

# Thesen zum Mechanikunterricht

---

THOMAS WILHELM – MARTIN HOPF

---

**Seit Jahrzehnten werden immer wieder verschiedene Probleme des Mechanikunterrichts benannt und diverse alternative Vorschläge unterbreitet. Auf einer Tagung zum Mechanikunterricht haben sich Experten aus Schule und Universität getroffen und auf der Basis von derzeitigen Forschungsergebnissen ein Thesenpapier zum Mechanikunterricht erstellt. Damit werden Lehrkräften konkrete Empfehlungen gegeben, wie die Mechanik erfolgreicher unterrichtet werden kann. Zwei zentrale Punkte aus dem Thesenpapier werden hier exemplarisch näher begründet und passende Unterrichtsmaterialien dazu angegeben.**

## *1 Hintergrund*

Vom 19.2. bis 20.2.2016 fand im Institut für Didaktik der Physik der Goethe-Universität Frankfurt am Main die GDCP-Schwerpunkttagung „Newton’sche Mechanik“ statt. Inhalt der Tagung sollten die Themenbereiche Kinematik und Dynamik sein, während das große Thema „Energie“ hier bewusst ausgeklammert werden sollte. An der Tagung nahmen ca. 20 Teilnehmer mit recht unterschiedlichen Hintergründen teil: Lehrkräfte, ein Schulbuchautor, Physikdidaktik-Doktoranden und -professoren. Der Ablauf der Tagung ist im Tagungsband der GDCP beschrieben (Wilhelm & Hopf, 2017). Jeder Referent brachte Thesen bzw. Forderungen zum Mechanikunterricht mit. Auf der Grundlage der Thesen und der Diskussion über die Vorträge wurde als Ergebnis der Tagung ein Thesenpapier erstellt, das Anlass für weitere Diskussionen sein soll (siehe Kasten 1). Beachtenswert ist, dass trotz im Detail recht unterschiedlicher Meinungen der Experten ein kompromissbereites Klima herrschte und die Thesen konsensuell verabschiedet werden konnten.

### **Vorbemerkung zum Mechanikunterricht:**

Mechanikunterricht soll Schülerinnen und Schülern einerseits 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 Kern einer großen physikalischen Theorie und als Beispiel für die Modellierung in der Wissenschaft Physik 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, die aus der fachdidaktischen Forschung bekannten Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten zu berücksichtigen und geeignete Sachstrukturen zu verwenden. Der Fokus der Unterrichtskonzeption muss auf dem Lernen der Schülerinnen und Schüler liegen, denn der Lernerfolg der Schülerinnen und Schüler in der vermeintlich einfachen Mechanik ist in und nach dem Mechanikunterricht bisher noch immer unbefriedigend. Die Fachsystematik hat für die Unterrichtskonzeption eine dienende, keine leitende Funktion.

### **Dynamik und Statik:**

Der Mechanikunterricht soll mit der Dynamik beginnen, nicht mit der Statik: 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 von Beginn an vektoriellen Größen als erfolgreicher erwiesen als ein eindimensionaler Einstieg bzw. Einstiege über die Statik oder Kinematik. Ob ein Einstieg über die vektorielle Geschwindigkeit oder ein Einstieg über den vektoriellen Impuls überlegen ist, ist dabei empirisch ungeklärt.

Aspekte der Statik sollten nachgeordnet und reduziert behandelt werden, aber nicht vollständig gestrichen 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. Dafür besteht noch Entwicklungs- und Forschungsbedarf.

### **Kinematik:**

Der in der Regel unscharf und missverständlich verwendete Begriff „Weg“ sollte im Sinne einer konsistenten Darstellung der Kinematik durch die präziseren Begriffe „Ort“ und „Ortsverschiebung“ (als Grundlage der Geschwindigkeitsdefinition) ersetzt 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 der Betonung der Momentangeschwindigkeit, der speziellen Gleichung  $s = \frac{1}{2} a t^2$  (anstelle von  $\Delta x = v_{\text{mittel}} \cdot \Delta t$ ) und der ausschließlichen Messung von Zeit und Ort trotz neuer Messtechnik (anstelle der direkten Messung von Geschwindigkeit und Beschleunigung). In der Sekundarstufe 2 sollte das in der Sekundarstufe 1 erarbeitete qualitative Verständnis der kinematischen und dynamischen Größen mit mathematischen Formalisierungen verknüpft werden.

### **Impulsströme:**

Die Beschreibung mechanischer Sachverhalte mit Impulsströmen ist ein fachlich möglicher Weg. Vorteile gegenüber der etablierten Beschreibung mit Kraft bzw. Kraftstößen sind empirisch nicht nachgewiesen. Im Anfangsunterricht sind entweder Kraft oder Impulsströme zu unterrichten, aber nicht beides. In der Hochschullehre können Kraft und Impulsströme thematisiert werden.

## **Forschung:**

Die gründliche Aufarbeitung der in der Literatur umfangreich vorliegenden Überlegungen, Forschungsergebnisse und curricularen Entwicklungen beschleunigt den Fortschritt in der Physikdidaktik und die Entwicklung lernerfolgsverbessernder Unterrichtskonzepte. Physiklernen ist begriffliche Entwicklung (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, mit denen die Lernwirkungen lokaler Veränderungen in der Unterrichtskonzeption genau untersucht werden, sollten als Vorstufe der Unterrichtsentwicklung stärker integriert werden, z.B. bei Entwicklung von Lehr-Lern-Materialien. Dabei zeigt sich, dass sehr detaillierte und explizite Erklärungen das Lernen „neuer“ physikalischer Konzepte unterstützen können. Ebenso sollten Argumentationsschritte, die den Lernprozess von Schülerinnen und Schülern nachweislich unterstützen, stärker fokussiert werden.

Obwohl mit dem Force Concept Inventory ein etabliertes Instrument für die Überprüfung des Lernerfolgs im Grundverständnis der Mechanik vorliegt, ist in der Forschung die Entwicklung sorgsam evaluierter Messinstrumente, die den gesamten Altersbereich und alle Themengebiete der Mechanik (u.a. Dynamik, vektorielle Beschreibung, Kinematik, Statik) abdecken, ein fortwährendes Desiderat. Daneben sollte dem Mechanikunterricht in der universitären Lehramtsausbildung mehr Aufmerksamkeit gewidmet werden.

## **Kasten 1: Die Thesen**

### *2 Begründung zweier Aspekte*

Im Rahmen dieses Artikels ist es nicht möglich, alle Thesen zu begründen. Solche Begründungen finden sich außerdem an vielen anderen Stellen, z.B. zu einigen Punkten in einer Artikelsammlung in Buchform (Wilhelm, 2018). Beispielhaft sollen hier nur zwei Aspekte begründet werden.

Beginnt man das Mechaniklernen mit der Statik, dann besteht die Gefahr, dass die Schüler über Kräfte unbeabsichtigt einiges falsch lernen, da es in der Statik, aber nicht in der Dynamik richtig ist: Ein Kräftegleichgewicht bedeutet immer Ruhe. Ist eine von zwei angreifenden Kräften bei einem Kräftegleichgewicht doch einmal größer, bewegt sich der Körper augenblicklich in Richtung der größeren Kraft, d.h. die Bewegung geht in Kraftrichtung. Kraft und „Gegenkraft“ greifen dabei am gleichen Körper an. Des Weiteren wird von der Statik die Fehlvorstellung unterstützt, Trägheit sei eine am gleichen Körper angreifende Gegenkraft. Das Wechselwirkungsprinzip wird zudem in der Statik nicht betrachtet und die Dauer der Krafteinwirkung spielt keine Rolle.

In der Hochschulphysik beschreibt Bewegungen eines Körpers ausgehend vom Ort  $\vec{r} = (x, y, z)$  in einem dreidimensionalen Bezugssystem. Die zeitliche Ortsänderung ergibt die Geschwindigkeit  $\vec{v} = (v_x, v_y, v_z)$  und die zeitliche Geschwindigkeitsänderung ergibt die Beschleunigung  $\vec{a}$

$= (a_x, a_y, a_z)$ . In der Schule ist dagegen eine andere Elementarisierung verbreitet. Zur Vereinfachung betrachtet man den Abstand zu einem Bezugspunkt längs der (im Allgemeinen dreidimensionalen) Bahnkurve und nennt diese skalare, vorzeichenbehaftete Größe „Weg“. Dieser „Weg“ entspricht nicht dem, was in der Physik und im Alltag als Weg bezeichnet wird, denn da ist der zurückgelegte Weg immer eine positive Größe und nimmt bei jeder Ortsänderung zu. Diese Größe „Weg“ wird hier wie die Ortskomponente einer geradlinigen Bewegung verwendet und somit werden die vektorielle, mehrdimensionale Größe Ort und die stets positive, skalare Größe Weg miteinander vermischt. Die zeitliche Änderung dieser Größe „Weg“ ist dann bei dieser Elementarisierung eine Zahl und wird nun „Geschwindigkeit“ genannt. Ihr Betrag entspricht dem Betrag des Geschwindigkeitsvektors, auch Tempo oder Schnelligkeit genannt, und ihr Vorzeichen gibt an, ob sich der Körper auf der Bahnkurve „vorwärts“ oder „rückwärts“ bewegt. Die zeitliche Änderung dieser Zahl ist wiederum eine Zahl und wird nun „Beschleunigung“ genannt. Ihr Betrag entspricht dem Betrag der tangentialen Beschleunigungskomponente und ihr Vorzeichen gibt an, ob die tangentiale Beschleunigung „vorwärts“ oder „rückwärts“ gerichtet ist. Auch bei den Kräften werden nur die tangentialen Anteile berücksichtigt, so dass  $F = m \cdot a$  gilt. Alle Bewegungen sind nun quasi auf eine eindimensionale Bewegung zurückgeführt und alle Größen sind (vorzeichenbehaftete) Zahlen statt Vektoren. Später bei der Kreisbewegung wird dann versucht, die kinematischen Größen zu erweitern und als Vektoren einzuführen, was nicht gelingt (Wilhelm & Gemici, 2017).

Werden nur eindimensionale Bewegungen betrachtet oder mit obigem Trick alle Bewegungen als eindimensionale Bewegungen behandelt, lernen Schüler also falsch, dass alle Größen skalare Größen sind, dass Ort und Weg das Gleiche ist, Geschwindigkeit und Tempo das Gleiche ist und Beschleunigung nur Schnellerwerden oder Langsamerwerden bedeutet. Speziell lernen sie, dass für Kreisbewegung mit konstantem Tempo keine Kraft nötig ist.

Eine Möglichkeit für die Sekundarstufe I wäre, ausgehend vom Weg die zeitliche Wegänderung als Tempo einzuführen und anschließend die Geschwindigkeit als Kombination von Tempo und Bewegungsrichtung festzulegen. Das Tempo ist dann eine stets positive Zahl.

### 3 Unterrichtsmaterialien

Eine Vielzahl von Studien hat gezeigt, dass ein zweidimensionaler dynamischer Zugang in der Mechanik erfolgreicher ist (Wilhelm, Tobias, Waltner, Hopf, Wiesner, 2012). Mittlerweile liegen auch zwei Lehrerhandbücher vor, die einen Mechanikunterricht für die Sekundarstufe I mit einem zweidimensional-dynamischen Zugang unter Verwendung der Gleichung  $\vec{F} \cdot \Delta t = m \cdot \Delta \vec{v}$  verwenden und dazu viele Unterrichtsmaterialien liefern:

- Wiesner, H.; Wilhelm, T.; Waltner, C; Tobias, V.; Rachel, A.; Hopf, M. (2016). Mechanik I: Kraft und Geschwindigkeitsänderung. Neuer fachdidaktischer Zugang zur Mechanik (Sek. 1), Aulis-Verlag
- Wilhelm, T.; Wiesner, H.; Hopf, M.; Rachel, A. (2013). Mechanik II: Dynamik, Erhaltungssätze, Kinematik, Reihe Unterricht Physik, Band 6, Aulis-Verlag

In diesem Konzept dient  $\Delta\vec{v}$  als Elementarisierung der Beschleunigung, die lange nicht bzw. erst spät unterrichtet wird, und die Gleichung  $\vec{F} \cdot \Delta t = m \cdot \Delta\vec{v}$  als Elementarisierung des zweiten Newton'schen Axioms.

### *Literatur*

WILHELM, T. (Hrsg.) (2018). *Stolpersteine überwinden im Physikunterricht. Anregungen für fachgerechte Elementarisierungen*, Friedrich-Verlag, Seelze

WILHELM, T.; GEMICI, B. (2017). *Beschleunigungsverständnis in der Oberstufe*. In: PhyDid-B - Didaktik der Physik – Frühjahrstagung 2017, [www.phydid.de](http://www.phydid.de)

WILHELM, T.; HOPF, M. (2017). Bericht von der Schwerpunkttagung „Newton'sche Mechanik“ mit Thesen zur Mechanik. In: MAURER, CHR. (Hrsg.): *Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis*, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Zürich 2016, Band 37, 2017, S. 42 - 46, [http://www.gdcp.de/images/tagungsbaende/GDCP\\_Band37.pdf](http://www.gdcp.de/images/tagungsbaende/GDCP_Band37.pdf)

WILHELM, T.; TOBIAS, V.; WALTNER, C; HOPF, M.; WIESNER, H. (2012). Design-Based Research am Beispiel der zweidimensional-dynamischen Mechanik. In: BERNHOLT, S. (Hrsg.): *Konzepte fachdidaktischer Strukturierung*, Jahrestagung der GDCP in Oldenburg 2011, Reihe: Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Band 32, Lit-Verlag, Münster, 2012, S. 31 – 47

*Prof. Dr. THOMAS WILHELM war Gymnasiallehrer für Mathematik und Physik und ist Professor für Physikdidaktik an der Goethe-Universität Frankfurt am Main.*

*Prof. Dr. MARTIN HOPF war Gymnasiallehrer für Mathematik und Physik und ist Professor für Physikdidaktik an der Universität Wien.*