

Thomas Wilhelm¹
Martin Hopf²

¹Goethe-Universität Frankfurt am Main
²Universität Wien

Bericht von der Schwerpunkttagung „Newton’sche Mechanik“ mit Thesen zur Mechanik

Inhalt und Ablauf

Die GDCP-Schwerpunkttagung „Newton’sche Mechanik“ fand vom 19.2. bis 20.2.2016 im Institut für Didaktik der Physik der Goethe-Universität Frankfurt am Main statt und setzte damit die GDCP-Tagungsreihe „Fachlichkeit“ fort, die 2014 mit der GDCP-Schwerpunkttagung zur Elektrizitätslehre begann. Inhalt der Tagung sollten die Themenbereiche Kinematik und Dynamik sein. Das große Thema „Energie“ sollte bewusst hier ausgeklammert werden.

An der Tagung nahmen ca. 20 Teilnehmer teil. Es wurden vier Hauptvorträge und fünf Kurzbeiträge gehalten. Entscheidend war aber, dass es nach jedem Vortrag viel Zeit für Diskussionen gab. Jeder Referent brachte ca. drei Thesen bzw. Forderung zum Mechanikunterricht mit. Diese wurden dann nach dem entsprechenden Vortrag vor Ort diskutiert. Trotz im Detail unterschiedlicher Meinungen herrschte ein konstruktives und kompromissbereites Klima.

Auf der Grundlage der Thesen und der Diskussion wurde als Ergebnis der Tagung ein Thesenpapier erstellt. Dies wurde nach der Tagung noch per E-Mail weiter diskutiert und schließlich konsensuell verabschiedet.

Die Vorträge

Zu Beginn der Tagung wurden von Thomas Wilhelm von der Goethe-Universität Frankfurt beispielhaft einige Aspekte des Mechanikunterrichts vorgestellt, die aus heutiger Sicht didaktisch eher problematisch und lernhinderlich sind. Dabei wurden auch Gründe aufgezeigt, warum man sich früher für dieses Vorgehen entschieden hat und dies früher sinnvoll war. Insbesondere zeigte sich, dass die früher sehr begrenzten Messmöglichkeiten Auswirkungen hatten. Messbar waren nur Orte und Zeiten und nur eindimensionale Bewegungen. Die heute ganz anderen Messmöglichkeiten fordern ein Überdenken von manchem Vorgehen, das historisch bedingt ist. Dazu gehören die Thematisierung des Übergangs von Momentan- zu Durchschnittsgeschwindigkeit (Wilhelm 2016a), die Gleichung $s = \frac{1}{2} a t^2$ (Wilhelm 2014b), die Verwendung von „Weg“ anstelle von „Ort“ (Amenda & Schecker 2014), die Reduzierung der „Geschwindigkeit“ auf ihren Betrag (Wilhelm 2014a) und der Beginn mit der Statik, aus der auch ein problematischer Umgang mit Trägheitskräften (Wilhelm 2016b), der Kräftezerlegung (Wilhelm 2015b) und dem Begriff „Gegenkraft“ (Wilhelm 2015a) folgt.

Thomas Amenda von der Universität Bremen stellte sein Promotionsvorhaben vor, das insgesamt vier Studien umfasst (Amenda et al. 2013). Die Schulbuchanalyse beschreibt die fachlichen Probleme des skalaren Ansatzes der Kinematik in vier bekannten Schulbüchern. In einer Vergleichsstudie konnte gezeigt werden, dass der mathematisch anspruchsvollere vektorielle Ansatz zu mindestens gleichguten Ergebnissen führt wie der skalare Schulbuchansatz. Eine Lernwirksamkeitsstudie unter kontrollierten Laborbedingungen zeigt, dass sich ein konsequent vektorieller Ansatz grundsätzlich lernwirksam unterrichten lässt. In einer Lernwirksamkeitsstudie unter Feldbedingungen konnte gezeigt werden, dass sich das im Rahmen dieses Vorhabens entwickelte Unterrichtskonzept auch von Kollegen an einer anderen Schule lernwirksam unterrichten lässt. Das in den beiden Machbarkeitsstudien erprobte Unterrichtskonzept vermittelt die nötigen Elemente der Vektorrechnung integrativ.

Carl-Julian Pardall vom Hebel-Gymnasium Schwetzingen berief sich auf empirische Studien, die besagen, dass der Lernerfolg der Schülerinnen und Schüler wesentlich größer ist, sobald die Dynamik am Beginn und im Zentrum des Mechanik-Unterrichts steht. Wenn man aber mit der Dynamik und daher mit Bewegungen beginnt, ist es nach seiner Einschätzung nur konsequent, die Bewegungsgröße, den Impuls, an den Anfang zu stellen. Der Vortrag stellte ein entsprechendes Unterrichtskonzept für die Jahrgangsstufe 7/8 vor, das fachlich auf der Newton'schen Punktmechanik aufbaut (Pardall 2015). Das Konzept ist inzwischen weiter verbreitet und es liegt eine erste Evaluation dazu vor.

Bruno Hartmann von der Humboldt-Universität Berlin zeigte, wie man die Definition von Impuls und Masse durch elementare Vergleichshandlungen, durch die Konstruktion von hinreichend konstanten Bezugsgeräten und durch eine Maschinerie gewinnen kann. Impuls und Masse werden damit als direkt beobachtbare Grundmaße gelehrt.

Matthias Laukenmann von der PH Ludwigsburg legte dar, dass die Annahme, dass der Impuls eine Erhaltungsgröße ist, in Verbindung mit einer lokalen Beschreibung von Vorgängen den Begriff der Impulsströmung nach sich zieht. Die Newton'schen Axiome lassen sich dann als Kontinuitätsgleichung für den Impuls lesen und bringen nichts weiter zum Ausdruck als eben die Impulserhaltung. Darauf basiert die Darstellung der Mechanik im Karlsruher Physikkurs. An ausgewählten Beispielen wurde gezeigt, wie sich Vorgänge mit dem Impuls und seinen Strömen physikalisch beschreiben lassen. In der Diskussion wurde bedauert, dass der Karlsruher Physikkurs mit eindimensionalen Bewegungen beginnt.

Hartmut Wiesner von der LMU München beschrieb 100 Jahre fachdidaktische Forschung zum Mechanikunterricht in Deutschland, den USA und Großbritannien und gab damit einen Überblick über die Entwicklungen des Mechanikunterrichts bis in die Gegenwart. Vor 100 Jahren erschienen die Didaktiken und Methodiken zum Physikunterricht von Grimsehl (1911) und von Poske (1915). Sie stellen die ersten Zusammenfassungen der bis dahin erfolgten fachdidaktischen Diskussion dar mit ausführlichen Empfehlungen für die Durchführung des Unterrichts über Mechanik. Im Vergleich dazu hat sich am Mechanikunterricht bis 1945 in Deutschland - und nach 1945 in der BRD - sehr wenig geändert. Ab etwa 1970 begann die intensive Untersuchung von Schülervorstellungen und parallel dazu die Entwicklung und Evaluation darauf gestützter, alternativer Unterrichtskonzepte. In den USA setzen bereits 1957 nach dem sogenannten Sputnikschock beispiellose Reformbemühungen ein mit deutlichen Veränderungen des Mechanikunterrichts.

Lana Ivanjek von der Universität Wien erklärte, dass der Force Concept Inventory (FCI) ein wichtiges und sehr häufig benutztes Messinstrument im Bereich der physikdidaktischen Forschung ist, das das Wissen der Student/innen und Schüler/innen zur Mechanik testet. Deswegen ist es besonders wichtig, sein Funktionieren durch Verwendung verschiedener Statistikwerkzeuge zu evaluieren. Eines dieser Werkzeuge ist das Rasch-Modell, das aus den Rohdaten eine lineare Skala konstruiert, um die Fähigkeiten der Personen sowie die Schwierigkeit der Aufgaben messen zu können. Der FCI wird sehr häufig als Vor- und Nachtest verwendet, weshalb es wichtig ist, das Funktionieren des Tests in zwei verschiedenen Stichproben zu analysieren. Die Daten für diese Studie stammen von 1676 Schüler/innen aus der Abschlussklasse des Gymnasiums in Kroatien (17 – 18 jährige Schüler/innen) und von 141 erstsemestrigen Student/innen der Ingenieurwissenschaft der Universität Zagreb. Diese Analyse (Planinić et al. 2009) zeigt, dass es für den FCI möglich ist, in beiden Stichproben das unidimensionale Konstrukt „Mechanikwissen“ zu definieren. Für keine Aufgabe wurde ein starker Missfit zum Modell gefunden. Die Analyse deutet an, dass der FCI verschieden

funktionieren könnte je nach Ausprägung des Newton'schen Verständnisses in den Stichproben.

Sabine Pschorner vom Graf-Stauffenberg-Gymnasium Flörsheim am Main diskutierte die Überfrachtung der Einführungsphase mit Themen der Newton'schen Mechanik, die verkürzte Bearbeitung des Themas „Kreisbewegungen“, oft aus Zeitmangel, und die daraus resultierenden Verständnisprobleme bei Schülerinnen und Schülern sowie Fehlvorstellungen der Schülerinnen und Schüler und Ansätze zu deren Behebung. Sie stellte ein Unterrichtskonzept vor, bei dem die Oberstufenmechanik mit der Behandlung von Kreisbewegungen über Kräfte beginnt ohne die vorherige Behandlung der eindimensionalen Bewegungen und der gleichmäßig beschleunigten Bewegung.

Sabrina Milke von der PH Ludwigsburg zeigte, dass Schülerinnen und Schüler und auch Physikstudierende Schwierigkeiten haben, den physikalischen Kern des 3. Newton'schen Axioms zu erfassen. Insbesondere zeigt eine Analyse ausgewählter Schul- und Hochschulbücher die Schwierigkeit, dass unterschiedliche Szenarien zum 3. Newton'schen Axiom physikalisch unterschiedliche Argumentationen erfordern. Unter Berücksichtigung dieser Analyse wurde ein Lernprogramm zum 3. Newton'schen Axiom entwickelt. Das Lernprogramm ist entsprechend den Prinzipien des Multimedia Learning mit einfachen Texten und Bildern gestaltet. Die Erklärungen zum 3. Newton'schen Axiom basieren auf einem dynamischen Kraftbegriff. Mit einem Pre-Post-Design wurde der Wissenserwerb zum 3. Newton'schen Axiom mit offenen Fragen erfasst. Signifikante Unterschiede zwischen Pre- und Post-Test sprechen für eine Anwendung der angebotenen Erklärungskonzepte. Die didaktischen Überlegungen zum Lernprogramm und die Ergebnisse der Studie wurden vorgestellt (Milke & Staraschek 2016).

Erstellung von Thesen

Jeder Referent präsentierte einige Thesen zum Mechanikunterricht und zur Forschung über den Mechanikunterricht, die dann diskutiert wurden. Dabei stellte sich heraus, dass sich bei den Teilnehmern in den wesentlichen Aussagen große Übereinstimmung fand, z.T. deutlich im Widerspruch zur aktuellen Praxis in den Schulen.

Die folgenden Thesen wurden auf der Tagung „Mechanik“ schließlich konsensuell verabschiedet.

Die Thesen

Vorbemerkung zum Mechanikunterricht

Mechanikunterricht soll Schülerinnen und Schüler ermöglichen, Vorgänge ihres Alltags sinnvoll einordnen und physikalisch deuten zu können. Andererseits soll der Mechanikunterricht den Kindern und Jugendlichen eine altersgemäße Einsicht in die Erklärungsmacht des Zweiten Newton'schen Gesetzes als eine große physikalische Theorie erlauben. Diese beiden Aspekte müssen je nach Alter und Vorwissen der Schülerinnen und Schüler unterschiedlich gewichtet werden.

Bei der Planung von Unterricht ist es unabdingbar, Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten zu berücksichtigen und geeignete Sachstrukturen zu verwenden. Der Fokus muss auf das Lernen der Schülerinnen und Schüler gerichtet werden, denn der Lernerfolg der Schülerinnen und Schüler ist bisher noch immer unbefriedigend.

Dynamik und Statik

Der Mechanikunterricht soll mit der Dynamik beginnen, nicht mit der Statik. Das bedeutet, der dynamische Kraftbegriff steht im Mittelpunkt. Dabei hat sich ein zweidimensionaler

dynamischer Zugang unter Verwendung der didaktischen Rekonstruktion in der Form $\vec{F} \cdot \Delta t = m \cdot \Delta \vec{v} = \Delta \vec{p}$ mit vektoriellen Größen als erfolgreicher erwiesen als ein eindimensionaler Einstieg bzw. Einstiege über die Statik oder Kinematik. Ob ein Einstieg über die vektorielle Geschwindigkeit oder über den vektoriellen Impuls überlegen ist, ist dabei empirisch ungeklärt.

Aspekte der Statik sollten reduziert werden. Sie werden erst unterrichtet, nachdem Schülerinnen und Schüler mit dynamischen Beschreibungen vertraut sind. Der Übergang vom dynamischen zum statischen Kraftbegriff muss überzeugend gestaltet werden, wobei hier noch Entwicklungsbedarf besteht.

Kinematik

Der Begriff „Weg“ sollte aus dem Mechanikunterricht entfernt werden. Kinematische Größen sollten ausgehend vom Ort anhand zweidimensionaler Bewegungen eingeführt werden. Zwischen Geschwindigkeit und Geschwindigkeitsbetrag (Tempo) muss im Unterricht klar unterschieden werden. Dabei sollte man sich von manchem historisch Bedingtem trennen, wie die Betonung der Momentangeschwindigkeit, die Gleichung $s = \frac{1}{2} a t^2$ und die ausschließliche Messung von Zeit und Ort. In der Sekundarstufe 2 kann auch eine Verbindung von mathematischer Darstellungsweise und qualitativem Verständnis der kinematischen und dynamischen Größen vermittelt werden.

Impulsströme

Die Beschreibung mit Impulsströmen ist nicht per se ungeeignet. Sie hat Vor- und Nachteile gegenüber der etablierten Beschreibung, kann sich gegen diese aber nicht durchsetzen. Im Anfangsunterricht sind entweder Kraft oder Impulsströme zu unterrichten, aber nicht beides. An der Hochschullehre können Kraft und Impulsströme thematisiert werden. Die Befundlage zur Effizienz ist jedoch nach wie vor unbefriedigend.

Forschung

Die gründliche Aufarbeitung früherer Überlegungen, Forschungsergebnissen und Entwicklungen beschleunigt den Fortschritt in der Physikdidaktik und die Entwicklung lernerfolgsverbessernder Unterrichtskonzepte. Physiklernen ist Conceptual change. Die Forschung über Prozesse des Physiklernens muss intensiv weitergeführt werden. Besonders erfolgversprechend scheint diese Forschung im Rahmen der „coordination classes“ von diSessa zu sein. Mikrostudien sollten als Vorstufe der Unterrichtsentwicklung stärker integriert werden, z.B. bei Entwicklung von Lehr-Lern-Materialien. Dabei zeigt sich, dass sehr detaillierte und sehr explizite Erklärungen das Lernen „neuer“ physikalischer Konzepte unterstützen können. Ebenso sollten Argumentationsschritte, die den Lernprozess von Schülerinnen und Schülern nachgewiesen unterstützen, stärker fokussiert werden.

Ein großes Desiderat in der Forschung ist die Entwicklung sorgsam evaluierter Messinstrumente, die den gesamten Altersbereich und alle Themengebiete (u.a. Dynamik, vektorielle Beschreibung, Kinematik, Statik) abdecken. Daneben sollte dem Mechanikunterricht auf der universitären Ebene mehr Aufmerksamkeit gewidmet werden, vor allem für zukünftige Physiklehrkräfte.

Literatur

- Amenda, T. & Schecker, H. (2014). Moment mal ... Ort, Ortsverschiebung, Weg - wofür steht eigentlich das s? - In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 63, Heft 2
- Amenda, T., Schecker, H. & Kulgemeyer, C. (2013). Bedeutung fachlicher Elementarisierungen für das Verständnis der Kinematik - In: S. Bernholt (Hrsg.): Inquiry-based Learning - Forschendes Lernen, Kiel: IPN-Verlag, S. 269-271
- diSessa, A. A. & Sherin, B. L. (1998). What changes in conceptual change? - In: International Journal of Science Education 20, S. 1.155 – 1.191
- diSessa, A. A. & Wagner, J. (2005). What coordination has to say about transfer – In: Mestre, J. P. (Hrsg.) Transfer of Learning from a modern multi-disciplinary perspective, IAP-Verlag, S. 121 - 154
- Grimsehl, E. (1911). Didaktik und Methodik der Physik, C. H. Beck'sche Verlagsbuchhandlung, München
- Milke, S. & Staruschek, E. (2016). Unterstützt Priming das Lernen des 3. Newtonschen Axioms? - In: Maurer, C. (Hrsg.): Authentizität und Lernen - das Fach Physik in der Fachdidaktik. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung 2015 in Berlin. Universität Regensburg. Band 36, S. 62 - 64
- Pardall, C.-J. (2015). Der Impuls – eine Chance für die Kraft – In: Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht, Heft 2
- Planinić, M., Ivanjek, L. & Sušac, A. (2009). The Rasch model based analysis of the Force Concept Inventory – In: Physical Review Special Topics - Physics Education Research 6
- Poske, F. (1915). Didaktik des physikalischen Unterrichts, Reihe: Didaktische Handbücher für den Realistischen Unterricht an höheren Schulen (in 10 Bänden), 4. Band, Leipzig, Berlin, Teubner
- Wilhelm, T. (2014a). Moment mal ... (6): Geschwindigkeit oder Tempo? - In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 63, Nr. 1, 2014, S. 48 - 49
- Wilhelm, T. (2014b). Moment mal ... (12): $s = \frac{1}{2} a t^2$? - In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 63, Nr. 8, S. 48 – 49
- Wilhelm, T. (2015a). Moment mal ... (13): Wo ist die Gegenkraft? - In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 64, Nr. 1, S. 44 - 45
- Wilhelm, T. (2015b). Moment mal ... (14): Wie entsteht die Hangabtriebskraft? - In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 64, Nr. 2, S. 36 – 38
- Wilhelm, T. (2016a). Moment mal ... (23): Durchschnitts- und Momentangeschwindigkeit? - In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 65, Nr.2, S. 42 – 43
- Wilhelm, T. (2016b). Trägheitskräfte im Mechanikunterricht? - In: Plus Lucis 2/2016, www.univie.ac.at/pluslucis/PlusLucis/index_pl.html