

Marco Seiter¹
 Heiko Krabbe¹
 Thomas Wilhelm²

¹Ruhr-Universität Bochum
²Goethe-Universität Frankfurt am Main

Vergleich von Elementarisierungen der Mechanik in der Sekundarstufe I

Ausgangslage

Schülerinnen und Schüler haben aus ihrem Alltag viele Erfahrungen mit mechanischen Vorgängen. Daraus resultieren besonders viele und stabile Schülervorstellungen (Schecker, 1985; Nachtigall, 1986), die die Newton'sche Mechanik zu einem der am schwierigsten zu unterrichtenden Inhaltsgebiete machen. Weitere Probleme bei der Vermittlung können eine ungünstige Sachstruktur sein, z. B. dass der Kraftbegriff über die Statik eingeführt wird, und zu abstrakte Darstellungsformen wie z. B. Diagramme (Schecker et al., 2018; Wilhelm, 2018). Aufgrund der beschriebenen Problemlage existieren alternative Unterrichtskonzepte zur Newton'schen Mechanik, die teilweise evaluiert wurden (Jung et al., 1975; Wilhelm, 2005). Den von der Forschungsseite her aktuellsten Zugang für die Sekundarstufe I bildet das Konzept der zweidimensional-dynamischen Mechanik nach Wiesner (Wodzinski & Wiesner, 1994a+b; Waltner et al., 2010; Hopf et al., 2012; Wiesner et al., 2011; Wilhelm et al., 2013), das auf Vorarbeiten von Jung (1977a+b) aufbaut und positiv evaluiert wurde (Tobias, 2010; Wilhelm et al., 2011).

Kritikpunkte der bisherigen Forschung und Forschungsfrage

Die bisherige Evaluation des zweidimensional-dynamischen Mechaniklehrgangs fand immer im Vergleich zu unklar definiertem „konventionellen“ Unterricht statt. Dabei wurden gleichzeitige Veränderungen in der Elementarisierung, der Unterrichtsstruktur und bei den Medien vorgenommen, so dass der Erfolg keiner dieser Variablen einzeln zugeschrieben werden kann. Die Forschungsfrage lautet daher, welche Auswirkungen verschiedene Elementarisierungen der Kinematik und Dynamik auf den Lernerfolg der Schülerinnen und Schüler in der Sekundarstufe I haben, wenn die anderen Variablen (Strukturierung und Medien) kontrolliert werden. Zur Beantwortung dieser Forschungsfrage wurde eine eindimensionale-dynamische Adaption zum 2D-Mechaniklehrgang nach Wiesner entwickelt, welche sich so gut wie möglich nur in der Elementarisierung unterscheidet und die anderen Variablen konstant hält (Seiter, 2018). Neben der Dimension unterscheiden sich die beiden Lehrgänge auch darin, dass in der 1D-Adaption der Zusammenhang zwischen Kraft und Beschleunigung ($F = m \cdot a$) nur anhand konstanter Kräfte besprochen wird, wogegen im 2D-Mechaniklehrgang nur die Zusatzgeschwindigkeit durch Kraftstöße ($F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v$) betrachtet wird. Eine Gegenüberstellung dieser beiden Elementarisierungen ist unter Seiter, Krabbe & Wilhelm (2020a+b) veröffentlicht. Diese Studie möchte damit über eine reine Replikation hinaus in kontrollierter Weise grundsätzlich die Effektstärke der fachdidaktischen Elementarisierung in Hinblick auf den Lernerfolg abschätzen und differentielle Effekte auf verschiedene Schülergruppen untersuchen. Dazu wird zugleich auch die Leistungsmessung verbessert.

Studiendesign

Die empirische Erhebung fand in einem Prä-/Posttest-Design mit zwei Interventionsgruppen statt. Hierbei wurde ein Fachwissentest zu Kraft und Bewegung, aufbauend auf Aufgaben aus dem FCI (Hestenes et al., 1992), von Alonzo & Steedle (2009) u.a. eingesetzt. Als Kontrollvariablen wurden die kognitiven Fähigkeiten anhand der nonverbalen Skalen N-Test 2 und N-Test 3 von Heller & Perleth (2000) gemessen. Des Weiteren wurde das Interesse im Fach Physik und das fachspezifische Selbstkonzept erfasst (Frey et al., 2009). Die Erhebung fand im Schuljahr 2019/2020 in der 8. oder 9. Jahrgangsstufe an Gymnasien und Gesamt-

schulen in Nordrhein-Westfalen und Hessen statt. Eine ausführliche Darstellung des Studiendesigns und der Stichprobe ist ebenfalls unter Seiter, Krabbe & Wilhelm (2020b) veröffentlicht. Durch die Corona-Pandemie wurden in vielen Klassen Unterrichtsgänge unterbrochen und nicht zu Ende geführt, so dass diese in der Auswertung nicht berücksichtigt werden konnten. Außerdem wurde für die folgenden Auswertungen die Stichprobe auf die Gymnasialklassen reduziert, um eine bessere Vergleichbarkeit zwischen den Interventionsgruppen zum Präzeitpunkt zu gewährleisten. Die Aufteilung der Stichprobe bezogen auf die Anzahl von SchülerInnen, Lehrkräften, Klassen und die Aufteilung auf die verschiedenen Jahrgangsstufen kann Tabelle 1 entnommen werden.

	1D-Adaption	2D-Mechanikkurs nach Wiesner
SchülerInnen	177	295
Klassen	9	13
Lehrkräfte	8	7
Jahrgangsstufen	89 % Stufe 8, 11 % Stufe 9	31 % Stufe 8, 69 % Stufe 9

Tab. 1: Konstellation der ausgewerteten Stichprobe

Ergebnisse

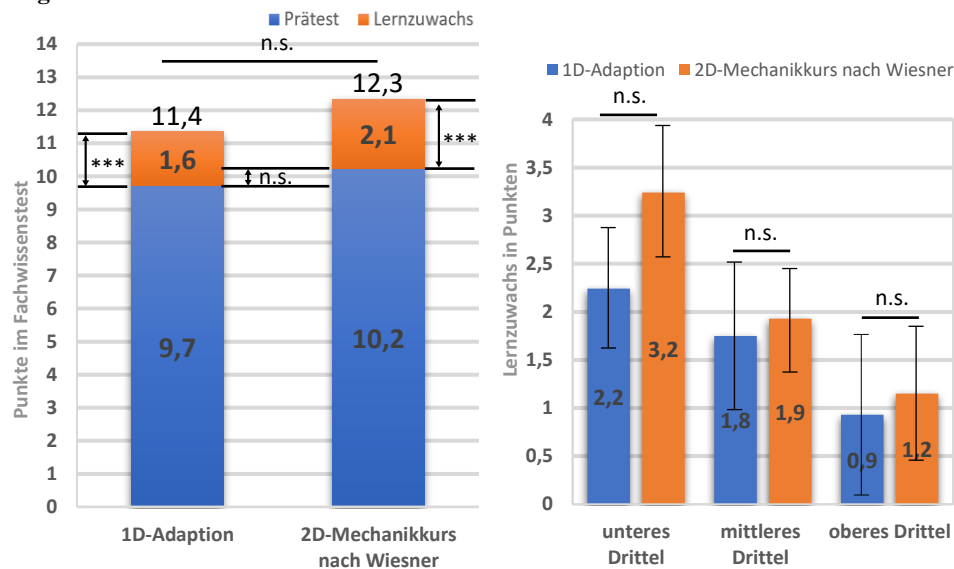


Abb. 1: Vergleich der Fachwissenstestergebnisse beider Interventionsgruppen

Abb. 2: Vergleich der Lernzuwächse mit 95 % - CI beider Interventionsgruppen nach Terzilen im Prätest

(Signifikanzniveaus: *** $p < .001$, ** $p < .01$, * $p < .05$)

Für die 1D-Adaption zeigt sich links in Abb. 1 ein Lernzuwachs von $\mu = 9.7$ ($\sigma = 2.7$) Punkten im Prätest auf $\mu = 11.4$ ($\sigma = 3.6$) im Posttest. Dieser Lernzuwachs von durchschnittlich 1.64 Punkte (95 %-CI[1.21, 2.07]) ist nach einem zweiseitigen t-Test für verbundene Stichproben statistisch höchst signifikant, $t(176) = 7.50, p < .001$. Nach Cohen entspricht dies einem mittleren Effekt $d = 0.52$. Analog zeigt sich rechts in Abb. 1 ein ebenfalls höchst signifikanter Lernzuwachs für die SchülerInnen im 2D-Mechanikkurs nach Wiesner. Hier steigt die Punktzahl von $\mu = 10.2$ ($\sigma = 3.0$) im Prätest auf $\mu = 12.3$ ($\sigma = 3.6$) Punkte im Posttest. Die SchülerInnen erreichen also durchschnittlich im Posttest

2.1 Punkte (95 %-CI[1.72,2.50]) mehr als im Prätest, $t(294) = 10.72, p < .001$. Auch dies ist ein mittlerer Effekt mit $d = 0.64$. Beide Lehrgänge führen also zu einem höchst signifikanten Lernzuwachs bei mittleren Effektstärken.

Die beiden Interventionsgruppen unterscheiden sich in hinsichtlich der Prätest-Ergebnisse im Fachwissenstest (blaue Säulen in Abb. 1) im Durchschnitt um 0.5 Punkte (95 %-CI[-0.02,1.06]). Dieser Unterschied ist nach einem zweiseitigen t-Test für unabhängige Stichproben $t(470) = 1.89, p = .059$, nicht signifikant. Die Effektstärke nach Cohen's d liegt mit einem Wert von $d = 0.18$ auch unterhalb eines kleinen Effektes. Beide Gruppen sind also hinsichtlich ihrer Prätest-Ergebnisse miteinander vergleichbar.

Die Lernzuwächse in den beiden Interventionsgruppen sind in Abb. 1 durch die orangen Säulen dargestellt. Der mittlere Lernzuwachs der SchülerInnen, welche nach der 1D-Adaption unterrichtet wurden, beträgt $\mu = 1.6$ ($\sigma = 2.9$) Punkte, der mittlere Lernzuwachs der SchülerInnen im 2D-Mechanikkurs $\mu = 2.1$ ($\sigma = 3.4$). Der Unterschied im Lernerfolg beträgt im Durchschnitt 0.5 Punkte (95 %-CI[-1,30,107]) und ist nicht signifikant $t(470) = 1.54, p = .124, d = 0.15$.

Die Interventionsgruppen werden im Weiteren anhand der Prätest-Ergebnisse gleichmäßig in Untergruppen (Terzile) aufgeteilt, um differentielle Effekte zu betrachten (Abb. 2). Die Aufteilung ist für die 1D-Adaption 59 für das unterste, 59 für das mittlere und 59 für das obere Terzil sowie beim 2D-Kurs 98, 99 und 98. Zunächst wird getestet, ob Unterschiede im Lernzuwachs zwischen den Terzilen innerhalb der einzelnen Interventionsgruppen festgestellt werden können. Eine Kontrastanalyse mit 3 Kontrasten (Bonferroni-Korrektur $\alpha/4 = .0125$) ergibt für die 1D-Adaption keinen signifikanten Unterschied im Lernzuwachs der SchülerInnen zwischen den Terzilen. Für den 2D-Mechanikkurs ergibt eine weitere Kontrastanalyse mit 3 Kontrasten einen statistisch hoch signifikanten Unterschied im Lernzuwachs zwischen dem unteren $\mu = 3.2$ ($\sigma = 3.6$) und dem mittleren Terzil $\mu = 1.9$ ($\sigma = 2.7$), $t(292) = 2.818, p < .0125, d = 0.41$, sowie einen statistisch höchst signifikanten Unterschied im Lernzuwachs zwischen dem unteren und dem oberen Terzil $\mu = 1.2$ ($\sigma = 3.5$), $t(292) = 4.47, p < .00025, d = 0.59$. Alle anderen Kontraste werden nicht signifikant. Besonders die schwächeren SchülerInnen profitieren also von dem 2D-Mechanikkurs.

Im Vergleich der einander entsprechenden Terzile werden die Unterschiede im Lernzuwachs zwischen den beiden Interventionsgruppen in zweiseitigen t-Tests für unabhängige Stichproben mit einer Bonferroni-Korrektur ($\alpha/4 = .0125$) nicht signifikant.

Fazit

Beide Lehrgänge führen zu einem statistisch höchst signifikanten Lernzuwachs bei mittleren Effektstärken. Der dynamische Zugang zum Kraftbegriff, welcher sowohl im 2D-Mechanikkurs nach Wiesner als auch in der 1D-Adaption verfolgt wird, funktioniert also. SchülerInnen mit wenig Vorwissen profitieren dabei im 2D-Mechanikkurs am meisten. Es gibt Hinweise darauf, dass der Lernzuwachs der SchülerInnen im 2D-Kurs auch innerhalb der Terzilen insgesamt besser ausfällt als in der 1D-Adaption, wobei diese Unterschiede bei dieser Stichprobe nicht signifikant wurden. Wegen der zahlreichen Abbrüche durch Corona ist eine zweite Erhebung im Schuljahr 2020/2021 geplant.

Literatur

- Alonzo, A. C. & Steedle, J. T. (2009). Developing and assessing a force and motion learning progression. *Science Education*, 93, 389-421.
- Frey, A. et al. (Hrsg.). (2009). PISA 2006 Skalenhandbuch: Dokumentation der Erhebungsinstrumente. Münster: Waxmann.
- Heller, K. A. & Perleth, C. (2000). Kognitiver Fähigkeitstest für 4.-12. Klassen, Revision KFT 4-12 + R. Göttingen: Hogrefe.
- Hestenes, D., Wells, M. & Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher* 30, 141-158.
- Hopf, M., Wilhelm, T., Waltner, C., Tobias, V., Wiesner, H. (2012). Einführung in die Mechanik, 4. Auflage, München, Würzburg, veröffentlicht unter www.thomas-wilhelm.net/Mechanikbuch_Druckversion.pdf
- Jung, W., Reul, H. & Schwedes, H. (1975): Untersuchungen zur Einführung in die Mechanik in den Klassen 3-6. Diesterweg, Frankfurt am Main.
- Jung, W. (1977a): Wege in die Mechanik In: *physica didactica* 4, S. 219-229.
- Jung, W. (1977b): Zur Einführung des Kraftbegriffs. In: *physica didactica*, S. 171-187.
- Nachtigall, D. (1986): Die Rolle von Präkonzepten beim Lernen von Physik. In: Bleichroth W. (Hrsg.), Aufsätze zur Didaktik der Physik. Festschrift zum 60. Geburtstag von Walter Jung. *Physica didactica - Zeitschrift für Didaktik der Physik.*, 13. Jahrgang. Sonderheft 1986. Bad Salzdetfurth: Franzbecker, S. 97-102.
- Schecker, H. (1985). Das Schülervorverständnis zur Mechanik, Eine Untersuchung in der Sekundarstufe II unter Einbeziehung historischer und wissenschaftlicher Aspekte, Dissertation, Universität Bremen.
- Schecker, H.; Wilhelm, T.; Hopf, M.; Duit, R., & Fischler, H. (2018). Schülervorstellungen und Physikunterricht. Springer Berlin Heidelberg.
- Seiter, M. (2018). Vergleichende Rekonstruktionen von Zugängen zur Kinematik und Dynamik in der Sekundarstufe I. Masterarbeit an der Ruhr Universität Bochum.
- Seiter, M., Krabbe, H. & Wilhelm, T. (2020a). Vergleich von Zugängen zur Mechanik in der Sekundarstufe I. In: S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen* (S. 1051-1054). Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Wien 2019.
- Seiter, M., Krabbe, H. & Wilhelm, T. (2020b). Vergleich von Zugängen zur Mechanik in der Sekundarstufe I. In: *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, 2020*. (S. 271-280).
- Tobias, V. (2010). Newton'sche Mechanik im Anfangsunterricht. Die Wirksamkeit einer Einführung über zweidimensionale Dynamik auf das Lehren und Lernen. In: *Studien zum Physik- und Chemielernen*. Band 105, Berlin: Logos-Verlag.
- Waltner, C., Tobias, V., Wiesner, H., Hopf, M. & Wilhelm, T. (2010). Ein Unterrichtskonzept zur Einführung in die Dynamik in der Mittelstufe. In: *Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule*. Heft 7, 59. Jahrgang, S. 9-22.
- Wiesner, H., Wilhelm, T., Rachel, A., Waltner, C., Tobias, V. & Hopf, M. (2011). Mechanik I: Kraft und Geschwindigkeitsänderung. In: *Reihe Unterricht Physik*, Band 5, Aulis-Verlag (später erschienen unter: Wiesner, H.; Wilhelm, T.; Waltner, C.; Tobias, V.; Rachel, A.; Hopf, M. (2016). *Kraft und Geschwindigkeitsänderung*. Aulis-Verlag.)
- Wilhelm, T. (2005). Konzeption und Evaluation eines Kinematik/Dynamik-Lehrgangs zur Veränderung von Schülervorstellungen mit Hilfe dynamisch ikonischer Repräsentationen und graphischer Modellbildung. In: *Studien zum Physik- und Chemielernen*. Band 46, Berlin: Logos-Verlag.
- Wilhelm, T., Tobias, V., Waltner, C., Hopf, M. & Wiesner, H. (2011). Zweidimensional-dynamische Mechanik – Ergebnisse einer Studie. In: Höttecke, D. (Hrsg.). *Konzepte fachdidaktischer Strukturierung*. Jahrestagung der GDCP in Potsdam 2010, Reihe: Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Band 31, Münster: Lit-Verlag, S. 438-440.
- Wilhelm, T.; Wiesner, H.; Hopf, M.; Rachel, A. (2013). *Mechanik II: Dynamik, Erhaltungssätze, Kinematik*. In: *Reihe Unterricht Physik*, Band 6, Aulis-Verlag
- Wilhelm, T. (2018). Stolpersteine überwinden im Physikunterricht: Anregungen für fachgerechte Elementarisierungen. Seelze: Aulis.
- Wodzinski, R., Wiesner, H. (1994a). Einführung in die Mechanik über die Dynamik: Beschreibung von Bewegungen und Geschwindigkeitsänderungen. In: *Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule*. Heft 5, 32. Jahrgang, S. 164-169.
- Wodzinski, R., Wiesner, H. (1994b). Einführung in die Mechanik über die Dynamik: Zusatzbewegung und Newton'sche Bewegungsgleichung. In: *Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule*. Heft 6, 32. Jahrgang, S. 202-207.