

Thomas Wilhelm¹
 Verena Tobias²
 Christine Waltner²
 Martin Hopf³
 Hartmut Wiesner²

¹Universität Augsburg
²LMU München
³Universität Wien

Zweidimensional-dynamische Mechanik - Ergebnisse einer Studie

Konzept und Unterrichtsmaterialien

Die Newtonsche Mechanik zählt nach wie vor zu einem der schwierigsten Inhaltsgebiete der Schulphysik. Gründe bestehen u.a. in den Schülervorstellungen, aber auch in der Sachstruktur des Unterrichts sowie in ungeeigneten Darstellungen der Zusammenhänge. Der Lehrplan für das bayerische achtjährige Gymnasium fordert bereits in der siebten Jahrgangsstufe eine erste, dynamische Einführung in die Mechanik. Hierfür wurde im Rahmen eines „Design-Based Research“-Ansatzes eine Sachstruktur weiterentwickelt, die bereits mehrfach untersucht wurde. Allen Vorarbeiten gemeinsam ist, dass in der Mechanik von Anfang an zweidimensionale Bewegungen betrachtet werden, die vektorielle Zusatzgeschwindigkeit $\Delta\vec{v}$ (= Geschwindigkeitsänderung) betont wird und der Kraftbegriff dynamisch eingeführt wird. Zurzeit wird aber üblicherweise anhand eindimensionaler Bewegungen Geschwindigkeit und Beschleunigung eingeführt, wofür in der Regel nur sehr wenig Unterrichtszeit verwendet wird. Danach wird schnell zu den Newtonschen Gesetzen übergeleitet.

In dem entwickelten Konzept wird schon bei der Einführung der Geschwindigkeit von zweidimensionalen Bewegungen ausgegangen und die Geschwindigkeit als vektorielle Größe, bestehend aus Tempo und Richtung, eingeführt, die mit einem Pfeil dargestellt wird. Hier ist eine digitale Videoanalyse von Bewegungen hilfreich, wenn die Software automatisch die Geschwindigkeitspfeile in das Video einblenden kann (wie in „measure dynamics“). Die Zusatzgeschwindigkeit $\Delta\vec{v}$ wird als eigenständige Größe eingeführt und dient als Elementarisierung der - nicht explizit eingeführten - Beschleunigung. Das zweite newtonsche Axiom wird dann in der integralen Form $\vec{F} \cdot \Delta t = m \cdot \Delta\vec{v}$ eingeführt.

Zu dem Unterrichtskonzept wurde ein Lehrtext im Stil eines normalen Schulbuches mit Experimentieranschlägen und Aufgaben erstellt. Außerdem erhielten die Lehrkräfte Videoaufnahmen, passende Videoanalysen zu „measure dynamics“ sowie ein passendes Simulationsprogramm.

Design der Studie

In der Hauptstudie unterrichten die gleichen zehn Lehrkräfte zunächst in der Kontrollgruppe (Sommer 2008) und dann in der Treatmentgruppe (Sommer 2009). In der Vorstudie erprobten 14 Lehrkräfte in 19 Klassen die Lehrermaterialien und das Schülerbuch (Herbst 2008). In der Nachfolgestudie unterrichten nochmals acht Lehrkräfte in Kontrollgruppe (2009) und Treatmentgruppe (Frühjahr 2010). Sowohl in Haupt- als auch in Nachfolgestudie erhielten die teilnehmenden Lehrkräfte nur Materialien, aber keine Schulung.

An quantitativen Forschungsmethoden wurde ein fachlicher Verständnistest eingesetzt sowie Tests zum fachspezifischen Selbstkonzept, zum Interesse am Physikunterricht und zur Selbstwirksamkeitserwartung. Hierzu wurde in allen Gruppen jeweils ein Prätest vor dem Unterricht, ein Posttest nach dem Unterricht und ein FollowUp-Test nach drei Monaten durchgeführt. An qualitativen Forschungsmethoden wurden Lehrerinterviews und Schülerinterviews eingesetzt sowie die Videoanalyse einer ausgewählten Unterrichtsstunde. Außerdem führten die Lehrkräfte ein Unterrichtstagebuch.

Qualitative Ergebnisse

Sowohl in der Kontroll- als auch in der Treatmentgruppe konnte festgestellt werden, dass der Unterricht an den Lehrmitteln orientiert ist, d.h. an den gängigen Schulbüchern bzw. an dem Lehrtext, der in der Treatmentgruppe als Schulbuchersatz ausgehändigt worden war. In der Treatmentgruppe kann die unterrichtliche Umsetzung nach den Inhalten und deren Reihenfolge damit als konzepttreu gelten. So kann festgehalten werden, dass die Materialbereitstellung ein effektives Mittel bei der Implementation darstellt, da die Lehrpersonen sich bei der unterrichtlichen Umsetzung an den verfügbaren Büchern orientieren.

Die Schülerinterviews ergaben, dass die Beschreibung von Bewegungen durch den vektoriellen Geschwindigkeitsbegriff mit den Aspekten Tempo und Richtung den Lernenden keine Schwierigkeit bereitet. Auch die Darstellung dieser Aspekte durch die Länge und die Richtung des Geschwindigkeitspfeils kann angegeben und angewendet werden. Auf einer qualitativen Ebene sind die Zusammenhänge von Kraft, Masse, Einwirkdauer und Zusatzgeschwindigkeit von fast allen Lernenden verstanden. Sie wissen, wie die Zusatzgeschwindigkeit von den anderen Größen abhängt, und dass die Anfangs- sowie die Zusatzgeschwindigkeit zur Endgeschwindigkeit beitragen. Obwohl nur relativ wenige Lernende die Newtonsche Bewegungsgleichung in der integralen Form wiedergeben können, gelingt die argumentative Anwendung recht gut. Auf einer quantitativen Ebene sind die Konstruktionen von Zusatz- und Endgeschwindigkeit etwa durch die Hälfte der Lernenden anwendbar.

Ergebnisse im Verständnistest der Hauptstudie

Um das Verständnis der Schüler für die Begriffe Geschwindigkeit und Kraft zu überprüfen, wurden 17 qualitative Verständnisaufgaben eingesetzt. Die Items sollten so sein, dass sie von Lehrkräften als sinnvoll akzeptiert werden. Hierzu wurde auf Items zurückgegriffen, die sich bereits in anderen Studien bewährt haben. 13 Items passen zu beiden Unterrichtskonzepten, zwei zur neuen Sachstruktur. Zwei Items thematisieren die Beschleunigung, die nur im Unterricht nach dem traditionellen Konzept unterrichtet wird. Im Vortest waren jeweils keine signifikanten Unterschiede zwischen Kontroll- und Treatmentgruppe feststellbar.

Erwartungsgemäß ist der Einfluss der Gruppe bei den beiden Aufgaben zum neueren Konzept höchst signifikant mit großer Effektstärke. Überraschenderweise ist allerdings bei den beiden Aufgaben zum älteren Konzept kein Unterschied nachweisbar. Diese Inhalte zur Beschleunigung werden in beiden Gruppen gleich schlecht angeeignet. Bei den vergleichbaren 13 Aufgaben zum Grundverständnis ergibt sich zwischen Kontroll- und Treatmentgruppe ein höchst signifikanter Unterschied mit mittlerer Effektstärke. D.h. durch den Unterricht nach zweidimensional-dynamischem Lehrgang wurde ein signifikant besserer Lernerfolg erreicht.

In Kontroll- und Treatmentgruppe sind die Jungen erwartungsgemäß den Mädchen im Vorwissen hoch bzw. höchst signifikant überlegen. Diese Unterschiede bleiben in der Kontrollgruppe bestehen oder wachsen sogar an. In Treatmentgruppe gibt es dagegen nach dem Unterricht keine signifikanten Unterschiede mehr, die Mädchen holen also auf.

Im Lehrerinterview wurde festgestellt, wie viele Lernschwierigkeiten in der Mechanik die einzelnen Lehrkräfte kennen. In der Kontrollgruppe korreliert diese Zahl wie erwartet positiv mit dem Lernerfolg, d.h. die Schülerinnen und Schüler von Lehren mit hohen Kenntnissen zeigen auch mehr Verständnis. Überraschenderweise lag hier aber in der Treatmentgruppe kein Zusammenhang vor, d.h. diese Kenntnisse der Lehrkräfte spielen für das Verständnis der Lernenden keine Rolle.

Das erwartete Ergebnis, dass die Anzahl gehaltener Unterrichtsstunden ein Prädiktor für den Lernerfolg ist, konnte lediglich in der Treatmentgruppe festgestellt werden. In der Kontrollgruppe lag dieser Zusammenhang erstaunlicherweise nicht vor; mehr Unterrichtszeit führte nicht zu besseren Schülerergebnissen.

Ergebnisse im Verständnistest der Nachfolgestudie

In der Nachfolgestudie wurde die Hauptstudie nochmals mit fünf anderen Lehrkräften wiederholt. Dabei ließen sich die Ergebnisse des Verständnistests gut reproduzieren. Die Lernenden schnitten hier sogar noch besser ab. Dies könnte an dem Einfluss der weiter verbesserten Materialien liegen, aber auch an der anderen gewählten Jahreszeit.

Außerdem gab es drei erfahrene Lehrkräfte, die zum zweiten Mal nach dem Konzept unterrichten. Auch bei ihnen waren die Schülerleistungen beim zweiten Mal hoch signifikant besser als beim ersten Mal. Dies könnte ebenso an den verbesserten Materialien liegen, an der anderen Jahreszeit oder an der größeren Erfahrung der Lehrkräfte mit dem Konzept.

Nicht-kognitive Merkmale

Im Hinblick auf die nicht-kognitiven Variablen „Interesse“ und „Selbstkonzept“ konnten keine Effekte durch die Zugehörigkeit der Lernenden zur Kontroll- bzw. zur Treatmentgruppe festgestellt werden. Allerdings gab es bei der Selbstwirksamkeitserwartung abhängig von der Art der Aufgabe signifikante Unterschiede zwischen Kontroll- und Treatmentgruppe. Eine itemspezifische Analyse ergab, dass die Schülerinnen und Schüler der Treatmentgruppe sich selbst höchst signifikant kompetenter fühlen beim Einzeichnen einer Kraft, beim Vorhersagen einer Bewegung und beim Erklären einer Bewegung, was aus didaktischer Sicht wichtige Kompetenzen sind. Die Schülerinnen und Schüler der Kontrollgruppe fühlen sich dagegen selbst signifikant kompetenter beim Rechnen und beim Diagramme-Lesen. Beides sind aber keine Inhalte des Lehrplans, wurden aber im herkömmlichen Unterricht behandelt.

Lehrerakzeptanz

Nach den Erfahrungen im eigenen Unterricht konnte eine hervorragende Akzeptanz des zweidimensional-dynamischen Lehrgangs durch die Lehrpersonen erreicht werden. Zehn der zwölf Lehrkräfte der Vorstudie, sowie alle zehn Lehrkräfte der Hauptstudie resümieren, das erprobte Konzept auch in Zukunft in ihrem Unterricht umzusetzen. Die vektorielle Geschwindigkeit sowie die integrale Bewegungsgleichung wurden für sinnvoll und für verständlich gehalten, wobei die Bewertung beim ersten Punkt noch positiver war. Die Lehrpersonen sehen durch den Lehrgang Vorteile für das Verständnis der Schülerinnen und Schüler, insbesondere im Hinblick auf die Begriffsbildung von Geschwindigkeit, Geschwindigkeitsänderung und Kraft.

Besonders diejenigen Lehrerinnen und Lehrer, welche eine gewisse Anzahl an konzeptionellen Lernschwierigkeiten in der Mechanik kennen, adaptieren das Konzept ohne Einschränkungen. Andere Lehrerinnen und Lehrer, die weniger konzeptionelle Lernschwierigkeiten in der Mechanik kennen, adaptieren das Konzept dagegen mit leichten Einschränkungen.

Die Gruppierung der Schülerinnen und Schüler entsprechend der Akzeptanz des Konzeptes mit und ohne Einschränkung durch die Lehrkräfte ergibt verschiedene Verläufe in den Nachtestergebnissen über die Messzeitpunkte (signifikant, kleine Effektstärke): So scheinen die Inhalte bei den Lehrerinnen und Lehrern nachhaltiger angeeignet zu werden, die das Konzept ohne Vorbehalte akzeptieren.

Fazit

Das neue Unterrichtskonzept liefert in den Treatmentgruppen (ohne echte Lehrerschulung und ohne Lehrer-Coaching!) signifikant mehr fachliches Verständnis bei den Lernenden, wobei die Überlegenheit der Jungen gegenüber den Mädchen ausgeglichen wird.

Literatur

Verena Tobias: Newton'sche Mechanik im Anfangsunterricht. Die Wirksamkeit einer Einführung über zweidimensionale Dynamik auf das Lehren und Lernen, Studien zum Physik- und Chemielernen, Band 105, Logos-Verlag, Berlin, 2010