

Vergleich von Zugängen zur Mechanik in der Sekundarstufe I

Marco Seiter*, Heiko Krabbe*, Thomas Wilhelm[†]

*Arbeitsgruppe Didaktik der Physik, Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstr. 150, 44801 Bochum;

[†]Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt am Main, Max-von-Laue-Str. 1, 60438 Frankfurt;
marco.seiter@rub.de, heiko.krabbe@rub.de, wilhelm@physik.uni-frankfurt.de

Kurzfassung

Die Forschung zeigt, dass SchülerInnen große Lernschwierigkeiten beim Lernen des physikalischen Kraftbegriffs haben. Auch nach dem Unterricht verfügen sie über kein angemessenes Verständnis (Schecker et al., 2018). Mit dem zweidimensional-dynamischen Mechanikkonzept nach Wiesner wurde ein alternativer Zugang entwickelt, der zweidimensionale Bewegungen unter Kraftstößen betrachtet und anstelle der Beschleunigung die Zusatzgeschwindigkeit verwendet. Das Mechanikkonzept nach Wiesner wurde in mehreren Studien im Vergleich zu nicht genauer spezifizierten „konventionellen“ Unterricht erfolgreich evaluiert (Wodzinski, 1996; Tobias, 2010). Dabei wurden weitere Parameter (bspw. Medien) verändert, wodurch der Erfolg nicht allein der Elementarisierung zugeordnet werden kann. Eine Konsolidierungsstudie soll nun den Einfluss der Elementarisierung im Vergleich zu einem standardisierten Lehrgang untersuchen. Dem zweidimensional-dynamischen Mechanikkonzept (2D-Mechanikkurs) nach Wiesner wird ein Lehrgang mit eindimensionalen Bewegungen und mit konstanten Kräften gegenübergestellt (1D-Adaption), der alle anderen Parameter so gut wie möglich gleich hält. Im Schuljahr 19/20 unterrichtet eine Gruppe von Lehrkräften (N = 11) nach dem zweidimensionalen mit insgesamt 14 Klassen und eine andere Gruppe (N = 11) nach dem eindimensionalen Konzept mit 16 Klassen. Im Beitrag werden das Studiendesign und die beiden Lehrgänge erläutert sowie erste Ergebnisse vorgestellt.

1. Motivation

Die Newton'sche Mechanik ist eines der am schwierigsten zu unterrichtenden Inhaltsgebiete der Physik in der Sekundarstufe I. SchülerInnen haben große Lernschwierigkeiten in Bezug auf den physikalischen Kraftbegriff. Sie entwickeln aus ihren Alltagserfahrungen mit mechanischen Vorgängen alternative, stabile Schülervorstellungen, die vielfach den Physikunterricht überdauern (Schecker et al. 2018). Ein möglicher Grund dafür könnte eine ungeeignete Sachstruktur im Unterricht sein (Wilhelm, 2018). Der Kraftbegriff wird zum Teil immer noch über die Statik eingeführt und es wird erst später zur Dynamik übergegangen. Die Statik fördert aber physikalisch falsche Vorstellungen zum Kraftbegriff, so dass eine Erweiterung des Kraftbegriffs beim Übergang zur Dynamik erschwert wird. Auch ungeeignete Darstellungsformen können eine Ursache für Lernschwierigkeiten der SchülerInnen sein, wenn z.B. zu früh im Unterricht mit $s(t)$ - $v(t)$ - und $a(t)$ -Diagrammen gearbeitet wird (Wilhelm, 2018).

2. Vorarbeiten und aktueller Stand der fachdidaktischen Forschung

2.1. Frankfurter Vorarbeiten

Aufgrund der eben genannten Punkte entwickelten Wiesner und später Wodzinski (1994 a+b) ein zweidimensional-dynamisches Mechanikkonzept (2D-Mechanikkurs) mit direktem Zugang zur Dynamik.

Die Ideen zu diesem Unterrichtskonzept basierten auf Arbeiten von Jung et al. (1976). Wesentliche Merkmale dieses Unterrichtskonzepts sind, dass alle Größen direkt an zweidimensionalen Bewegungen eingeführt werden mit besonderer Betonung auf den Richtungscharakter der Geschwindigkeit. Da stets Zeitintervalle statt Zeitpunkte betrachtet werden, kann an Stelle der Beschleunigung die Geschwindigkeitsänderung durch Kräfte betrachtet werden, die die Bezeichnung „Zusatzgeschwindigkeit“ erhält. Außerdem wird der Kraftbegriff als Ursache einer Bewegungsänderung, also über die Dynamik und nicht über die Statik, eingeführt. Hierbei werden vor allem Kraftstöße statt Vorgänge mit konstanten Kräften behandelt. Die Statik bildet bewusst einen Spezialfall.

2.2. Würzburger Vorarbeiten

Wilhelm (2005) entwickelte einen entsprechenden Mechaniklehrgang für die Sekundarstufe II, der in der Kinematik zweidimensionale Bewegungen betrachtet und vektorielle Größen, wie die Geschwindigkeit durch Vektorpfeile ikonisch und dynamisch am PC darstellt. Die Dynamik wurde allerdings anders behandelt als in dem Konzept von Wiesner, da hier der Beschleunigungsbegriff thematisiert wurde. In einem Trainings-/ Kontrollgruppen-Design mit Vor- und Nachtest wurden die Veränderung von Schülervorstellungen im Laufe des neuen Mechaniklehrgangs erfasst und mit denen in kon-

ventionell unterrichteten Klassen verglichen. Bei einem Test zur Kinematik und Dynamik wurden jeweils $N = 10$ Klassen der Trainings- und Kontrollgruppe untersucht. In einem Training wurde den Lehrkräften das neue Mechanikkonzept vorgestellt und mit den bekannten Schülervorstellungen begründet. Außerdem wurde Material für die Unterrichtsstunden bereitgestellt, welches gegenüber dem „konventionellen“ Unterricht auch veränderte Unterrichtsmethoden und neue Medien in Form von Messwerterfassungsprogrammen und Simulationen enthielt. Die Lehrkräfte bekamen einen sehr detaillierten Unterrichtsverlauf als Vorschlag, durften davon aber methodisch abweichen, so lange sie sich an die Sachstruktur hielten. Das Ergebnis war, dass die SchülerInnen, welche nach dem neuen Konzept unterrichtet wurden, einen signifikant höheren Lernzuwachs aufwiesen als in der Kontrollgruppe.

2.3. Münchner Vorarbeiten

Das zweidimensional-dynamische Mechanikkonzept von Wiesner wurde anschließend für die Sekundarstufe I, genauer für die 7. Jahrgangsstufe des Gymnasiums in Bayern, in München und Würzburg angepasst (Waltner et al., 2010). Zu diesem Unterrichtskonzept wurde ein Lehrtext in Form eines Schulbuches mit dem Titel *Einführung in die Mechanik* erstellt (Hopf et al., 2009). Auch der Effekt dieses Mechaniklehrgangs für die Sekundarstufe I wurde in einem Vor- und Nachtest-Design im Vergleich zu einer Kontrollgruppe empirisch erhoben (Tobias, 2010; Wilhelm et al., 2011).

In der Hauptstudie unterrichteten zehn Lehrkräfte in zwei aufeinander folgenden Jahren zunächst in der Kontrollgruppe 14 Klassen mit 358 SchülerInnen (im Sommer 2008) und im darauffolgenden Jahr in der Trainingsgruppe 13 Klassen mit 367 SchülerInnen (im Sommer 2009). Als Instrumente wurden Tests zum fachlichen Verständnis und Fragebögen zum fachspezifischen Selbstkonzept, zum Interesse an Physikunterricht und zur Selbstwirksamkeitserwartung eingesetzt (Wilhelm et al., 2011). Für die Lehrkräfte wurde im Verlauf dieser Studie im Unterschied zur Studie von Wilhelm keine Schulung der Lehrkräfte durchgeführt. An die Hauptstudie schloss sich ein Jahr später eine Nachfolgestudie an, in welcher acht weitere Lehrkräfte in Kontroll- und Trainingsgruppen unterrichteten.

In Bezug auf das fachliche Verständnis erreichte die Trainingsgruppe wiederum signifikant bessere Ergebnisse (Tobias, 2010). Ergänzende Schülerinterviews bestätigten, dass das Verständnis des neuen Mechanikkonzepts den Lernenden weniger Schwierigkeit bereitet. Bei den Variablen Interesse und Selbstkonzept wurden keine Unterschiede festgestellt. Hingegen gab es bei der Selbstwirksamkeitserwartung interessante Unterschiede zwischen den Gruppen. In Bezug auf das Einzeichnen einer Kraft und der Vorhersage einer Bewegung fühlte sich die Trainingsgruppe signifikant kompetenter, beim

Rechnen und dem Lesen von Diagrammen dagegen die Kontrollgruppe. Zu diesem „Münchener Mechanikkurs“ erschienen später zwei Lehrerhandbücher (Wiesner et al., 2011; Wilhelm et al., 2013).

3. Kritikpunkte und offene Fragen der bisherigen Forschung

In der Münchener Vergleichsstudie für die Sekundarstufe I sind die Unterschiede zwischen der Kontrollgruppe und der Trainingsgruppe nicht eindeutig auf die Elementarisierung zurückzuführen. Zusätzlich zur Elementarisierung der Kinematik und Dynamik nach dem zweidimensional-dynamischen Mechanikkonzept von Wiesner wurden beispielsweise spezielle Simulationen als Medien zur Verfügung gestellt. Ebenso kann ein im Vergleich zu konventionellen Schulbüchern anderes Aufgabenangebot im Schülerheft Veränderungen in der Unterrichtsgestaltung bewirkt haben. Die Studie war so aufgebaut, dass die Lehrkräfte in der Kontrollgruppe erst nach eigenem Ermessen „konventionell“, das heißt nur mit der Vorgabe durch den bayrischen Lehrplan anhand eines Schulbuchs unterrichtet haben. Anschließend haben die gleichen Lehrkräfte im folgenden Schuljahr mit Unterstützung durch das oben genannte Material nach dem 2D-Mechanikkurs unterrichtet. Somit können die positiven Ergebnisse nicht eindeutig der Elementarisierung zugeordnet werden, sondern Veränderungen in der Unterrichtsstruktur und im Mediengebrauch ebenso zum verbesserten Lernerfolg beigetragen haben wie ein durch das Studiendesign bewirkter Neuheitseffekt, weil sich die Lehrkräfte mit dem neuen Material intensiver auseinandersetzen mussten.

In allen bisherigen Arbeiten bleibt außerdem offen, was unter einem „konventionellen“ Mechanikunterricht verstanden werden soll. In der Würzburger Studie sollte bewusst „[...] nicht erforscht werden, was ‚konventioneller‘ Unterricht bedeutet und inwieweit der Unterricht in den Kontrollklassen ‚konventionell‘ war“ (Wilhelm, 2005, S. 139). Um eine Aussage über mögliche Gründe für den positiven Lernerfolg der SchülerInnen in den Trainingsgruppen zu machen, müsste zuvor eine Charakterisierung des „konventionellen“ Unterrichts in der Kontrollgruppe vorgenommen werden.

Ein weiterer Kritikpunkt bildet die bisherige Leistungsmessung der SchülerInnen durch die Fachwissenstests. Die Aufgaben wurden nicht auf Grundlage von Kriterien erstellt, welche eine gleichwertige Messung der beiden zu vergleichenden Unterrichtskonzeptionen ermöglichen. Es gab zwar Aufgaben, bei deren Lösung SchülerInnen begünstigt werden, welche entweder nach „konventionellen“ Unterrichtsgängen oder nach dem 2D-Mechanikkurs nach Wiesner unterrichtet wurden. Diese waren aber nicht in der Weise symmetrisch angelegt, dass beispielsweise in sonst analogen Aufgaben einmal eindimensionale bzw. zweidimensionale Bewegungen betrachtet wurden, um den Transfer der Kompetenzen

von einen in das andere Konzept erfassen zu können. Ebenso wurden die Aufgaben nicht zu übergeordneten latenten Konstrukten zusammengestellt.

Aufgrund der oben genannten Kritikpunkte soll in einer Konsolidierungsstudie dem 2D-Mechanikkurs nach Wiesner in der Vergleichsgruppe eine 1D-Adaption gegenübergestellt werden, die einen eindimensionalen dynamischen Zugang über Vorgänge mit konstanten Kräften und der Beschleunigung verfolgt, sich also in diesen Punkten nah an dem „konventionellen“ Unterricht orientiert. Alle übrigen Gestaltungsmerkmale wie die Strukturierung, der Medieneinsatz oder und die ikonische Repräsentation durch Vektorpfeile sollen möglichst gleichbleiben. Dazu muss das Unterrichtskonzept für die Vergleichsgruppe jedoch in einigen Aspekten der Elementarisierung vom „konventionellen“ Unterricht abweichen und Ideen des 2D-Mechanikkurses übernehmen (Seiter, 2018; Seiter, Krabbe, Wilhelm, 2020). Auf diese Weise kann ein Unterschied im Lernerfolg der SchülerInnen allein auf die unterschiedlichen Elementarisierungen zurückgeführt werden. Die Forschungsfrage für die Konsolidierungsstudie lautet also: Welche Auswirkungen haben bestimmte Elementarisierungen der Kinematik und Dynamik auf den Lernerfolg der Schülerinnen und Schüler in der Sekundarstufe I, wenn die anderen Gestaltungsmerkmale kontrolliert werden?

4. Elementarisierungen des zweidimensional-dynamischen Mechanikkonzepts nach Wiesner für die Sekundarstufe I

Im Folgenden werden zunächst die Elementarisierungen des zweidimensional-dynamischen Mechanikkonzepts nach Wiesner dargestellt, wie sie im Schülerheft *Einführung in die Mechanik* (Hopf et al., 2009) für die Sekundarstufe I zu finden sind. Diesen werden in den nachfolgenden Abschnitten die „konventionellen“ und die für die Vergleichsgruppe adaptierten Elementarisierung der Konsolidierungsstudie gegenübergestellt.

In dem Schülerheft zur Münchener Version des 2D-Mechanikkurses nach Wiesner werden für die Darstellung und Beschreibung von Bewegung Stroboskopbilder verwendet. In den Stroboskopbildern werden von Beginn an zweidimensionale Bewegungen gezeigt. Die Bewegung eines Gegenstands wird zunächst dadurch beschrieben, dass zu bestimmten Zeitpunkten der Ort des Gegenstands festgelegt wird. An Beispielen wird dann veranschaulicht, dass zusätzlich an jedem Punkt der Bewegung angegeben werden kann, wie schnell und in welche Richtung sich ein Gegenstand bewegt. Die Geschwindigkeit wird zu diesem Zweck als vektorielle Größe mit Richtung und Betrag eingeführt, wobei der Betrag der Geschwindigkeit als Tempo bezeichnet wird. Auch die Geschwindigkeit wird somit direkt für zweidimensionale Bewegungen betrachtet. Das Tempo wird über den Quotienten aus zurückgelegter Strecke Δs und der dafür benötigten Zeit Δt ermit-

telt. Beide Größen werden dabei als eine Differenz bezogen auf einen Start- und Endpunkt eines Intervalls gebildet.

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad \{1\}$$

Die Geschwindigkeit wird in Form von Geschwindigkeitspfeilen in die Stroboskopbilder eingezeichnet. Es handelt sich dabei um Pfeile für die Durchschnittsgeschwindigkeit im Zeitintervall. Der Pfeilfuß liegt jeweils in der Mitte zwischen zwei Aufnahmen des Stroboskopbildes, die Richtung des Pfeils zeigt parallel zur Verbindungslinie zwischen den beiden Punkten und die Länge des Pfeils ergibt sich aus $\{1\}$, wobei ein geeigneter Maßstab festgelegt werden muss. Im weiteren Verlauf werden auch Geschwindigkeitspfeile gezeichnet, die im Schwerpunkt des Körpers beginnen und von der Richtung her tangential an die Bahnkurve angelegt sind. Diese wären als Momentangeschwindigkeit zum betreffenden Zeitpunkt zu interpretieren. Wilhelm spricht sich aber mit Rückbezug auf Hermann bewusst gegen die Thematisierung von Durchschnitts- und Momentangeschwindigkeiten im Anfangsunterricht aus (Wilhelm 2018; Hermann, 2002).

Im gesamten Schülerheft des 2D-Mechanikkurs für die Sekundarstufe I wird auf den Begriff der Beschleunigung als Änderungsrate der Geschwindigkeit verzichtet, stattdessen wird das Konzept der Zusatzgeschwindigkeit verwendet. „Die Geschwindigkeitsänderung $\Delta \vec{v}$ in einem Zeitintervall Δt ist besonders einfach zu verstehen, wenn man eine zweidimensionale Bewegung hat, die abschnittsweise linear ist und nur durch eine sehr kurze Einwirkung, auch Stoß genannt, verändert wird [...]“ (Wilhelm, 2016, S. 23). Die Geschwindigkeit des Objekts vor einem Stoß wird als Anfangsgeschwindigkeit \vec{v}_A und die Geschwindigkeit nach dem Stoß als Endgeschwindigkeit \vec{v}_E bezeichnet. Der Pfeil, welcher die Pfeilspitze des Anfangs- mit der Pfeilspitze der Endgeschwindigkeitspfeile verbindet, während beide am Pfeilfuß verbunden sind, wird als Pfeil der Zusatzgeschwindigkeit $\Delta \vec{v}$ eingeführt (Abb. 1).

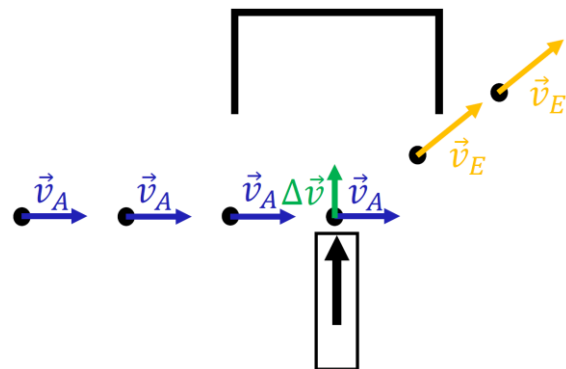


Abb. 1: Zusatzgeschwindigkeit (Hopf et al., 2009)

Die Newton'sche Bewegungsgleichung wird nach einer Idee von Wiesner wie in Frankfurter Vorarbeiten (Abschnitt 2.1) dadurch erarbeitet, dass der Ein-

fluss von Masse und Einwirkdauer auf den Zusammenhang von Kraft und Zusatzgeschwindigkeit getrennt diskutiert werden. Dazu wird zu Beginn der Begriff der Kraft \vec{F} als vektorielle Größe eingeführt, die sich aus der Kombination von Einwirkungsstärke und Einwirkungsrichtung ergibt. Dann wird plausibel gemacht: Je größer die Einwirkungsstärke einer Kraft, ist, desto größer ist das Tempo der Zusatzgeschwindigkeit; je länger die Einwirkdauer einer Kraft ist, desto größer ist das Tempo der Zusatzgeschwindigkeit, je größer die Masse eines Gegenstands, auf den eine Kraft ausgeübt wird, desto kleiner ist das Tempo der Zusatzgeschwindigkeit. Somit ergibt sich schließlich die Newton'sche Bewegungsgleichung als Produktgleichung in der Form:

$$\vec{F} \cdot \Delta t = m \cdot \Delta \vec{v} \quad \{2\}$$

Über diese Gleichung wird schließlich die Einheit *Newton* aus den anderen Größen abgeleitet und definiert. Im dem Schülerheft *Einführung in die Mechanik* wird im Anschluss, das erste und dritte Newton'sche Axiom behandelt. Da sich die Konsolidierungsstudie auf den bisher dargestellten Inhalt beschränkt, werden diese Teile hier nicht vorgestellt.

5. Elementarisierungen im „konventionellen“ Unterricht

Wie konventioneller Unterricht aufgebaut ist, wird hier anhand zweier in NRW zugelassener Schulbücher rekonstruiert, nämlich *Universum Physik 2 Nordrhein-Westfalen* (Alboreanu-Schirner et al., 2016) und *Impulse Physik 2 Nordrhein-Westfalen G8* (Feldmann, Janzen, Kirschbaum, Kohl, 2009).

Als Darstellungsform von Bewegungen werden darin $s(t)$ -, $v(t)$ - und $a(t)$ -Diagramme verwendet. Der vergangenen Zeit t wird die in dieser Zeit zurückgelegte Strecke s zugeordnet, analog für v bzw. a . Eine Darstellung von zwei- oder mehrdimensionalen Bewegungen ist mithilfe dieser Diagramme nicht möglich, da diese nicht in der Lage sind, Richtungsveränderungen abzubilden. Es werden daher fast ausschließlich eindimensionale Bewegungen betrachtet, die zum Zeitpunkt $t_0 = 0$ im Ursprung ($s_0 = 0$) beginnen und von links nach rechts ablaufen. Entsprechend entfällt bei der geradlinig gleichförmigen Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit die Differenzbildung in Bezug auf die Anfangszeit und den Anfangsort.

Die Geschwindigkeit wird als skalare Größe über den Quotienten von zurückgelegter Strecke s und der dafür benötigten Zeit t , eingeführt:

$$v = \frac{s}{t} \text{ bzw. } v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad \{3\}$$

Die Richtung der Bewegung wird ebenso wenig thematisiert wie ein mögliches negatives Vorzeichen der Geschwindigkeit bei Bewegungsumkehr. In *Universum Physik 2* wird in Gleichung {3} zwar von Δt bzw. Δs gesprochen und auf den Unterschied zwischen der momentanen und der durchschnittli-

chen Geschwindigkeit eines Körpers Wert gelegt. Die Unterscheidung ist in der Regel aber nicht notwendig, weil überwiegend Prozesse mit konstanten Geschwindigkeiten betrachtet werden, in denen die zurückgelegte Strecke und die dafür benötigte Zeit proportional zueinander sind.

Eine beschleunigte Bewegung wird dadurch charakterisiert, dass die Punkte in einem $s(t)$ -Diagramm nicht auf einer Geraden liegen; dies schließt auch Bewegungen ein, in denen die Geschwindigkeit abnimmt. Analog zur Geschwindigkeit existieren in den beiden Schulbüchern zwei verschiedene Definitionen der Beschleunigung:

$$a = \frac{v}{t} \text{ bzw. } a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad \{4\}$$

Auch hier werden meist Bewegungen betrachtet, in denen ein Körper von $v_0 = 0$ auf eine Endgeschwindigkeit v beschleunigt wird. In *Universum Physik 2* kommen auch negative Vorzeichen vor, wobei die Beschleunigung dadurch keinen Richtungscharakter erhält. Positive Beschleunigung bedeutet schneller und negative langsamer werden. Auch hier wird Fokus auf den Spezialfall der gleichmäßig beschleunigten Bewegung gelegt, bei dem sich die Punkte in einem $v(t)$ -Diagramm auf einer Ursprungsgeraden befinden.

Der Kraftbegriff wird in beiden Schulbüchern nicht wie im dynamischen 2D-Mechanikkurs nach Wiesner aufbauend auf die Kinematik behandelt, sondern aus der Statik heraus entwickelt. Dabei wird bei der Begriffseinführung an die Alltagserfahrungen der SchülerInnen (wie z.B. die Muskelkraft) angeknüpft. Das Hooke'sche Gesetz bildet die Grundlage für die Kraftmessung, in dem über die Verformung der Feder die Rückstellkraft bestimmt wird. Die Newton'sche Bewegungsgleichung wird nicht explizit behandelt, die einzige Form der Mathematisierung bildet die Definition der Gewichtskraft. Dabei wird die Kraft als skalare Größe behandelt und die Fallbeschleunigung g nur als Proportionalitätsfaktor zwischen der Masse m und der Kraft F eingeführt und als Ortsfaktor bezeichnet. Im weiteren Verlauf wird auch die Kraft als Ursache einer Bewegungsänderung betrachtet, aber nicht explizit mit der Beschleunigung in Verbindung gebracht.

6. Elementarisierungen der 1D-Adaption

Ziel bei der Entwicklung der eindimensional-dynamischen Elementarisierungen war es, für die Vergleichsgruppen einen Lehrgang zu entwickeln, der hinsichtlich Struktur, Mediennutzung, Darstellungsform usw. möglichst identisch mit dem 2D-Mechanikkurs nach Wiesner ist und zugleich als Stellvertreter für „konventionellen“ Unterricht gelten kann. Es wird somit ein Mittelweg zwischen den beiden zuvor thematisierten Elementarisierungen gesucht.

Als Darstellungsform von Bewegungen werden auch hierbei Stroboskopbilder verwendet, allerdings nur

für eindimensionale Bewegungen, die sich entweder entlang der x- oder y-Achse abspielen. Dadurch werden wie im 2D-Mechanikkurs verschiedene Zeitintervalle betrachtet. In Analogie zum 2D-Mechanikkurs sollen sowohl Geschwindigkeit als auch Beschleunigung mit Hilfe von Vektorpfeilen ikonisch dargestellt werden. Da dies im Eindimensionalen sehr schnell unübersichtlich wird, wird die Darstellungsform der Stroboskopbilder durch sogenannte Stroboskoptabellen erweitert (siehe Abb. 2). Diese unterstützen auch die Unterscheidung zwischen verschiedenen Pfeilarten.

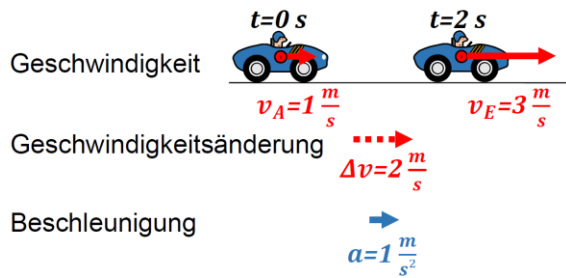


Abb. 2: Stroboskoptabelle (Seiter et al., 2020)

Eine Stroboskoptabelle besteht, wie der Name andeutet, aus mehreren Zeilen. Die erste Zeile enthält das eigentliche Stroboskopbild, in das wie schon beim 2D-Mechanikkurs nach Wiesner, Geschwindigkeitspfeile eingezeichnet werden. In den Zeilen darunter erfolgt die Darstellung der Geschwindigkeitsänderung und der Beschleunigung als Pfeile.

Die Definition der eindimensionalen Geschwindigkeit erfolgt zwar als skalare Größe, orientiert sich allerdings an der Einführung des Tempos im 2D-Mechanikkurs nach Wiesner. Im Unterschied zum „konventionellen“ Unterricht wird hier das Vorzeichen zusätzlich als Richtungsinformation verwendet. Die Geschwindigkeit kann als Pfeil entlang der festgelegten Achse dargestellt werden, dessen Länge den Betrag der Geschwindigkeit und dessen Orientierung die Richtung bzw. das Vorzeichen der Geschwindigkeit repräsentieren.

Anstelle der Bezeichnung Zusatzgeschwindigkeit wird in Anlehnung an den „konventionellen“ Unterricht der Begriff Geschwindigkeitsänderung gewählt. Die Größe und Richtung der Geschwindigkeitsänderung kann analog zur Zusatzgeschwindigkeit des 2D-Mechanikkurses aus den Geschwindigkeitspfeilen grafisch konstruiert werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, die Geschwindigkeitsänderung durch einfache Addition oder Subtraktion der Geschwindigkeitsbeträge zu berechnen. Die Beschleunigung wird schließlich aus dem Begriff der Geschwindigkeitsänderung erarbeitet und in Form einer Produktgleichung eingeführt:

$$\Delta v = a \cdot \Delta t \quad \{5\}$$

Der Richtungscharakter der Beschleunigung ergibt sich automatisch aus dem Richtungscharakter der Geschwindigkeitsänderung.

In der 1D-Adaption werden ausschließlich Vorgänge mit konstanten Kräften und keine Kraftstöße betrachtet. Die Kraft wird im Gegensatz zum „konventionellen“ Unterricht nicht über die Statik, sondern dynamisch mit Bezug auf Bewegungsänderungen eingeführt. Die ermöglicht dieselbe Strukturierung wie im 2D-Mechanikkurs. Die Newton'sche Bewegungsgleichung wird in ihrer klassischen Form eingeführt, mit der Masse als Proportionalitätsfaktor zwischen Kraft und Beschleunigung:

$$F = m \cdot a \quad \{6\}$$

In Tabelle 2 sind abschließend verschiedenen Merkmale der drei Elementarisierungen gegenübergestellt. Dabei wurde farblich gekennzeichnet, aus welchen Elementen sich die Bochumer 1D-Adaption zusammensetzt.

7. Studiendesign

Für die Konsolidierungsstudie unterrichten im Schuljahr 2019/20 jeweils N = 11 Lehrkräfte nach dem 2D-Mechanikkurs nach Wiesner und nach der 1D-Adaption. Die Lehrkräfte kommen dabei aus dem Bereich Bochum (NRW) und dem Bereich Frankfurt am Main (Hessen). Die Stichprobe umfasst ca. 1.300 SchülerInnen in 30 Klassen. Die genaue Aufteilung auf die Bundesländer und die Treatments kann Tabelle 1 entnommen werden.

	1D-Adaption	2D-Mechanikkurs nach Wiesner
Lehrkräfte	11 Lehrkräfte	11 Lehrkräfte
Klassen	16 Klassen (10 aus NRW und 6 aus Hessen)	14 Klassen (7 aus NRW und 7 aus Hessen)
Schüler	637 SuS (374 aus NRW und 263 aus Hessen)	657 SuS (340 aus NRW und 317 aus Hessen)

Tab. 1: Konstellation der Gesamtstichprobe

Zu Beginn erhielten beide Gruppen von Lehrkräften getrennt eine Lehrfortbildung im Umfang von vier Stunden zum jeweiligen Mechaniklehrgang. In der Fortbildung wurden zum einen typische Schülervorstellungen aus der Kinematik und Dynamik und zum anderen Kritikpunkte bezogen auf den „konventionellen Unterricht“ vorgestellt, um daraus die Ideen hinter dem jeweiligen Mechaniklehrgang zu motivieren. Im Anschluss wurden die Elementarisierung des Mechaniklehrgangs und alle bereitgestellten Materialien vorgestellt. Beide Lehrergruppen wurden bewusst getrennt voneinander fortgebildet, so dass die beteiligten Lehrkräfte nichts von der anderen Art der Elementarisierung erfahren haben. Damit sollte verhindert werden, dass Lehrkräfte sich möglicherweise im Nachhinein für die Elementarisierung entscheiden, welche ihnen mehr zusagt, oder es zu Vermischungen zwischen beiden Konzepten kommt.

„Konventioneller“ Mechanikunterricht	1D-Adaption	Zweidimensional-dynamisches Mechanikkonzept nach Wiesner
Alle Größen werden zuerst an eindimensionalen Bewegungen eingeführt. Später wird das evtl. kurz auf zweidimensionale Bewegungen erweitert.	Alle Größen werden an eindimensionalen Bewegungen eingeführt.	Alle Größen werden zuerst an zweidimensionalen Bewegungen eingeführt. Später wird das auf eindimensionale Bewegungen reduziert.
Die erste verwendete Größe ist der Weg s (teilweise unklar definiert).	Die erste verwendete Größe ist der Ort.	Die erste verwendete Größe ist der Ort.
Wie man Bewegungen erfasst, wird nicht thematisiert oder es wird nur der zurückgelegte Weg thematisiert.	Es wird thematisiert, dass zur Erfassung einer Bewegung zu bestimmten Zeiten der Ort festgehalten werden muss.	Es wird thematisiert, dass zur Erfassung einer Bewegung zu bestimmten Zeiten der Ort festgehalten werden muss.
Darstellung durch $s(t)$ -, $v(t)$ - und $a(t)$ -Diagramme	Darstellung von Bewegung in Stroboskoptabellen	Darstellung von Bewegungen in Stroboskopbildern
Keine Thematisierung der Richtung	Thematisierung der Richtung	Thematisierung der Richtung
Geschwindigkeit als positive skalare Größe $v = \frac{s}{t}$ bzw. $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$	Geschwindigkeit als skalare Größe $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$	Geschwindigkeit \vec{v} als vektorielle Größe Tempo $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$
Ergebnisse werden mit Zahlen oder Diagrammen angegeben	Geschwindigkeiten werden mit Geschwindigkeitspfeilen dargestellt.	Geschwindigkeiten werden mit Geschwindigkeitspfeilen dargestellt.
Unterscheidung zwischen Durchschnitts- und Momentangeschwindigkeit	Unterscheidung zwischen Durchschnitts- und Momentangeschwindigkeit	Keine Unterscheidung zwischen Durchschnitts- und Momentangeschwindigkeit
Thematisierung der Beschleunigung $a = \frac{v}{t}$ bzw. $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$	Thematisierung der Beschleunigung, Einführung der Geschwindigkeitsänderung Δv $\Delta v = a \cdot \Delta t$	Keine Thematisierung der Beschleunigung, Einführung der Zusatzgeschwindigkeit $\Delta \vec{v}$ $\vec{v}_E = \Delta \vec{v} + \vec{v}_A$
Die Beschleunigung wird anhand einer schneller werdenden geradlinigen Bewegung mit konstanter Beschleunigung eingeführt.	Die Geschwindigkeitsänderung sowie die Beschleunigung werden bei konstanten Einwirkungen eingeführt.	Die Zusatzgeschwindigkeit wird anhand eines senkrechten Stoßes eingeführt.
Bei der Einführung der „Kraft“ wird an Alltagserfahrungen angeknüpft (z.B. Muskelkraft). Das Wort „Kraft“ fällt frühzeitig.	Bei der Einführung der „Kraft“ wird bewusst nicht an Alltagserfahrungen angeknüpft und anfangs nur von Einwirkung gesprochen. Das Wort „Kraft“ wird erst spät verwendet.	Bei der Einführung der „Kraft“ wird bewusst nicht an Alltagserfahrungen angeknüpft und anfangs nur von Einwirkung gesprochen. Das Wort "Kraft" wird erst spät verwendet.
Bei der Einführung der "Kraft" werden Situationen mit konstanter Kraft verwendet (und Bewegung aus der Ruhe heraus).	Bei der Einführung der "Kraft" werden Situationen mit konstanter oder abschnittsweise konstanter Kraft verwendet. (Bewegung aus der Ruhe heraus, mit Anfangsgeschwindigkeit)	Bei der Einführung der "Kraft" wird ein kurzer Kraftstoß senkrecht zur Bewegungsrichtung verwendet.
„Kraft“ wird anhand von dynamischen und statischen Situationen eingeführt, d.h. die Verformung wird als Wirkung einer Kraft vorgestellt und behandelt.	„Kraft“ wird nur anhand von dynamischen Vorgängen eingeführt; die Verformung wird nicht behandelt.	„Kraft“ wird nur anhand von dynamischen Vorgängen eingeführt.
Zweites Newton'sches Axiom (meist erst in den höheren Jahrgangsstufen): $F = m \cdot a$ (Differentielle Form für Zeitpunkte)	Zweites Newton'sches Axiom: $F = m \cdot a$ Nicht für Zeitpunkte, sondern für Intervalle, also Durchschnittsbeschleunigung (entspricht bei konstanten Kräften aber genau der Momentanbeschleunigung)	Zweites Newton'sches Axiom: $\vec{F} \cdot \Delta t = m \cdot \Delta \vec{v}$ (Integrale Form für Zeitintervalle)

Tab. 2: Gegenüberstellung der Elementarisierungen (vgl. Seiter et al., 2020)

Ein Kritikpunkt der bisherigen Forschung war, dass beide Gruppen nicht über die gleiche Art und Menge von Material verfügten. Aus diesem Grund erhielten die Lehrkräfte für den 1D-Adaption ebenfalls Schülerhefte, die in der Reihenfolge der Themen und der Lernprozessstruktur analog zum Schülerheft *Einführung in die Mechanik* aufgebaut sind. Die Schülerhefte zum 2D-Mechanikkurs sind eine leicht abgewandelte Form der Version von Hopf et al. (2009), um die Strukturgleichheit und ein gleiches Layout zu garantieren. Außerdem wurde die Kapitel entfernt, die nicht mehr Teil der Untersuchung sind.

Als Ergänzung zu den Schülerheften wurden zusätzlich Workbooks mit Erarbeitungs- und Übungsaufgaben bereitgestellt. Diese Workbooks sollen einerseits bei der Durchführung der Lehrgänge durch die Lehrkräfte für eine gleichbleibende Strukturierung sorgen, indem bestimmte Pflichtaufgaben vorgeschrieben wurden. Andererseits soll für jede Klasse eine Stichprobe der Workbooks anonym für einen Treatment-Check eingesammelt werden. Anhand der Workbooks kann analysiert werden, in welchem Umfang die Materialien von den Lehrkräften eingesetzt wurden und wie gut die Aufgaben von den SchülerInnen gelöst wurden. Als letztes wurden für die Mediengleichheit Simulation für beide Lehrgänge bereitgestellt, für die in den Workbooks Anleitungen und Aufgaben konzipiert wurden.

Zu den Schülerheften wurden ergänzend Unterrichtsverlaufspläne angefertigt, die die in den Schülerheften angelegten Strukturierungen der Lernprozesse unterstreichen. Den Lehrkräften wurde in der Fortbildung diese Tiefenstruktur der Lernprozesse als verpflichtender Rahmen vorgegeben, der Unterricht selbst konnte bezogen auf Sozialform oder Methoden frei gestaltet werden. Bei den Unterrichtsverlaufsplänen wurde darauf geachtet, dass beide Lehrgänge den gleichen Stundenumfang von ca. 7 Doppelstunden umfassen und die gleiche Zeit auf analoge Themen verwenden (Seiter, 2018). Da in der 1D-Adaption zusätzlich zur Geschwindigkeitsänderung die Beschleunigung thematisiert wird, laufen die Lehrgänge in einem Kapitel auseinander. Der 2D-Mechanikkurs nach Wiesner kompensiert dies durch die Thematisierung der Einwirkungsdauer. Somit kann für beide Gruppen von einer gleichen Interventionsdauer ausgegangen werden.

In der Evaluation soll das Fachwissen der SchülerInnen bzw. der Lernerfolg (Differenz zwischen Prä- und Posttest) gemessen werden. Hierzu wurde ein Fachwissentest zum Thema Kraft und Bewegung anhand eines Aufgabenkonstruktionsmodells entwickelt, das unterschiedliche Kompetenzen in diesem Themengebiet als latente Konstrukte beschreibt. Der Test wurde vorab im Schuljahr 2018/19 pilotiert und die Items anhand einer Rasch-Analyse ausgewählt. Der Test umfasst insgesamt 27 Items. Aufgabenquellen sind dabei der FCI (Hestenes et al., 1992), Ordered Multiple Choice (OMC) Aufgaben aus der Arbeit von Alonzo (2009) sowie Eigenentwicklungen.

Um bei der Leistungsmessung keinen der beiden Mechaniklehrgänge zu bevorzugen, wurden gleichartige Aufgaben zu eindimensionalen und zweidimensionalen Bewegungen sowie für Vorgänge mit konstanten Kräften bzw. Stoßprozessen entwickelt. Bei der Auswertung ist es damit auch möglich, Transferleistungen der SchülerInnen in Bezug auf die Elementarisierung des jeweils anderen Lehrgangs zu bewerten, z.B. ob die SchülerInnen, die nach dem 2D-Mechanikkurs nach Wiesner unterrichtet wurden, ihr Wissen auch auf eindimensionale Aufgaben übertragen können und umgekehrt. Als eine weitere Variable wird erfasst, wie viele Stunden die Lehrkräfte insgesamt mit dem Material unterrichten haben, um die Time-On-Task zu kontrollieren. Als nicht kognitive Variablen werden zusätzlich das Interesse im Fach Physik und das fachspezifische Selbstkonzept (Frey et al., 2009) der SchülerInnen erfasst sowie ein Intelligenztest (Heller & Perleth, 2000) durchgeführt.

8. Erste Ergebnisse

Die hier vorgestellten Teilergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die gymnasialen Klassen aus Nordrhein-Westfalen. Die Stichprobe besteht insgesamt aus 288 Schülerinnen und Schülern mit einem durchschnittlichen Alter von 13.3 ($\sigma = 0.68$). SchülerInnen, die nur an einem Testtermin (also nur Prä- oder Posttest) teilgenommen haben, wurden für die Auswertung nicht weiter berücksichtigt. Die genaue Aufteilung der Stichprobe bezogen auf die Anzahl von Lehrkräften, Klassen und die Aufteilung auf die verschiedenen Klassenstufen kann Tabelle 3 entnommen werden.

	1D-Adaption	2D-Mechanikkurs nach Wiesner
Lehrkräfte	6 Lehrkräfte	4 Lehrkräfte
Klassen	6 Klassen (83,3 % Stufe 8, 16,7 % Stufe 9)	7 Klassen (57,1 % Stufe 8, 42,9 % Stufe 9)
Schüler	123 SuS (61 % weiblich, 35,8 % männlich)	165 SuS (45,5 % weiblich, 52,1 % männlich)

Tab. 3: Konstellation der ausgewerteten Stichprobe

Ein zweiseitiger t-Test für unabhängige Stichproben zeigt, dass die beiden Schülergruppen sich hinsichtlich ihrer Prä-Test-Ergebnisse im Fachwissentest signifikant unterscheiden. Die mittlere Punktzahl im Fachwissentest der SchülerInnen, welche nach dem 2D-Mechanikkurs nach Wiesner unterrichtet wurden, beträgt ($\mu = 10.04, \sigma = 2.91$) gegenüber den SchülerInnen, welche nach der 1D-Adaption unterrichtet wurden ($\mu = 9.20, \sigma = 2.48$). Die Punktzahl der SchülerInnen in der 1D-Adaption ist also durchschnittlich um 0.84 Punkte (95 % - CI [0.22, 1.47]) niedriger, $t(280.77) = 2.65, p < .01$.

Die Effektstärke nach Cohen's d^1 ergibt einen kleinen Effekt mit $d = 0.31$. Da sich die beiden Treatmentgruppen bereits im Prätest signifikant voneinander unterscheiden, wird für den Vergleich der beiden Mechaniklehrgänge im Weiteren der Lernerfolg (Differenz von Post- und Prä-Ergebnissen) und nicht nur die Posttest-Ergebnisse betrachtet.

Für die 1D-Adaption zeigt sich einen statistisch höchst signifikanten Lernzuwachs von ($\mu = 9.20$, $\sigma = 2.48$) Punkten im Prätest auf ($\mu = 10.73$, $\sigma = 3.17$) im Posttest. Die SchülerInnen in der 1D-Adaption erreichen somit durchschnittlich im Posttest 1.53 Punkte (95 % - CI[1.05, 2.01]) mehr als im Prätest, $t(122) = 6.32, p < .001$. Die Effektstärke ergibt einen mittleren Effekt $d = 0.54$. Analog zeigt sich ein ebenfalls höchst signifikanter Lernzuwachs für die SchülerInnen im 2D-Mechanikkurs nach Wiesner. Dort steigt die Punktzahl von ($\mu = 10.04$, $\sigma = 2.91$) im Vortest auf ($\mu = 12.05$, $\sigma = 3.42$) im Posttest. Die SchülerInnen erreichen durchschnittlich im Posttest 2.01 Punkte (95 % - CI[1.48, 2.55]) mehr als im Prätest, $t(164) = 7.45, p < .001$. Auch dies ist ein großer Effekt mit $d = 0.63$. Beide Lehrgänge führen also zu einem höchst signifikantem Lernerfolg mit mittleren Effektstärken.

Um zu untersuchen, ob SchülerInnen in einem der beiden Mechaniklehrgänge einen größer Lernzuwachs haben, wird ein zweiseitiger t-Test für unabhängige Stichproben gerechnet. Es ergibt sich kein statistisch signifikanter Unterschied im Lernerfolg zwischen der 1D-Adaption ($\mu = 1.53$, $\sigma = 2.68$) und dem 2D-Mechanikkurs nach Wiesner ($\mu = 2.01$, $\sigma = 3.47$). Der Unterschied im Lernzuwachs beträgt durchschnittlich 0.48 Punkte (95 % - CI[-0.23, 1.20]), $t(285.60) = 1.33$, $p = .183$. Nach Cohen läge mit $d = 0.15$ auch nur ein schwacher Effekt vor. Damit muss vorläufig die Nullhypothese angenommen werden, das heißt, die SchülerInnen unterscheiden sich in ihrem Lernerfolg zwischen den beiden verschiedenen Mechaniklehrgängen nicht voneinander. Die t-Tests sind in Abb. 3 noch einmal zusammengefasst.

Bei der oben durchgeführten Analyse wurden ein möglicher Einfluss der unterschiedlichen Prätest-Ergebnisse auf den Lernerfolg nicht berücksichtigt. Ein Indiz für einen möglichen Zusammenhang liefert die hoch signifikante Korrelation nach Pearson zwischen den Prätest-Ergebnissen und dem Lernerfolg ($r(288) = -.356$, $p < .01$). Demnach lernen SchülerInnen weniger dazu, wenn sie bereits im Vortest besser abschnitten. Um den Einfluss der

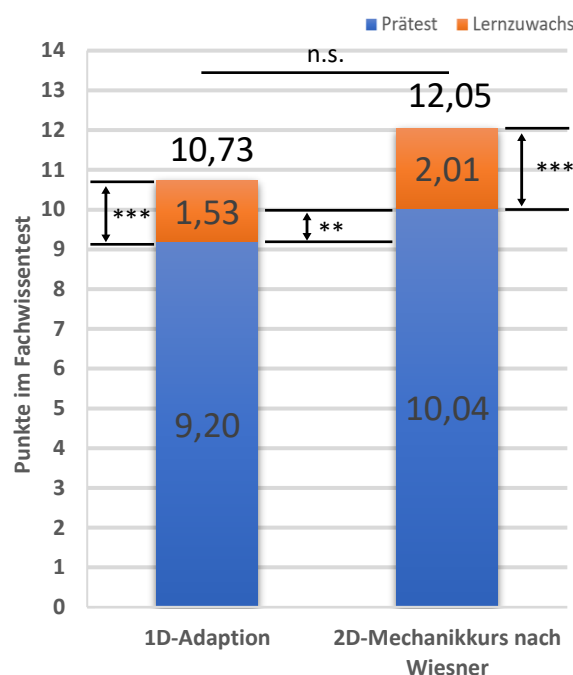


Abb. 3: Darstellung der Testergebnisse beider Treatmentgruppen im Vergleich (Signifikanzniveaue $*** p < .001$, $** p < .01$, $* p < .05$)

unterschiedlichen Prätest-Ergebnisse auf die Analysen auszuschließen, wird im Folgenden eine Parallelisierung der Stichprobe mit Hilfe von „matched samples“ vorgenommen (Bortz und Döring, 2006). Hierbei wird so vorgegangen, dass von den SchülerInnen einer Klasse mit gleiche Prätest-Werten diejenigen aus der größeren Treatment-Klasse entfernt werden, die den größten bzw. kleinsten Lernerfolg bei dem jeweiligen Prätest-Ergebnis haben. Damit wird erreicht, dass die Anzahl der Schüler in beiden Gruppen identisch ist und beide Treatment-Gruppen im Anschluss den gleichen Mittelwert und die gleiche Varianz aufweisen. In diesem Fall wird die Stichprobe damit auf 208 SchülerInnen reduziert ($n = 104$ pro Treatment), wobei beiden Gruppen den gleichen Mittelwert ($\mu = 9.32$) und die gleiche Varianz ($\sigma = 2.42$) aufweisen. Ein erneuter t-Test für unabhängige Stichproben liefert nun einen statistisch höchst signifikanten Unterschied im Lernerfolg zwischen der 1D-Adaption ($\mu = 1.27$, $\sigma = 2.25$) und dem 2D-Mechanikkurs nach Wiesner ($\mu = 2.41$, $\sigma = 2.60$). Der Unterschied im Lernerfolg beträgt durchschnittlich 1.14 Punkte (95 % - CI[-1.81, -0.48]), $t(206) = 3.39$, $p < .001$. Die Effektstärke nach Cohen beträgt $d = 0.47$.

Eine weitere Möglichkeit die unterschiedlichen Prätest-Ergebnisse in die Analyse miteinzubeziehen, besteht darin, die Treatment-Gruppen bezogen auf die Prätest-Ergebnisse in Untergruppen aufzuteilen und diese jeweils miteinander zu vergleichen. In diesem Fall werden beide Treatment-Gruppen bezüglich der Prätest-Werte in Terzile aufgeteilt, so dass im Anschluss der Lernerfolg für das untere, mittlere und obere Drittel der jeweiligen Stichprobe mittels t-Tests für unabhängige Stichproben vergli-

$$d = \frac{\mu_A - \mu_B}{SD_{pooled}} \quad \text{mit}$$

$$SD_{pooled} = \sqrt{\frac{(N_A - 1) \cdot \sigma_A^2 + (N_B - 1) \cdot \sigma_B^2}{(N_A - 1) + (N_B - 1)}}$$

chen werden kann. Die Ergebnisse sind in der folgenden Abb. 4 zusammengefasst.

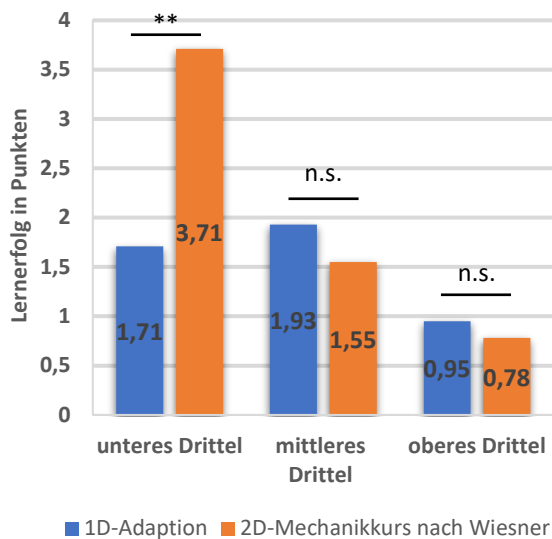


Abb. 4: Vergleich der Lernerfolg beider Treatmentgruppen nach Terzilen im Prätest (Signifikanzniveaus *** $p < .001$, ** $p < .01$, * $p < .05$)

Lediglich im unteren Drittel erzielen die SchülerInnen im 2D-Mechanikkurs nach Wiesner ($\mu = 3.71$, $\sigma = 3.58$) einen hoch signifikant größeren Lernerfolg als in der 1D-Adaption ($\mu = 1.71$, $\sigma = 2.03$). Der Unterschied im Lernerfolg beträgt dort durchschnittlich 2.00 Punkte (95 % – CI[0.84, 3.15]), $t(88.35) = 3.47$, $p < .01$. Nach Cohen liegt dabei mit $d = 0.66$ ein mittlerer Effekt vor. Für das mittlere und das obere Drittel erhalten wir keinen statistisch signifikanten Unterschied im Lernerfolg, auch wenn hier im Vergleich zu vorher der Lernerfolg in der 1D-Adaption größer ausfällt. Im mittleren Drittel beträgt der Unterschied zwischen der 1D-Adaption ($\mu = 1.93$, $\sigma = 2.81$) und dem 2D-Mechanikkurs nach Wiesner ($\mu = 1.55$, $\sigma = 2.58$) im Durchschnitt 0.38 Punkte (95 % – CI[-0.72, 1.48]), $t(94) = 0.69$, $p = .492$. Im oberen Drittel beträgt der Unterschied im Lernerfolg zwischen der 1D-Adaption ($\mu = 0.95$, $\sigma = 3.07$) und dem 2D-Mechanikkurs nach Wiesner ($\mu = 0.78$, $\sigma = 3.52$) im Durchschnitt 0.17 Punkte (95 % – CI[-1.20, 1.54]), $t(94) = 0.25$, $p = .806$. Nach Cohen liegt für das mittlere und obere Drittel auch kein Effekt vor.

Die Auswertung zeigt, dass, wenn der Einfluss der verschiedenen Prätest-Ergebnisse nicht berücksichtigt wird, der Unterschied in der Elementarisierung der Kinematik und Dynamik zwischen beiden Lehrgängen keinen signifikanten Unterschied im Lernerfolg der SchülerInnen zur Folge hat, wenn alle anderen Gestaltungsmerkmale (Strukturierung, Medien, etc.) kontrolliert werden. Insgesamt fällt der Lernerfolg im 2D-Mechanikkurs nach Wiesner zwar höher aus, aufgrund der mangelnden Signifikanz sollte hier aber die Nullhypothese gewählt werden, dass es also keinen Unterschied im Lernerfolg gibt. Der Vergleich im Fall der parallelisierten Stichprobe liefert

hingegen einen höchst signifikanten mittleren Effekt im Unterschied der Lernzuwächse zu Gunsten des 2D-Mechanikkurses. Die Parallelisierung hat dabei diejenigen SchülerInnen mit extremen Lernerfolg (positiv und negativ) aus der Stichprobe entfernt. Dieser Eingriff in die Stichprobenkonstellation muss in jedem Fall bei der Bewertung der Ergebnisse berücksichtigt werden, da hierdurch die externe Validität vermindert wurde. Bei der Betrachtung der Terzilen bezüglich der Prätest-Ergebnisse zeigt sich, dass der Lernerfolg lediglich für das untere Drittel im 2D-Mechanikkurs signifikant höher ausfällt. Der gesamte Unterschied im Lernerfolg aus den vorigen Analysen ergibt sich also nur aufgrund des großen Unterschieds im unteren Drittel, das heißt, dass die SchülerInnen mit einem niedrigen Prätest-Ergebnis mit dem 2D-Mechanikkurs besser gelernt haben, wohingegen die restlichen Schüler in beiden Lehrgängen gleich gut gelernt haben.

9. Ausblick

Es wurde bisher nur ein Teil der Gesamtstichprobe ausgewertet, genauer nur die gymnasialen Klassen aus NRW. Im weiteren Verlauf sollten die gleichen Analysen für die Klassen in Hessen durchgeführt werden. Aufgrund der Corona-Krise wurden jedoch einige Unterrichtsgänge unterbrochen oder einzelne Einheiten digital vermittelt, so dass sich die Frage stellt, inwieweit diese Klassen noch vergleichbare Bedingungen hatten. Auch noch nicht miteinbezogen wurden bisher die Klassen aus Gesamtschulen. Hier ist zum einen ein Vergleich zwischen dem 2D-Mechanikkurs nach Wiesner und der 1D-Adaption möglich, zusätzlich kann aber auch verglichen werden, ob es Unterschiede in Bezug auf Schulform gibt, also ob die Lehrgänge möglicherweise in den unterschiedlichen Schulformen zu unterschiedlichen Lernerfolgen führen. Darüber hinaus können in Bezug auf weiteren erfassten Variablen wie die Unterrichtszeit, das Interesse oder die Ergebnisse der Intelligenztests komplexere Analysemethoden durchgeführt werden, um hier tiefere Erkenntnisse über den Zusammenhang zwischen den verschiedenen Variablen und dem Lernerfolg der SchülerInnen zu erhalten. Bei der Beschreibung des Fachwissenstests wurde schon betont, dass der jetzige Test auch die Möglichkeit bietet, die Transferleistungen der SchülerInnen zwischen ein- und zweidimensionalen Aufgaben beziehungsweise Aufgaben mit konstanten Kräften und Stößen zu analysieren. Auch sind auf Itemebene z.B. Faktorenanalysen denkbar, um auf latente Konstrukte zu prüfen und Verbesserungen in Bezug auf die Gütekriterien wie die Reliabilität und die Validität bei der Leistungsmessung zu erzielen. Aufgrund der ersten Analyse konnte ein Eindruck davon gewonnen werden, wie sich die beiden Mechaniklehrgänge in Bezug auf die Ergebnisse in den Fachwissenstest voneinander unterscheiden. Welcher Lehrgang aber letztendlich erfolgreicher ist, kann an dieser Stelle noch nicht-

endgültig gesagt werden, dies wird sich erst in Folge der weiteren Analysen herausstellen. Beide Lehrgänge führen aber für die Klassen in NRW zu einem höchstsignifikanten Lernerfolg, was als ein sehr gutes Ergebnis bewertet werden kann.

10. Literatur

- Alboteanu-Schirner, A.; Buric R.; Burisch, C.; Emse, A.; Geck, E.; Käbbe, K.; Lauterjung, D.; Lauterjung, S.; Schöpfer, J. & Trendel, G. (2016). *Universum Physik Band 2 Gymnasium Nordrhein-Westfalen*. Berlin: Cornelsen Schulverlag GmbH, 1. Auflage.
- Alonzo, A. C.; & Steedle, J. T. (2009). Developing and assessing a force and motion learning progression. *Science Education*, 93, 389-421.
- Bortz, J. & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler*. 4. Auflage. Berlin: Springer.
- Feldmann, C.; Janzen U.; Kirschbaum T.; Kohl R. (2009): *Impulse Physik 2 für die Klassen 7 - 9 im achtjährigen Bildungsgang der Gymnasien in Nordrhein-Westfalen*. Stuttgart: Ernst Klett Verlag GmbH.
- 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.
- Hermann, F. (2002). *Altlasten der Physik (61): Momentan- und Durchschnittsgeschwindigkeit*. In: *Praxis der Naturwissenschaften – Physik und Schule* 51, S. 46
- 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. (2009). *Einführung in die Mechanik*, 4. Auflage, München, veröffentlicht unter: www.thomas-wilhelm.net/Mechanikbuch_Druckversion.pdf
- Jung, W.; Callsen, H. (1976): *Newtonsche Mechanik. Versuch eines neuen Zugangs für den Unterricht*. *Naturwissenschaften im Unterricht* 6/24, S. 231-236
- 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. (2020). *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.
- 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. (2016): *Elementarisierung in der Mechanik - Weglassen ist eine Kunst*. In: *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule*. Heft 6, 65. Jahrgang, S. 22-24.
- Wilhelm, T.; Tobias, V.; Waltner, C.; Hopf, M.; Wiesner, H. (2011). *Zweidimensionale 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*. Aulis-Verlag.
- Wodzinski, R. (1996). *Untersuchungen von Lernprozessen beim Lernen Newtonscher Dynamik im Anfangsunterricht*. Dissertation Universität Frankfurt am Main, LIT, Münster
- 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.