

Marco Seiter¹
 Heiko Krabbe¹
 Thomas Wilhelm²

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

Vergleich von Zugängen zur Mechanik in der Sekundarstufe I

Vorarbeiten und aktueller Stand der fachdidaktischen Forschung

Die Forschung zeigt, dass Schülerinnen und Schüler große Lernschwierigkeiten beim physikalischen Kraftbegriff haben und trotz des Mechanikunterrichts in der Schule häufig über kein angemessenes physikalisches Verständnis verfügen (Schecker et al., 2018). Deshalb entwickelten Wiesner und Wodzinski (1994 a+b) bereits vor 35 Jahren das zweidimensional-dynamische Mechanikkonzept, welches auf Ideen von Jung in den 1970er Jahren zurückgeht als alternativen Zugang zur Kinematik und Dynamik. Die wesentlichen Unterschiede des zweidimensional-dynamischen Zugangs im Vergleich zum „konventionellen“ bestehen darin, dass der Kraftbegriff über Bewegungsänderungen eingeführt wird und die Dynamik vor der Statik behandelt wird, sowohl was die Reihenfolge der Themen angeht als auch in Bezug auf die Gewichtung. Die Statik wird bewusst als Spezialfall betrachtet. Ebenso werden von Beginn an zweidimensionale Bewegungen betrachtet und auch alle Größen der Kinematik im Zweidimensionalen mit Betonung auf den Richtungscharakter eingeführt. Der eindimensionale Fall ist auch hier bewusst ein Spezialfall. Als Darstellung von Bewegungen werden u.a. Stroboskopbilder verwendet. Die Geschwindigkeit wird als vektorielle Größe mit Betrag, hier genannt Tempo, und Richtung eingeführt, welche mit Pfeilen dargestellt werden. Zusätzlich wird, zumindest in der Sekundarstufe I, komplett auf den Begriff der Beschleunigung verzichtet; stattdessen wird die Kinematik anhand von Stößen mit dem Begriff der Zusatzgeschwindigkeit als eigenständige Größe $\Delta\vec{v}$ behandelt. Die Zusatzgeschwindigkeit ist die Geschwindigkeitsänderung durch einen Stoß oder in einem Zeitintervall Δt . Die Kraft wird als Ursache der Zusatzgeschwindigkeit definiert und das zweite Newton'sche Axiom in der integralen Form $\vec{F} \cdot \Delta t = m \cdot \Delta\vec{v}$ eingeführt. Das Δt wird als die Einwirkungsdauer einer Kraft beschrieben.

Wilhelm (2005) hat in seiner Dissertation eine entsprechende Unterrichtskonzeption für die Sekundarstufe II entwickelt, die in der Kinematik ebenfalls von zweidimensionalen Bewegungen ausgeht, und im Vergleich zu „konventionellen“ Unterricht positiv evaluiert. Dabei wurden vektorielle Größen durch Vektorpfeile ikonisch repräsentiert und außerdem im Vergleich zum „konventionellen Unterricht andere Unterrichtsstrategien und -strukturierungen sowie neue Medien (Simulationen) eingesetzt.

Das zweidimensional-dynamische Mechanikkonzept von Wiesner für die Mittelstufe wurde in Bayern für das Gymnasium adaptiert (Waltner et al., 2010) und dafür als Schulbuchersatz ein Lehrtext in Form eines Schülerhefts mit dem Titel *Einführung in die Mechanik* erstellt (Hopf et al., 2012). Auch dieser Lehrgang (im Weiteren als Münchener Mechaniklehrgang bezeichnet) wurde positiv evaluiert (Tobias, 2010; Wilhelm et al., 2009).

Kritikpunkte und offene Fragen der bisherigen Forschung

In dieser Vergleichsstudie für die Sekundarstufe I bestand die Kontrollgruppe aus Lehrkräften, die zuerst „konventionell“ nach eigenem Ermessen bzw. nach Schulbuch unterrichtet haben. Im darauffolgenden Schuljahr haben diese Lehrkräfte dann für die Durchführung des Material des zweidimensional-dynamischen Mechaniklehrgangs erhalten. Somit ist der Unterricht in der Kontrollgruppe des „konventionellen“ Mechanikunterrichts nicht genau bestimmbar und es fand eine simultane Veränderung mehrerer Gestaltungsmerkmale (Struktur, Medien) statt. Die Ursache der positiven Ergebnisse ist daher nicht eindeutig bestimmt. Verbesserungsbedarf besteht auch in der Leistungsmessung durch den Fachwissenstest. Den

Testaufgaben lag bisher kein Kategorien-System zugrunde, das eine gleichwertige Messung der verschiedenen Unterrichtskonzeptionen sichergestellt hat. Zwar gab es Aufgaben, deren Lösung entweder durch das „konventionelle“ oder das andere Mechanikkonzept begünstigt wurde, aber beispielsweise keine zueinander analogen ein- bzw. zweidimensionalen Aufgaben, um eine Übertragung des Gelernten zwischen den beiden Konzepten feststellen zu können. Zudem fordern manche Lehrpläne in der Sekundarstufe I die Behandlung der Beschleunigung, die im zweidimensional-dynamischen Mechaniklehrgang nicht vorgesehen ist. Aufgrund der genannten Kritikpunkte wurde eine Studie für die Mittelstufe konzipiert, in der zwei Interventionsgruppen gegenübergestellt werden, die sich in kontrollierter Weise voneinander unterscheiden. Im Kontrast zum „Münchener Mechaniklehrgang“ wurde ein „Bochumer Mechaniklehrgang“ entwickelt, der einen eindimensionalen dynamischer Zugang über konstante Kräfte anstelle von Stoßprozessen verfolgt, die übrigen Gestaltungsmerkmalen (z. B. Strukturierung, Medieneinsatz, Repräsentationsformen) des Münchener Kurses aber gleich hält (Seiter, 2018). Da der Bochumer Kurs zudem die Beschleunigung verwendet, entspricht er stärker der gängigen Lehrtradition in Deutschland. Die Forschungsfrage lautet also: Welche Auswirkungen haben verschiedene Elementarisierungen der Kinematik und Dynamik auf den Lernerfolg der Schülerinnen und Schüler in der Sekundarstufe I, wenn die anderen Gestaltungsmerkmale kontrolliert werden?

Gegenüberstellung der Zugänge

In der folgenden Abbildung 1 wird das Bochumer Mechanikkonzept dem „konventionellen“ Mechanikunterricht und dem Münchener Mechanikkonzept gegenübergestellt.

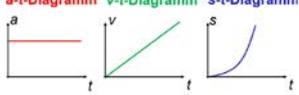
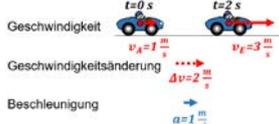
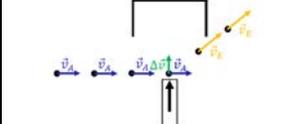
„Konventioneller“ Mechanikunterricht	Bochumer Mechanikkonzept	Zweidimensional- dynamisches Konzept Frankfurt/München
Eindimensionale Bewegungen	Eindimensionale Bewegungen	Zweidimensionale Bewegungen
Darstellung durch $s(t)$ -, $v(t)$ - und $a(t)$ -Diagramme	Darstellung von Bewegung in Stroboskopabbildungen	Darstellung von Bewegungen in Stroboskopbildern
Keine Thematisierung der Richtung	Thematisierung der Richtung	Thematisierung der Richtung
Geschwindigkeit als positive skalare Größe $v = \frac{s}{t}$	Geschwindigkeit als skalare Größe $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$	Geschwindigkeit \vec{v} als vektorielle Größe Tempo $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$
Thematisierung der Beschleunigung $a = \frac{v}{t}$	Thematisierung der Beschleunigung, Einführung der Geschwin- digkeitsänderung Δv $\Delta v = a \cdot \Delta t$	Keine Thematisierung der Beschleunigung, Einführung der Zusatzge- schwindigkeit $\Delta \vec{v}$ $\vec{v}_E = \Delta \vec{v} + \vec{v}_A$
Vorgänge mit konstanten Kräften	Vorgänge mit konstanten Kräften	Stöße
Kraft als Bewegungsände- rung oder Verformung	Kraft als Bewegungsände- rung: $F = m \cdot a$	Kraft als Ursache der Zusatzgeschwindigkeit $\vec{F} \cdot \Delta t = m \cdot \Delta \vec{v}$
		

Abb. 1 Gegenüberstellung der Zugänge

Die Elementarisierung des „konventionellen“ Mechanikunterrichts wurde anhand von in Nordrhein-Westfalen zugelassenen Schulbüchern rekonstruiert. Um im Bochumer Mechaniklehrgang den Einsatz von Medien und ikonischen Repräsentationen möglichst analog zum Münchener Kurs zu halten, werden auch in diesem Lehrgang Stroboskopbilder verwendet. Um eine ikonische Darstellung von Geschwindigkeit und Beschleunigung mit Pfeilen zu ermöglichen, muss auch in diesem Lehrgang der Richtungscharakter behandelt werden. Bei eindimensionalen Bewegungen kann die Richtungsinformation durch das Vorzeichen in Bezug auf die Koordinatenachse angegeben werden. Daher kann die Geschwindigkeit und Beschleunigung als Größe mit Betrag und Richtung (Vorzeichen) eingeführt werden. Um die Struktur der beiden Lehrgänge gleich zu halten, wurde auch im Bochumer Lehrgang die Geschwindigkeitsänderung Δv als eigenständige Größe eingeführt, die sich aus der Differenz zwischen einer Anfangs- und einer Endgeschwindigkeit ergibt. Auch die Geschwindigkeitsänderung wird durch einen Pfeil dargestellt. Die Beschleunigung wird anschließend aus dem Begriff der Geschwindigkeitsänderung unter Betrachtung der Zeit entwickelt und über eine Produktgleichung $\Delta v = a \cdot \Delta t$ eingeführt. Im Gegensatz zum Münchener Mechaniklehrgang werden ausschließlich Vorgänge mit konstanten Kräften und keine Kraftstöße behandelt. Da das Einzeichnen von Geschwindigkeitsänderungs- und Beschleunigungspfeilen in Stroboskopbildern bei eindimensionalen Bewegungen sehr unübersichtlich wird, werden die Stroboskopbilder zu sogenannten Stroboskoptabellen erweitert, in dem die Größen Geschwindigkeitsänderung und Beschleunigung in separaten Zeilen unter dem eigentlichen Stroboskopbild eingezeichnet werden. Die Newton'sche Bewegungsgleichung wird in der klassischen Form $F = m \cdot a$ verwendet.

Studiendesign und Instrumente

Die Studie findet in einem Prä-/Posttest-Design statt. Dabei unterrichten zwei Gruppen von Lehrkräften (jeweils $N \approx 15$) nach dem Münchener oder nach dem Bochumer Mechaniklehrgang. Die Stichprobe umfasst dabei ca. 1.200 Schülerinnen und Schüler. Als Materialien erhalten die Lehrkräfte zum einen Schülerhefte als Lehrtext, die sich dem bereits vorhanden Text *Einführung in die Mechanik* (Hopf et al., 2012) anlehnen. Des Weiteren erhalten die Lehrkräfte zu den Schülerheften passende Unterrichtsverlaufspläne. Hierdurch wird in beiden Treatment-Gruppen die Unterrichtsstruktur vorgegeben, um eine gleiche Strukturierung zu erreichen. Als Ergänzung zu den Schülerheften wurden Workbooks erstellt, die Erarbeitungs- und Übungsaufgaben enthalten. Die Workbooks sollen als Treatment-Check dienen und werden am Ende stichprobenartig kontrolliert. Um die Medien in beiden Gruppen gleich zu halten, wurden beiden Gruppen einander entsprechende Simulationen zur Verfügung gestellt. Der Durchführung der Unterrichtsreihe geht jeweils eine Lehrerfortbildung voraus, in der zum einen der jeweilige Mechaniklehrgang mit seiner spezifischen Elementarisierung vorgestellt wird und zum anderen alle Materialien durchgegangen werden, um die erwartete Strukturierung der Lehrgänge deutlich zu machen. Dadurch soll in beiden Lehrgängen eine gleiche Ausgangslage garantiert werden. Für die Evaluation der beiden Lehrgänge wird der Lernerfolg der Schülerinnen und Schüler gemessen. Hierzu wird ein Fachwissenstest zu Kraft und Bewegung eingesetzt, der 27 Items umfasst. Er enthält unter anderem Aufgaben des FCI (Hestenes et al., 1992), Aufgaben zu Kraft und Bewegung von Alonzo (2009) sowie Eigenentwicklungen. Der Test wurde vorab pilotiert und die Items anhand einer Raschanalyse ausgewählt. Dabei wurde in Hinblick auf eindimensionale und zweidimensionale Aufgaben sowie Aufgaben mit konstanten Kräften und mit Stößen auf gleichartige Anforderungen geachtet, damit kein Lehrgang bevorzugt wird. Der Lernerfolg ergibt sich aus der Differenz zwischen Prä- und Posttest. Des Weiteren werden das Interesse im Fach Physik und das fachspezifische Selbstkonzept (Frey et al., 2009) erfasst, sowie ein Intelligenztest (Heller & Perleth, 2000) durchgeführt.

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
- Seiter, M. (2018). Vergleichende Rekonstruktionen von Zugängen zur Kinematik und Dynamik in der Sekundarstufe I. Masterarbeit an der Ruhr Universität Bochum.
- 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
- 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.