

Peer Instruction: Wie man es schafft, Studenten zum Nachdenken zu bringen

E. Mazur

Hochschuldidaktik im Methodenheft? – Ein Vorwort der Herausgeber

Der folgende Artikel mag für manche Leser zunächst fehl am Platze sein. Prof. Mazur beschreibt darin eine Methode, mit großen Auditorien zu arbeiten. Dennoch hat die Auswahl gute Gründe. Peer Instruction ist der Name einer herausragenden methodischen Idee, die ohne großen Aufwand für regulären Physikunterricht adaptiert werden kann. Der Hintergrund, vor dem diese Methode entwickelt wurde, ist für Hochschule und Schule recht ähnlich: Traditionell angebotene universitäre Vorlesungen wie Eric Mazur sie so treffend beschreibt, ähneln sicherlich des öfteren dem Frontalunterricht am Gymnasium. Auch hier schreiben Lehrkräfte die Inhalte des Lehrbuches erneut an die Tafel, auch hier kopieren Schülerinnen und Schüler diese Texte, ohne nachzudenken, auch hier versuchen sich Kinder und Jugendliche durch Auswendiglernen zu retten usw.

Unstrittig ist, dass der Einsatz von Schulbüchern im Schulunterricht noch nicht bis zum Letzten ausgereizt ist. So sind durchaus Szenarios vorstellbar, in denen – wie *Eric Mazur* es beschreibt – Lernende diese Texte im Vorfeld einer Stunde zu Hause lesen, um dann im Unterricht gemeinsam mit der Lehrkraft an den entsprechenden Inhalten zu arbeiten.

Noch leichter einzusetzen ist in unseren Augen die eigentliche Idee der Peer Instruction: Schülerinnen und Schüler beantworten Multiple-Choice-Fragen zunächst individuell und versuchen anschließend, einen Lernpartner von der Richtigkeit der eigenen Lösung zu überzeugen. Dieses Verfahren bedarf keines großen Zeitaufwandes im Unterricht und erhöht die kognitive Aktivierung der Kinder und Jugendlichen erheblich. Besonders leicht gemacht wird der Einsatz von Peer Instruction dadurch, dass im Rahmen des Projektes Galileo [1] die Unterlagen und Multiple-Choice-Fragen dieser Methode interessierten Lehrkräften zugänglich gemacht werden.

Peer Instruction eignet sich nicht nur für Hochschulen, auch der Physikunterricht der Sekundarstufen 1 und 2 kann erheblich von dieser Methode profitieren. Deswegen wäre ein Heft über Lernmethoden ohne Peer Instruction unvollständig.

Als ich das erste Mal „Einführung in die Physik“ lehrte, verbrachte ich viel Zeit damit, Vorlesungsskripte vorzubereiten, die ich dann am Ende jeder Vorlesung an meine Studenten weitergeben würde. Diese Aufzeichnungen waren sehr begehrt, da sie kurz und prägnant waren und einen guten Überblick über die sehr viel detaillierteren Informationen im Lehrbuch verschafften.

Nach der Hälfte des Semesters baten mich einige Studenten darum, diese Aufzeichnungen im Voraus zu verteilen, damit sie nicht so viel mitschreiben müssten und meiner Vorlesung dann mehr Aufmerksamkeit schenken könnten. Diesen Gefallen tat ich ihnen gern und als ich das nächste Mal den gleichen Kurs unterrichtete, entschied ich, die gesammelten Aufzeichnungen gleich zu Beginn des Semesters auszugeben. Das – unerwartete – Ergebnis war jedoch, dass am Ende des Semesters eine Anzahl von Studenten sich in ihren Fragebögen beschwerte, dass ich direkt nach meinen Skripten lehrte!

Oh, diese Undankbarkeit! Zuerst war ich über diesen Mangel an Wertschätzung verwirrt, habe danach aber meine

Haltung geändert. Die Studenten brachten es auf den Punkt: Ich lehrte tatsächlich anhand meiner Skripte. Wenn Sie das Lehrbuch gelesen hätten, dann hätten Sie auch festgestellt, dass meine Vorlesungen sich eng am Material des Buches orientierten. Spätere Untersuchungen zeigten, dass es für meine Studenten von geringem zusätzlichen Nutzen war meine Vorlesungen zu hören, wenn sie vorher meine Aufzeichnungen gelesen hatten. Hätte ich nicht Physik gelehrt, sondern z. B. Shakespeare, würde ich sicherlich nicht meine Vorlesungen damit verbringen den Studenten Theaterstücke vorzulesen. Ich würde vielmehr die Studenten bitten, die Stücke vor dem Besuch der Vorlesung zu lesen. Die reguläre Vorlesungszeit würde ich dann dazu nutzen die Stücke zu diskutieren und das Verständnis sowie die Wertschätzung der Studenten für Shakespeare zu vertiefen.

Jahr für Jahr hatte ich an die Tafel geschrieben, dass sich Druck definiert als Kraft pro Fläche – eine Definition, die im Buch und in meinen Vorlesungsaufzeichnungen gedruckt steht. Jahr für Jahr schrieben es die Studenten von der Tafel in ihre Aufzeichnungen ab. Was für eine Zeit-

verschwendung, sowohl für die Studenten wie für die Lehrenden! Welche Ineffizienz! Und die Studenten und ich waren der Überzeugung, diese Art der Vorlesung stellte „Lehren“ dar. Was für ein Trugschluss!

In den meisten naturwissenschaftlichen Einführungskursen ersuchen wir die Studenten Lehrbücher von enzyklopädischen Ausmaßen zu kaufen und dann benutzen wir die Vorlesungszeit darzustellen, was im Text steht. Im besten Fall wird das Lehrbuch dazu benutzt, den Lehrstoff, der in der Vorlesung weitergegeben wird, zu veranschaulichen. Wen wundert dann, dass die Anwesenheit in Einführungskursen relativ gering ist verglichen mit entsprechenden Kursen in den Geisteswissenschaften. Und wen wundert, dass die Meinung der Studenten über einführende naturwissenschaftliche Veranstaltungen sehr gering ist.

In Tagen von Overhead-Projektoren, Video-Kassettenrekordern, Multimedia-Computern und dem World Wide Web mögen Bücher manchem als veraltete Lernhilfen erscheinen. Die Wahrheit ist jedoch, dass wir zumindest in naturwissenschaftlichen Kursen für Anfänger Lehrbücher niemals in ihrem ganzen Potenzial ausgeschöpft haben. Wir schreiben den Lehrstoff an die Tafel und die Studenten schreiben ihn in ihre Aufzeichnungen ab. Wenn wir Glück haben, sind sie in der Lage den ersten 15 Minuten der Vorlesung zu folgen. Wenn sie irgendwann den Faden verlieren – und dies geschieht eher früher als später – wird das Mitschreiben vollständig ziellos: „Ich werde darüber später nachdenken“. Unglücklicherweise findet das „Nachdenken“ nicht immer statt, und viele Studenten greifen als letztes Hilfsmittel auf das Auswendiglernen der Gleichungen und Algorithmen (Lösungsmethoden) zurück, die sie in ihrem Skript niedergeschrieben haben. Viele schlechte Studiengewohnheiten sind ein direktes Resultat dieses Lehrsystems.

Die erstaunliche Ähnlichkeit zwischen einer Vorlesung und einer Predigt zeigt, dass die Vorlesung auf ziemlich alte universitäre Traditionen zurückgeht. Es gibt keinen Zweifel, dass das Vorlesungssystem zurückreicht bis zu der Zeit vor der Erfindung der Druckerpresse. Vor der Mechanisierung des Buchdrucks waren Vorlesungen die einzige effiziente Methode Wissen zu vermitteln. Die Ideen der Theologen und Gelehrten wurden pflichtgetreu durch Schriftgelehrte wiedergegeben. Als im 13. Jahrhundert sich das Zentrum des intellektuellen Lebens von den Fürst- und Königshöfen und den Klöstern in die Universitäten verlagerte, wurden die professionellen Schreiber zu den wichtigsten Herstellern von Büchern. Wie schon zu Zeiten der alten Ägypter stellte das gedruckte Wort den einzigen Weg dar, das Wissen der Menschheit akkurat zu überliefern und zu bewahren. Während der Buchdruck in Europa bis zur Mitte des 15. Jahrhunderts zurückreicht, entwickelten sich Bücher durch den schnellen, mechanischen Buchdruck erst ab der Mitte des 19. Jahrhunderts zum Massenmedium. Wenigstens bis zu diesem Zeitpunkt waren Vorlesungen und Aufzeichnungen für die Vermittlung von Wissen notwendig.

Der Hauptgrund, warum wir diese Methoden noch heute verwenden, ist Gewohnheit: Wir tendieren dazu, so zu unterrichten, wie auch wir unterrichtet wurden. Weil meine eigenen Lehrer Vorlesungen abhielten, so hielt auch ich Vorlesungen für meine Studenten ab und so werden auch sie schließlich Vorlesungen für ihre Studenten abhalten. Nun wird mir aber jeder zustimmen, dass Zuhören nicht so effizient ist, Informationen zu erlangen wie selbstbestimm-

tes, schrittweises Lesen. Während Zuhören weitestgehend eine passive Aktivität ist, regt Lesen viel eher das Denken an und erlaubt durch mehr Zeit der Vorstellungskraft, Fragen zu entwickeln. Nebenbei, ein Autor hat mehr Zeit die bestmögliche Formulierung zu wählen um eine Idee zu vermitteln als ein Dozent.

Schlage ich etwa hiermit vor, dass wir alle mit dem Unterrichten aufhören sollten? Dass wir einfach die Studenten anweisen Bücher zu lesen, anstatt zur Vorlesung zu kommen? Sicherlich nicht. Was ich vorschlage ist, dass in den Naturwissenschaften, genau wie in den Geisteswissenschaften, die erste Annäherung an neuen Lernstoff aus gedrucktem Material vor den Vorlesungsveranstaltungen erworben wird. Vorlesungen können benutzt werden, um Studenten ein Gefühl dafür zu vermitteln, was in dem gelesenen Unterrichtsstoff am wichtigsten ist, um dieses Unterrichtsmaterial mit dem kürzlich studierten Stoff in Verbindung zu bringen, um begriffliches Verständnis zu prüfen, ein umfassenderes Bild zu zeichnen, um Theorien mit Beobachtungen in Beziehung zu setzen, um eine differenzierte Perspektive zu entwickeln, oder um sogar über Gesichtspunkte, die nicht im Lesestoff enthalten sind, zu sprechen.

Bei dieser Methode gibt es eine Menge Probleme. Erstens erwarten in großen naturwissenschaftlichen Einführungskursen weder die Dozenten noch die Studenten irgendwelche Vorbereitungen unter Verwendung gedruckten Materials. Die Studenten haben sich daran gewöhnt, das zu erwarten, was Lehrer gewohnt sind anzubieten: eine Vorlesung. Es bedarf einer beträchtlichen Anstrengung, diese tief verwurzelte Gewohnheit zu verändern. Zweitens unterscheidet sich das Lesen eines Lehrbuches erheblich vom Lesen einer Geschichte. Die meisten Studenten neigen zunächst dazu, ihre Lehrbücher zu schnell zu lesen - ohne Pause oder Nachdenken über den Inhalt dessen, was sie gerade gelesen haben. Vielleicht wird die Methode, die ich befürworte, einen Wechsel in der Art und Weise nach sich ziehen, in der Lehrbücher geschrieben werden. Und drittens: Wenn man während der Unterrichtszeit keine Vorlesung hält, was tut man dann?

Während der vergangenen fünf Jahre habe ich durch radikales Verändern meiner Lehrstrategie versucht, diese Probleme anzugehen. Erstens gab ich den Studenten Leseaufträge vor jeder Veranstaltung. Um sicherzustellen, dass die Studenten diese wichtige Aufgabe auch erledigen, *beginne* ich jedes Mal jede Veranstaltung mit einem 5-minütigen Miniquiz über den Stoff, den sie gelesen haben. Dann teile ich die verbleibende Veranstaltungszeit in 10- bis 15-minütige Zeitabschnitte ein, wobei jeder einem Hauptpunkt des Lesestoffs zugeordnet wird. Entweder *beginne* ich einen Abschnitt mit einer sehr kurzen Zusammenfassung über einen Inhaltspunkt, den ich durchnehmen möchte oder mit einer Demonstration. Danach folgt eine begriffliche Frage, die das Verstehen der vorgestellten Idee testet. Ich projiziere diese Multiple-Choice-Fragen, die ich Concept Tests nenne, auf eine Leinwand und gebe den Studenten etwa eine Minute Zeit, eine Antwort auszuwählen. Jeder Student muss sich individuell auf eine Antwort festlegen – ich gestatte den Studenten nicht, sich während dieser Minute zu unterhalten. Nachdem die Studenten ihre Antworten festgehalten haben, bitte ich sie, ihren Nachbarn von ihrer Antwort zu überzeugen. Die anschließenden Diskussionen sind überraschend lebhaft. Nach ungefähr einer Minute bitte ich die Studenten wieder, eine Ant-

wort zu wählen (das kann durch Handheben, Kärtchen, Formblätter oder ein elektronisches Wahlsystem geschehen). Die Anzahl der Studenten, die die korrekte Antwort wählen, steigt nach der Diskussion immer an, was die Schlussfolgerung nahe legt, dass die Studenten ihre Begründung erfolgreich erklärten und sich dadurch gegenseitig etwas lehren. Wenn ca. die Hälfte der Studenten vor der Diskussion die richtige Antwort wählen (mit korrekter Begründung), genügt ungefähr eine Minute Diskussion, um den Verständnislevel der Klasse dramatisch zu verbessern. Kein Dozent, wie engagiert und anschaulich er auch sein mag, kann dieses Niveau der Einbindung und Teilnahme nur durch Vortragen erreichen.

Ich habe diese Methode erfolgreich in großen Kursen von ca. 250 Studenten erprobt. Die Resultate sind sehr ermutigend. Die Anwesenheit ist hoch. Was noch wichtiger ist, die Aufmerksamkeit und das Engagement der Studenten sind hoch. Weiterhin geben die Antworten in den Concept Tests ein sofortiges Feedback für den Lehrer, es gibt niemals eine Kluft zwischen dem Verständnis der Studiengruppe und der Erwartung des Lehrers. Aber das Beste ist, Tests zeigen, dass diese Lehrmethode ein besseres Verständnis der grundlegenden Konzepte hervorruft und eine Anzahl schlechter Studiengewohnheiten verringert, wie das Auswendiglernen von Routinen sowie das ausschließliche Fokussieren auf Problemlösungen. Die Energie und der Enthusiasmus der Studenten während der Diskussionen sind ansteckend: Wenn man es einmal ausprobiert hat, ist es schwierig wieder dazu zurückzukehren, vor einem passiven und meist schweigenden Publikum zu lehren.

Ich glaube inzwischen, dass die Tage des konventionellen Lehrens im Grundstudium gezählt sind – wir können es uns nicht länger erlauben die Ineffektivität der traditionellen Vorlesungsmethode zu ignorieren, ungeachtet dessen, wie anschaulich oder inspirierend unsere Vorlesungen auch sind. Die Zeit ist gekommen, unseren Studenten in den Anfängerkursen mehr als das reine Wiederkäuen des gedruckten Unterrichtsmaterials zu bieten.

Beispiel für eine Veranstaltung

Als ein Beispiel für Peer Instruction wird eine 90-minütige Veranstaltung über die *Newton'schen Gesetze* mit folgender Gliederung vorgestellt:

- 1. *Newton'sches Gesetz*
- Definition von Kraft und Masse
- 2. *Newton'sches Gesetz*
- 3. *Newton'sches Gesetz*.

Von den Studenten wird verlangt, vor dem Besuch der Veranstaltung die Skripte sowie die entsprechenden Abschnitte im Lehrbuch zu lesen. Zu Anfang der Veranstaltung bearbeiten sie das kurze Quiz (Abb. 1). Bitte beachten Sie, dass dieses Quiz nur testet, ob vor der Vorlesung gelesen wurde oder nicht; es testet nicht das Verständnis des Materials. Wäre es so, würde es diejenigen Studenten benachteiligen (und daher entmutigen), die zwar gelesen haben, aber nicht in der Lage waren, die Konzepte aus dem Gelesenen zu verstehen.

Ich benutze die gleichen Skripte, die ich auch während meines konventionellen Lehrens dieses Stoffes benutzt habe. Ich beschreibe den Umfang der klassischen Mechanik und führe *Newtons* 1. Gesetz ein, indem ich es an die Tafel schreibe. Nachdem ich das 1. Gesetz erläutert habe, zeige ich eine Computeranimation, um zu illustrieren, dass es wirklich eine Aussage über Bezugssysteme darstellt. Um

1. Welches dieser Gesetze gehört nicht zu den *Newton'schen Gesetzen*?

- a) Zu jeder Aktion gehört eine entgegengesetzte gleiche Reaktion,
- b) $F = m a$
- c) Alle Objekte fallen mit gleicher Beschleunigung
- d) Bei Abwesenheit einer resultierenden externen Kraft bleiben Objekte, die sich in Ruhe befinden in Ruhe und Objekte, die sich gleichförmig bewegen bleiben in gleichförmiger Bewegung.

2. Das Trägheitsgesetz

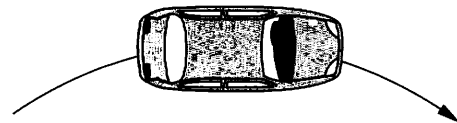
- a) ist in der Leseaufgabe nicht enthalten
- b) drückt das Bestreben von Körpern aus, ihren Bewegungszustand aufrecht zu erhalten
- c) ist das 3. *Newton'sche* Gesetz.

3. „Impuls“ ist

- a) nicht in der Leseaufgabe enthalten,
- b) ein anderer Begriff für Kraft,
- c) ein anderer Begriff für Beschleunigung.

Abb. 1: Quiz zur Überprüfung, ob die Studenten den Leseauftrag vor Besuch der Veranstaltung erfüllt haben. Die richtigen Antworten sind 1-3,2-2, 3-1. Antwortstatistik: 1a: 15%, 1b: 2%, 1c: 83%, 1d: 0%; 2a: 1%, 2b: 98%, 2c: 1%; 3a: 82%, 3b: 16%, 3c: 2%. Diese und folgende Statistiken stammen aus einem repräsentativen Semester, während dessen Peer Instruction durchgeführt wurde.

1. Ein Auto durchfährt eine Kurve mit konstantem Tempo.



Wirkt hier eine resultierende Kraft auf das Auto, wenn es die Kurve durchfährt?

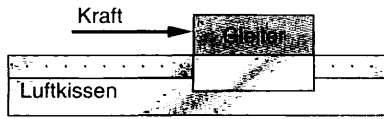
- a) Nein, da sein Tempo konstant bleibt.
- b) Ja.
- c) Es hängt von der Krümmung der Kurve und dem Tempo des Autos ab.

Abb. 2: Concept Test über *Newtons* 1. Gesetz. Antwort 2 ist korrekt. Antwortstatistik: a: 3%, b: 96%, c: 1%.

danach die Beziehung zwischen Kräften und Beschleunigung nachdrücklich zu vertiefen, projiziere ich die Concept Test-Frage aus Abb. 2. Generell kommen die Studenten mit dieser Frage gut zurecht und der Hauptzweck hierbei ist, ihre Überzeugung zu verstärken. Jedenfalls halte ich mich mit diesem Thema nicht zu lange auf, da *Newtons* andere zwei Gesetze im Allgemeinen größere Schwierigkeiten bereiten.

Danach definiere ich die Konzepte von Kraft und Masse und formuliere das 2. *Newton'sche* Gesetz. Um nun sicher zu stellen, dass die Beziehung zwischen Kraft, Beschleunigung und Geschwindigkeit verstanden wurden, verwende

Eine konstante Kraft wirkt auf einen Wagen, der sich anfänglich in Ruhe auf der Luftkissenbahn befindet. Die Reibung zwischen dem Wagen und der Luftkissenbahn ist vernachlässigbar. Die Kraft wirkt für einen kurzen Zeitraum und gibt dem Wagen eine bestimmte Endgeschwindigkeit



Um die gleiche Endgeschwindigkeit mit einer Kraft zu erreichen, die nur halb so groß ist, muss der Zeitraum für die Kräfteinwirkung auf den Wagen

1. viermal so lang
2. doppelt so lang
3. genau so lang
4. halb so lang
5. ein Viertel so lang

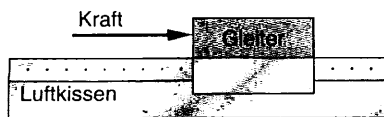
sein wie die Einwirkzeit der stärkeren Kraft.

Abb. 3: Concept Test über Kraft. Antwort 2 ist richtig. Antwortstatistiken vor (nach) der Diskussion: 1: 16% (5%), 2: 65% (83%), 3: 19% (12%). Überzeugung vor (nach) der Diskussion: Ziemlich sicher 50% (71%), nicht ganz sicher: 43% (25), nur geraten: 7% (4%).

ich die Frage, die in Abb. 3 dargestellt ist. Die Statistiken unter den Abbildungen zeigen auf, wie die „Überzeuge-Deinen-Nachbarn-Diskussionen“ die Anzahl der korrekten Antworten erhöhen und die Überzeugung der Studenten

Abb. 5: Concept Test über Kraft. Antwort 4 ist richtig. Antwortstatistik: 1: 10%, 2: 3%, 3: 5%, 4: 82%. Überzeugung: ziemlich sicher: 63%, nicht ganz sicher: 35%, nur geraten: 2%.

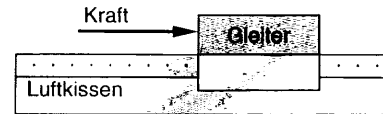
Eine konstante Kraft wirkt für einen kurzen Zeitraum auf einen Wagen, der sich anfänglich in Ruhe auf der Luftkissenbahn befindet. Die Kraft gibt dem Wagen eine bestimmte Endgeschwindigkeit.



Angenommen wir wiederholen das Experiment, aber anstatt aus der Ruhe zu starten, bewege sich der Wagen bereits in die Richtung der Kraft in dem Moment, in dem wir anfangen, die Kraft auszuüben. Nachdem wir die gleiche konstante Kraft den gleichen kurzen Zeitraum lang ausüben, ist die Geschwindigkeitserhöhung des Wagens

1. gleich der zweimaligen Anfangsgeschwindigkeit
2. gleich der Anfangsgeschwindigkeit im Quadrat
3. gleich der vierfachen Anfangsgeschwindigkeit
4. die gleiche wie beim Start aus dem Stand
5. nicht aus den angegebenen Informationen zu bestimmen.

Eine konstante Kraft wirkt für einen kurzen Zeitraum auf einen Wagen, der sich anfänglich in Ruhe auf der Luftkissenbahn befindet. Die Kraft gibt dem Wagen eine bestimmte Endgeschwindigkeit.



Die gleiche Kraft wirkt für die gleiche Zeitspanne auf einen anderen Wagen, der sich anfangs auch in Ruhe befindet, der aber die doppelten Masse des ersten Wagens hat. Die Endgeschwindigkeit des schwereren Wagens ist

1. ein Viertel der
2. vier Mal die
3. die Hälfte der
4. die doppelte
5. dieselbe

Geschwindigkeit des leichteren Wagens.

Abb. 4: Concept Test über Kraft. Antwort 3 ist richtig. Antwortstatistiken vor (nach) der Diskussion: 1: 10% (1%), 3: 90% (99%). Überzeugung: ziemlich sicher: 64% (95%), nicht ganz sicher: 34% (4%), nur geraten: 2% (1%).

verstärken. Mit den ungefähr 20% der Studenten, die nach der Diskussion falsche Antworten geben, würde ich vermutlich extra Zeit verbringen, die korrekte Antwort zu diskutieren.

Ein wichtiger Gesichtspunkt bei der Erklärung dieser Frage ist (um jeden Preis!) die Vermeidung des Gebrauchs von Gleichungen. Meine verbale Argumentation ist folgende: Kraft ruft Beschleunigung hervor, die aussagt, wie sehr die Geschwindigkeit eines Objektes in einem vorgegebenen Zeitraum zunimmt. Ist daher die Kraft nur halb so groß, ist auch die Beschleunigung nur halb so groß. Daher muss die Kraft ein doppelt so langes Zeitintervall wirken, um für den Wagen die gleiche Geschwindigkeitserhöhung zu erzielen.

Der nächste Concept Test (Abb. 4) baut die vorhergehende Frage weiter aus. Beachten Sie, wie viel besser die Studenten dieses Mal vor der „Überzeuge-Deinen-Nachbarn-Diskussion“ abschneiden. Da schon 90% eine richtige Antwort vor der Diskussion abgeben, ist nur wenig Raum für eine Verbesserung. Immerhin erhöht die Diskussion jedoch die Überzeugung der Studenten. Der Prozentsatz der richtigen Antworten nach der Diskussion ist ein eindeutiger Hinweis darauf, dass eine weitere Diskussion über diese Frage nicht mehr nötig ist.

Unmittelbar darauf lasse ich den Concept Test aus Abb. 5 bearbeiten. Um Zeit zu sparen, bitte ich die Studenten nicht, ihre Antworten zu diskutieren.

Da bei all diesen Fragen mehr als 80% richtige Antworten genannt wurden, gehe ich weiter zum 3. Newton'schen Gesetz. Dabei betone ich, dass sich die beiden Kräfte, die über das 3. Newton'sche Gesetz in Beziehung stehen, niemals auf dasselbe Objekt beziehen. Um diesen Punkt zu verdeutlichen, diskutiere ich das Beispiel einer Person, die in einem Aufzug steht. Obwohl die Normalkraft, die durch

den Aufzugboden auf die Person einwirkt gleich groß und entgegengesetzt dem Gewicht der Person ist, wenn der Aufzug steht, sind die beiden Kräfte keine Wechselwirkungskräfte.

Wenn der Aufzug beschleunigt, dann sind diese zwei Kräfte nicht mehr gleich – die Differenz ist für die Beschleunigung der Person verantwortlich. Ich erstelle Kraftdiagramme für die Person und den Aufzug und zeige auf, welche Kräftepaare Paare des 3. Newton'schen Gesetzes sind. Dieser Präsentation folgt eine Demonstration, wonach ich die Studenten sofort mit der klassischen Frage in Abb. 6 konfrontiere.

Trotz der konzeptionellen Schwierigkeit dieser Fragestellung antwortete eine überraschend große Gruppe der Studenten im ersten Durchlauf korrekt. Diese Frage wirft immer eine Menge Fragen auf – sie veranlasst die Studenten wirklich zum Nachdenken – und üblicherweise nehme ich mir nach der Veranstaltung Zeit dafür, diese Erklärung mehrere Male zu wiederholen.

Als Nächstes kehre ich zu dem eigentlichen Zweck der klassischen Mechanik zurück und zeige den zweifachen Nutzen von Newtons 2. Gesetz auf: Wenn die Kraft auf ein Objekt gegeben ist, so kann dieses Gesetz zur Bestimmung der Bewegung dieses Objektes verwendet werden. Als Beispiele führe ich die Existenz der Normalkraft, die Kräfte auf Himmelskörper. usw. an.

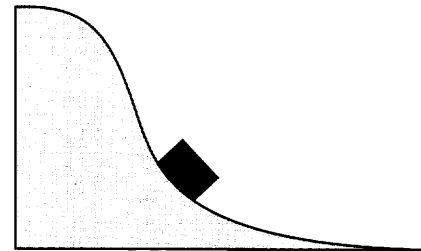
Am Ende komme ich zum ersten Kraftgesetz – dem der Gravitation. Ich verwende einige Zeit darauf, den Unterschied zwischen Trägheit (die Tendenz eines Objektes seinen Bewegungszustand beizubehalten) und Gravitation (die Tendenz eines Objektes Materie anzuziehen) klarzumachen: Ein Astronaut auf dem Mond kann mit Leichtig-

Abb. 6: Concept Test über das 3. Newton'sche Gesetz. Antwort 4 ist richtig. Antwortstatistiken vor (nach) der Diskussion: 1: 14% (7%), 2: 2% (2%), 4: 74% (86%), 5: 9% (5%). Überzeugung vor (nach) der Diskussion: ziemlich sicher 59% (71%), nicht ganz sicher: 36% (26%), nur geraten: 5% (3%).

Eine Lokomotive zieht eine Anzahl von Waggons. Wie lautet die korrekte Analyse der Situation?

1. Der Zug bewegt sich vorwärts, weil die Lokomotive die Waggons ein wenig stärker nach vorne zieht, als die Waggons die Lokomotive nach hinten ziehen.
2. Weil die Actio immer gleich der Reactio ist, kann die Lokomotive die Waggons nicht ziehen - die Waggons ziehen genau so stark rückwärts wie die Lokomotive vorwärts zieht, so ergibt sich keine Bewegung.
3. Die Lokomotive setzt die Waggons durch einen Ruck in Bewegung, während dessen die Kraft auf die Waggons momentan größer ist als die Kraft, die die Waggons auf die Lokomotive ausüben.
4. Die Zugkraft der Lokomotive, die auf die Waggons wirkt ist genau so stark wie die Zugkraft der Waggons, die auf die Lokomotive wirken, aber die Reibungskraft auf die Lokomotive ist nach vorne gerichtet und groß, während die nach hinten ausgerichtete Reibungskraft auf die Waggons gering ist.
5. Die Lokomotive kann die Waggons nur vorwärts ziehen, wenn ihr Gewicht größer als das der Waggons ist.

Ein Wagen auf einer Achterbahn rollt die unten gezeigte Bahn hinunter. Wenn der Wagen über die eingezeichnete Position hinaus weiter rollt, was geschieht mit seiner Geschwindigkeit und seiner Beschleunigung in Bewegungsrichtung?



1. Beide nehmen ab.
2. Die Geschwindigkeit nimmt ab, aber die Beschleunigung nimmt zu.
3. Beide bleiben konstant.
4. Die Geschwindigkeit nimmt zu, aber die Beschleunigung nimmt ab.
5. Beide nehmen zu.
6. Etwas anderes.

Abb. 7: Concept Test über Gravitation, Beschleunigung und Geschwindigkeit an einem Gefälle. Antwort 4 ist richtig. Antwortstatistiken: 1: 3%, 2: 4%, 3: 8%, 4: 70%, 5: 11%, 6: 4%. Überzeugung: ziemlich sicher: 34%, nicht ganz sicher: 57%, nur geraten: 9%.

keit ein schweres Objekt anheben, aber dagegen zu treten würde die gleichen Schmerzen verursachen wie auf der Erde.

Die letzte Frage, die ich verwende (Abb. 7), beinhaltet Gravitation, testet aber eigentlich das Verständnis der Studenten zur Beschleunigung. Diese Frage bietet die Gelegenheit zurückdenken und die Verbindung zwischen dem Lehrmaterial in vorhergehenden Vorlesungen und dem in dieser Vorlesung herzustellen. Während zwei Drittel der Studenten die richtige Antwort geben, ist nur ein Drittel von ihrer Antwort überzeugt (der am häufigsten auftretende Fehler ist die Annahme, dass bei Geschwindigkeitszunahme, die Beschleunigung ebenfalls zunimmt).

Literatur

[1] Project Galileo. Online verfügbar unter <http://galileo.harvard.edu/index.html> (Stand: September 2005).

Anschrift des Verfassers:

E-Mail: mazur@physics.harvard.edu.