterricht als Monokultur etwas entgegen gesetzt werden muss, ist in der Ausbildung insbesondere ein Schwerpunkt auf Methoden der Schülerorientierung zu legen. Zu groß ist bei Studierenden des Lehramts der Physik ansonsten wohl die Gefahr, dass sie den in der Schule vermutlich erlebten frontalen Unterricht im Sinne eines „you teach as you have been taught“ ebenso dominierend weiterführen. Doch auch in sehr schülerorientierten Unterrichtsdesigns sind Erklärensphasen von Relevanz: sei es zur Zusammenfassung und Strukturierung von erarbeitetem Wissen, zur Erläuterung eines experimentellen Vorgehens oder auch zur Besprechung von Lösungsstrategien und Aufgaben. All diese Phasen können und sollen im Physikunterricht auch von Lehrkräften übernommen werden. Erklären und dozierender Frontalunterricht sind dazu deutlich voneinander zu trennen. Erklären zu können gehört zu den Grundfähigkeiten einer Lehrkraft der Physik und Erklärungen als Unterrichtstechnik gehören zu einem Methodenrepertoire, aus dem sich bei Bedarf bedienen werden kann – gleichberechtigt neben unterrichtsmethodischem Wissen über beispielsweise kooperatives Lernen.

Doch gerade bei kooperativem Lernen oder sozialen Lernformen im Allgemeinen ist es nicht *nur* die Aufgabe der Lehrkraft, zu erklären. Auch Schülerinnen und Schüler müssen im Physikunterricht erklären und erklären lernen. Zum einen ergibt sich das aus einem normativen Argument: Kommunikationskompetenz ist ein Kompetenzbereich der Bildungsstandards und Erklären stellt der Kern von Kommunikationskompetenz dar [19]. Es sollen also Kompetenzen erworben werden, die helfen, physikalisches Wissen andere Menschen adressatengemäß und sachgerecht weitergeben zu können.

Über dieses normative Argument hinaus, ist es jedoch auch im Sinne einer effizienten Gestaltung des Physikunterrichts, dass Schülerinnen und Schüler erklären lernen. Bei einigen sozialen Lernformen wie z.B. dem Gruppenpuzzle ist das gegenseitige Erklären sogar konstitutiv für die gesamte Methode. Das Gruppenpuzzle ist als Methode weit verbreitet (z.B. [21]) und auch in seiner Effizienz empirisch erforscht ([22], [23]). Es gehört hierbei dazu, dass Schülerinnen und Schüler in „Expertengruppen“ Wissen erarbeiten, das sie dann den Schülerinnen und Schülern, die in anderen Expertengruppen gearbeitet haben, vermitteln. Dabei spielt erklären eine wichtige Rolle, doch wie effizient erklärt werden

kann, wird den Schülerinnen und Schülern in der Regel nicht vermittelt. Es kann jedoch nicht davon ausgegangen werden, dass Wissen automatisch besser vermittelt wird, wenn Schülerinnen und Schüler es untereinander weiter geben. Hier ist ein Forschungsdesiderat zu konstatieren: die Hypothese, dass Gruppenpuzzle effektiver werden, wenn von den Schülerinnen und Schülern zunächst erlernt wird, wie effizient erklärt werden kann, ist naheliegend, aber noch nicht untersucht worden [24].

4. Beschreibung von Erklärungen

Doch was bedeutet es, „gut“ bzw. „erfolgreich“ zu erklären? Dazu sollen drei Perspektiven beschrieben werden. Zum einen soll das Erklären aus kommunikationstheoretischer Sicht beschrieben werden, dann werden Fähigkeiten, die zum Erklären notwendig sind (und geschult werden müssen) skizziert und im Anschluss werden aus der Literatur bekannte verständnisförderliche Elemente von Erklärungen dargestellt.

4.1. Erklären aus kommunikationstheoretischer Sicht

Aus kommunikationstheoretischer Sicht handelt es sich beim physikalischen Erklären um einen physikalischen Kommunikationsprozess. Er kann anschließend an ein Modell physikalischer Kommunikation beschrieben werden (Abb. 1).

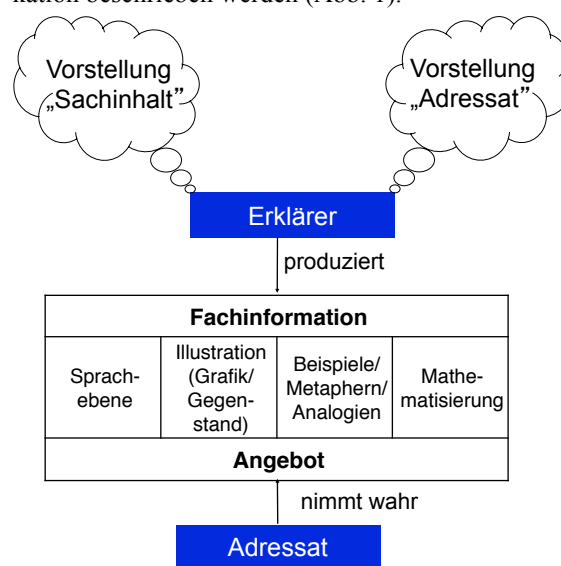


Abbildung 1: Modell physikalischer Kommunikation (geändert nach [18])

In diesem Modell läuft eine Erklärung wie folgt ab: Der Erklärer kodiert eine Fachinformation (z.B. Energieumwandlung) in einer sprachlichen Äußerung. Bei dieser sprachlichen Äußerung hat er eine gewisse Vorstellung über die fachliche Beschaffenheit des Sachverhalts (sachgerechte Perspektive) und über Vorwissen bzw. Interessen des Adressaten der Erklärung (adressatengemäße Perspektive). Diese Annahmen, die er in sachgerechter und adressaten-

gemäß Perspektive trifft, beeinflussen entscheidend, wie die Fachinformation kodiert wird. Um diese Kodierung anzupassen, stehen vier „Variablen“ zur Verfügung: Der Erklärer kann die Sprachebene (z.B. Alltagssprache), die Illustration (z.B. eine Grafik, ein Diagramm oder sogar ein Experimentalaufbau), die Beispiele, Metaphern bzw. Analogien sowie den Mathematisierungsgrad anpassen. Dies muss je nach Adressat und Gegenstand anders ausfallen, gegenüber einer Expertin werden die Variablen anders ausgeprägt sein als einem Laien gegenüber. Der konstruktivistische Charakter des Modells drückt sich darin aus, dass die Information nicht direkt auf den Adressaten übertragen werden kann. Die Konstruktion von Bedeutung ist Aufgabe des Adressaten, er spielt also eine aktive Rolle im Kommunikationsprozess. Im allgemeinen Fall nimmt er die sprachliche Äußerung ohnehin nur als ein Angebot zur Kommunikation wahr. Er kann sich frei entscheiden, ob er darauf eingeht, dies wird z.B. von seinem Vorwissen und seiner Motivation bzw. seinen Interessen beeinflusst.

Mit diesem Modell als Ansatz können Abläufe von Erklärungen beschrieben werden, insbesondere die Adaption von Erklärungsansätzen bei Verständnisproblemen wird so verstehbar. So wird auch in einem laufenden Forschungsvorhaben so vorgegangen [25]. Dabei stammen die gewählten Variablen des Modells zum einen aus der Theorie über Kommunikationskompetenz bei Schülerinnen und Schülern [18] und zum anderen aus den Analysen konkreten Videomaterials [19].

4.2. Notwendige Fähigkeiten zum Erklären

Erklären ist ein Prozess, der Fähigkeiten aus mehreren Teilbereichen benötigt. Üblicherweise wird dazu Bezug genommen auf Modelle professioneller Handlungskompetenz, wie sie im Anschluss an [16] formuliert wurden. Mithilfe dieses Ansatzes wurde von [15] ein Analyseschema für Erklärungen von Wissenschaftlern entwickelt. Auch im Projekt ProfiLe-P [26] wird dieses Modell als Grundlage genommen, um Erklärungsfähigkeit zu untersuchen. Dabei wird davon ausgegangen, dass Fachwissen, fachdidaktisches Wissen und pädagogisches Wissen Einfluss auf Erklärungsfähigkeit hat. Auch bei COACTIV in der Mathematik wird dem Erklärungswissen (als Teil des fachdidaktischen Wissens) eine besondere Rolle zugeschrieben [27]. Es ist jedoch noch weitgehend ungeklärt, welchen Einfluss welche Fähigkeit auf Erklärungsfähigkeit hat. Ergebnisse von [28] lassen vermuten, dass ein höheres Fachwissen beispielsweise nicht notwendigerweise zu besseren Erklärungen führt, sondern es eine Art Schwelle gibt, ab der ein Zuwachs an Fachwissen nicht in höherer Erklärungsfähigkeit resultiert. Hier stellt sich die Frage, ob fachdidaktisches Wissen bzw. pädagogisches Wissen dabei helfen, mit höherem Fachwissen auch bessere Erklärungen vornehmen zu können. Diese Fragestellung wird in ProfiLe-P untersucht.

4.3. Elemente guter Erklärungen

In der allgemeinen Literatur über Erklärungen (z.B. [29], [4]) sind ebenso Hinweise über Bestandteile guter Erklärungen zu finden wie sie aus der Analyse von Erklärungsvorgängen im Rahmen der Untersuchung von Kommunikationskompetenz bei Schülerinnen und Schülern entnommen werden können [19]). Insbesondere die eingangs angesprochene an [17] anschließende teacher effectiveness research hat dazu auch empirische Ergebnisse erarbeitet. [19] können zeigen, dass sich diese Ergebnisse mit dem in Abschnitt 4.1. beschriebenen Kommunikationsmodell verstehen lassen. Positiven Einfluss auf Erklärungsqualität haben demnach insbesondere (vgl. [19], [29]):

1. Die Vorbereitung auf eine Erklärung
2. Klarheit der Ziele zu Beginn der Erklärung
3. Orientierung über den Ablauf zu Beginn der Erklärung
4. Strukturiertheit (roter Faden)
5. Wiederholung von Erklärungen nach Elaboration
6. Adressaten einbeziehen: Kontakt aufnehmen
7. Regelmäßige Verständnisversicherungen/Aufgaben stellen
8. Das Anpassen der sprachlichen Komplexität
9. Der Einsatz visueller Hilfen/Medien
10. Die Verwendung von Beispiel und Analogien

Wird diese Liste mit den Variablen des Kommunikationsmodells in Abschnitt 4.1. in Zusammenhang gebracht, so lassen sich Parallelen feststellen: Die Punkte 8, 9 und 10 entsprechen direkt den Variablen *Sprachebene*, *Illustration* und *Beispiele/ Metaphern/Analogien*. Die Anpassung des Mathematisierungsgrades (die letzte Variable) ist sehr physikspezifisch und vermutlich deshalb in den allgemeinen Qualitätskriterien für Erklärungen nicht zu finden. Die anderen Punkte können dem Modell nicht zugeordnet werden, sie sind nicht in einzelnen sprachlichen Äußerungen erkennbar, sondern erst in einem längeren Erklärungsvorgang zu erkennen.

5. Ausblick: Das Projekt EWis

Im Teilprojekt EWis des Verbunds ProfiLe-P wird momentan eine Methode entwickelt, um Erklärungsfähigkeit erheben zu können. Ziel ist unter anderem, den Einfluss von fachdidaktischem Wissen und physikalischem Fachwissen auf Erklärungsfähigkeit zu analysieren. Dazu wird eine Methode verwendet, die in der Forschung über Kommunikationskompetenz von Schülerinnen und Schülern entwickelt wurde (im Detail beschrieben in [19]). Dabei handelt es sich um die Videoaufzeichnung von unter Laborbedingungen vorgenommenen Erklärungen vorge-

gebener Sachverhalte. Darin erklärt ein Studierender jeweils einem Schüler der zehnten Klasse ein physikalisches Phänomen. Die Schülerinnen und Schüler, also die Adressaten der Erklärung, sind jedoch aufwändig mithilfe von Videofeedback geschult, sich vergleichbar zu verhalten und an ähnlichen Stellen ähnliche Fragen zu stellen. Diese Fragen sollen unter anderem darauf abzielen, die Erklärungsansätze zu verändern, also abstrakter (beispielsweise durch den Einsatz von Formeln) oder konkreter (beispielsweise durch Analogien) zu erklären. Teil der Analyse ist dann die Frage, ob die Studierenden in der Lage sind, die Probleme der Schülerinnen und Schüler zu erkennen und geeignet darauf zu reagieren.

In diesem Projekt werden Studierende aller Semester getestet, zudem werden Studierende des Vollfachs Physik als Vergleichsgruppe verwendet. Parallel werden im Gesamtprojekt Tests für das Fachwissen (Universität Duisburg Essen, RWTH Aachen) und das fachdidaktische Wissen (Universität Paderborn) entwickelt. Erste Ergebnisse lassen vermuten, dass die Erhebungsmethode valide ist. Mit konkreten Ergebnissen ist hier jedoch erst 2015 zu rechnen.

6. Literatur

- [1] Merzyn, G. (2005). Junge Lehrer im Referendariat. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht* 58(1), S. 4-7.
- [2] Baird, J. (1988). Teachers in science education. In: P. Fensham (Hrsg.): *Development an Dilemmas in Science Education*, S. 55–72. Falmer.
- [3] Brown, G. (2006). Explaining. In: O. Hargie (Hrsg.): *The handbook of communication skills*, S. 195–228. East Sussex: Taylor & Francis.
- [4] Kiel, E. (1999). *Erklären als didaktisches Handeln*. Würzburg: Ergon.
- [5] Kircher, E., Girwidz, R. & Häußler, P. (Hrsg.) (2006). *Physikdidaktik. Theorie und Praxis*. Heidelberg: Springer.
- [6] Hopf, M., Schecker, H. & Wiesner, H. (Hrsg.) (2011). *Physikdidaktik kompakt*. Hallbergmoos: Aulis.
- [7] Martin, J. (1970). *Explaining, Understanding, and Teaching*. New York: McGraw Hill.
- [8] Berland, L. K. & McNeill, K. L. (2012). For whom is argument and explanation a necessary distinction? A response to osborne and pattersen. *Science Education* 96(5), S. 808–813.
- [9] Treagust, D. & Harrison, A. (1999). The genesis of effective science explanations for the classroom. In: J. Loughran (Hrsg.): *Researching Teaching: methodologies and Practices for Understanding Pedagogy*, S. 28–43. Abingdon: Routledge.
- [10] McNeill, K. & Krajcik, J. (2007). Inquiry and scientific explanations: helping students use evidence and reasoning. In: J. Luft, R. Bell & J. Gess-Newsome (Hrsg.): *Science as an Inquiry in the secondary setting*, S. 121–134. USA: National Science Teachers Association.
- [11] McNeill, K. (2009). Teachers' use of curriculum to support students in writing scientific arguments to explain phenomena. *Science Education* 93(2), S. 233–268.
- [12] McNeill, K. (2011). Elementary students' views of explanation, argumentation and evidence and abilities to construct arguments over the school year. *Journal of Research in Science Teaching* 48(7), S. 793–823.
- [13] Geelan, D. (2012). Teacher explanations. In: B. Fraser, K. Tobin & C. McRobbie (Hrsg.): *Second International Handbook of Science Education*, S. 987–999. Dordrecht: Springer.
- [14] Ogborn, J., Kress, G., Martins, I. & McGillicuddy, K. (1996). *Explaining science in the classroom*. Buckingham: Open University Press.
- [15] Sevan, H. & Gonsalves, L. (2008). Analysing how scientists explain their research: A rubric for measuring the effectiveness of scientific explanations. *International Journal of Science Education* 30(11), S. 1441–1467.
- [16] Shulman, L. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Education Review* 57(1), S. 1–22.
- [17] Gage, N. (1968). The microcriterion of effectiveness in explaining. In: N. Gage (Hrsg.): *Explorations of the Teacher's Effectiveness in Explaining*, Technical Report No. 4, S. 1–8. Stanford Center for Research and Development in Teaching.
- [18] Kulgemeyer, C. & Schecker, H. (2009). Kommunikationskompetenz in der Physik: Zur Entwicklung eines domänenspezifischen Kompetenzbegriffs. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 15, S. 131–153.
- [19] Kulgemeyer, C. & Schecker, H. (2013). Students explaining science – assessment of science communication competence. *Research in Science Education* DOI: 10.1007/s11165-013-9354-1.
- [20] Osborne, J. F. & Patterson, A. (2011). Scientific argument and explanation: A necessary distinction? *Science Education* 95(4), S. 627–638.
- [21] Hepp, R. (2012). Lernen im Team. Die Auseinandersetzung mit den Anwendungen des Elektromagnetismus als Anlass zu kooperativem

- Lernen. *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik* 23(127), S. 30–35.
- [22] Tepner, M., Roeder, B. & Melle, I. (2009). Effektivität des Gruppenpuzzles im Chemieunterricht der Sekundarstufe I. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 15, S. 7–29
- [23] Berger, R. & Hänze, M. (2004). Das Gruppenpuzzle im Physikunterricht der Sekundarstufe II. Einfluss auf Motivation, Lernen und Leistung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 10, S. 205–219.
- [24] Kulgemeyer, C. (2011). Physik erklären als Rollenspiel. Adressatengemäßes Kommunizieren fördern und diagnostizieren. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik* 22(123/124), S. 70–74.
- [25] Tomczyszyn, E., Kulgemeyer, C. & Schecker, H. (2013). Physik erklären. Erklärungswissen von Physik- studierenden. In: S. Bernholt (Hrsg.): *Inquiry-based Learning - Forschendes Lernen*, S. 524–526. Kiel: IPN.
- [26] Kulgemeyer, C., Borowski, A., Fischer, H., Gramzow, Y., Reinhold, P., Riese, J., Schecker, H., Tomczyszyn, E. & Walzer, M. (2012). ProfiLe-P - Professionswissen in der Lehramtsausbildung Physik. Vorstellung eines Forschungsverbundes. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*.
- [27] Brunner, M., Kunter, M., Krauss, S., Klusmann, U., Baumert, J., Blum, W., Neubrand, M., Dubberke, T., Jordan, A., Löwen, K. & Tsai, Y. (2006). Die professionelle Kompetenz von Mathematiklehrkräften: Konzeptualisierung, Erfassung und Bedeutung für den Unterricht. Eine Zwischenbilanz des COACTIV-Projekts. In: *Untersuchungen zur Bildungsqualität von Schule. Abschlussbericht des DFG-Schwerpunktprogramms*, S. 54-82. Münster: Waxmann.
- [28] Kulgemeyer, C. (2010). *Physikalische Kommunikationskompetenz. Modellierung und Diagnostik*. Berlin: Logos.
- [29] Wagner, A. & Wörn, C. (2011). *Erklären lernen - Mathematik verstehen*. Seelze: Klett.