

Physikdidaktik als nutzerorientierte Grundlagenforschung

Martin Hopf

Einleitung

Die Kritik an Schule und Unterricht ist vermutlich so alt wie Menschengedenken. Genau so alt ist aber der Versuch, dem entgegen zu wirken. Schon immer haben Menschen versucht, die Lehre, das Lernen und die Schule zu verbessern. Dies formuliert auch Comenius in der Einleitung zu seinem berühmten Lehrbuch als seinen Anspruch. Auch wenn heutzutage moderner formuliert würde, enthält das vorangestellte Zitat doch alles, was auch in der jetzigen Zeit noch zu einer Definition einer Wissenschaft des Lehrens und Lernens gehört. Besonders zu erklären sind dabei die Aspekte „Erforschen“ und „Erfinden“, die Comenius als wesentlich für eine Didaktik nennt. Im folgenden Beitrag wird versucht, die Physikdidaktik als eine der Wissenschaften vorzustellen, die sich mit dem Lehren und Lernen eines Faches beschäftigt.

Physikdidaktik als Wissenschaft

Um eine Wissenschaft zu definieren, ist es aus wissenschaftstheoretischer Sicht notwendig, neben ihren Untersuchungsgegenständen auch die verwendeten Methoden anzugeben. In der Fachdidaktik Physik ist der Untersuchungsgegenstand einfach zu klären: Betrachtet werden alle Fragestellungen, die das Lehren und das Lernen der Physik erforschen. Dabei ergeben sich natürlich die unterschiedlichsten Thematiken. So kann z. B. die Wirksamkeit eines Curriculums genau so untersucht werden wie der Einfluss des Einsatzes neuer Medien auf das Lernen oder die Motivation der Schülerinnen und Schüler. Fragen nach der Effektivität verschiedener Methoden stehen genau so im Fokus der Physikdidaktik wie solche danach, welche Aspekte des Lehrens die Lernprozesse am wirksamsten unterstützen. Untersucht werden aber auch (eher deskriptive) Fragen nach der täglichen Praxis in den Klassenzimmern oder dem Abschneiden verschiedener Länder in groß angelegten Vergleichsuntersuchungen wie z. B. PISA.

Entsprechend der vielfältigen Untersuchungsgegenstände wird in der Physikdidaktik auch eine Vielzahl unterschiedlicher Methoden eingesetzt. In der Regel entstammen diese

Prof. Dr. Martin Hopf, Österreichisches Kompetenzzentrum für Didaktik der Physik, Universität Wien. e-Mail: martin.hopf@univie.ac.at

„Unserer Didaktik A und O soll sein: Eine Weise zu erforschen und zu erfinden, nach welcher die Lehrenden weniger lehren, die Lernenden aber mehr lernen; die Schulen weniger geräuschvolles Treiben, Überdruß, vergebliche Arbeit, aber mehr Muße, Lust und Freude und gründlichen Fortschritt zeigen.“ J. A. Comenius · Die große Unterrichtslehre · Amsterdam, 1657

der empirischen Sozialforschung, fast immer müssen sie aber auf die spezifischen Bedürfnisse bei Fragen nach dem Lernen der Physik angepasst – z. T. auch neu entwickelt – werden. Oft eingesetzt werden Methoden der qualitativen Forschung wie das Führen von Interviews oder das Sammeln entstandener Artefakte. Ebenso oft kommen aber auch Methoden der quantitativen Forschung zum Einsatz und es werden Fragebögen und Tests entwickelt und verwendet. Vermehrt wurde in den letzten Jahren das Unterrichtsgeschehen selbst mit Videokameras dokumentiert und auf verschiedenste Arten sowohl mit qualitativen als auch quantitativen Methoden erforscht.

Comenius stellt aber neben das reine Erforschen den Aspekt des Erfindens als weitere wichtige Aufgaben einer Didaktik. Um das mit dem Aspekt des Erforschens sinnvoll verbinden zu können, muss an dieser Stelle etwas ausgeholt werden. Basierend auf Stokes (1997) kann man Wissenschaft in ein Koordinatensystem versuchen einzuordnen. Dazu werden die (vermuteten bzw. rekonstruierten) Motive der entsprechenden Wissenschaftler/innen in zwei Dimensionen bewertet. Einerseits wird dabei gefragt, wie stark die jeweilige Forschung dem Motiv unterstellt war, Erkenntnisse über den Untersuchungsgegenstand zu generieren. Als unabhängig davon wird gesehen, wie stark das Gebiet nutzenorientiert ausgerichtet wurde. Betrachtet man diese beiden Aspekte „Erkenntnisorientierung“ und „Nutzenorientierung“ als Achsen eines Koordinatensystems, ergibt sich ein Quadrantenmodell (Abb. 1). Der Name ergibt sich dabei daraus, dass man versuchen kann, archetypische Wissenschaftler den einzelnen Zellen zuzuordnen. Ausgewählt wurden dabei die Forscher Bohr, Edison und Pasteur.

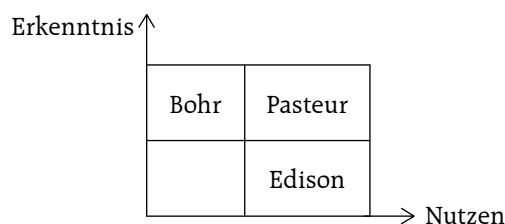


Abb. 1: Quadrantenmodell

Bei den Forschungen von N. Bohr stand im Wesentlichen die Erkenntnisgewinnung im Vordergrund. Zum damaligen Zeitpunkt war nicht zu erkennen, wie ein Nutzen aus die-

sen Forschungen zu gewinnen sein könnte. Dennoch waren die Arbeiten von Bohr von höchster Wichtigkeit für die Weiterentwicklung der Physik. Den Gegenpol im Quadranten bildet Th. A. Edison. Ihm ging es im Wesentlichen darum, Nützliches zu erfinden und weniger darum, Erkenntnisse zu gewinnen. L. Pasteur steht archetypisch für eine Ausrichtung sowohl an hoher Erkenntnisgewinnung als auch an hohem Nutzen. Durch seine Forschungen zu Krankheitsursachen lieferte er wissenschaftliche Fundierungen für Maßnahmen zur Verbesserung der Hygiene.

Wichtig ist dabei, dass mit der Zuordnung einzelner Menschen auf die Zellen des Quadranten keine Wertung verbunden ist. Vielmehr ist die jeweils gewählte Ausrichtung an den Dimensionen „Nutzen“ und „Erkenntnis“ vorzüglich zu begründen und – wie die Auswahl der Personen zeigt – auch jeweils mit großartigen Leistungen für Fortschritt zu verbinden. Allerdings zeigt sich deutlich, dass neben die Dimension des Erkenntnisfortschritts eine weitere Dimension – der Nutzen – tritt, der ebenfalls betrachtet werden kann, wenn es um die Einordnung von wissenschaftlicher Arbeit geht. Je nach den gewählten Untersuchungsgegenständen einer Wissenschaftsdisziplin ist es daher stets möglich und unter Umständen auch sinnvoll, sich neben der Frage nach dem Erkenntnisfortschritt auch die Frage nach dem Nutzen zu stellen. Werden bewusst beide Aspekte in den Fokus genommen, so spricht man von nutzenorientierter Grundlagenforschung (Fischer et al., 2005). Zielrichtung wissenschaftlicher Tätigkeit ist dann neben der Erweiterung der Erkenntnis über einen Gegenstand auch die Hervorbringung von Nutzen.

Physikdidaktik als Wissenschaft kann nun genau wie jede andere Wissenschaft auch in unterschiedlichen Zellen des Quadrantenmodells verortet werden. Für jede Entscheidung eines Forschers oder einer Forscherin gibt es dabei gute Gründe und – wie beschrieben – gute Aussichten auf nachhaltige Erfolge. Bemerkenswert ist dabei allerdings, dass bisher nur wenige Ansätze existieren, die der nutzenorientierten Grundlagenforschung zugeordnet werden können. Daher scheint es von besonderer Dringlichkeit, eine neu geschaffene Forschungsgruppe – wie es das Österreichische Kompetenzzentrum für Didaktik der Physik darstellt – in diesem Bereich anzusiedeln.

Im Kontext von schul- und unterrichtsbezogener Forschung, insbesondere in der Fachdidaktik stellt sich natürlich die Frage, wie dabei Erkenntnisfortschritt, aber auch wie Nutzen aussehen kann. Einige – bisher nur teilweise geklärte – Aspekte sind z. B.:

Erkenntnis

- Wie werden physikalische Inhalte gelernt?
- Wo sind die besonderen Schwierigkeiten dabei?
- Weshalb finden Schüler/innen Physik so uninteressant?

Nutzen

- Implementation von Forschungsergebnissen in der Schulpraxis
- Bereitstellung „funktionierender“ Materials

An einem konkreten Beispiel soll im Folgenden vorgestellt werden, wie nutzenorientierte Grundlagenforschung einen wichtigen Beitrag zur Weiterentwicklung von Erkenntnisstand und der Schulpraxis spielen kann.

Lernen Newtonscher Mechanik

Ausgangslage

Beinahe schon traditionell zu nennen sind die regelmäßig ausbrechenden Klagen über das Abschneiden österreichischer Jugendlicher bei großen Vergleichsstudien wie PISA oder TIMMS. Dass dabei ein wahrer Kern enthalten sein muss, zeigt sich immer wieder in kleineren Studien. So wurden z. B. im Jahr 2008 Studierende des ersten Semesters zu Beginn des Wintersemesters zu ihren Kenntnissen aus der Mechanik befragt (Schörkhuber, 2009). Zum Einsatz kam dabei ein standardisiertes Messinstrument (Force Concept Inventory – FCI) mit 30 Multiple-Choice-Fragen zu Kinematik, Newtonschen Axiomen und Kraftarten. Ein Beispielim dieses Tests ist in Abb. 2 abgedruckt.

Ein Junge wirft eine Stahlkugel senkrecht nach oben. Betrachten Sie die Bewegung der Kugel während des Zeitraumes, nachdem sie die Hand des Jungen verlassen hat und bevor sie wieder den Boden erreicht. Nehmen Sie an, dass alle Luftreibungskräfte vernachlässigbar klein sind. Unter diesen Bedingungen wirken auf die Kugel folgende Kräfte:

- A) Eine nach unten gerichtete Schwerkraft, zusammen mit einer stetig abnehmenden nach oben gerichteten Kraft.
- B) Eine stetig abnehmende nach oben gerichtete Kraft für den Zeitraum vom Verlassen der Hand bis zum Erreichen des höchsten Punktes, und während der Abwärtsbewegung eine stetig zunehmende nach unten gerichtete Schwerkraft, wenn sich die Kugel der Erde nähert.
- C) Eine nahezu konstante nach unten gerichtete Schwerkraft, zusammen mit einer nach oben gerichteten Kraft, die so lange stetig abnimmt, bis die Kugel ihren höchsten Punkt erreicht, und während der Abwärtsbewegung nur eine konstante nach unten gerichtete Schwerkraft.
- D) Nur eine konstante nach unten gerichtete Schwerkraft.
- E) Keine der genannten Kräfte. Die Kugel fällt wegen ihrer natürlichen Tendenz, sich auf der Erdoberfläche in Ruhe zu befinden.

Abb. 2: Beispielim aus dem FCI

Von insgesamt 30 möglichen Punkten erreichen Studierende mit Hauptfach Physik im Durchschnitt nur 13,6 Studierende mit Nebenfach Physik sogar nur 10,2. Ein beginnendes Verständnis der Newtonschen Mechanik – was nach interna-

tionaler Übereinkunft bei 18 Punkten beginnt – erreichen von den Hauptfachstudierenden nur 40 von 172 Probanden. Ein vertieftes Verständnis (ab 25 Punkten) erreichen bei den zukünftigen Physikstudierenden 13 Personen (Abb. 3).

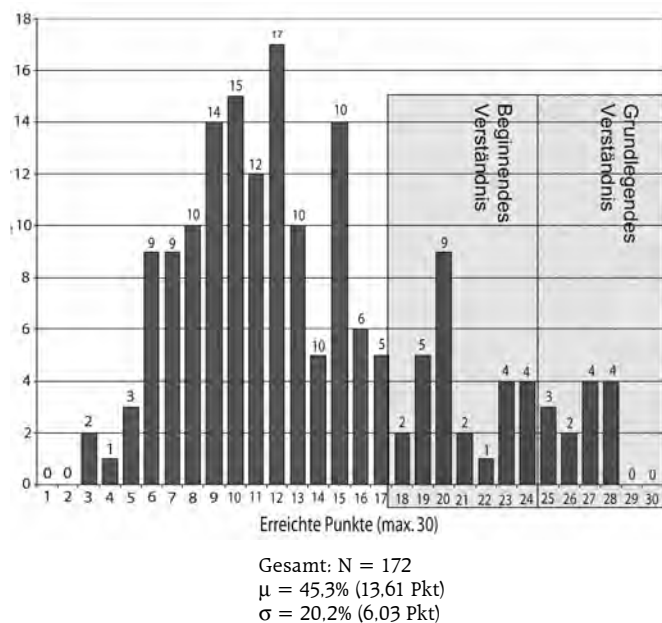


Abb. 3: Ergebnisse von Studierenden zu Beginn des Studiums im FCI

Insgesamt zeigen also die Erstsemestrigen zu Beginn des ersten Semesters kaum fundierte Kenntnisse zu den Konzepten der Newtonschen Mechanik. Das gibt insbesondere daher zu denken, als ja gerade diese jungen Erwachsenen sich für ein Studium der Physik entschieden haben und entsprechend zuversichtlich hinsichtlich ihrer Vorkenntnisse und Begabungen sind. Dass solche Ergebnisse kein österreichisches Spezifikum darstellen, zeigen analoge Studien (z. B. Girwidz, Kurz, Kauz, 2003).

Zusammenfassend kann man also folgern, dass das Lernen der Newtonschen Mechanik offenbar besonders schwierig ist. Selbst diejenigen Schülerinnen und Schüler, die sich selbst als so erfolgreich und begabt erleben, dass sie in Betracht ziehen, ein Physikstudium aufzunehmen, erreichen – wenn überhaupt – nur ein beginnendes Verständnis der zugrundeliegenden Konzepte.

Lernschwierigkeiten

Die Frage liegt nun nahe, wieso das Lernen der Mechanik sich als so schwierig erweist. Eine nahe liegende Antwort besteht darin, dass – wie vermutlich jede Leserin und jeder Leser selbst erlebt hat – dieses Gebiet der Physik tatsächlich schwierig ist. Die Konzepte der Newtonschen Mechanik sind – so einfach wie sie zunächst erscheinen mögen – an vielen Stellen überaus schwer und oft wenig intuitiv zu nennen. Das allein kann allerdings nicht der einzige Grund dafür sein, wieso das Lernen hier so wenig gelingt.

Weitere Hinweise sind der schon oben zitierten Arbeit von Schörkhuber zu entnehmen. Analysiert man z. B. die Detailantworten, stellt sich Erstaunliches heraus. So beantworten die Probanden die Frage in Abb. 2 nur zu 12 % richtig. Am

häufigsten wird (mit 62 %) Antwort C angekreuzt. Offenbar sind die Antwortenden der festen Überzeugung, dass während der ersten Flugphase der Kugel eine weitere Kraft wirken muss. Erst wenn diese „aufgebraucht“ ist, kann die Kugel hinabfallen. Diese Deutung des Phänomens ist offenbar so plausibel, dass die physikalische Sichtweise dagegen kaum bestehen kann. In diesem Antwortverhalten zeigen sich sehr deutlich die Vorstellungen, die die Studierenden aus ihrem Alltag mit in den Physikunterricht gebracht haben. Diese Vorstellungen stellen sich allerdings immer wieder als nicht mit physikalischen Deutungen vereinbar heraus und behindern damit das Lernen. Warren (1979) formuliert das so:

„Unsere Vorstellungen über Kraft und Bewegung beruhen auf physischen Empfindungen, und so unterscheiden wir natürlich zwischen dem Zustand der Bewegung und dem der Ruhe. Wir wissen, dass wir uns anstrengen müssen, um gegenüber unserer Umgebung in Bewegung zu bleiben, und deshalb sind wir tief in unserem Inneren davon überzeugt, dass eine Kraft nötig ist, um Bewegung **aufrecht zu erhalten**, und dass diese Bewegung in die Richtung der einwirkenden Kraft erfolgt. Physiker dagegen gehen davon aus, dass Kräfte nur zur **Änderung** einer Bewegung erforderlich sind – eine Vorstellung, die dem „Alltagsverständnis“ total widerspricht.“

Damit ist auch klar, dass Physikunterricht, der diese bereits im Vorfeld entstandenen Vorstellungen nicht berücksichtigt, wahrscheinlich wenig erfolgreich sein wird.

Solche **Schülervorstellungen** gibt es in allen Bereichen der Physik. Diese wurden in einer großen Anzahl von fachdidaktischen Forschungsarbeiten aufgedeckt. Eine Übersicht über verschiedene Schülervorstellungen findet sich z. B. in Müller, Wodzinski, Hopf (2007).

Daneben finden sich aber auch Belege dafür, dass Lernschwierigkeiten durch Lernangebote des Physikunterrichts, die für Schüler/innen schwer verständlich sind, hervorgerufen werden können. Bekannt ist hier z. B., dass die übliche Einführung in die Kinematik über eindimensionale Betrachtung von Bewegungen erhebliche Schwierigkeiten für die Lernenden bereitet. So stellt sich heraus, dass Bewegungsänderungen im Eindimensionalen (also z. B. bei Fahrbahnversuchen) für Lernende sehr schwer verständlich sind (Wodzinski, 1996).

Immer wieder finden sich darüber hinaus in Lehrbüchern physikalisch fragwürdige, wenn nicht sogar falsche Darstellungen (Abb. 4).

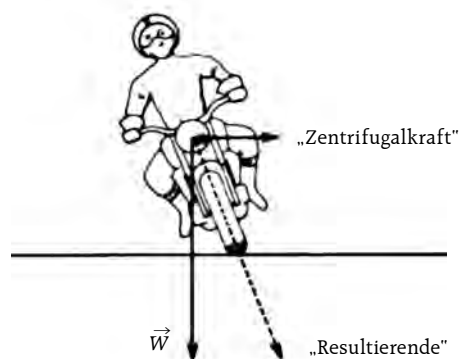


Abb. 4: Was kann an dieser Darstellung nicht stimmen? (aus Warren. 1979)

Interventionsmöglichkeiten

Nachdem nun eindrucksvoll festgestellt wurde, wie schwer das Lernen Newtonscher Mechanik ist, liegt natürlich die Frage nahe, welche Möglichkeiten zur Verbesserung für den Physikunterricht bestehen. Diese Frage ist besonders dann auch von großem Interesse für die Physikdidaktik, wenn sie sich der nutzenorientierten Grundlagenforschung zurechnet. Leider erweist sich hier zum wiederholten Male, dass es keine einfachen Lösungen oder Patentrezepte gibt.

So zeigt sich z. B. bei empirischer Analyse, dass weder der Einsatz von Experimenten oder die Verwendung neuer Medien automatisch zu einer Verbesserung des Lernerfolgs beitragen. Ebenso wenig erweist sich die oft geforderte methodische Variation des Unterrichts als Patentrezept. Für erfolgreichen Physikunterricht besteht der Weg also offenbar weniger darin, zu überlegen, welches Experiment oder Medium gerade gut zum Stoff passt, welche Methode sich inhaltlich gerade anbieten würde oder was noch alles besprochen werden muss. Wesentlich wichtiger zu sein scheint es, stets zu überlegen, vor welchen Lernaufgaben die Schüler/innen gerade stehen, welche Lernhindernisse zu erwarten sind und mit welchen Mitteln dieser Lernprozess unterstützt werden kann. Dies stellt allerdings eine gewaltige Herausforderung dar, da dieses Verfahren für jeden Lernschritt einer komplexen Unterrichtseinheit durchgeführt werden muss. Der dazu notwendige Aufwand ist enorm und stellt daher ein langfristiges Forschungs- und Entwicklungsprogramm für die Physikdidaktik dar. Ein möglicher Weg hierzu soll im Folgenden beschrieben werden.

Zweidimensionaler Zugang zur Mechanik

Lange Zeit wurde in die Mechanik eingeführt, indem man zunächst statische Kräfte einführte und erst wesentlich später zur Dynamik überging. Eine etwas aktuellere Vorgehensweise besteht darin, anhand eindimensionaler Bewegungen die Begriffe der Geschwindigkeit und Beschleunigung einzuführen. Hierfür wird allerdings nur sehr wenig Unterrichtszeit verwendet. Danach wird schnell zu den Newtonschen Gesetzen übergeleitet. Der Ablauf dieses Unterrichtsgangs ist in Abb. 5 dargestellt. Wie die vorangegangenen Analysen belegen, ist diese Vorgehensweise nicht dazu geeignet, ein vertieftes Verständnis der Newtonschen Mechanik zu erreichen. Das erkennt man z. B. auch daran, dass der eindimensionale Zugang unterstützt, dass viele Schüler/innen Geschwindigkeit auf eine Betragsgröße reduzieren, die man mit Tempo bezeichnen könnte und nicht mit dem physikalischen Geschwindigkeitsbegriff übereinstimmt.

- Geschwindigkeit $v = \Delta x / \Delta t$
- Beschleunigung $a = \Delta v / \Delta t$
- Kraft
- Trägheit
- Kräftegleichgewicht
- $F = ma$
- Wechselwirkungsprinzip
- Gravitation und Fallbeschleunigung
- Hookesches Gesetz
- Kräfteaddition und -zerlegung

Abb. 5: Traditionelle Vorgehensweise

Eine weitere Möglichkeit besteht nun darin, die Mechanik von vornherein im Zweidimensionalen zu betrachten. Dazu wird zunächst die Geschwindigkeit als Vektorgröße eingeführt. Hier erweisen sich moderne Formen der Messwertgewinnung (Videoanalyse) als äußerst hilfreich. Aus der genauen Analyse von Bewegungen wird anschließend die „Zusatzgeschwindigkeit“ $\Delta \vec{v}$ als Kernbegriff des Lehrgangs erarbeitet. Diese Zusatzgeschwindigkeit wird dabei als eigenständige Größe eingeführt, die angibt, wie sich die Geschwindigkeit in einem Zeitintervall Δt ändert. Die Erkenntnis, dass eine Einwirkung auf einen Körper immer eine Zusatzgeschwindigkeit bewirkt, führt unmittelbar zu einer Formulierung der Newtonsche Bewegungsgleichung in ihrer ursprünglichen Form $\vec{F} \cdot \Delta t = m \cdot \Delta \vec{v}$. Durch deren Verwendung ist es möglich, komplexe Bewegungen des Alltags ohne Rückgriff auf den Begriff der Beschleunigung zu diskutieren. Ein Überblick über die Vorgehensweise in diesem Konzept ist in Abb. 6 dargestellt.

- Beschreibung von Bewegungen
 - Tempo
 - Geschwindigkeit als gerichtete Größe
 - Zusatzgeschwindigkeit
 - Die Newtonsche Bewegungsgleichung:
Je größer die Einwirkung, desto größer
Je länger die Einwirkung, desto größer
Je größer die Masse, desto kleiner
- Zusammen:
Kraftarten (Gravitation, Reibung)
Kräfteaddition, -gleichgewicht
Trägheitssatz

Abb. 6: Zweidimensionaler Zugang zur Mechanik

Im Detail läuft dieser Kurs so ab: Zu Beginn wird der Begriff der Geschwindigkeit (im physikalischen Sinn) erarbeitet. Dabei liegt der Schwerpunkt von vornherein darauf, die Geschwindigkeit als Vektorgröße einzuführen. Die Schüler/innen lernen, Geschwindigkeiten mit einem Pfeil darzustellen. Dessen Länge gibt - wie ein Tachometer - das Tempo (den Betrag der Geschwindigkeit) an; dessen Richtung die Richtung, in der sich der Körper bewegt. Dies gelingt besonders gut durch die Verwendung von Videofilmen oder Stroboskopaufnahmen. Entweder wird dann mit einem Videoanalyseprogramm in einem Videoclip die Position eines Objektes in jedem Bild bestimmt oder es werden die verschiedenen Positionen direkt aus dem Stroboskopbild abgelesen. Moderne Programme wie z. B. MeasureDynamics der Firma Phywe ermöglichen beide Zugangsweisen. Aus der Position eines Objekts zu verschiedenen Zeitpunkten lässt sich dann sehr einfach dessen Geschwindigkeit ablesen, wobei bei diesem Vorgehen der Vektorcharakter der Geschwindigkeit fast beiläufig eingeführt werden kann. Zur genaueren Klärung werden dann die Begriffe Tempo und Geschwindigkeit deutlich unterschieden.

Der Kernbegriff des Lehrgangs ist die „Zusatzgeschwindigkeit“ ($\Delta \vec{v}$). Dieser wird anschließend erarbeitet und die Verwendung des Begriffs ausführlich eingeübt. Der Fokus wird also weniger auf Anfangs- und Endgeschwindigkeit während eines Vorganges gelegt als viel mehr auf den Unterschied

zwischen beiden. Wichtig ist immer, dass nicht nur Betrags- sondern auch Richtungsänderungen diskutiert werden.

Die für die Mechanik grundlegende Idee, dass eine Einwirkung zu einer Geschwindigkeitsänderung (Zusatzgeschwindigkeit) führt und umgekehrt eine beobachtete Geschwindigkeitsänderung auf eine Einwirkung schließen lässt, lässt sich sehr gut am Beispiel des Fußballspiels diskutieren. Für die Diskussion im Unterricht haben sich Stoßversuche mit schweren Stahlkugeln (ca. 1 kg) bewährt. Die geometrische Vektoraddition lässt sich aus dem aufgezeichneten Bewegungsablauf „direkt ablesen“ (Wiesner, 1994). Die Erkenntnis aus diesen Versuchen ist die Folgende: Eine Einwirkung, z.B. ein Stoß, fügt zu der Anfangsgeschwindigkeit eine Zusatzgeschwindigkeit $\Delta\vec{v}$ in Einwirkungs- bzw. Stoßrichtung hinzu.

Damit dieser wichtige Schritt verstanden wird, muss hier ausreichend Unterrichtszeit verwendet werden. Bewährt hat sich außerdem an dieser Stelle die Verwendung einer eigens entwickelten Simulation (Abb. 7, Rachel, 2008).

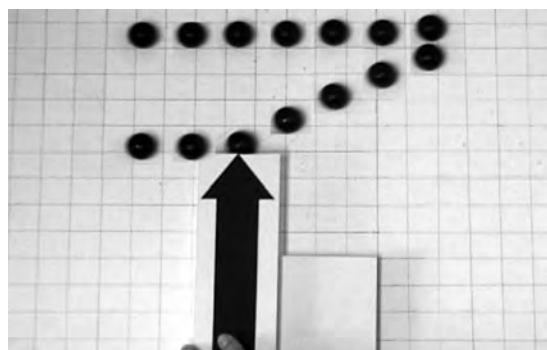


Abb. 7: Stroboskopbild des folgenden Vorgangs (von oben betrachtet): Zwei Kugeln rollen (von einer geneigten Ebene kommend) von links nach rechts. Auf die untere wird ein Stoß ausgeübt. Dadurch erhält sie zusätzlich zur ursprünglichen Geschwindigkeit eine Zusatzgeschwindigkeit in Stoßrichtung.

Im weiteren Verlauf wird der Zusammenhang zwischen Einwirkung und Zusatzgeschwindigkeit dann weiter differenziert. Hier lassen sich recht einfach Plausibilitätsüberlegungen anstellen. So finden Schülerinnen und Schüler plausibel, dass je stärker die Einwirkung ist, desto größer die Zusatzgeschwindigkeit ausfällt (ein stärkerer Stoß/Schlag, ein stärkerer Magnet oder ein „stärkerer“ Motor führen zu einer größeren Geschwindigkeitsänderung beim Einwirkungspartner) oder dass bei jeweils gleicher Stärke der Einwirkung die Zusatzgeschwindigkeit umso größer ist, je länger die Einwirkung dauert (Anfahren eines Autos, freier Fall,...). Dass außerdem die Masse des Körpers eine Rolle spielt, stellt für die Lernenden ebenfalls kein Problem dar. Fasst man alle Überlegungen zusammen, so ergibt sich zwanglos die Newtonsche Kraftstoßgleichung $\vec{F} \cdot \Delta t = m \cdot \Delta\vec{v}$. Die Mächtigkeit dieser Beziehung wird im Verlauf des Lehrgangs nun weiter erprobt. Dazu werden zunächst verschiedene Alltagsprobleme wie Sicherheit beim Autounfall oder der Tritt gegen einen Fußball diskutiert um danach die speziellen Kraftgesetze zur Erdanziehungskraft, der Federkraft usw. zu erarbeiten. Den Abschluss des Kurses stellen Diskussionen des Trägheitssatzes und die Vertiefung des Wechselwirkungssatzes dar.

Diese Vorgehensweise für den Mechanikunterricht basiert auf alten Vorschlägen (Jung, Reul, Schwedes; 1977). Sie wurde immer wieder unter verschiedenen Gesichtspunkten in fachdidaktischen Untersuchungen eingesetzt und hat auch schon mehrfach ihren Nutzen unter Beweis gestellt. Dennoch ist sie im Bereich der Schulpraxis bisher nach wie vor nahezu unbekannt, was auch daran liegen mag, dass bisher keine praxistaugliche Ausarbeitung davon existierte, geschweige denn leicht zugänglich war. Auch im Rahmen wissenschaftlicher Forschung bestehen für diesen Kurs noch Desiderata hinsichtlich der Überprüfung seiner Wirkungsweise.

Ein aktuelles Forschungsprojekt

Vor diesem Hintergrund wurde in einer Kooperation der Universitäten Würzburg, München und Wien ein Forschungsprojekt gestartet. Ziel ist es – im Rahmen von nutzenorientierter Grundlagenforschung –, die vorgestellte Vorgehensweise genauer zu erforschen. Aus Sicht der Erkenntnisgewinnung geht es dabei darum, die Frage nach der Schwierigkeit beim Lernen der Mechanik und Erfolg versprechenden Lösungsansätzen zu erhellen. Darüber hinaus wird auch der Zusammenhang von Erfolgserlebnissen mit Motivation und Interesse der Schüler/innen untersucht. Der mögliche Nutzen dabei liegt darin, dass ein Mechanikkurs für die Schulpraxis vorgeschlagen werden kann, der u. U. größere Lernerfolge bedingen kann.

Als erster Schritt war es dabei notwendig, entsprechende Unterrichtsmaterialien zu entwickeln. Dazu wurde zunächst – basierend auf verschiedenen Vorarbeiten – ein Lehrtext für Schülerinnen und Schüler erstellt (Hopf, Waltner, Wilhelm, Wiesner, 2008). Dabei wurde versucht, einen Schulbuchähnlichen Stil zu verwenden. Darüber hinaus wurden Videoaufnahmen von Experimenten, passende Videoanalysen sowie ein Simulationsprogramm produziert (Abb. 8).

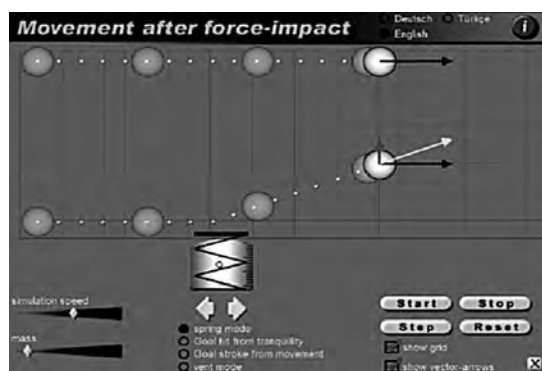


Abb. 8: Simulationsprogramm

Seit März 2008 läuft eine groß angelegte empirische Untersuchung, in der mit einem Kontroll-Experimentalgruppen-Design die Wirksamkeit des neuen Kurses im Vergleich zu traditionellen Ansätzen überprüft wird. Dabei werden nicht nur der Wissenserwerb der Schüler/innen, sondern auch deren Selbsteinschätzung und ihr Interesse verfolgt. Erste Ergebnisse sind ermutigend (Wilhelm, Waltner, Hopf et al., 2009).

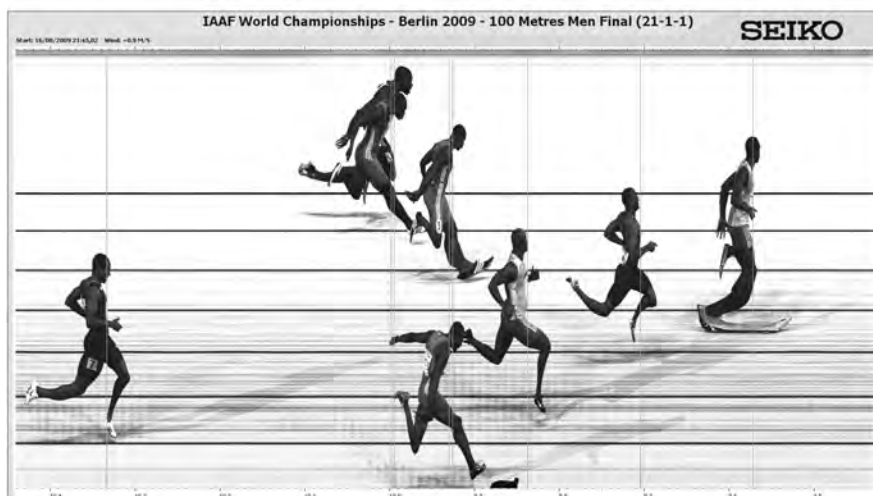
Fazit

Nutzenorientierte Grundlagenforschung stellt ein Leitmotiv für fachdidaktische Forschung dar, in dem es nicht nur möglich sein wird, wertvolle Beiträge zu den Grundlagen des Lernens und Lehrens der Physik zu liefern, sondern gleichzeitig auch Anregungen für die Schulpraxis und die Weiterentwicklung des Physikunterrichts zu geben. Wie das Beispiel zum Lernen der Newtonschen Mechanik zeigt, ist ein entsprechendes Vorgehen überaus ertragreich.

Literatur

- Fischer, F., Waibel, M., Wecker, Chr. (2005): Nutzenorientierte Grundlagenforschung im Bildungsbereich. In.: *ZfE* 8, 427-442.
- Girwidz, R., Kurz, G., Kauz, C. (2003): Zum Verständnis der Newtonschen Mechanik bei Studienanfängern – der Test, Force Concept Inventory – FCI – In: Nordmeier, V. (Red.): *Didaktik der Physik. Beiträge der Frühjahrstagung der DPG – Augsburg 2003*, Berlin
- Hopf, M., Waltner, C., Wilhelm, T., Wiesner, H. (2008). *Einführung in die Mechanik*. München, Würzburg.
- Jung, W., Reul, H., Schwedes, H. (1977). *Untersuchungen zur Einführung in die Mechanik in den Klassen 3-6*. Diesterweg.
- Müller, R., Wodzinski, R., Hopf, M. (Hrsg.) (2007): *Schülervorstellungen in der Physik*. Köln: Aulis.
- Rachel, A. (2008): *Simulationsprogramm zur zweidimensionalen Mechanik*. Online erhältlich unter: <http://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/> → Materialien
- Schörkhuber, B. (2009): *Konzeptverständnis der Erstsemestrigen Studierenden im Verlauf eines Semesters*. Universität Wien.
- Stokes, D. E. (1997): *Pasteur's Quadrant: Basic Science and Technological Innovation*. Washington: Brookings Institution Press.
- Wiesner, H. (1994): Zum Einführungsunterricht in die Mechanik: Statisch oder dynamisch. In: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie* (22), S.16-23.
- Wilhelm, Th., Waltner, Chr., Hopf, M., Tobias, V., Wiesner, H. (2009): Der Einfluss der Sachstruktur im Mechanikunterricht – quantitative Ergebnisse zur Verständnis- und Interessenentwicklung. In: Nordmeier V., Oberländer A. (Hrsg.): *Didaktik der Physik – Bochum 2009*. Berlin: Lehmanns Media.
- Wodzinski, R. (1996). *Untersuchungen von Lernprozessen beim Lernen Newtonscher Dynamik im Anfangsunterricht*. LIT

Usain Bolt's Rekordlauf



Acht Läufer qualifizierten sich für den Endlauf über 100m (Männer) bei der LA-Weltmeisterschaft 2009 in Berlin, der mit Usain Bolt's fabelhaften Weltrekord endete.

Aus den Daten der Tabelle (Quelle: <http://berlin.iaaf.org/>) lassen sich als Übungsaufgaben (grafisch oder rechnerisch) Durchschnittsgeschwindigkeiten der Läufer und Vorsprung des Siegers ermitteln. (RT: Reaktionszeit vom Startschuss bis Laufbeginn, t20 (etc.) die Laufzeit bis 20 m (etc.); Alle Zeiten in Sekunden).

Das Zielfoto wird mit einer Zeilenkamera aufgenommen und bietet Stoff zum Knobeln (http://berlin.iaaf.org/images/photofinish/3658/m_100_f_1.jpg).

| Läufer | Nation | RT | t20 | t40 | t60 | t80 | t100 |
|-------------------|------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Bolt Usain | JAM | 0,146 | 2,89 | 4,64 | 6,31 | 7,92 | 9,58 |
| Gay Tyson | USA | 0,144 | 2,92 | 4,70 | 6,39 | 8,02 | 9,71 |
| Powell Asafa | JAM | 0,134 | 2,91 | 4,71 | 6,42 | 8,10 | 9,84 |
| Bailey Daniel | ANT | 0,129 | 2,92 | 4,73 | 6,48 | 8,18 | 9,93 |
| Thompson Richard | TRI | 0,119 | 2,90 | 4,71 | 6,45 | 8,17 | 9,93 |
| Chambers Dwain | GBR | 0,123 | 2,93 | 4,75 | 6,50 | 8,22 | 10,00 |
| Bums Marc | TRI | 0,165 | 2,94 | 4,76 | 6,52 | 8,24 | 10,00 |
| Patton Darvis | USA | 0,149 | 2,96 | 4,85 | 6,65 | 8,42 | 10,34 |