Carina Wöhlke[1]
Heiko Krabbe[1]

[1]Ruhr-Universität Bochum

Schriftliches Erklären im Physikunterricht unterstützen

Erklären im Physikunterricht

Die Erklärfähigkeit von SchülerInnen ist ein Teil der Sach- und Erkenntnisgewinnungskompetenz (vgl. KMK, 2005; NGSS, National Research Council 2012) und bildet einen Teil des Anforderungsniveaus II (KMK, 2005). Das Erklären hilft den SchülerInnen dabei, höhere kognitive Strukturen auszubilden (Braaten & Windschnitl, 2011) und ermöglicht es ihnen, Erfahrungen mit authentischen, wissenschaftlichen Handlungen zu sammeln (Braaten & Windschnitl, 2011; Tang 2016; Andrade, Freire & Baptista, 2019). Obwohl Erklären beim konzeptuellen Verständnis helfen kann, werden im Unterricht Fakten angehäuft, ohne die Logik von Erklärungen zu verstehen oder anzuwenden (Braaten & Windschitl, 2011). Des Weiteren geben oft die Lehrkräfte (gute) Erklärungen und lassen die SchülerInnen nicht selber erklären (Braaten & Windschitl, 2011). Auch wenn das Argumentieren ebenfalls hilft, kognitive Strukturen auszubauen, sollten Argumentieren und Erklären nicht synonym verwendet werden (Osborne & Patterson, 2011). Zwar gibt es viele Studien, die das Argumentieren untersuchen, aber eher wenig Studien, die Erklärfähigkeit von SchülerInnen fördern oder untersuchen (Andrade, Freire & Baptista, 2019; Tang, 2016). Wir folgern daraus, dass mehr Studien nötig sind, die die Erklärfähigkeit von SchülerInnen untersuchen, um ableiten zu können, wie gute SchülerInnen-Erklärungen im Unterricht gefördert werden können (Andrade, Freire & Baptista, 2019).

Physikalische Erklärungen und ihre Modelle

Physikalische Erklärungen geben Antwort auf die Frage „Warum“ ein natürliches Phänomen auftritt (Osborne & Patterson, 2011). Beispielsweise kann durch eine physikalische Erklärung die Frage beantwortet werden, warum ein Auto beschleunigt. Des Weiteren leiten physikalische Erklärungen über akzeptierte Gesetzmäßigkeiten oder Theorien Phänomene her (Braaten & Windschnitl, 2011). Die Beschleunigung eines Autos kann demnach über das zweite Netwon’sche Axiom hergeleitet werden. Es werden also – anders als bei Argumentationen – gesicherte Phänomene erklärt (Osborne & Patterson, 2011).

Es gibt verschiedene Ansätze, physikalische Erklärungen zu modellieren (Hempel & Oppenheimer, 1948; Salmon, 1989; Braaten & Windschnitl, 2011; Tang, 2015). Eine mögliche logische Struktur für Erklärungen von SchülerInnen im Unterricht ergibt sich aus einer Synthese dieser Erklärungsmodelle (Braaten & Windschnitl, 2011; Tang, 2016): (a) Ein zu erklärendes Phänomen muss erkannt werden; Dies drückt sich in einer (angemessenen) Beschreibung des Phänomens aus. (b) Anschließend werden Naturgesetzen (Covering-Law-Model nach Hempel & Oppenheimer (1949)), statistische Zusammenhänge (Salmon, 1989) oder big ideas (Friedman, 1974) zurate gezogen. Mithilfe dieser werden Ursachen und Wirkungen in eine logische Kette gebracht (Tschentscher & Berger, 2016), um Gründe für das Phänomen abzuleiten und dieses somit zu erklären. Eine gute Erklärung ist physikalisch relevant, hat einen konzeptuellen Rahmen mit entsprechender (linearer oder komplexer) Kausalität und verwendet abstrakte Repräsentationsebenen (Andrade, Freire & Baptista, 2019). Eine Erklärung gewinnt an Qualität, wenn sie sich auf wenige, aber erklärmächtige Ursachen (z.B. big

ideas) stützt (Explanatory-Covering-Model nach Friedman, 1974). (c) Abschließend wird aus der logischen Kette das Phänomen geschlussfolgert.
Tang (2016) konnte zeigen, dass es SchülerInnen beim Verfassen einer Erklärung hilft, wenn sie einen rhetorischen Rahmen als Hilfestellung erhalten. Angelehnt an Toulmins (1975) rhetorische Kette für das Argumentieren (Claim – Evidence – Reasoning) entwickelte Tang (2016) einen rhetorischen Rahmen für Erklärungen (siehe Abbildung 1), in dem zunächst das Phänomen beschrieben, passende Gesetzmäßigkeiten herangezogen werden (Premise), daraufhin die Ursachen und Wirkungen in eine logische Kette gebracht werden (Reasoning) und abschließend das Phänomen gefolgert wird (Outcome). Da es sich beim Erklären um eine sprachliche Handlung handelt, stellt sich die Frage, inwiefern solche strukturierenden, fachlich-konzeptuellen Hilfen ausreichen oder auch sprachliche Hilfestellungen nötig sind, um die Erklärfähigkeit von SchülerInnen zu unterstützen.

Forschungsfragen und Hypothese
In dem Projekt gehen wir daher den Forschungsfragen nach, (1) inwieweit die Förderung durch fachliche und/oder sprachliche Hilfen zur Strukturierung von Erklärtexten zu einer Veränderung der Erklärtexte von SchülerInnen führt und (2) inwiefern diese Veränderung von der Art der Hilfen abhängt (fachlich, sprachlich, fachlich und sprachlich)? Dafür wurden die Hypothesen untersucht, dass a) die Hilfen zu einer erhöhten Qualität der SchülerInnen-Erklärungen führen und (b) fachlich und sprachlich kombinierte Hilfen zur Strukturierung von Erklärtexte zusammen zu einer stärkeren Qualitätssteigerung von Erklärtexten der SchülerInnen führen als rein fachlich oder sprachliche Hilfen.

Untersuchungsdesign
Für die Untersuchung dieser Hypothesen wurden Erklärtexte zum zweiten Newton'schen Axiom und deren Überarbeitungen von $N = 90$ SchülerInnen nach einem Schülerlabor-Projekttag untersucht. An diesem Projekttag wurden die SchülerInnen durch einen Input zum zweiten Newton'schen Axiomen fachlich auf den gleichen Stand gebracht. In einem Stop-Motion-Video wurde eine Start-, Lande- und Rollphase eines Lego-Star Wars-„Raumschiffs" gezeigt, dessen Rollphase (gleichmäßige Bewegung) in einem beispielhaften (Erklär-)Video erklärt wurde. Dann sollten die SchülerInnen den Start (beschleunigte Bewegung) in einem eigenen Erklärvideo erklären. Dazu haben sie einzeln einen Drehbuchtext (Drehbuch A) verfasst und in PowerPoint eine entsprechende nonverbale Veranschaulichung durch die Ergänzung von Vektorpfeilen (Geschwindigkeit, Kraft) in einem vorgegebenen Zeitraster (3 Zeitpunkte) erstellt. Als Intervention erhielten die SchülerInnen in vier Gruppen (F_k: fachlich-konzeptuell konkrete ($N = 19$), F_a: fachlich-konzeptuell-allgemeine ($N = 22$), S: sprachliche ($N = 27$), $F_a \& S$: fachlich-konzeptuell-allgemein und sprachlich kombinierte ($N = 22$)) Hilfen zur Verfassung von Erklärungen. Diese folgten in Anlehnung an Tang (2016) einer rhetorischen Struktur: Einordnen des Phänomens in ein Oberthema, alltagssprachliche und fachliche Beschreibungen des Phänomens, Heranziehen einer Gesetzmäßigkeit (Premise), Ableiten und Überprüfen der Bedingungen für die Gesetzmäßigkeit (Reasoning), Folgern des Phänomens und Schreiben einer Zusammenfassung (Outcome). Diese Hilfen wurden in zwei Aufgaben zu der Erklärung der Rollphase in dem Beispielvideo von den SchülerInnen erschlossen. Abschließend überarbeiteten die SchülerInnen individuell ihre Drehbuchtexte (Drehbuch B) mit den Hilfen und setzen in Kleingruppen eines ihrer Drehbücher in ein Erklärvideo um. Anhand eines entlang der rhetorischen Struktur entwickelten Kodiermanuals wurden die Drehbuchtexte und ihre Überarbeitungen in acht Aspekten (siehe Tab. 1) auf einer

Skala von Null (nicht realisiert) bis vier (vollständig realisiert) bewertet. Zusammenhangsanalysen halfen beim Beantworten der Forschungsfrage.

Ergebnisse

In Tabelle 1 ist die Veränderung der Mittelwerte von Drehbuch A zu Drehbuch B bezüglich der acht Aspekte mit dem 95%-Konfidenzintervall dargestellt.

Aspekte	**ΔM**	**Sig. (2-seitig)**	**Unterer Wert**	**Oberer Wert**
Einordnung in Oberthema	.58	.001***	.833	.333
Alltagsspr. Beschreibung	.23	.019*	.378	.100
Fachliche Beschreibung	.10	.022*	.178	.034
Nennung der Gesetzmäßigkeit	.07	.025*	.171	.033
Ableiten der Bedingungen	.09	.071	.178	.011
Prüfen der Bedingungen	.06	.038*	.111	.011
Folgerung des Phänomens	.08	.156	.167	.022
Zusammenfassung	.09	.123	.189	.022

Tab. 1. Mittelwertsunterschiede von Drehbuch A zu B der Aspekte der rhetorischen Struktur.

Die Analyse mittels t-Test bei abhängigen Stichproben durch Bootstrapping zeigt, dass sich die SchülerInnen-Erklärungen bezüglich der Aspekte Ableiten der Bedingungen, Folgern des Phänomens und Zusammenfassen nicht signifikant verbessert habe. Dies sind Aspekte, die zum Reasoning gehören und den SchülerInnen trotz Hilfen schwer zu fallen scheinen (siehe Tab. 1, Zeilen 6, 7 und 9). Insgesamt beträgt der Mittelwertunterschied maximal einen halben Punkt (siehe Tab. 1, Spalte 2).

Der Vergleich der Medianunterschiede zwischen den verschiedenen Interventionsgruppen mittels Kruskal-Wallis-Test zeigt, dass vor allem zwischen den Gruppen S und $F_a\&S$ Medianunterschiede existieren (siehe Abb. 2). Ähnliches deutet sich für die Unterschiede zwischen den Gruppen F_k und $F_a\&S$ an (siehe Abb. 2). Daraus lässt sich ableiten, dass am ehesten fachlich-konzeptuell allgemein und sprachlich kombinierte Hilfen beim Verfassen einer Erklärung helfen.

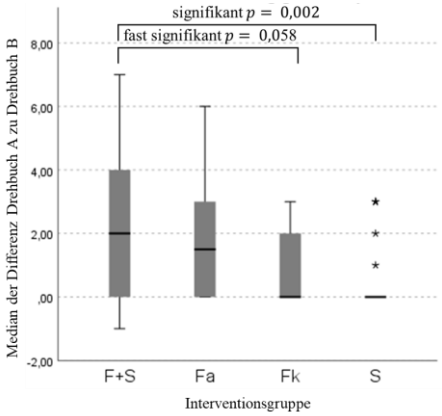

Abb. 2. Median der Differenzen von Drehbuch A zu Drehbuch B und deren Vergleich nach Interventionsgruppen.

Diskussion und Ausblick

Für den geringen Anstieg der Erklärqualität kann es mehrere Gründe geben. Zum einen wird vermutet, dass die SchülerInnen nicht über das entsprechende Fachwissen verfügten. Zum anderen kann das Zeitraster, das als Vorlage für die graphische Umsetzung vorgegeben wurde, als eine starke, bisher nicht bedachte Hilfestellung dienen. Dieses steht den SchülerInnen schon bei der Anfertigung von Drehbuch A zur Verfügung, sodass es trotz weiterer Hilfen nur selten zu den erwarteten Überarbeitungen kommt. In zukünftigen Durchführungen kommt das Zeitraster daher erst später zum Einsatz.

Literatur

Andrade, V., Freire, S., & Baptista, M. (2019). Constructing scientific explanations: a system of analysis for students' explanations. Research in Science Education, 49(3), 787-807.

Braaten, M., & Windschitl, M. (2011). Working toward a stronger conceptualisation of scientific explanation for science education. Science Education, 95, 639-669.

Friedman, M. (1974). Explanation and scientific understanding. Journal of Philosophy, 71, 5 – 19.

Hempel, C. G., & Oppenheim, P. (1948). Studies in the logic of explanation. Philosophy of Science, 15(2), 135 – 175.

KMK – Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (2005). Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss. München: Luchterhand.

National Research Council. (1996). National science education standards. Washington, DC: National Academy Press.

Osborne, J. F., & Patterson, A. (2011). Scientific argument and explanation: A necessary distinction? Science Education, 95, 627–638.

Salmon, W. C. (1989). Four decades of scientific explanation. Minneapolis, MN: University of Minnesota Press.

Tang, K. S. (2016). Constructing scientific explanations through premise–reasoning–outcome (PRO): an exploratory study to scaffold students in structuring written explanations. International Journal of Science Education, 38(9), 1415-1440.

Tschentscher, C. & Berger, R. (2016): Wie kann man gute Erklärungen mit Lernenden trainieren? In: Naturwissenschaften im Unterricht Physik (152). S. 16-21

Toulmin, S. E. (1975). Der Gebrauch von Argumenten. Kronberg: Scriptor.