

## **Das Dritte Newtonsche Axiom: Schwierigkeiten bei der Testung?**

### **Einleitung**

Eine Analyse des Dritten Newtonschen Axioms zeigt, dass unterschiedliche Szenarien physikalisch unterschiedliche Argumentationen erfordern. In einer ersten Einschätzung kann zwischen Stößen, dem Schieben und Ziehen von Körpern und statischen Anordnungen unterschieden werden. Die gängigen Messinstrumente scheinen diese Unterschiede nicht adäquat zu erfassen. So bieten die Items des Force Concept Inventory (FCI) (Hestenes, Wells & Swackhamer, 1992) zum Dritten Newtonschen Axiom jeweils nur eine richtige Antwort ähnlicher Formulierung: Der Körper A übt die gleiche Kraft auf den Körper B aus wie der Körper B auf den Körper A. Es ist zu fragen: Bilden die Items des FCI die notwendigen Argumentationen zum Dritten Newtonschen Axiom ab? Die physikalische Argumentation wird anhand von zwei prototypischen Beispielen verglichen.

### **Stand der Forschung und qualitative Zugänge zum Dritten Newtonschen Axiom**

Vor der Thematisierung der Eingangsfrage, werden die wesentlichen physikdidaktischen Aspekte kurz vergegenwärtigt: Auch nach dem Mechanikunterricht haben viele Schülerinnen und Schüler Schwierigkeiten, den Kern des Dritten Newtonschen Axioms zu erfassen. Dies ist zum Teil auch bei Physikstudierenden der Fall (Girwidz et al., 2003). Eine Ursache kann in der Wahl der physikdidaktischen Sachstruktur liegen: Häufig werden zuerst statische Anordnungen betrachtet, die den Zugang zu dynamischen Szenarien erschweren (Wilhelm et al., 2009). Dynamische Szenarien versprechen einen „einfacheren“ qualitativen Zugang zum Dritten Newtonschen Axiom: 1. Ändert sich der Bewegungszustand eines Körpers, d. h. wird ein Körper schneller, langsamer oder ändert die Richtung seiner Bewegung, so muss es einen zweiten Körper geben, der diese Änderung verursacht. 2. Dabei ändert sich auch die Bewegung des zweiten Körpers. Und 3. lässt sich grob gesprochen ein „Ausmaß der Einwirkung“ definieren, das bei beiden Körpern gleich ist. Dieses „Ausmaß“ kann mit dem Kraftbegriff gefasst werden.

### **Force Concept Inventory (FCI)**

Der FCI (Hestenes, Wells & Swackhamer, 1992) ist ein verbreitetes Messinstrument für das physikalische Basiskonzept Kraft. Die Items sind im Multiple-Choice-Format: Nur eine von fünf Antwortmöglichkeiten ist physikalisch richtig, die vier Distraktoren basieren auf bekannten Schülervorstellungen. Die Validität und Reliabilität des FCI, sowie die Unterscheidung des Kraftkonzeptes in sechs Dimensionen (Subskalen) wurden häufig kritisiert (u. a. Huffman & Heller, 1995). Hestenes und Halloun (1995) reagierten auf die Kritik: Nur das FCI Gesamtergebnis und nicht die einzelnen Dimensionen sollen interpretiert werden (Hestenes & Halloun, 1995, S. 2). Schecker & Gerdes (1999) konnten in dieser Diskussion eine hohe Reliabilität des FCI Gesamtergebnisses und der Dimension des Dritten Newtonschen Axioms nachweisen. Dabei werden im FCI aber nur jeweils zwei Items zu den Szenarien eines Stoßes und zum Schieben beschrieben. Es bleibt also zu fragen, ob für eine Erhebung des Wissens zum Dritten Newtonschen Axiom und für eine Erhebung der Fähigkeiten zur Anwendung des Axioms die vier FCI Items ausreichen? Girwidz et al. (2003) zeigen, dass drei der vier Items zum Dritten Newtonschen Axiom zu den schwierigsten der insgesamt 29 FCI Items zählen. Darunter das folgende Beispielimem (Schecker & Gerdes, o. D.):

*Stelle Dir einen Frontalzusammenstoß zwischen einem LKW und einem Kleinwagen (PKW) vor. Für den Zeitraum des Zusammenpralls gilt:*

*A) Der LKW übt eine größere Kraft auf den Kleinwagen aus als der PKW auf den Lastwagen.*

*B) Der Kleinwagen übt eine größere Kraft auf den LKW aus als der Lastwagen auf den PKW.*

*C) Die beiden Fahrzeuge üben keine Kräfte aufeinander aus. Der Kleinwagen wird einfach deshalb zerdrückt, weil er dem LKW im Wege ist.*

*D) Der LKW übt eine Kraft auf den Kleinwagen aus, aber der PKW übt keine Kraft auf den Laster aus.*

*E) Der LKW übt die gleiche Kraft auf den Kleinwagen aus wie der PKW auf den Laster.*

Die Antwortmöglichkeiten sind, wie gesagt, bei allen Items zum Dritten Newtonschen Axiom ähnlich formuliert. Zudem werden die Richtungen der Kräfte im FCI nicht thematisiert. Es stellt sich die Frage: Werden die unterschiedlichen physikalischen Argumentationen bei Stößen, dem Schieben und Ziehen von Körpern oder statischen Anordnungen adäquat durch die Items erfasst? Wir analysieren die physikalische Argumentation anhand von zwei prototypischen Beispielen.

#### **Analyse der physikalischen Argumentation: Zwei prototypische Beispiele**

*Beispiel für das Szenario „Stoß“:* Eine kleine und eine große Lok fahren mit konstanten Geschwindigkeiten (Betrag) aufeinander zu und stoßen zusammen. Vor dem Stoß gilt: Keine Lok wird schneller, langsamer oder ändert die Richtung ihrer Bewegung. Vor dem Stoß werden keine Kräfte auf die Loks ausgeübt (Gewichts- und Reibungskräfte werden hier und im Folgenden vernachlässigt). Beim Stoß gilt: Beide Loks werden abgebremst und dadurch langsamer. D. h. auf jede Lok wird eine Kraft entgegen ihrer Bewegungsrichtung ausgeübt. Da die kleine Lok von der großen Lok abgebremst wird, übt die große Lok eine Kraft auf die kleine Lok aus. Analog: Da die große Lok von der kleinen Lok abgebremst wird, übt die kleine Lok eine Kraft auf die große Lok aus.

*Beispiel für das Szenario „Ziehen“:* Ein Pferd läuft los und beschleunigt. Anschließend wird das Pferd vor eine Kutsche gespannt und beschleunigt. Vor dem Ziehen gilt: Das Pferd wird schneller, d. h. auf das Pferd wird eine Kraft ausgeübt. Und: Es muss einen zweiten Körper geben, der die Kraft auf das Pferd ausübt. Als zweiter Körper kommt nur die Erde in Frage.<sup>1</sup> Beim Ziehen gilt: Das Pferd läuft wie in der vorherigen Situation los. Pferd und Kutsche werden schneller. Im Vergleich zur Situation ohne Kutsche kommt das Pferd langsamer voran. Das heißt: Die Kutsche übt eine Kraft auf das Pferd aus. Diese Kraft zeigt entgegen der Bewegungsrichtung des Pferdes. Analog: Die Kutsche wird durch das Pferd schneller. D. h. das Pferd übt eine Kraft auf die Kutsche aus. Diese Kraft zeigt in die Bewegungsrichtung der Kutsche.

Der Vergleich zeigt, dass sich die physikalischen Argumentationen unterscheiden. Die FCI-Items bilden diesen Unterschied nicht ab. Aus didaktischer Perspektive geht es beim „Verständnis“ des Dritten Newtonschen Axioms im Kern noch um eine andere Frage: Wie kann gezeigt werden, dass die ausgeübten Kräfte gleich groß sind?

In Anlehnung an die Verwendung von Brückenanalogien (Clement, 1993) können die Körper in einem Gedankenexperiment an den Berührstellen weich gedacht werden. Beim Stoß oder Ziehen verformen sich die weichen Stellen. Um dies zu präzisieren, werden an den Berührstellen zwei Federn gleicher Eigenschaften gedacht. Beim Beispiel für das Szenario „Stoß“ sind es kleine Federn mit Puffern, beim „Ziehen“ haben die Federn Haken. Was

<sup>1</sup> Die Kraft, die die Erde auf das Pferd ausübt, und die Kraft, die das Pferd auf die Erde ausübt, werden hier nicht weiter diskutiert. Die Argumentation ist analog zu dem ausgeführten Beispiel „Stoß“.

geschieht beim Stoß oder beim Ziehen? Erstes: Beide Federn werden gleichzeitig zusammengedrückt oder gedehnt. Und: Zu jedem Zeitpunkt werden beide Federn gleich stark zusammengedrückt oder gedehnt.

Wenn sich die Bewegung eines Körpers ändert, dann wird auf den Körper eine Kraft ausgeübt. Gleichzeitig werden die Federn zusammengedrückt oder gedehnt. Das Zusammendrücken oder Dehnen der Federn kann als Maß der Kräfte interpretiert werden. Da die Federn die gleichen Eigenschaften haben und gleich stark zusammengedrückt oder gedehnt werden, sind die ausgeübten Kräfte gleich groß. Wir erkennen zwei Aspekte. Erstens: Die Argumentation zur Größe der Kräfte wird im FCI nicht berücksichtigt. Zweitens: Auch die Richtungen der Kräfte werden durch die FCI Items nicht erfasst. Mit der obigen Überlegung zeigen die ausgeübten Kräfte in entgegengesetzte Richtungen. Abbildung 1 verdeutlicht die unterschiedlichen Richtungen der Kräftepaare.



Abb. 1: Grafische Repräsentation der Kräfte beim „Stoß“ (links) und „Ziehen“ (rechts).

### Diskussion

Ein dynamischer Zugang zum Dritten Newtonschen Axiom führt über Bewegungsänderungen: Zur Änderung der Bewegung eines Körpers wird eine Kraft auf den Körper ausgeübt. Der Terminus „ausüben“ impliziert, dass dafür ein zweiter Körper notwendig ist. Dieser ändert ebenfalls seine Bewegung. Aus der Bewegungsänderung kann auf die Richtungen der ausgeübten Kräfte geschlossen werden. Eine lokale Betrachtung ermöglicht die Folgerung, dass die ausgeübten Kräfte gleich groß sind. Die lokale Argumentation kann auch experimentell geprüft werden. Die qualitative Analyse verdeutlicht, dass die Antworten der FCI Items zum Dritten Newtonschen Axiom die unterschiedlichen Argumentationen nicht adäquat abbilden.

### Literatur

- Clement, J. (1993). Using Bridging Analogies and Anchoring Intuitions to Deal with Students' Preconceptions in Physics. *Journal of Research in Science Teaching*, S. 1241-1257.
- Girwidz, R., Kurz, G. & Kautz, C. (2003). Zum Verständnis der newtonschen Mechanik bei Studienanfängern – der Test „Force Concept Inventory – FCI“. CD zur Frühjahrstagung Augsburg der DPG.
- Hestenes, D., Wells, M. & Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, Vol. 30. S. 141-158.
- Hestenes, D. & Halloun, I. (1995). Interpreting the Force Concept Inventory. A response to Huffman and Heller. *The Physics Teacher*, 33. S. 502-506.
- Huffman, D. & Heller, P. (1995). What Does the Force Concept Inventory Actually Measure? *The Physics Teacher*, Vol. 33. S. 138-143.
- Schecker, H. & Gerdes, J. (o. D.). Deutsche Übersetzung des Force Concept Inventory. [http://www.didaktik.physik.uni-due.de/veranstaltungen/WS2010/LeitfachMechanik/Fci\\_3\\_1.pdf](http://www.didaktik.physik.uni-due.de/veranstaltungen/WS2010/LeitfachMechanik/Fci_3_1.pdf). Datum: 13.03.2013 (nicht mehr verfügbar).
- Schecker, H. & Gerdes, J. (1999). Messung von Konzeptualisierungsfähigkeit in der Mechanik – Zur Aussagekraft des Force Concept Inventory. *ZFDN*, Jg. 5 (1). S. 75-89.
- Wilhelm, T., Waltner, C., Hopf, M., Tobias, V. & Wiesner, H. (2009). Der Einfluss der Sachstruktur im Mechanikunterricht – quantitative Ergebnisse zur Verständnis- und Interessenentwicklung. *Didaktik der Physik*. Frühjahrstagung Bochum 2009.