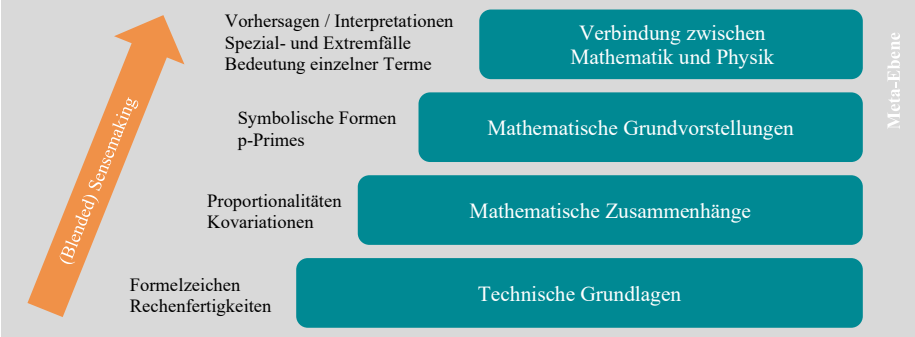
Marco Schröder
Karsten Rincke
Universität Regensburg

Entwicklung einer Vergleichsstudie zum Einführen von Formeln im Physikunterricht

Herangehensweisen zum Einführen von Formeln

Die Mathematik spielt eine zentrale Rolle in der Physik und im Physikunterricht. Dennoch bereitet gerade ein struktureller, auf Verständnis ausgelegter Umgang mit Formeln den Lernenden Schwierigkeiten (Uhden, 2012). Zur Förderung eben dieser Fähigkeiten liegen bislang wenige konkrete Forschungsergebnisse vor (Pospiech, 2019). Offen ist beispielsweise, wie eine neue Formel im Physikunterricht eingeführt werden sollte, um gleichzeitig ein strukturelles Verständnis zu fördern.
In Schröder und Rincke (2026) wurden zwei mögliche Herangehensweisen vorgestellt, wie man bereits bei der Einführung von Formeln im Physikunterricht ein tieferes Formelverständnis im Sinne des Blended Sensemakings (vgl. Abb. 1) aufbauen könnte.

Abbildung 1
Rahmenmodell zum Formelverständnis



Anmerkung. Basierend auf Kaldaras & Wieman (2023), Kuske-Janßen (2020) und Zhao & Schuchardt (2021).

Ausgehend von einer breiten Literaturrecherche wurden die beiden Möglichkeiten des *Aufstellens* bzw. *Plausibilisierens* einer Formel entwickelt. In beiden Herangehensweisen führen die Lernenden zunächst (Simulations-)Experimente durch, in denen sie die Zusammenhänge erkunden sollen, die anschließend durch eine Formel beschrieben werden. Beim *Aufstellen* folgt im Anschluss an die Experimente ein Systematisieren der gemachten Beobachtungen sowie ein darauf aufbauendes Mathematisieren, d. h. ein Verknüpfen mit passenden mathematischen Konzepten wie Proportionalitäten und eine symbolsprachliche Notation der Zusammenhänge. Schließlich werden die Einzelzusammenhänge zur gesuchten Formel kombiniert und diese anschließend gerechtfertigt, indem Beispielwerte eingesetzt und systematisch verändert werden, um das Verhalten des mathematischen Ausdrucks mit den Beobachtungen aus dem Experiment abzugleichen. Beim *Plausibilisieren* wird im Anschluss an die Experimente die passende Formel von der Lehrkraft präsentiert. Daraufhin nähern sich die Lernenden ge-

meinsam mit der Lehrkraft der Formel aus einer mathematischen Perspektive an, indem Beispielwerte eingesetzt und nacheinander abgeändert werden, um so die der Formel innewohnende Systematik zu erkunden. Die dabei beobachteten Strukturen (z. B. ein Verdreifachen, Vervierfachen der einen Größe führt zu einem Dritteln, Vierteln der Zielgröße) werden anschließend mit bekannten mathematischen Konzepten in Verbindung gebracht (in diesem Fall mit der indirekten Proportionalität). Abschließend werden die mathematischen Konzepte in qualitative Aussagen übersetzt und schließlich mit den ursprünglich gemachten Beobachtungen aus dem Experiment verbunden.
Im Anschluss an die beiden Herangehensweisen zum Einführen von Formeln findet dann eine Vertiefung der Formel statt: Es werden Spezial- und Extremfälle der Formel besprochen, einzelne Terme mit mathematischen Grundvorstellungen (vom Hofe, 1992; Sherin, 2001) verknüpft und mithilfe der Formel Vorhersagen und Interpretationen getroffen.

Studiendesign und Forschungsfragen

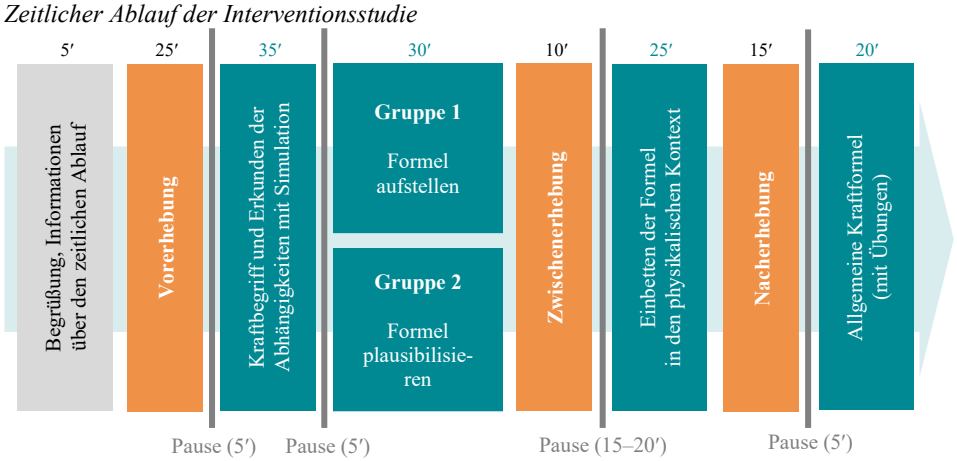
Die beiden Herangehensweisen sollen in einer quasi-experimentellen Studie miteinander verglichen werden. Dabei sollen folgende Forschungsfragen beantwortet werden:

1. Welche Zusammenhänge zeigen sich zwischen der Herangehensweise, individuellen Merkmalen (fachliches Vorwissen, mathematisch-strukturelle Fähigkeiten, Denkweise) und dem *fachlichen Wissenszuwachs*?
2. Inwiefern unterscheiden sich die Herangehensweisen in der *Entwicklung der mathematisch-strukturellen Fähigkeiten*?
3. Welche Zusammenhänge zeigen sich zwischen der Herangehensweise, individuellen Merkmalen (fachliches Vorwissen, mathematisch-strukturelle Fähigkeiten, Denkweise) und der *kognitiven Belastung* sowie *Lernförderlichkeit*?

Die Vergleichsstudie erfolgt zum Thema der Newton'schen Bewegungsgleichung $\vec{F} \cdot \Delta t = m \cdot \overrightarrow{\Delta v}$ (NBG) mit 8. Klassen bayerischer Gymnasien. Der Unterricht findet dazu jeweils an einem Vormittag an den Schulen vor Ort statt und wird über alle Klassen hinweg von Marco Schröder erteilt. Die Studie umfasst dabei vier zusammenhängende Schulstunden (vgl. Abb. 2). Die Begleiterhebungen finden mithilfe mitgebrachter Tablets und Mobilfunkrouter statt.

Abbildung 2

Zeitlicher Ablauf der Interventionsstudie



In der *Vorerhebung* bearbeiten die Lernenden den Wissenstest WT-K zum physikalischen Vorwissen zur NBG und den Wissenstest WT-S zu den mathematisch-strukturellen Fähigkeiten. Außerdem wird die Neigung zur systematisierenden und empathisierenden Denkweise mit Fragebögen von Welberg et al. (2024) sowie das Gender erhoben. In der *Zwischenerhebung* bewerten die Lernenden unmittelbar nach der Einführung der Formel die wahrgenommene kognitive Belastung und Lernförderlichkeit (Thees et al., 2021), ihren Mental Effort (Krell, 2017) sowie die wahrgenommene Zielorientierung (Maurer, 2016). Außerdem bearbeiten sie erneut Items aus dem WT-S zu mathematisch-strukturellen Fähigkeiten mit Schwerpunkt auf dem Übersetzen zwischen physikalischer Situation und symbolsprachlicher Formulierung. In der *Nacherhebung* wird erneut der Wissenstest WT-K zum Wissen über die NBG bearbeitet (inkl. zusätzlicher Items zur konkreten Interpretation der Formel) sowie die Wahrnehmung der Lehrkraft (Maurer, 2016) als Kontrollvariable erhoben.

Der verwendete Wissenstest WT-K zum fachlichen Inhalt basiert zum Teil auf den Arbeiten von Tobias (2010) und Seiter (2022) – im Gegensatz zu den Vorarbeiten liegt nun aber der Fokus auf der NBG und dem Umgang mit der Formel. Entsprechend wurden Items zu folgenden Kategorien (weiter-)entwickelt: Grundwissen, technischer Umgang mit der Formel, Kenntnis über vorkommende Größen, Wechselwirkung einzelner Größen (Proportionalitäten), Verknüpfung mit Grundvorstellungen und symbolischen Formen sowie Grenzfälle und Interpretationen der NBG. Die Items wurden so ausgestaltet, dass sie verschiedene Stufen eines tiefen Formelverständnisses im Sinne von Abb. 1 abdecken. Die Items wurden in mehreren Entwicklungszyklen von Experten auf ihren Inhalt hin überprüft, mit Klassen getestet und überarbeitet. Im Anschluss an die Pilotierung (siehe nächsten Abschnitt) wurde die überarbeitete Multiple-Choice-Version erneut mit 74 Lernenden getestet; insbesondere fand noch ein Probing (vgl. Frei, 2019) mit mehreren Lernenden statt, um die inhaltliche Passung und Verständlichkeit der finalen Version zu sichern.

Der Wissenstest WT-S zu den mathematisch-strukturellen Fähigkeiten wurde gemeinsam mit zwei Zulassungsarbeiten (Häusler, 2025; Luber, 2026) in mehreren Zyklen mit etwa 300 Lernenden entwickelt und orientiert sich am Modellierungskreislauf nach Uhden (2012). Der Test enthält insbesondere Items zum Mathematisieren (Auswahl relevanter Variablen, Darstellen von Zusammenhängen durch Formeln) und Interpretieren (Grenzfälle diskutieren, Vorhersagen treffen). Der Test wurde im Anschluss an die Pilotierung in der finalen Version ebenfalls einem Probing mit mehreren Lernenden unterzogen.

Pilotierung und Ausblick

Die Pilotierung erfolgte mit acht Klassen an Privatschulen; es konnten 127 vollständige Datensätze verwertet werden. Ziel der Pilotierung war – neben der Finalisierung der Erhebungsmethoden – die beiden Herangehensweisen und das vorgestellte Studienkonzept zu testen. Nach der Hälfte der Klassen wurde das Erhebungsdesign leicht abgeändert, sodass die Stichprobe für das Design aus Abb. 2 zu klein ist, um belastbare Aussagen zu treffen. Es zeigte sich jedoch zunächst, dass beide Herangehensweisen durchführbar sind, die Lernenden in beiden Wissenstests signifikante Lernzuwächse erreichten und in beiden Herangehensweisen die kognitive Belastung als niedrig und die Lernförderlichkeit als hoch wahrnahmen. Dabei deuteten sich in der kleinen Stichprobe Unterschiede hinsichtlich der wahrgenommenen Lernförderlichkeit und des Lernzuwachses bei den mathematisch-strukturellen Fähigkeiten zugunsten der Gruppe *Plausibilisieren* an. Belastbare Ergebnisse zum Erfolg beider Herangehensweisen im Sinne der Forschungsfragen soll die Haupterhebung bringen, die im Schuljahr 2026/27 durchgeführt wird.

Literatur

Frei, M. (2019). Probing als unterstützende Methode bei der Entwicklung eines Fragebogens. Ein Anwendungsbericht aus dem Forschungsprojekt FALKE-Musik. In G. Puffer, A. Becker, F. Körndle, K. Sprau, & B. Hofmann (Hrsg.), *Musik—Pädagogik—Professionalität: Festschrift für Bernhard Hofmann zum 60. Geburtstag* (S. 121–136). Helbling.

Häusler, D. (2025). *Test zu mathematisch-strukturellen Fähigkeiten im Physikunterricht* (Unveröffentlichte Zulassungsarbeit). Universität Regensburg.

Kaldaras, L., & Wieman, C. (2023). Cognitive Framework for Blended Mathematical Sensemaking in Science. *International Journal of STEM Education*, 10(1), 18. https://doi.org/10.1186/s40594-023-00409-8

Krell, M. (2017). Evaluating an instrument to measure mental load and mental effort considering different sources of validity evidence. *Cogent Education*, *4*(1), https://doi.org/10.1080/2331186X.2017.1280256

Kuske-Janßen, W. H. (2020). *Sprachlicher Umgang mit Formeln von LehrerInnen im Physikunterricht am Beispiel des elektrischen Widerstandes in Klassenstufe 8*. (Bd. 305). Logos Verlag. (Fachportal Pädagogik).

Luber, F. (2026). *Test zu mathematisch-strukturellen Fähigkeiten im Physikunterricht* (Unveröffentlichte Zulassungsarbeit). Universität Regensburg.

Maurer, C. (2016). *Strukturierung von Lehr-Lern-Sequenzen* (Bd. 199). Logos Verlag.

Pospiech, G. (2019). Framework of Mathematization from a Teaching Perspective. In G. Pospiech, M. Michelini, & B.-S. Eylon (Hrsg.), *Mathematics in Physics Education* (S. 1–33). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-04627-9

Schröder, M., & Rincke, K. (2026). Mathematisierung: Vergleich zweier Herangehensweisen zum Einführen von Formeln. In P. Pollmeier (Hrsg.), *KI in der naturwissenschaftlichen Bildung* (S. 669–672).

Seiter, M. (2022). *Die Bedeutung der Elementarisierung für den Erfolg von Mechanikunterricht in der Sekundarstufe I* (Bd. 331). Logos Verlag.

Sherin, B. L. (2001). How Students Understand Physics Equations. *Cognition and Instruction*, *19*(4), 479–541. https://doi.org/10.1207/S1532690XCI1904_3

Thees, M., Kapp, S., Altmeyer, K., Malone, S., Brünken, R., & Kuhn, J. (2021). Comparing Two Subjective Rating Scales Assessing Cognitive Load During Technology-Enhanced STEM Laboratory Courses. *Frontiers in Education*, *6*, 705551. https://doi.org/10.3389/feduc.2021.705551

Tobias, V. (2010). *Newton'sche Mechanik im Anfangsunterricht: Die Wirksamkeit einer Einführung über die zweidimensionale Dynamik auf das Lehren und Lernen* (Bd. 105). Logos Verlag.

Uhden, O. (2012). *Mathematisches Denken im Physikunterricht: Theorieentwicklung und Problemanalyse* (Bd. 133). Logos Verlag.

vom Hofe, R. (1992). Grundvorstellungen mathematischer Inhalte als didaktisches Modell. *Journal für Mathematik-Didaktik*, *13*(4), 345–364. https://doi.org/10.1007/BF03338785

Welberg, J., Laumann, D., & Heinicke, S. (2024). Measuring Empathizing and Systemizing in Children and Adolescents: Development of a German Short Version of the Empathizing and Systemizing Quotient for Children and Adolescents. *European Journal of Psychological Assessment*.

Zhao, F. F., & Schuchardt, A. (2021). Development of the Sci-math Sensemaking Framework: Categorizing sensemaking of mathematical equations in science. *International Journal of STEM Education*, 8(1), 10. https://doi.org/10.1186/s40594-020-00264-x