

Eine vergleichende Untersuchung zur Newton'schen Mechanik

Motivation

Für Lernende liegt die Aufgabe der Mechanik in der Beschreibung realer Abläufe (Schecker & Wilhelm, 2018). Authentische Bewegungsabläufe finden aufgrund ihrer mathematischen Komplexität aber oft keinen Einzug in den Mechanikunterricht. Schwierigkeiten bestehen für Schülerinnen und Schüler gerade darin, sich in idealisierte Situationen hineinzudenken (Schecker, 1985). Nicht zuletzt deswegen ist zu beobachten, dass Lernende auch nach dem Unterricht in Mechanik kein angemessenes Kraftverständnis aufweisen (Wilhelm, 2005a) und sich die Schülerfehlvorstellungen in der Mechanik als sehr vielfältig und hartnäckig herausstellen. Als Lösungsansatz dieses Problems soll hier die mathematische Modellbildung vorgestellt und mit dem messenden Verfahren der Videoanalyse verglichen werden. Mathematische Modellbildung bezeichnet die „Konstruktion eines Netzwerks physikalischer Begriffe und Beziehungen, mit denen das Verhalten eines Systems beschrieben und vorhergesagt werden kann“ (Schecker, 1998). Modellbildungssysteme sind Computerprogramme, die numerisch eine Lösung der modellierten Gleichungszusammenhänge finden. Dadurch tritt die Mathematik in den Hintergrund, es können mehr Bewegungsphänomene im Unterricht behandelt werden (Bethge & Schecker, 1990) und Lernende erhalten unmittelbare Rückmeldungen über ihre formulierten Hypothesen. Ein direkter Vergleich mit realen Messdaten kann zudem eine stärkere Verknüpfung von Modell und Experiment ermöglichen und damit wissenschaftliche Arbeitsweisen vermitteln.

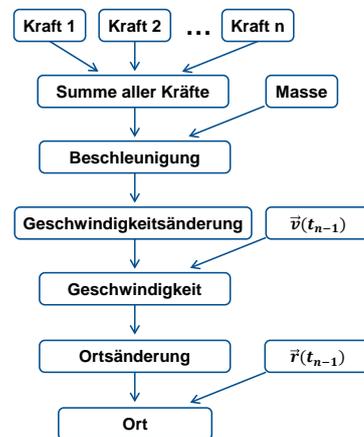


Abb. 1: Argumentationsstruktur bei Modellbildung in der Mechanik

Forschungslage zur mathematischen Modellbildung

Eine DFG-Studie (Schecker et al., 1999) konnte zeigen, dass die erlernten Argumentationsmuster der Newton'schen Mechanik auch in Situationen ohne Modellbildung genutzt werden. Sander kam zu dem Schluss, dass eine Auseinandersetzung mit den begrifflichen Grundlagen der Versuche im Praktikum gefördert wird (Sander, 2000 und Sander, Schecker & Niedderer, 2001). Er arbeitete heraus, dass die Modellbildung sich gut als intelligentes Üben eignet, für die Entwicklung neuen begrifflichen Wissens aber ungeeignet ist. Wechselwirkungen zwischen Experimentier- und Modellebene wurden nur eingeschränkt angeregt, wobei ein Erklärungsansatz dafür ist, dass Messdaten und berechnete Daten auf separaten Bildschirmen verglichen werden mussten. Wilhelm konnte zeigen, dass Lernende nach einem Mechanikunterricht mit Modellbildung eher der Meinung sind, Physik habe etwas mit der Realität zu tun (Wilhelm, 2005b). Die untersuchten Concept Maps zeigten deutlich, dass das strukturelle Wissen ebenfalls zugenommen hatte.

Es gibt also Hinweise, dass der Einsatz von mathematischer Modellbildungssoftware das Verständnis der Newton'schen Mechanik verbessern und zu einem interessanten und schülerorientierten Unterricht führen kann, in dem wissenschaftliche Vorgehensweisen betont werden.

Diese Ergebnisse liegen aber nicht für aktuelle Software vor, beziehen sich ausschließlich auf graphische Modellbildungsprogramme und liefern keine Aussage über den Vergleich mit Realdaten in einer einzigen Programmoberfläche. Dieser Vergleich ist mit heutigen Programmen aber leicht möglich (Weber & Wilhelm, 2018 & 2019).

Vergleich von modellierenden mit messenden Verfahren

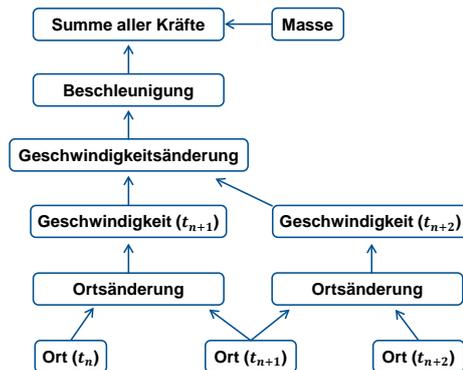


Abb. 2: Argumentationslogik bei messenden Verfahren in der Mechanik

Postuliert wird also, dass das Modellieren einer Bewegung zu einer intensiveren Auseinandersetzung mit den grundlegenden Zusammenhängen der Newton'schen Mechanik führt. Der Unterschied des Modellierens im Vergleich zu messenden Verfahren liegt in der Argumentationsstruktur. Wenn Lernende Bewegungen modellieren, schließen sie, ausgehend von den einzelnen Kräften, von der Summe aller Kräfte auf die Beschleunigung und letztlich den Ort (Abb. 1). Bei messenden Verfahren, wie z. B. der Videoanalyse von Bewegungen, wird wiederum der Ort gemessen und dadurch auf die Beschleunigung und letztlich auf die Summe aller Kräfte geschlossen (Abb. 2).

Studiendesign

Um herauszufinden, ob sich eine der beiden Herangehensweise an die Mechanik besser zum Lernen der Mechanik eignet, wurde eine vergleichende Interventionsstudie entworfen. Die Interventionen finden im Schülerlabor der Goethe-Universität mit Klassen der Einführungsphase in die gymnasiale Oberstufe statt und unterscheiden sich nur in der verwendeten Software und der Herangehensweise an die Zusammenhänge der Mechanik. Die durchgeführten Experimente und inhaltlichen Fragen sind in beiden Gruppen identisch. Durch einen Pre- und Posttest sollen Veränderungen gemessen werden. Um den Effekt der Intervention und die Unterschiede zwischen den Gruppen gut messen zu können, wurde ein Testinstrument entwickelt und pilotiert. Dabei wurden Items aus bekannten Tests übernommen und zum Teil für diesen Zweck abgeändert und weitere neu erstellt (Items für Teil 1: Helmke, 1992; Kunter et al., 2002; Spatz et al., 2018. Items für Teil 2: Laukenmann et al., 2000. Items für Teil 3: Priemer, 2003. Items für Teil 4: Warren, 1979; Hestenes et al., 1992; Hestenes & Wells, 1992; Gerdes & Schecker, 1999; Flores et al., 2004; Wilhelm, 2005a; Wilhelm, 2005b; Wilhelm, 2007).

Pilotierung

Die Intervention und das erstellte Testinstrument wurden mit $N = 85$ Schülerinnen und Schülern pilotiert. Das Testinstrument besteht aus vier Teilen, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten gestellt wurden (die Zahlen in Klammern entsprechen den Items vor der Reduktion).

Teil	Items	Vortest	Nachtest
1. Affektive Merkmale zur Physik	8 (13)	x	
2. Bewertung der Intervention	12 (15)		x
3. Wiss. Erkenntnisprozess	13 (20)	x	x
4. Newton'sche Mechanik	19 (45)	x	x

Dabei konnten in den verschiedenen Teilen durch explorative Faktorenanalysen inhaltlich gut interpretierbare Skalen gefunden werden.

Teil	Skalenbezeichnung	Items	α_c	Beispielitem
1	Fachspezifisches Selbstkonzept	4	0,93	„Ich traue mir im Fach Physik viel zu.“
1	Interesse am Physikunterricht	4	0,87	„Mir macht Physikunterricht Spaß.“
2	Bewertung der Software	5	0,85	„Ich konnte mich schnell in das Programm einarbeiten.“
2	Relevanz des behandelten Themas	3	0,78	„Ich fand das Thema wichtig.“
2	Spaß an der Intervention	4	0,85	„Ich war mit dem Tag zufrieden.“
3	Rolle von Mathematik und Modell im Erkenntnisprozess	7	0,71	„Modelle in der Physik dienen dazu, Vorhersagen zu treffen.“
3	Zusammenhang zwischen Physik und Realität	3	0,67	„Ich erkenne einen Zusammenhang zwischen Physikunterricht und täglichem Leben.“
3	Exaktheit von Modellen	3	0,68	„Ein physikalisches Modell ist ein exaktes Abbild der Realität.“

Bei der explorativen Faktorenanalyse der fachlichen Items konnten durch den Scree-Test vier reliable Skalen gefunden werden, die inhaltlich gut interpretierbar sind.

Teil	Skalenbezeichnung	Items	α_c	Kommentar
4	Beschleunigungsdiagramme	4	0,91	Rein kinematische Skala: Es wird von einer gegebenen Geschwindigkeit auf die dazugehörige Beschleunigung geschlossen.
4	1. Newton'sches Gesetz mit Kräftekompensation	4	0,75	Es muss erkannt werden, dass eine konstante Geschwindigkeit voraussetzt, dass die Summe aller Kräfte Null ist.
4	Kraft bei bekannter Bewegung	5	0,74	Die Bewegung eines Objekts ist vorgegeben und es müssen die wirkenden Kräfte und/oder deren Richtung ausgewählt werden.
4	Bewegung bei bekannter Kraft	6	0,70	Die Kräfte sind gegeben oder offensichtlich und es soll auf Basis dessen die Bewegung des Objekts ausgewählt werden.

Es zeigt sich also, dass für Lernende der Mechanik die Argumentationsrichtung eine Rolle spielt. Interessant wird es also sein zu sehen, ob die in der Intervention jeweils verwendete Richtung besser erlernt wird als die gegensätzliche. Die Testergebnisse der Pilotstudie zeigen außerdem, dass die Schüler und Schülerinnen durch die Intervention dazugelernt haben und ihr Verständnis für die Newton'sche Mechanik zunahm.

Zwischenfazit und Ausblick

Ein zur Intervention passendes Testinstrument konnte entwickelt werden, bei dem sich inhaltlich gut interpretierbare Skalen zeigen. Die Testergebnisse legen außerdem nahe, dass die Intervention und die darin enthaltenen Experimente gut zum Lernen von Mechanik geeignet sind und es lohnenswert ist, den Forschungsfragen durch die Hauptuntersuchung nachzugehen. Diese wird im zweiten Halbjahr des Schuljahres 2019/20 erfolgen.

Literatur

- Bethge, T. & Schecker, H. (1990). Software-Werkzeuge zur Modellbildung im Physikunterricht, Konzepte und Erfahrungen, Institut für Didaktik der Physik, Bremen, S.48
- Flores, S., Kanim, S., Kautz, C. (2004): Student use of vectors in introductory mechanics - In: American Journal of Physics 72. Nr. 4. S. 460 – 468.
- Helmke, A. (1992). Determinanten der Schulleistung: Forschungsstand und Forschungsdefizit. In G. Nold (Hrsg.), Lernbedingungen und Lernstrategien. Tübingen: Narr, 23-34.
- Hestenes, D., Wells, M., Swackhammer, G. (1992). Force concept inventory. In: The Physics Teacher 30, S. 141-158.
- Hestenes, D., Wells, M. (1992). A mechanics baseline test. In: The Physics Teacher 30. S. 159-166.
- Kunter, M., Schümer, G., Artelt, C., Baumert, J., Klieme, E., Neubrand, M., Prenzel, M., Schiefele, U., Schneider, W., Stanat, P., Tillmann, K.-J., Weiß, M. (2002) PISA 2000. Dokumentationen der Erhebungsinstrumente. In: Materialien aus der Bildungsforschung Nr. 72. Max-Planck-Institut für Bildungsforschung, Berlin.
- Laukenmann, M., Bleicher, M., Fuß, S., Gläser-Zikuda, M., Mayring, P., von Rhöneck, C. (2000) Eine Untersuchung zum Einfluss emotionaler Faktoren auf das Lernen im Physikunterricht. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, Jg. 6, S. 139-155.
- Priemer, B. (2003). Ein diagnostischer Test zu Schüleransichten über Physik und Lernen von Physik – eine deutsche Version des Tests „Views About Science Survey“. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, JG. 9, S. 160-178.
- Sander, F. (2000). Verbindung von Theorie und Experiment im physikalischen Praktikum. Eine empirische Untersuchung zum handlungsbezogenen Vorverständnis und dem Einsatz grafikorientierter Modellbildung im Praktikum, Studien zum Physiklernen, Band 13, Logos-Verlag, Berlin
- Sander, F., Schecker, H. & Niedderer, H. (2001). Wirkungen des Einsatzes grafikorientierter Modellbildung im physikalischen Praktikum – In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 7
- Schecker, H. (1985). Das Schülervorverständnis zur Mechanik. Eine Untersuchung in der Sekundarstufe II unter Einbeziehung historischer und wissenschaftstheoretischer Aspekte, Dissertation, Uni Bremen.
- Schecker, H. (1998). Physik-Modellieren. Grafikorientierte Modellbildungssysteme im Physik-Unterricht., Klett-Verlag, Stuttgart.
- Schecker, H., Klieme, E., Niedderer, H., Ebach, J., Gerdes, J. (1999). Physiklernen mit Modellbildungssystemen. Förderung physikalischer Kompetenz und systemischen Denkens durch computergestützte Modellbildungssysteme, Abschlussbericht zum DFG-Projekt, Institut für Didaktik der Physik an der Universität Bremen und Max-Planck-Institut für Bildungsforschung Berlin.
- Schecker, H. & Wilhelm, T. (2018). Schülervorstellungen in der Mechanik. In: Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf, M., Duit, R. (Hrsg.). Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis, Springer Spektrum, Berlin.
- Spatz, V., Hopf, M., Wilhelm, T., Waltner, C. & Wiesner, H. (2018). Eine Einführung in die Mechanik über die zweidimensionale Dynamik – Die Wirksamkeit des Design-Based Research Ansatzes. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, Jg. 24, Nr. 1, S. 71-82.
- Warren, J. (1979). Understanding Force. Übersetzt aus dem Englischen von Backhaus, U. & Schneider, T. (1998). Verständnisprobleme beim Kraftbegriff. Universität Koblenz.
- Weber, J. & Wilhelm, T. (2018). Modellbildung und Videoanalyse. In: Plus Lucis, Nr. 4, 2018, S. 18 – 25.
- Weber, J. & Wilhelm, T. (2019). Kombination von mathematischer Modellbildung mit Videoanalyse. In: Maurer, C. (Hrsg.): Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Kiel 2018, Band 39, S. 795 – 798, http://www.gdcp.de/images/tb2019/TB2019_795_Weber.pdf
- Wilhelm, T. (2005a). Verständnis der newtonschen Mechanik bei bayerischen Elftklässlern – Ergebnisse beim Test „Force Concept Inventory“ in herkömmlichen Klassen und im Würzburger Kinematik-/Dynamikunterricht. In: Physik und Didaktik in Schule und Hochschule. PhyDid 2/4 (2005) S. 47-56.
- Wilhelm, T. (2005b). Konzeption und Evaluation eines Kinematik/Dynamik-Lehrgangs zur Veränderung von Schülervorstellungen mit Hilfe dynamisch ikonischer Repräsentationen und graphischer Modellbildung, Studien zum Physik- und Chemielernen, Band 46, Logos-Verlag, Berlin
- Wilhelm, T. (2007). Vektorverständnis und vektoriell Kinematikverständnis von Studienanfängern. In: Nordmeier, V., Oberländer, A., Grötzebauch, H. (Hrsg.): Didaktik der Physik - Regensburg 2007, Lehmanns Media LOB.de, Berlin.