

Funktionale Beschreibung von Gesetzmäßigkeiten im Physikunterricht

Ausgangslage

Eine themenübergreifende Kompetenz im Rahmen des Physikunterrichtes ist der Umgang und die Formulierung physikalischer Gesetzmäßigkeiten. Diese, ohne jegliche Form der Mathematisierung zu betrachten, ist im aktuellen Diskurs kaum vorstellbar, da das mathematische Modellieren ein zentraler Teil der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung ist. Dabei ist die funktionale Beschreibung von physikalischen Gesetzmäßigkeiten nicht nur relevant für die physikalische Modellierung, sie ist gleichzeitig auch eine zentrale Komponente der mathematischen Modellierung (Pospiech et al. 2019). Dementsprechend stellt sich in Bezug auf den Umgang mit physikalischen Gesetzmäßigkeiten die Frage nach der Rolle der Mathematik (und der Mathematisierung) im Physikunterricht. Obwohl in der interdisziplinären Forschung diese Fragestellung bereits aus unterschiedlichen Perspektiven beleuchtet worden ist (Krey, 2012; Pospiech et al., 2019), fehlt bislang jedoch eine einheitliche Definition der Rolle der Mathematik in der Physik. Zudem liegen unterschiedliche Vorstellungen der Schüler*innen und Erwartungen der Lehrkräfte an die Verwendung von mathematischen Konzepten im Physikunterricht vor. Diese Diskrepanz kann bei Schüler*innen zu Lernschwierigkeiten und Verständnisproblemen mit mathematischen Strukturen im physikalischen Kontext führen, wie Uhden (2016) in einer qualitativen Studie aufzeigen konnte. Es wurden 23 Verständnisprobleme in Zusammenhang mit der inhaltlichen Bedeutung mathematischer Strukturen (strukturelle Fähigkeiten) gefunden, die sich größtenteils auf den Umgang mit funktionalen Zusammenhängen im Physikunterricht beziehen. Beispielsweise haben Schüler*innen Schwierigkeiten, abgeleitete Einheiten zu bilden, mit unterschiedlichen (mathematischen) Darstellungsformen zu arbeiten oder zwischen ihnen zu wechseln. Das Beispiel der proportionalen Zusammenhänge zeigt außerdem, dass fehlende mathematische Konzepte, wie die Bedeutung von Parameter, zu Verständnisproblemen führen können. Hier ist es deshalb das Ziel, den Physikunterricht hinsichtlich der funktionalen Beschreibung von physikalischen Gesetzmäßigkeiten zu charakterisieren, um mögliche Schwierigkeiten und Herausforderungen identifizieren zu können. Basierend auf diesen Ergebnissen können dann Schlussfolgerungen und Handlungsansätze entwickelt werden, um mögliche Verständnisprobleme zu verringern und den Lernprozess der Schüler*innen zielorientiert gestalten zu können. Daraus ergibt sich folgende konkrete Fragestellung zur Spezifizierung des Forschungsanliegens:

Welche Mathematisierungsschritte und physikalischen Interpretationen lassen sich im Umgang mit (funktionalen) Gesetzmäßigkeiten im Physikunterricht wiederfinden?

Theoretischer Hintergrund

Um untersuchen zu können, welche Formen und Charakteristika von physikalischen Gesetzmäßigkeiten im Physikunterricht überhaupt auftreten, muss zunächst näher beleuchtet werden, welches Verständnis von physikalischen Gesetzmäßigkeiten in der Literatur präsentiert wird. Wie aus der obigen Darstellung bereits hervorgeht, ist eine didaktisch fundierte Beschreibung von physikalischen Gesetzmäßigkeiten hinsichtlich ihrer notwendigen Verständnisaspekte in der Forschung nicht bekannt. Auf Seiten der Mathematik ist der zu den „Gesetzmäßigkeiten“

analoge Begriff der „Funktionen“ hingegen umfassend beschrieben. Dieser lässt sich unter drei zentralen Grundvorstellungen zusammenfassen, die für das Verständnis des Funktionsbegriffs notwendig sind: die Zuordnungs-, die Kovariations- und die Objektvorstellung (Vollrath, 1989). Diese drei Vorstellungen beziehen sich jeweils auf die Art des Zusammenhangs zwischen zwei (physikalischen) Größen, weshalb die allgemeine Beschreibung des Größen- bzw. Variablenbegriffs unumgänglich ist. Die Mathematik begreift eine Variable als eine veränderliche Größe, die abhängig vom Kontext und Zusammenhang unterschiedliche Rollen einnehmen kann, wie z.B. als Parameter, Konstante oder als (un-)abhängige Größe (Zindel, 2019). Im Gegensatz dazu steht in der Physik eine Größe als Stellvertreter für eine Eigenschaft, ein Merkmal eines Objektes oder eines Vorgangs, die auf unterschiedliche Weise dargestellt werden kann (Kuchling, 2022). Die Art dieser Darstellungsformen spielen auch im Kontext der funktionalen Zusammenhänge eine wichtige Rolle, da in der Physik die Wahl der Darstellungsform oftmals kontext- oder lernprozessorientiert stattfindet. Gleichzeitig ist in der Mathematik die Wahl der Darstellungsform unter anderem von den zu fördernden Grundvorstellungen abhängig, so dass die Wahl unterschiedliche fachlichen Anforderungen an die Schüler*innen stellt und das konzeptuelle Verständnis unterschiedlich fördert (Greefrath et al., 2016). In der physikalischen Modellierung hingegen lassen sich vier Darstellungsformen von funktionalen Zusammenhängen identifizieren, durch die eine Gesetzmäßigkeit repräsentiert werden kann: qualitativ, halb-quantitativ, quantitativ sprachlich oder quantitativ mathematisch (Oy, 1977). Die quantitativ mathematischen Darstellungen umfassen nach dem physikdidaktischen Verständnis die algebraischen, tabellarischen und graphischen Formen (Pospiech et al., 2019). Diese literaturbasierte Definitionen und Beschreibungen der jeweiligen Aspekte eines funktionalen Zusammenhangs ermöglichen die Analyse konkreter Unterrichtsstunden im Hinblick auf die Verwendung von physikalischen Gesetzmäßigkeiten und eine Beschreibung physikalischer Gesetzmäßigkeiten aus einer praxisorientierten Perspektive.

Methodisches Vorgehen

Um reale Unterrichtssituationen zu analysieren und daraus mögliche Mathematisierungsschritte oder physikalische Interpretationen zuordnen und ableiten zu können, wurde ein Kategoriensystem mithilfe der qualitativ-strukturierenden Inhaltsanalyse nach Mayring (2022) entwickelt, welches die unterschiedlichen Aspekte einer physikalischen Gesetzmäßigkeit aus inhaltlicher und didaktischer Ebene erfasst. Diese ermöglicht die material-basierte Identifikation von Kategorien mithilfe derer weitere Unterrichtsstunden analysiert und inhaltlich beschrieben werden können. Es wurden zunächst drei unabhängige Transkripte videographierter Physikunterrichtsstunden der Sekundarstufe I aus der Studie von Zander (2016) ausgewählt, die sich in unterschiedlichen physikalischen Kontexten und sowohl implizit wie auch explizit mit physikalischen Gesetzmäßigkeiten auseinandergesetzt haben. Im Anschluss daran wurden diese Transkripte in Kodiereinheiten (den kleinsten einzelnen Wortbeitrag) unterteilt. Die Kategorienbildung erfolgt nach Mayring (2022) deduktiv (theoriegeleitet) anhand der oben zusammenfassend dargestellten theoretischen Grundlagen. Zudem wurden die Kategorien nominal angeordnet, da das Ziel keine ordinale Einordnung des Materials ist, sondern eine inhaltlich basierte Charakterisierung. Es ergibt sich somit ein Kategoriensystem (Abb. 1) mit drei „Hauptkategorien“ (Größe/Variable, Zuordnung, funktionaler Zusammenhang), die durch ihre jeweiligen Darstellungsformen und Charakteristika ausdifferenziert werden:

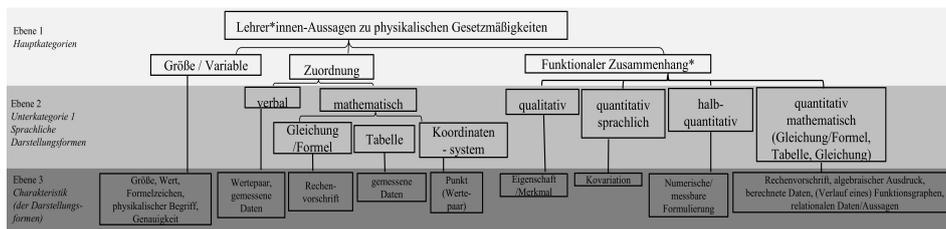


Abb. 1: Kategoriensystem zur Beschreibung funktionaler physikalischer Gesetzmäßigkeiten

*Ergänzende Kodierung naturwissenschaftliche Arbeitsweisen: vermuten/hinterfragen, herleiten, mit Theorie/Modell verknüpfen, prüfen, aufstellen, eingrenzen, anwenden/zuordnen

Dieses Kategoriensystem wurde in einem Kodierleitfaden spezifiziert, welcher sowohl die jeweiligen Definitionen der einzelnen Kategorien beinhaltet als auch entsprechende Ankerbeispiele und Kodierregeln, wodurch eine standardisierte Analyse von Unterrichtseinheiten ermöglicht wurde. Auf dieser Grundlage wurden dann die drei vorbereiteten Transkripte kodiert und analysiert. Dabei wurde das Kategoriensystem basierend auf den Materialien induktiv ergänzt. Abschließend wurde die Inter-coder-Reliabilität der Kategorisierung mit Hilfe des Kategoriensystems anhand der Cohens Kappa κ -Werte überprüft. Die drei Hauptkategorien konnten mit noch annehmbaren Werten bestätigt werden ($\kappa > .53$) und auch die Unterkategorien der Darstellungsformen und Charakteristik können angenommen werden (Größe: $\kappa > .84$, Zuordnung: $\kappa > .53$, funktionaler Zusammenhang: $\kappa > .52$). Die Ergebnisse der Analyse liefern dementsprechend erste Hinweise auf die fachdidaktische Verwendung und Einbindung von physikalischen Gesetzmäßigkeiten in den Unterrichtskontext.

Ergebnisse und Ausblick

Neben dem Kategoriensystem, welches eine Charakterisierung von Physikunterrichtsstunden ermöglicht, können auch erste übergeordnete Hypothesen in Bezug auf die Thematisierung unterschiedlicher Kategorien aus der Analyse abgeleitet werden. Es zeigt sich, dass im Physikunterricht Zuordnungen kaum thematisiert werden (13% aller kodierten Aussagen), wohingegen funktionale Zusammenhänge (42%) oder eine einzelne physikalische Größe (45%) gleichermaßen deutlich häufiger behandelt werden. Diese Beobachtung legt die Vermutung nahe, dass die reine Zuordnung von Größen zueinander im Physikunterricht (im Gegensatz zum Mathematikunterricht) keine zentrale Rolle spielt. Betrachtet man nur die Kategorie *Größe* konnte gezeigt werden, dass in diesem Bereich größtenteils über die Bedeutung oder die Begrifflichkeit einer Größe gesprochen wird (48%). Entgegen möglicher Erwartungen wird hingegen die Genauigkeit einer Größe kaum diskutiert (3%), obwohl die Diskussion von physikalischen Werten ein charakteristischer Teil der physikalischen Modellierung ist (Pospiech et al., 2019). Im Bereich der *funktionalen Zusammenhänge* werden Äußerungen größtenteils qualitativ (55%) und weniger quantitativ mathematisch (27%) formuliert, was die Vermutung nahelegt, dass für die mathematische Modellierung weniger Zeit im Unterrichtskontext eingeräumt wird als für die qualitative Auswertung von Experimenten oder die qualitative Formulierung von Hypothesen. Kovariationen (8%) und quantitativ sprachliche Aussagen (10%) lassen sich selten im Unterrichtsgespräch wiederfinden. Damit spielen im Physikunterricht Zuordnungen und Kovariationen - entgegen dem Prozess der mathematischen Begriffsbildung mithilfe der Grundvorstellungen - eine untergeordnete Rolle. Im Bereich der mathematischen Darstellungsformen von funktionalen Zusammenhängen konnte abschließend noch

festgestellt werden, dass vor allem algebraische (57%) und graphische (43%) Darstellungsformen diskutiert werden. Dies könnte damit begründet werden, dass tabellarische Darstellungsformen hauptsächlich als „Organisationsform“ für (Mess-)Werte im Unterricht genutzt werden und sie weniger unter dem Zusammenhangsaspekt betrachtet werden. Diese Ergebnisse liefern damit einen ersten Einblick in die Art und Weise, wie physikalische Gesetzmäßigkeiten im Unterrichtskontext thematisiert werden und welche Schwerpunkte im Unterrichtsgespräch gesetzt werden. Da es sich hierbei um eine explorative Analyse handelt, ist eine weiterführende Untersuchung und Analyse zur Bestätigung dieser ersten Beobachtungen unumgänglich. Gleichzeitig wird jedoch auch deutlich, dass diese Perspektive auf den Physikunterricht die Möglichkeit bieten könnte, mögliche Diskrepanzen zwischen den mathematischen und physikalischen Lernprozessen aufzudecken und für diese zu sensibilisieren, so dass für die Schüler*innen weniger Schwierigkeiten in der Vereinbarung beider Fachkompetenzen untereinander auftreten.

Literatur

- Greefrath, G., Oldenburg, R., Siller, H.-S., Ulm, V. & Weigand, H.-G. (2016). *Didaktik der Analysis: Aspekte und Grundvorstellungen zentraler Begriffe. Mathematik Primarstufe und Sekundarstufe I + II*. Springer Spektrum.
- Krey, O. (2012). *Mathematik in der Physik: Wissenschaftstheoretische Aspekte und Vorstellungen Physiker*innen*. Logos-Verlag.
- Kuchling, H. (2022). *Taschenbuch der Physik (22., aktualisierte Auflage)*. Hanser. <https://doi.org/10.3139/9783446473645>
- Mayring, P. (2022). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken (Neuausgabe)*. Beltz Verlagsgruppe.
- Oy, K. v. (1977). *Was ist Physik? (1. Aufl.)*. Klett Studienbücher. Klett.
- Pospiech, G., Michelini, M. & Eylon, B.-S. (Hrsg.). (2019). *Mathematics in Physics Education (1. Aufl.)*. Springer International Publishing; Imprint Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-04627-9>
- Uhden, O. (2016). Verständnisprobleme von Schülerinnen und Schülern beim Verbinden von Physik und Mathematik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 22, 13-24.
- Vollrath, H.-J. (1989). Funktionales Denken. *Journal für Mathematikdidaktik*, 10, 3-37.
- Zander, S. M. (2016). *Lehrerfortbildung zu Basismodellen und Zusammenhänge zum Fachwissen*. Logos-Verlag.
- Zindel, C. (2019). *Den Kern des Funktionsbegriffs verstehen: Eine Entwicklungsforschungsstudie zur fach- und sprachintegrierten Förderung*. Springer Spektrum.