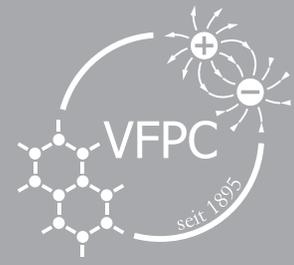


plusLucis



Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts



Gemischter Satz

ISSN 1606-3015

Ausgabe 2/2018

Impressum

PLUS LUCIS, Mitteilungsblatt des Vereins zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts und des Fachausschusses Physik & Schule der Österreichischen Physikalischen Gesellschaft (VZR: 668472729) Erscheint vierteljährlich

Medieninhaber und Herausgeber:

Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts
 Adr.: AECC Physik Universität Wien,
 Porzellangasse 4, Stiege 2, 1090 Wien

Im Web: <http://pluslucis.univie.ac.at>

Redaktion dieser Ausgabe:

Univ.-Prof. Dr. Martin Hopf
 AECC Physik, Universität Wien
 E-Mail: martin.hopf@univie.ac.at

Preis des Einzelhefts: € 6,-
 für Mitglieder € 3,- (ist im Mitgliedsbeitrag enthalten)

Die jährliche Abonnementgebühr für Nichtmitglieder beträgt € 20,-.

Offenlegung nach § 25 des Mediengesetzes: Grundlegende Richtung: Fortbildung und fachliche Information für Physik- und Chemielehrer, organisatorische Mitteilungen, Vereinsinterna.

Für die Inhalte der Artikel sind ausschließlich die namentlich genannten AutorInnen verantwortlich.

Beiträge werden erbeten an:

Univ.-Prof. Dr. Martin Hopf
 AECC Physik, Universität Wien
 E-Mail: martin.hopf@univie.ac.at

Univ.-Prof. Dr. Anja Lembens
 AECC Chemie, Universität Wien
 E-Mail: anja.lembens@univie.ac.at

Ass. Prof. Dr. Claudia Haagen-Schützenhöfer
 Universität Graz, Physikdidaktik
 E-Mail: claudia.haagen@uni-graz.at

Es wird erbeten, Beiträge nach Möglichkeit per E-Mail einzureichen. Bevorzugtes Dateiformat: MS Word. Bilder im tif- oder jpg-Format.

Titelbild (Umschlag):

Jill Wellington via pixabay.com

Heftkoordination:

Mag. Dr. Thomas Plotz

Layout: Maria Wasserburger, BSc

Inhalt

Die Grundbegriffe der newtonschen Mechanik.....	4
<i>Rainer Müller</i>	
Der weltweit „einfachste“ und älteste Motor	13
<i>Hermann Härtel</i>	
Elektromagnetische Induktion in neuer Perspektive.....	17
<i>Hermann Härtel</i>	
Lernprozesse fördern und diagnostizieren.....	21
<i>Heiko Krabbe</i>	
Die Physikolympiade – ein funktionierendes Förderkonzept?	27
<i>Michael Schwarzer</i>	
Schokolade oder Handyakku?.....	29
<i>Michael Pillei</i>	
Start eines Wetterballons.....	32
<i>Michael Himmelsbach</i>	
Das ÖAMTC Fahrtechnikzentrum als außerschulischer Lernort	35
<i>Ronald Binder</i>	
Wie viele Wissenskulturen gibt es?.....	36
<i>Peter Schmid</i>	

Editorial

Nach Spranger kann man den unerwünschten Nebenwirkungen nicht entgehen, egal wie man sich entscheidet. Über lange Jahre erschien Plus Lucis einmal im Jahr, manchmal sogar mit noch größerer Verzögerung. Das lag auch daran, dass es nicht immer ganz einfach war, Kolleginnen und Kollegen dazu zu bewegen, einen Artikel für die Zeitschrift zu verfassen. Doch seit fast zwei Jahren „läuft es“ – dank des Engagements vieler Menschen und besonders unseres Schriftleiters Thomas Plotz - wie nie zuvor. Es erscheinen bemerkenswerte Themenhefte, es gibt viele Ideen, AutorInnen und HerausgeberInnen und Sie erhalten zuverlässig vier Ausgaben im Jahr. Und so kam es zu einer unerwünschten Nebenwirkung: Manche Kolleginnen und Kollegen haben schon vor langer Zeit schöne Manuskripte eingereicht, die aber nicht direkt zu einem der Themenhefte der vergangenen Zeit passten. Daher entschieden wir uns dafür, ein Heft ohne ein umfassendes Thema zu gestalten. Im „Gemischten Satz 2018“ erscheinen nun verschiedene Beiträge, die in den letzten Jahren für unsere Zeitschrift eingereicht worden sind.

Besonders freut mich, dass Müller sich entschieden hat, den ersten Beitrag des Hefts bei Plus Lucis einzureichen. Seit Jahrhunderten beschäftigen sich Physikerinnen und Physiker mit der Frage der begrifflichen Schärfe in der Newton'schen Mechanik. Sind die verschiedenen Zusammenhänge jeweils Definitionen, Axiome oder empirische Zusammenhänge? Wie Müller zeigt, ist das nicht einfach zu beantworten. In seinem für alle Lehrkräfte höchst bedeutsamen Beitrag stellt er einen möglichst zirkelfreien Zugang vor.

Ähnlich schwierig erweist sich immer wieder der Versuch, den einfachsten Motor der Welt sauber zu erklären. Sie alle kennen die Anordnung aus Magnet, Schraube, Batterie und Draht sicherlich. Härtel stellt im zweiten Beitrag des Heftes eine scharfe Analyse der mit diesem Versuch verbundenen Erklärungsschwierigkeiten vor.

In seinem zweiten Beitrag widmet sich Härtel der Induktion. Ausgehend von Überlegungen zur geschichtlichen Entwicklung des Induktionsgesetzes stellt er das Webersche Kraftgesetz vor, das ähnlich wie die heute verwendeten Gesetzmäßigkeiten die Induktion gut erklären kann.

Im Beitrag von Krabbe wird Einblick in zwei Projekte aus der aktuellen physikdidaktischen Forschung gegeben. Zum einen stellt Krabbe vor, dass es sich lohnt, sich intensiv um eine Strukturierung des Physikunterrichts zu bemühen. Seine



Martin Hopf

Studie zeigt, dass eine Orientierung an den Basismodellen des Unterrichts deutliche Effekte auf die Lernergebnisse von Schülerinnen und Schülern haben. Unklarer sind die Ergebnisse hinsichtlich des Einsatzes von Concept Maps, die Krabbe im zweiten Teil seines Beitrags diskutiert. Der Beitrag ist ursprünglich im Kontext eines Symposiums zur Physikdidaktik in Mainz 2016 entstanden, auf dem verschiedene Ansätze und Strömungen der Physikdidaktik einander gegenübergestellt und diskutiert wurden. Viele andere Beiträge des Symposiums sind in Heft 2/2016 erschienen.

Schwarzer stellt im nächsten Beitrag Forschungsergebnisse dazu vor, wie gut die Physikolympiade als Instrument der Begabungsförderung wirkt. Sein Resümee ist recht klar: Nutzen Sie diesen Wettbewerb! Leider gibt es wie vor gibt nur recht wenige Schulen, die entsprechende Kurse anbieten.

Im Beitrag von Himmelsbach erhalten Sie eine detaillierte Anleitung, wie Sie vorgehen müsste, um gemeinsam mit Schülerinnen und Schülern einen Wetterballon starten zu lassen. Trotz des nicht unerheblichen Aufwandes für ein solches Projekt lohnt sich die Anstrengung auf alle Fälle.

Pillei gibt in seinem Beitrag Einblicke in Unterrichtsmaterial zum Thema Verkehr, um Ihnen die Materialiensammlung „intelligent unterwegs“ vorzustellen. Als Beispiel stellt er die Unterrichtseinheit „Schokolade oder Handyakku“ im Detail vor.

Ebenfalls ums Thema Verkehr dreht sich der nächste Beitrag. Binder stellt darin ein neues Angebot des ÖAMTC zur Verkehrssicherheit für Schulklassen vor, das gemeinsam mit der Arge der AHS-Lehrkräfte in Niederösterreich entwickelt wurde.

Den Abschluss des Heftes bildet ein Beitrag von Schmid, des Roman-Sexl-Preisträgers von 2017 zur Frage, wie viele Wissenskulturen es gibt.

Die Grundbegriffe der newtonschen Mechanik

Rainer Müller

1. Axiom oder Gesetz?

In den meisten Darstellungen der newtonschen Mechanik werden die Grundbegriffe (wie Masse oder Kraft) und Grundgesetze (newtonsches Bewegungsgesetz, Trägheitsgesetz) mit einem auffällig geringen Aufwand an begrifflicher Schärfe eingeführt. Fachliche Darstellungen und Schulbücher unterscheiden sich hierin nur wenig (auch z. B. [1] bildet keine Ausnahme). Das liegt unter anderem daran, dass die Thematik tatsächlich außerordentlich komplex ist. Das newtonsche Axiomensystem bildet ein Geflecht aus Begriffsfestlegungen und empirischen Gesetzmäßigkeiten, das nicht einfach zu entwirren ist und sich gegen eine lineare Darstellung geradezu sträubt. Diese Schwierigkeit ist bereits von jeher gesehen worden. Schon Heinrich Hertz [2] schrieb 1894, „dass es sehr schwer ist, gerade die Einleitung in die Mechanik denkenden Zuhörern vorzutragen, ohne einige Verlegenheit, ohne das Gefühl, sich hier und da entschuldigen zu müssen, ohne den Wunsch, recht schnell über die Anfänge hinwegzugelangen zu Beispielen, welche für sich selbst reden.“

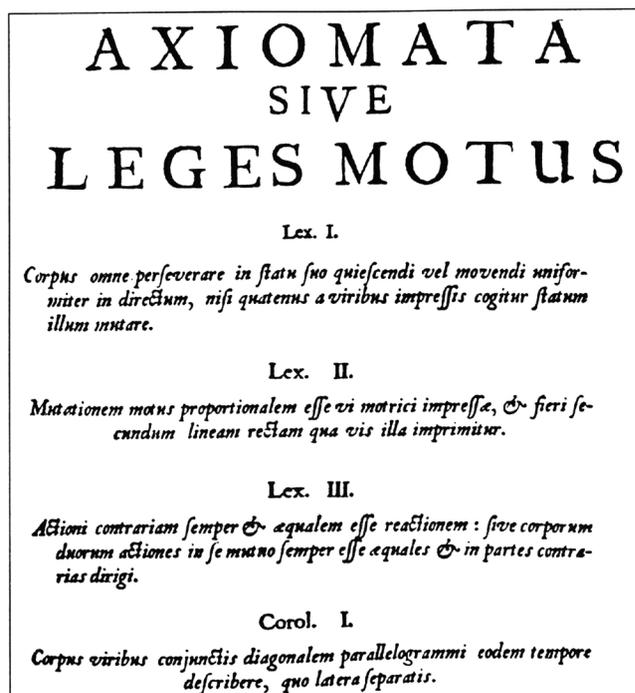


Abb. 1: Axiome oder Gesetze der Bewegung? Newton verwendet beide Begriffe.

Die Problematik wird bereits bei Newton deutlich, der in seinen „Principia“ in Bezug auf den Status seiner Grundgesetze unklar bleibt. Sind es „Axiome“, also unhinterfragte Forderungen, die ähnlich wie in mathematischen Axiomensystemen an den Anfang der Überlegungen gestellt werden und eigentlich nur die verwendeten Begriffe festlegen? Oder sind es Naturgesetze, die einer experimentellen Prüfung fähig sind und sich auch

als empirisch falsch erweisen können? Zwischen beiden Möglichkeiten schwankend, überschreibt er die entsprechenden Abschnitte mit „Axiomata sive leges motus“, also „Axiome oder Gesetze der Bewegung“ (Abb. 1).

Für den Unterricht in der Mechanik ist das eine unglückliche Situation. Denn selbst wenn es nicht möglich ist, den Unterschied zwischen Axiom, Begriffsdefinition und empirischer Gesetzmäßigkeit immer herauszuarbeiten, sollte er Lehrerinnen und Lehrern doch bewusst sein. Doch schon der Blick in die Schulbücher zeigt: Zur Einführung der newtonschen Gesetze in der Oberstufe wird zwar ein hoher Aufwand getrieben. Aber gerade in Bezug auf den Status der newtonschen Gesetze und ihrer Begrifflichkeit sind die Darstellungen meist vage, verwirrend oder gar inkonsistent.

Der vorliegende Artikel stellt den Versuch dar, in dieser Hinsicht mehr Klarheit zu schaffen. Gleich zu Anfang muss allerdings gesagt werden, dass die Komplexität des Themas eine eindeutige Klärung nicht zulässt. Es kann hier verschiedene Zugänge geben. Auch wenn die Argumentation sehr komplex erscheint – einfacher geht es wohl nicht. Es handelt sich hier keineswegs um den Versuch, eine möglichst pedantische Einführung zu geben. Im Gegenteil geht es um den einfachsten möglichen zirkelfreien Zugang. Jede weitere Vereinfachung in der Darstellung ist didaktische Reduktion.

Es ist klar, dass der im Folgenden beschriebene Zugang zu komplex für den Unterricht in der Schule ist. Es ist auch nicht das Ziel des Artikels, den Mechanikunterricht noch schwerer verständlich zu machen, als er schon ist. Im Gegenteil: Es soll gezeigt werden, dass die komplizierten Argumentationen, die vor allem im Zusammenhang mit dem Fahrbahnversuch in vielen Schulbüchern zu finden sind, weit davon entfernt sind, die angestrebte wissenschaftliche Strenge zu erreichen. Vielleicht ist es unter diesen Umständen sinnvoll, die ohnehin nicht erreichte Strenge für eine bessere Verständlichkeit zu opfern.

Der Versuch, die Gesetze der Mechanik auf einer begrifflich tragfesten Grundlage einzuführen, wird oft als „axiomatischer Zugang“ bezeichnet – eine vielleicht nicht ganz glückliche Bezeichnung, denn der Status der einzuführenden Begriffe und Gesetze soll ja erst geklärt werden. Die bekannteste Axiomatik der newtonschen Mechanik stammt von Ludwig [3]. Während er viel Sorgfalt auf die Klärung der kinematischen Größen verwendet, bleibt seine Darstellung gerade im Hinblick auf das zweite newtonsche Gesetz und auf die Definitionen von Masse und Kraft merkwürdig unbefriedigend. Die beiden Begriffe bleiben bei Ludwig im Wesentlichen unerklärt; es wird hier auf

die experimentelle Erfahrung verwiesen.

Max Jammer diskutiert in [4] ausführlich die geschichtliche Entwicklung des Massebegriffs und die verschiedenen Vorschläge zu einer systematischen Einführung des Massebegriffs. Dabei hervorzuheben ist der Ansatz von Mach, den Begriff der Masse über das Wechselwirkungsprinzip zu definieren [5, S. 212]. Zwei Körper, die sich frei von sonstigen Einflüssen gegenüberstehen, erteilen sich nach Mach gegenseitig die gleichen Beschleunigungen, falls sie die gleiche Masse haben. Erfahren beide Körper unterschiedliche Beschleunigungen, haben sie nicht die gleiche Masse. Ihr Masseverhältnis wird dann durch das Verhältnis der Beschleunigungen definiert. Mach setzt dabei die Gültigkeit des 3. newtonschen Gesetzes, des Wechselwirkungsprinzips, voraus. In seinem Zugang ist es ein Axiom, dass keiner experimentellen Prüfung bedarf oder fähig ist [5, S. 214]: „Der auf die angegebene Weise gewonnene Massebegriff macht die besondere Aufstellung des Gegenwirkungsprinzips unnötig. Es ist nämlich im Massebegriff und im Gegenwirkungsprinzip [...] wieder dieselbe Tatsache zweimal formuliert, was überflüssig ist.“

Die vorliegende Arbeit stützt sich insbesondere auf die Sichtweise von Audretsch [6, 7], dessen Zugang sich als „konstruktive Axiomatik“ bezeichnen lässt. Sein Ausgangspunkt sind nicht abstrakte Begriffe, sondern Handlungen und Beobachtungen. Ähnlich geartete Ansätze verfolgt Ehlers [8] in einer Axiomatik der allgemeinen Relativitätstheorie.

2. Offene Fragen

Sammeln wir zunächst einige Fragen, die in den Darstellungen der newtonschen Mechanik meist offen bleiben und dadurch das Verständnis erschweren:

1. Ist das Trägheitsgesetz nur ein Sonderfall des newtonschen Bewegungsgesetzes? Geht es tatsächlich aus $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ hervor, wenn $\vec{F} = 0$ ist? Newton hat beide Gesetze als unabhängige Axiome angeführt. Ist ihm wirklich in all den Jahrzehnten der Arbeit an den Principia nicht aufgefallen, dass die geradlinig-gleichförmige Bewegung gleichbedeutend mit $\vec{a} = 0$ ist?
2. Die Gleichung $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ definiert den Begriff der Masse, aber auch den Begriff der Kraft. Wie kann eine einzige Gleichung zwei Begriffe gleichzeitig definieren? Ist die Definition dadurch nicht unterbestimmt?
3. Wenn die Gleichung $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ tatsächlich eine Definitionsgleichung ist, dann kann sie grundsätzlich nicht wahr oder falsch sein. Warum führen wir dann aber Experimente durch, um sie empirisch zu testen? Weshalb kommt uns die experimentelle Überprüfung von $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ nicht ebenso sinnlos vor wie ein Projekt zur Überprüfung der Frage, ob alle Schimmel wirklich weiße Pferde sind?

4. Falls die Gleichung $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ nicht nur eine Definitionsgleichung ist: Ist es logisch überhaupt möglich, dass eine Gleichung gleichzeitig Definition (die nicht wahr oder falsch sein kann) und Naturgesetz (das empirisch prüfbar sein muss) sein kann?
5. Ist es vielleicht nötig, die Begriffe Kraft und (träge) Masse logisch unabhängig vom newtonschen Bewegungsgesetz zu definieren? Dann wäre dieses ein empirisches Gesetz, das bekannte Größen in Beziehung setzt, ähnlich wie z. B. $E = \frac{1}{2} m v^2$ Geschwindigkeit und kinetische Energie verknüpft. Wie aber ließe sich die träge Masse unabhängig von $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ einführen?

3. Theoriefreie Begriffsdefinitionen?

Ein scheinbar einfacher Ausweg aus dem Problem der Begriffsdefinitionen entpuppt sich leider als Sackgasse. Man könnte zum Beispiel argumentieren, dass im SI-Einheitensystem bereits zweifelsfrei definiert ist, was ein Kilogramm ist. Masse ist das, was wir mit einer Waage messen, und als Referenz dient das in Paris aufbewahrte Urkilogramm.

Eine solche Überlegung entspricht dem fünften Aufzählungspunkt oben. Der Begriff der Masse ließe sich isoliert von sonstigen mechanischen Begriffen durch ein Messverfahren festlegen, jedenfalls für alle praktischen Zwecke. Damit hätten wir einen festen Punkt gewonnen, von dem aus wir in der Festlegung der anderen Begriffe der Mechanik voranschreiten könnten.

Leider ist dieser Ansatz zum Scheitern verurteilt. Er scheitert zusammen mit der Illusion, man könne theoriefrei messen. Der Versuch, die naturwissenschaftliche Erkenntnis auf theoriefreie Beobachtungen, auf „Protokollsätze“, zu stützen, wurde im Logischen Empirismus zu Beginn des 20. Jahrhunderts unternommen. Er ist spätestens mit Pierre Duhems Einwand über die „Theoriebeladenheit der Beobachtung“ [9] gescheitert, dem zufolge bei einem Experiment niemals eine Einzelaussage, sondern immer ein ganzes Bündel von Theorien geprüft wird – denn zur Interpretation der Wahrnehmungen benötigen wir immer Theorien, wie unsere Messgeräte funktionieren. Duhem führt das Beispiel der Lupe an, unter der die Objekte einen Rand, bestehend aus den Regenbogenfarben, aufzuweisen scheinen – ohne die Interpretation durch eine optische Theorie sind bereits bei diesem einfachen Instrument die reinen Beobachtungssätze von begrenztem Wert.

Im vorliegenden Zusammenhang ist der Begriff der Masse relevant. Können wir die Masse nicht einfach theoriefrei durch das Urkilogramm und ein einfaches Messverfahren zum Massenvergleich definieren? Um zu zeigen, dass dies nicht möglich ist, betrachten wir ein besonders einfaches Messgerät: die Balkenwaage. Um mit ihr festzustellen, ob die Masse eines Gegenstandes exakt ein Kilogramm beträgt, legt man den Gegenstand in die eine Schale der Balkenwaage und das Urkilogramm in die andere Schale. Aber halt: Lassen sich mit

der Balkenwaage eigentlich Gegenstände mit unterschiedlichem Volumen vergleichen? Nur durch Rückgriff auf unser Theoriewissen können wir sagen, dass das keineswegs der Fall ist. Denn Gegenstände mit unterschiedlichem Volumen verdrängen unterschiedlich viel Luft und erfahren daher unterschiedliche Auftriebskräfte.

Zum Messen mit der Balkenwaage brauchen wir somit eine Korrekturtheorie, die zumindest die Hydrostatik umfassen muss. Da die Hydrostatik aber kaum ohne die Begriffe Masse oder Dichte formulierbar ist, sind wir in einem logischen Zirkel gefangen: Um den Begriff der Masse durch die Messung mit einer Balkenwaage einzuführen, benötigen wir eine Messtheorie, die den Begriff der Masse bereits voraussetzt.

Auch die zur Festlegung der heutigen SI-Einheiten verwendeten Messtheorien sind keineswegs elementar oder einfach, sondern umfassen das gesamte verfügbare physikalische Wissen. Beispielsweise muss zur Realisierung der Sekunde mit Hilfe von Atomuhren die allgemeine Relativitätstheorie herangezogen werden. Ohne die von ihr vorhergesagte Abhängigkeit des Uhrgangs vom Gravitationspotential könnte man den Gangunterschied zweier Atomuhren, deren Standhöhe sich nur um wenige Zentimeter unterscheidet, nicht verstehen. In ähnlich komplexer Weise wird im Rahmen der Revision des SI das Kilogramm neu definiert: durch Festlegung des numerischen Werts der planckschen Konstante h , der charakteristischen Größe der Quantenphysik.

4. Das Münchhausen-Trilemma

Bei der Balkenwaage ist das Problem des Luftauftriebs natürlich nicht unüberwindlich. Zum Beispiel könnte man die Waage im Vakuum betreiben. Dieser Einwand trifft aber nicht den hier gemeinten Punkt. Es geht um das erkenntnistheoretische Problem der Letztbegründung. Jede Argumentation – nicht nur in der Physik – braucht einen gesicherten Ausgangspunkt in Form von grundlegenden Sätzen, die nicht weiter angezweifelt werden. Diese grundlegenden Sätze sind aber nicht auf einfache Weise zu bekommen. Der Philosoph Hans Albert hat mit seinem „Münchhausen-Trilemma“ [10] erläutert, weshalb das Problem der Letztbegründung aus logischen Gründen scheitern muss:

Wenn man für alles eine Begründung verlangt, muss man auch für die Erkenntnisse, auf die man jeweils die zu begründende Auffassung ... zurückgeführt hat, wieder eine Begründung verlangen. Das führt zu einer Situation mit drei Alternativen, die alle drei unakzeptabel erscheinen, also: zu einem Trilemma, das ich angesichts der Analogie, die zwischen unserer Problematik und dem Problem, das der bekannte Lügenbaron einmal zu lösen hatte, das Münchhausen-Trilemma nennen möchte. Man hat hier offenbar nämlich nur die Wahl zwischen:

1. *einem infiniten Regress, der durch die Notwendigkeit gegeben scheint, in der Suchenach Gründen immerweiter zurückzugehen, der aber praktisch nicht durchzuführen ist und daher keine sichere Grundlage liefert;*

2. *einem logischen Zirkel in der Deduktion, der dadurch entsteht, dass man im Begründungsverfahren auf Aussagen zurückgreift, die vorher schon als begründungsbedürftig aufgetreten waren, und der ebenfalls zu keiner sicheren Grundlage führt; und schließlich:*
3. *einem Abbruch des Verfahrens an einem bestimmten Punkt, der zwar prinzipiell durchführbar erscheint, aber eine willkürliche Suspendierung des Prinzips der zureichenden Begründung involvieren würde.*

Ein Beispiel für einen logischen Zirkel haben wir bei der Balkenwaage bereits gefunden. Alberts Argumentation zeigt, dass es sich hierbei nicht um einen Einzelfall handelt, sondern dass man bei jedem Versuch einer Letztbegründung bei einer der drei Alternativen landet.

Der infinite Regress entsteht durch das Immer-weiter-Fragen, das man von den „Und warum?“-Fragen von Kindern gut kennt, bei denen man dazu neigt, die dritte Alternative, den Abbruch des Verfahrens mit einem „Weil es eben so ist“, anzuwenden.

Ein anderes Beispiel für den Abbruch des Verfahrens sind die Axiomensysteme der Mathematik: Euklids Axiome der Geometrie werden nicht begründet, sondern gelten als gesetzt. Auch der Rückzug auf nicht hinterfragte für wahr gehaltene Sätze (Glaubenssätze, Dogmen oder Offenbarungen) fällt in diese Kategorie.

5. Fundierung in der Alltagspraxis

Das Münchhausen-Trilemma lehrt uns, dass Letztbegründungen nicht zu erreichen sind. Das gilt auch für den Anfang der Mechanik. Wir dürfen hier nicht mit strengen Begriffsdefinitionen oder unhintergehbaren Grundwahrheiten rechnen. Hier liegt vermutlich der tiefere Grund für das Unbehagen vieler Physiker an den Grundlagen der Mechanik, das Hertz in der anfangs zitierten Passage so deutlich zum Ausdruck gebracht hat.

Die Antwort der konstruktivistischen Axiomatik auf das Münchhausen-Trilemma ist die Fundierung in der Alltagspraxis, in der vorwissenschaftlichen Erfahrung. Auch ohne wissenschaftlichen Massebegriff haben die Menschen schon immer Mehl und Butter gewogen, sie haben Bier und Wein abgemessen und sich über Längen und Zeiten verständigt. All dies geschah nicht mit großer Präzision, aber historisch sind es tatsächlich die einfachen Verfahren gewesen, aus denen sich die präzisen wissenschaftlichen Messungen allmählich entwickelt haben. Der konstruktivistische Zugang reagiert auf das Münchhausen-Trilemma dadurch, dass die Alltagspraxis einen Satz von Begriffen zur Verfügung stellt, der für die vorläufige Verständigung ausreicht und von denen jeder bei Bedarf hinterfragt und ausgeschärft werden kann, aber nicht muss. Die Alltagspraxis stellt somit eine gemeinsame Verständigungsbasis bereit, von der ausgehend die wissenschaftlichen Begriffe

ausgeschärft werden können. Durch Bezug auf das „immer schon“ [11] wird aus dem logischen Zirkel eine Spirale.

Beim Entwickeln der newtonschen Mechanik muss man zum Beispiel zunächst nicht genauer klären, was unter einer „geraden Linie“ zu verstehen ist. Die gespannte Schnur, die Maurer und Gärtner von jeher zum Herstellen geradliniger Wände und Beete nutzen, reicht als vorläufige Begriffsexplikation aus. Später, bei Entwicklung der allgemeinen Relativitätstheorie, muss der Begriff der geraden Linie tatsächlich neu gefasst und durch den Begriff der Geodäten in einer gekrümmten Raum-Zeit ersetzt werden. Diesen Schritt muss man dann aber nicht aus dem Nichts heraus tun, sondern man hat bereits das entwickelte Begriffssystem der newtonschen Mechanik als Ausgangspunkt zur Verfügung.

Die begriffliche Spirale verläuft somit in einer ungebrochenen Linie von der handwerklichen Alltagspraxis über die newtonsche Mechanik bis hin zu den Effekten der allgemeinen Relativitätstheorie, die nur mit den empfindlichsten Detektionsmethoden nachweisbar sind.

6. Trägheitsgesetz und Inertialsysteme

Das Trägheitsgesetz erläutert den Begriff des Inertialsystems, der die Voraussetzung für die Formulierung des newtonschen Bewegungsgesetzes bildet. Es handelt sich um spezielle Bezugssysteme, die sich dadurch auszeichnen, dass sie linear unbeschleunigt und nichtrotierend sind. Damit ist nicht gemeint „unbeschleunigt und nichtrotierend relativ zu bestimmten anderen Körpern“ sondern „unbeschleunigt und nichtrotierend in einem absoluten Sinn“. Was dies bedeutet, bedarf einer Erklärung. Interessanterweise gehört das Auffinden dieser Erklärung zu den erkenntnistheoretisch anspruchsvollsten Problemen der Mechanik. Erstaunlich ist das deshalb, weil wir körperlich spüren können, wenn wir uns in einem beschleunigten Bezugssystem befinden – der Reiz von Kettenkarussell und Achterbahn liegt genau darin. Trotzdem ist es verblüffend schwierig, beschleunigte Bezugssysteme von Inertialsystemen abzugrenzen, ohne in eine zirkuläre Definition des Kraftbegriffs zu geraten (den wir an dieser Stelle noch nicht als wissenschaftlichen Terminus voraussetzen dürfen).

Der Begriff des Inertialsystems wurde erst 1885, also 200 Jahre nach Newton, von Ludwig Lange eingeführt [12]. Vorher begnügte man sich mit dem „absoluten Raum“ und der „absoluten Zeit“, die Newton in seinen Principia als Voraussetzung für die Beschreibung von Bewegungen zugrunde legte. Problematisch war, dass niemand einen Bezugskörper für den absoluten Raum angeben konnte. Die Erde war es ganz sicher nicht, was man mit Foucaults Pendelversuch auch experimentell demonstrieren konnte. Aber auch die Sonne konnte man nicht als Referenz heranziehen, denn die Eigenbewegung mancher Sterne war bekannt, und wieso sollte ausgerechnet die Sonne im absoluten Raum ruhen? Der absolute Raum erwies sich also als ein gedankliches Konstrukt ohne offensichtliche Realisierung

in der beobachtbaren Realität. Darüber hinaus erschien es unbefriedigend, die Formulierung des Trägheitsgesetzes von bestimmten Objekten der Astronomie abhängig zu machen, von den „Zufälligkeiten des Weltalls“. Ein Grundgesetz der Mechanik sollte sich vielmehr auf rein dynamische Begriffe beziehen.

Bei Lange sind es „sich selbst überlassene“ Punkte oder Teilchen, deren Bahnen wir beobachten. Das Wort Punkte ist hierbei nicht mathematisch zu verstehen, sondern soll nur bedeuten, dass die räumliche Ausdehnung der betrachteten Objekte (Bälle oder Ähnliches) für die Überlegungen keine Rolle spielt. Wie man von hier, bezugnehmend zunächst nur auf Alltagsbegriffe, in einer Spiralebewegung zum Trägheitsgesetz und zum Begriff des Inertialsystems gelangt, soll im Folgenden dargestellt werden.

7. Bezugssysteme und geradlinige Bewegung

Um die Bewegung von Körpern beschreiben zu können, müssen wir Orte und Zeiten angeben. Die Bezugssysteme, auf die sich unsere Messungen immer beziehen müssen, legen wir zunächst in handwerklich denkbar einfacher Weise fest. Wir spannen Schnüre, die uns gerade Linien festlegen und bringen an ihnen durch wiederholtes Abtragen eines Längenmaßes (zum Beispiel eines Stöckchens) Abstandsmarkierungen an.

Ein dreidimensionales rechtwinkliges Gitter aus gespannten Schnüren lässt sich mit einem Winkelmaß realisieren, das wir mittels einer Pythagoras-Konstruktion (Dreieck mit den Seitenlängen 3, 4 und 5 Einheiten) anfertigen. Dieses Gitter legt ein Bezugssystem für die Beschreibung von Bewegungen fest. Es ist nicht eindeutig; es gibt viele solcher Bezugssysteme, die durch Drehungen und Relativbewegungen auseinander hervorgehen.

Ein erster Begriff, den wir mit dem so hergestellten Gitter festlegen können, ist der Begriff der geradlinigen Bewegung. Wenn wir ein Bezugssystem finden können, in dem sich ein Körper entlang einer der gespannten Schnüre bewegt, dann sagen wir, dass sich der Körper geradlinig bewegt. Damit ist noch keine empirische Aussage über die Natur verbunden. Zu jeder Bewegung lassen sich immer Bezugssysteme finden, in dem sich der betreffende Körper geradlinig bewegt, ja sogar Bezugssysteme, in denen der Körper ruht. Ein solches Bezugssystem heißt ein Ruhesystem für den betreffenden Körper.

8. Freie Teilchen

Inertialsysteme werden durch die Bewegung von „freien“ oder „sich selbst überlassenen“ Teilchen definiert – womit unverkennbar gemeint ist, dass auf die betrachteten Teilchen keine Kräfte wirken sollen. Da wir aber an dieser Stelle auf den wissenschaftlichen Kraftbegriff noch nicht zurückgreifen

können, weil wir ja gerade daran arbeiten, ihn durch die Abweichung von der kräftefreien Bewegung einzuführen, sind wir tief im Münchhausen-Trilemma gefangen.

Der Ausweg ist einmal mehr das Ausgehen von der Alltagspraxis, vom vorwissenschaftlichen Verständnis. Um „freie Teilchen“ zu identifizieren, beginnen wir beim Offensichtlichen und schließen zunächst alle Körper, die von Schnüren, Federn, Aufhängungen beeinflusst sind, aus der Betrachtung aus. In diese Richtung zielt auch Langes Formulierung des frei in den Raum gestoßenen und dann sich selbst überlassenen Teilchens.

Wir müssen aber auch nach nicht unmittelbar sichtbaren Kräften suchen, indem wir Gegenstände probenhalber aus dem Labor entfernen und beobachten, ob sich dadurch etwas an der Bewegung der betrachteten Teilchen ändert (später kann man diese Gegenstände – z. B. Magnete oder elektrisch geladene Körper – wieder nutzen, um die Wirkung von Kräften zu untersuchen). Die schrittweise Annäherung an das Ideal der freien Teilchen ist ein iterativer Prozess, den man als Abschirmen bezeichnen kann. Problematisch ist die Gravitationskraft, die sich nicht abschirmen lässt. Auf sie müssen wir gesondert eingehen.

Wenn wir auch im Lauf der Zeit Erfahrungen sammeln, mit welchen Verfahren sich freie Teilchen immer besser realisieren lassen, ist das Ergebnis immer als vorläufig zu betrachten. Es kann sich jederzeit herausstellen, dass es Einflüsse gibt, die wir nicht berücksichtigt haben. Dann sind neue Abschirmungen nötig – aber es bietet sich auch die Gelegenheit zur Untersuchung „neuer Physik“.

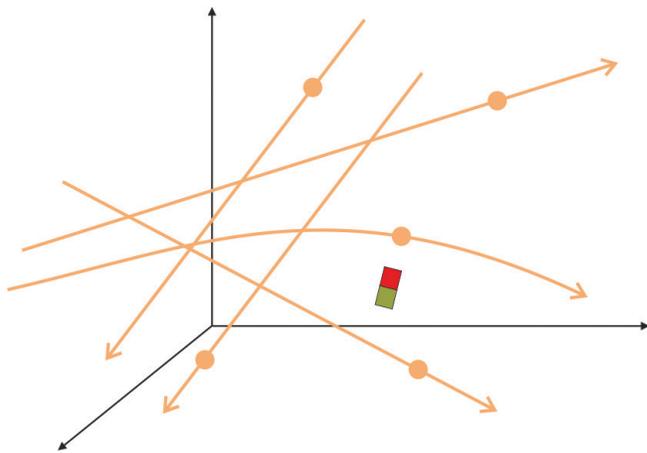


Abb. 2: Ein Schwarm von in den Raum gestoßenen und dann sich selbst überlassenen Teilchen. Eines davon beschreibt eine gekrümmte Bahn. Es ist zu prüfen, ob man Gegenstände finden kann, auf deren Einfluss man die Abweichung von der geradlinigen Bewegung zurückführen kann.

9. Unbeschleunigte und nichtrotierende Bezugssysteme

Mit den auf diese Weise vorläufig identifizierten freien Teilchen führen wir nun Experimente durch. Sie werden weggestoßen und sich selbst überlassen. Dabei nutzt die Beobachtung eines

einzelnen Teilchens noch wenig. Wir müssen einen ganzen Schwarm von Teilchen beobachten, die in verschiedene Richtungen gestoßen werden (Abb. 2). Bei der Beobachtung ihrer Bahnen kann dann einer der folgenden drei Fälle eintreten:

1. *Alle Teilchen bewegen sich auf geradlinigen Bahnen.* Dann nennen wir das Bezugssystem, in dem wir die Bewegung beschreiben, **unbeschleunigt** und **nichtrotierend**. Dieses Beobachtungsergebnis beinhaltet eine über die Definition hinausgehende empirische Aussage: Es lassen sich in der Natur solche Bezugssysteme auffinden. Es wäre auch das gegenteilige experimentelle Ergebnis denkbar: dass es mit keinem noch so großen Bemühen gelingt, diese Situation herzustellen.
2. *Manche Teilchen bewegen sich auf geradlinigen, manche auf gekrümmten Bahnen.* In diesem Fall ist der Prozess der Abschirmung noch nicht weit genug vorangetrieben. Man muss prüfen, ob man Gegenstände finden kann, auf deren Einfluss sich die Abweichung von der geradlinigen Bewegung zurückführen lässt (Abb. 2).
3. *Alle oder fast alle Teilchen bewegen sich auf gekrümmten Bahnen.* In diesem Fall könnte es sich um ein vollständiges Versagen aller Abschirmungsbemühungen handeln. Wenn dies ausgeschlossen werden kann, liegt ein linear beschleunigtes oder rotierendes Bezugssystem vor.

Nachdem auf diese Weise der schwierige Begriff des freien Teilchens erklärt ist, können wir unbeschleunigte und nichtrotierende Bezugssysteme in Kurzform folgendermaßen charakterisieren:

In unbeschleunigten und nichtrotierenden Bezugssystemen bewegen sich freie Teilchen auf geradlinigen Bahnen.

Zwar lässt sich die newtonsche Mechanik auch in linear beschleunigten und rotierenden Bezugssystemen formulieren, aber zur Einführung der Grundbegriffe müssen wir diese Bezugssysteme ausschließen und uns auf unbeschleunigte und nichtrotierende Bezugssysteme beschränken.

Es ist bemerkenswert, dass wir von Längen- oder Zeitmessungen bisher keinerlei Gebrauch machen mussten (außer zur Konstruktion der rechtwinkligen Bezugssystem-Achsen, die aber in die bisherigen Überlegungen noch nicht eingeflossen sind). Alles, was wir zur Explikation der Begriffe des freien Teilchens und des unbeschleunigten und nichtrotierenden Bezugssystems voraussetzen mussten, war der Begriff der geradlinigen Bahn. Dazu treten die vorwissenschaftlichen Begriffe, mit denen wir z. B. den Vorgang der Abschirmung beschrieben haben. Der schwierigste Schritt auf dem Weg zur Einführung der newtonschen Gesetze ist damit getan.

10. Die Sonderrolle der Gravitation

Es wurde schon erwähnt, dass die Gravitation eine Sonderrolle spielt. Sie lässt sich nicht abschirmen. In unserer Alltagswelt können wir täglich beobachten, dass sich geworfene Körper nicht auf geraden Bahnen bewegen, dass also der oben beschriebene Fall 3 eintritt. Lässt sich die Nicht-Abschirmbarkeit der Gravitation durch Auffinden eines geeigneteren Bezugssystems beheben?

Das ist in der Tat möglich: Man muss sich dazu in ein frei fallendes Bezugssystem begeben. Frei fallend heißen Körper, wenn sie sich nur unter dem Einfluss der Gravitation bewegen. In einem frei fallenden Behälter (etwa im Fallturm in Bremen) bewegen sich geworfene Körper tatsächlich auf geraden Bahnen. Bekannt ist auch der Parabelflug, bei dem das Flugzeug die Flugbahn eines frei fallenden Körpers verfolgt (wegen des Luftwiderstands müssen dazu trotzdem die Triebwerke laufen). Dabei herrscht nicht nur Schwerelosigkeit, sondern geworfene Körper bewegen sich auch auf geradlinigen Bahnen. Ein weiteres Beispiel für ein frei fallendes Bezugssystem ist eine Raumstation wie die ISS, die sich auf ihrer Umlaufbahn nur unter dem Einfluss der Gravitation bewegt.

Frei fallende Bezugssysteme bieten somit eine Möglichkeit, unbeschleunigte und nichtrotierende Bezugssysteme auch unter dem Einfluss von Gravitation zu realisieren. Dies ist allerdings nur lokal möglich, insofern man das Gravitationsfeld als homogen (d. h. überall gleich gerichtet) ansehen kann.

11. Uhren und Inertialzeit

Mit Hilfe von Längen- und Zeitmessungen können wir die Bahnen freier Teilchen noch genauer charakterisieren. Um logische Zirkel zu vermeiden, gehen wir zunächst wieder von vorwissenschaftlichen Verfahren der Längen- und Zeitmessung aus, wie es historisch z. B. Galilei durch Bezug auf den Pulsschlag und mit Wasseruhren getan hat. Mit diesen einfachen Mitteln lässt sich die Bewegung freier Teilchen untersuchen. Es zeigt sich, dass sie in gleichen Zeitspannen gleiche Wege zurücklegen – so gut es jedenfalls mit den vorhandenen Messmitteln überprüfbar ist. Bessere Uhren und genauere Maßstäbe, die wir später unter Benutzung der voll entwickelten Theorie konstruieren, bestätigen diese Feststellung. Durch Bezug auf das gleichmäßige Fortschreiten freier Teilchen lässt sich eine „Inertialzeit“ definieren, bei der die Zeit durch die Position eines freien Teilchens angezeigt wird. Im wissenschaftlichen Spiralprozess der Konstruktion immer besserer Uhren stellt man Konsistenz fest: Die so definierte Inertialzeit weicht nicht von der „Pendelschwingungs-Zeit“ oder der „Atom-Zeit“ ab.

Wieder begegnet uns hier der Doppelcharakter von Definition und empirischer Aussage. Betrachtet man die Bewegung eines einzelnen freien Teilchens, kann diese zur Festlegung einer Zeitskala herangezogen werden, die unabhängig von Pulsschlag, Pendeln oder Atomen ist. Damit handelt es sich um eine Definition. Die empirische Aussage liegt darin, dass die

Bewegung *jedes weiteren* freien Teilchens *gleichförmig* ist – bezogen auf die durch das erste Teilchen definierte Zeitskala. Dies ist eine im Experiment prüfbare Aussage, die jederzeit durch ein gegenteiliges experimentelles Ergebnis falsifiziert werden könnte.

Auch bei der Überprüfung der Gleichförmigkeit kann der Fall auftreten, dass sie nur für einige, aber nicht für alle Teilchen festgestellt werden kann. Dann handelt es sich möglicherweise wieder um unzureichende Abschirmung, d. h. das betreffende Teilchen ist vielleicht gar kein freies Teilchen. Wie im oben behandelten Fall 2 muss dann nach Gegenständen gesucht werden auf deren Einfluss die Abweichung von der gleichförmigen Bewegung zurückgeführt werden kann.

12. Inertialsysteme und Trägheitsgesetz

Ein unbeschleunigtes und nichtrotierendes Bezugssystem, in dem Zeitspannen mit Uhren gemessen werden, die sich nach der Inertialzeit richten, heißt Inertialsystem. Mit diesem Begriff sind wir nun in der Lage, das Trägheitsgesetz zu formulieren:

Trägheitsgesetz: In Inertialsystemen ist die Bewegung freier Teilchen geradlinig und gleichförmig.

Man erkennt nun, dass das Trägheitsgesetz keineswegs als spezieller Fall des newtonschen Bewegungsgesetzes für $\vec{F} = 0$ misszuverstehen ist. In der knappen Formulierung, die wir ihm gegeben haben, sind es vor allem die Begriffe „Inertialsystem“ und „freies Teilchen“, die erklärungsbedürftig sind. Beide Begriffe werden zur Formulierung des newtonschen Bewegungsgesetzes nötig sein. Nur in Inertialsystemen hat das newtonsche Bewegungsgesetz seine vertraute Gestalt, und der Begriff der Kraft lässt sich erst als Abweichung von der geradlinig-gleichförmigen Bewegung der freien Teilchen formulieren. Die Bewegung der freien Teilchen entspricht damit bildlich gesprochen der „Nullstellung“ eines Kraftmessgeräts, die mit dem Kenntlichmachen freier Teilchen erst gefunden werden muss.

13. Versuche zum newtonschen Bewegungsgesetz

Jede Abweichung eines Körpers von der geradlinig-gleichförmigen Bewegung führen wir auf die Einwirkung einer Kraft zurück. Der Begriff Kraft wird dadurch definiert. Um von einer bloßen Benennung zur Definition einer physikalischen Größe zu gelangen, müssen wir Kräfte und ihre Wirkungen quantitativ erfassen. Dabei zeigt sich einmal mehr der Doppelcharakter von Definition und empirischem Gesetz, der entscheidend für die Beantwortung der zu Anfang des Kapitels gestellten Fragen ist.

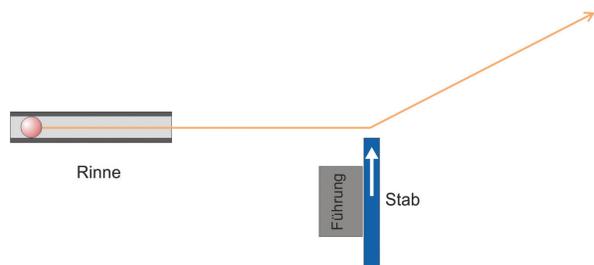


Abb. 3: Stoßversuch von Jung zur Einführung des newtonschen Bewegungsgesetzes. Mit dem Stab wird eine Kraft auf die Kugel ausgeübt. Sie bewirkt eine Geschwindigkeitsänderung $\Delta \vec{v}$.

Die Grundstruktur des newtonschen Bewegungsgesetzes lässt sich z. B. mit dem auf Jung zurückgehenden senkrechten Stoßversuch plausibel machen, der im Unterrichtskonzept zur zweidimensionalen Mechanik von Wiesner et al. [13] eine zentrale Rolle spielt (Abb. 3). In der Sprache der vorigen Abschnitte lassen sich die Ergebnisse wie folgt zusammenfassen:

1. Die rollende Kugel ist eine näherungsweise Realisierung eines sich selbst überlassenen freien Teilchens. Sie bewegt sich geradlinig.
2. Die Abweichung von der geradlinigen Bewegung wird vom stoßenden Stab bewirkt. Wir interpretieren das als die Wirkung einer Kraft.
3. Die entscheidende Größe zur Beschreibung der Wirkung einer Kraft ist die **Geschwindigkeitsänderung** $\Delta \vec{v}$ bzw. die **Beschleunigung** \vec{a} . Das ist eine empirische Aussage. Alternative Hypothesen (wie etwa die häufig geäußerte Schülervorstellung $\vec{v}_{\text{nach}} \sim \vec{F}$ (dass also die Richtung der Geschwindigkeit nach dem Stoß der Krafrichtung entspricht) erweisen sich im Experiment als falsch.

Das Experiment führt uns zu einem quantitativen Zusammenhang der Form:

$$\vec{f} = \vec{a},$$

wobei \vec{a} die Beschleunigung und \vec{f} eine „kraftartige“ Größe ist, die begrifflich noch näher ausgeschärft werden muss. Es zeigt sich nämlich experimentell, dass noch ein anderer Faktor eine Rolle spielen muss, der nicht der Einwirkung (dem stoßenden Stab), sondern dem beschleunigten Körper zuzuordnen ist. Die gleiche Einwirkung verursacht nämlich bei verschiedenen Körpern unterschiedliche Geschwindigkeitsänderungen (beispielsweise bei Fußball und Medizinball). Wir führen dies auf eine Eigenschaft der Körper zurück, die als **Masse** bezeichnet wird. Die Aufgabe besteht nun darin, Kraft und Masse begrifflich zu trennen und dabei zwischen Definition und empirischem Naturgesetz zu unterscheiden.

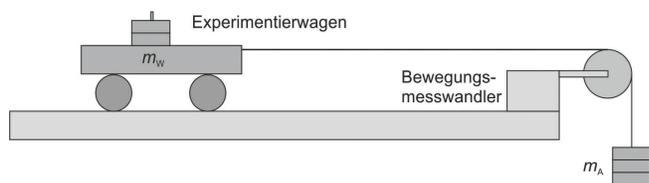


Abb. 4: Grundsätzlicher Aufbau des Fahrbahnversuchs

Dazu eignet sich der in den meisten Oberstufen-Schulbüchern (z. B. [14]) beschriebene Fahrbahnversuch (Abb. 4). Seine beiden Teile liefern die prinzipielle Vorgehensweise: Im ersten Teil (konstant gehaltene Kraft) wird der Begriff der Masse festgelegt; der zweite Versuchsteil (konstant gehaltene Masse) dient zur Definition des Begriffs Kraft.

Die beiden Versuche – senkrechter Stoß und Fahrbahnversuch – haben dabei unterschiedliche Rollen: Der senkrechte Stoß dient dazu, die Grundstruktur des newtonschen Bewegungsgesetzes zu erkunden und eine experimentell prüfbare Hypothese zu formulieren (Kräfte verursachen Geschwindigkeitsänderungen). Im Fahrbahnversuch wird diese Hypothese quantitativ geprüft, und es werden die Parameter identifiziert, die die Bewegungsänderung beeinflussen.

14. Der Begriff Masse

Der erste Teil des Versuchs (Abb. 5) wird mit *unterschiedlichen Körpern* in einer *gleichbleibenden Umgebung* durchgeführt. Das soll bedeuten: Wir setzen verschiedene Körper der jeweils gleichen Einwirkung aus und untersuchen die daraus resultierende Beschleunigung. Im Fahrbahnversuch bedeutet „gleiche Einwirkung“, dass wir immer das gleiche Gewichtsstück über die Umlenkrolle zur Beschleunigung verwenden (sozusagen als „Referenzkraft“ – ohne dass uns das Wort Kraft schon zur Verfügung stünde). Wir könnten aber auch eine beliebige andere Einwirkung festlegen (ein bestimmter Magnet, eine bestimmte Feder), solange nur die Versuchsumstände jeweils genau bestimmt sind.

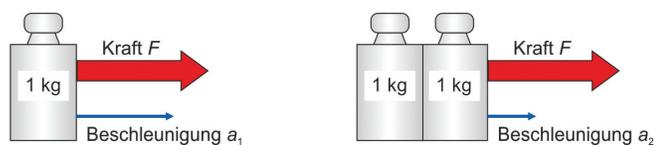


Abb. 5: Beschleunigung verschiedener Körper mit konstanter Kraft

Wir setzen also Kontrollierbarkeit bzw. Reproduzierbarkeit voraus. In Abb. 5 soll der in beiden Teilbildern gleich gezeichnete rote „Kraftpfeil“ diese gleichbleibenden Versuchsumstände symbolisieren. Dass die beschleunigte Gesamtmasse beim Fahrbahnversuch auch noch das absinkende Gewichtsstück umfasst, ist eine Eigenheit dieser speziellen Versuchsanordnung, die beim Experimentieren berücksichtigt werden muss, im Folgenden aber nicht weiter thematisiert werden soll.

Zur Einführung des Massebegriffs wird nun nicht mit beliebigen unterschiedlichen Körpern experimentiert, sondern in ganz bestimmter Weise. Wir greifen uns einen beliebigen Körper heraus und versehen ihn mit der Aufschrift „1 kg“. Mit diesem Körper führen wir den Fahrbahnversuch durch und messen die Beschleunigung, die er fährt. Nun fertigen wir eine möglichst exakte Kopie des 1-kg-Körpers an. Bevor wir weiter experimentieren, stellen wir eine axiomatische Forderung auf:

Die Masse ist additiv. Die Masse eines aus zwei gleichen Körpern zusammengesetzten Systems ist doppelt so groß wie die Masse der einzelnen Körper.

Damit ist der Begriff der Masse quantitativ erfasst. Wir können die drei grundlegenden Operationen durchführen, durch die eine physikalische Größe quantitativ beschrieben wird:

1. Feststellen der *Gleichheit*: Zwei Körper haben die gleichen Masse, wenn sie von der oben definierten Referenzwirkung gleich beschleunigt werden.
2. Festlegung der *Vielfachheit*: Was es bedeutet, dass ein Körper die doppelte, dreifache oder zehnfache Masse hat wie ein anderer wird durch die im Merksatz aufgestellte Forderung festgelegt. Ein Körper mit der Masse 3 kg erfährt z. B. im Fahrbahnversuch die gleiche Beschleunigung wie drei Kopien des 1-kg-Körpers. Durch Verfeinerung der Vergleichsmassen lassen sich im Prinzip beliebig genaue Massenvergleiche herbeiführen.
3. Festlegung der *Einheit*: Um die Einheit der Masse, das Kilogramm, festzulegen, wird ein materieller Referenzkörper herangezogen (das Urkilogramm).

Mit dieser Massedefinition erhalten wir eine empirische Aussage aus dem Versuch: Bei doppelter Masse ist die Beschleunigung halb so groß (Abb. 5), oder allgemeiner: Die Beschleunigung ist umgekehrt proportional zur Masse.

$$a \sim \frac{1}{m}$$

15. Definition der Kraft

Im zweiten Versuchsteil (Abb. 6) wird mit *demselben Körper* in *unterschiedlichen Umgebungen* experimentiert. Der gleiche Körper wird unterschiedlichen Einwirkungen (Kräften) ausgesetzt und die daraus resultierende Beschleunigung bestimmt. Im Fahrbahnversuch werden unterschiedlich viele Gewichtsstücke zur Beschleunigung verwendet – bei konstanter Gesamtmasse. Mit Hilfe dieser Experimente wird der Begriff der Kraft festgelegt.



Abb. 6: Beschleunigungsversuch mit konstanter Masse

Es liegt nahe, ganz analog zum ersten Versuchsteil vorzugehen und ein „Kraftnormal“ samt einer Kräfteinheit festzulegen. Das ist möglich, aber unbefriedigend. Der Grund dafür ist, dass es nicht gelingt, überzeugend die Vielfachheit – also das Doppelte einer Kraft – zu definieren.

Dazu wissen wir an dieser Stelle noch zu wenig über die in der Natur vorkommenden Kräfte. Üben zwei Magnete eine doppelt so große Kraft auf einen Eisenkörper aus wie ein einzelner? Stimmt die so definierte „doppelte Kraft“ mit derjenigen überein, die man bei der analogen Definition mit zwei Spiralfedern erhält? Das sind Fragen, die man lieber später

empirisch im Experiment klären möchte, als sie durch eine axiomatische Forderung festzulegen.

Viel natürlicher erscheint es, die Kraft anhand ihrer beschleunigenden Wirkung zu *definieren*. Die doppelte Kraft bewirkt die doppelte Beschleunigung (bei gleicher Masse). Damit ist die Beziehung

$$\vec{F} \sim \vec{a}$$

eine *Definition*, die sich nicht im Experiment überprüfen lässt. Der zweite Versuchsteil im Fahrbahnexperiment testet damit kein Naturgesetz, sondern bestätigt nur, dass wir mit doppelt so vielen Massestücken eine doppelt so große Gewichtskraft realisieren können.

16. Der erkenntnistheoretische Status des newtonschen Bewegungsgesetzes

Fassen wir noch einmal zusammen, welche Funktionen das newtonsche Bewegungsgesetz $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ im vorliegenden Zugang in verschiedenen Zusammenhängen erfüllt. Damit werden die am Eingang des Artikels gestellten Fragen beantwortet. Allerdings fällt die Antwort komplexer aus, als es uns vermutlich lieb gewesen wäre.

1. Das newtonsche Bewegungsgesetz enthält die *empirische Aussage*: Kräfte bestimmen die Beschleunigung eines Körpers, sie ändern seine Geschwindigkeit. Diese Aussage wird mit Experimenten wie dem senkrechten Stoß getestet, in dem sich zeigt, dass sich alternative Vorstellungen (etwa $\vec{v}_{\text{nach}} \sim \vec{F}$) im Experiment nicht bestätigen lassen.
2. Es *definiert* die Gleichheit von zwei Massen: Zwei Körper haben die gleiche Masse, wenn sie durch die gleiche Kraft die gleiche Beschleunigung erfahren.
3. Es enthält weiterhin als *empirische Aussage*: Bei konstanter Kraft ist die Beschleunigung umgekehrt proportional zur Masse der Körper. Diese Aussage lässt sich in Experimenten überprüfen, in denen man Körper unterschiedlicher Masse durch die gleiche Kraft beschleunigt (unterschiedliche Körper in gleichbleibender Umgebung).
4. Es *definiert* die Kraft durch ihre beschleunigende Wirkung. Kräfte lassen sich in Beschleunigungsexperimenten messen, in denen der jeweils gleiche Körper in unterschiedliche Umgebungen gebracht wird.

Nachdem nun die Begriffe der Kraft und der Masse geklärt sind, kann das newtonsche Bewegungsgesetz zur weiteren Erforschung der Natur genutzt werden. Die linke Seite von $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ muss noch mit Leben gefüllt werden, indem verschiedene Kräftearten untersucht werden: Das newtonsche Bewegungsgesetz legt nur den universellen Kraftbegriff fest. Die in der Natur vorkommenden spezifischen Kräfte können mit seiner Hilfe quantitativ untersucht werden, und es lassen sich Kraftgesetze auffinden. Erst dadurch wird aus dem newtonschen Bewegungsgesetz ein anwendbares Werkzeug zur Beschreibung von Naturphänomenen.

Von der Spiralfeder bis zur Gravitation und zur elektromagnetischen Wechselwirkung lassen sich Kräfte nun untersuchen und vergleichen. Weil durch die Kraftdefinition geklärt ist, was unter „gleich großen Kräften“ zu verstehen ist, muss man Kraftmessungen auch nicht ausschließlich über Beschleunigungsversuche vornehmen, sondern kann sie z. B. mit Hilfe einer Spiralfeder durchführen (Kraftmesser).

Beim Erforschen der Kraftgesetze zeigt sich fernerhin, dass nicht alle Körper gleicher Masse in der gleichen Umgebung gleich reagieren. Die Größe einer Kraft, die in einer bestimmten Umgebung auf einen Körper wirkt, hängt nicht nur von den Eigenschaften der Umgebung ab, sondern auch von bestimmten Eigenschaften der Körper. Es wird notwendig, *Ladungen* als Eigenschaften von Körpern zu definieren. Beim Erforschen der Kraftgesetze gilt es, diese Merkmale nach und nach herausfinden.

Es erscheint nicht von vornherein sicher, dass solch komplexes Programm zur Erforschung der Natur von Erfolg beschieden sein kann. Die Geschichte der Physik zeigt, dass diese der Fall ist. Einer der Gründe dafür ist sicher, dass es nur eine Handvoll fundamentaler Wechselwirkungen gibt, deren Gesetze eine

relativ unkomplizierte Struktur aufweisen. Die Grundgesetze der Physik sind einfach -- deshalb ist die Physik so erfolgreich.

Aus wissenschaftstheoretischer Perspektive bleibt auf einen letzten Punkt hinzuweisen: Es ist interessant, dass das hier aufgestellte System zur Definition der Grundbegriffe der Mechanik keineswegs eindeutig bestimmt ist. In verschiedenen Zugängen kann sich der Status von Aussagen ändern: Was hier eine Definition ist, kann dort ein empirisches Gesetz sein. Instruktiv ist insbesondere der Vergleich mit der oben erwähnten Massedefinition nach Mach [5], wo die Masse durch Rückgriff auf das Wechselwirkungsprinzip definiert wird, das damit seinen empirisch prüfbareren Charakter verliert. Innerhalb des Rahmens der newtonschen Mechanik ändert sich dadurch die Bedeutung der Begriffe nicht. Sofern die verschiedenen Zugänge das Kriterium der inneren Konsistenz erfüllen, sind sie gleichberechtigt, und es kann höchstens untersucht werden, ob einer von ihnen im Hinblick auf weiterführende Theorien zweckmäßiger erscheint.

Rainer Müller TU Braunschweig

Literatur

- [1] R. Müller, *Klassische Mechanik – vom Weitsprung zum Marsflug*, Berlin: de Gruyter (2009).
- [2] H. Hertz, *Die Prinzipien der Mechanik in neuem Zusammenhange dargestellt*, Leipzig: Meiner (1894), S. 8.
- [3] G. Ludwig, *Einführung in die Grundlagen der theoretischen Physik*. Band 1: Raum, Zeit, Mechanik. Düsseldorf: Bertelsmann (1974).
- [4] M. Jammer, *Concepts of Mass in Classical and Modern Physics*, Mineola: Dover (1997).
- [5] E. Mach, *Die Mechanik in ihrer Entwicklung*, Leipzig: Brockhaus (1883); zit. nach dem reprografischen Nachdruck der 9. Auflage von 1933 (Darmstadt, wiss. Buchgesellschaft 1993).
- [6] J. Audretsch, *Ist die Raum-Zeit gekrümmt? Der Aufbau der modernen Gravitationstheorie*. In: J. Audretsch, K. Mainzer (Hrsg.), *Philosophie und Physik der Raum-Zeit*, Mannheim: BI (1988).
- [7] J. Audretsch, *Konstruktionen -- Was der Physiker von der Wirklichkeit weiß*. In: J. Audretsch und K. Nagorni (Hrsg.), *Von Wissen und Weisheit - Theologie und Naturwissenschaft im Gespräch*, Evangelische Akademie Baden, Karlsruhe, 2008.
- [8] J. Ehlers, *Einführung der Raum-Zeit-Struktur mittels Lichtstrahlen und Teilchen*. In: J. Audretsch, K. Mainzer (Hrsg.): *Philosophie und Physik der Raum-Zeit*, Mannheim: BI (1988).
- [9] P. Duhem, *Ziel und Struktur der physikalischen Theorien*, Leipzig: Johann Ambrosius Barth (1908), S. 201 ff.
- [10] H. Albert, *Traktat über kritische Vernunft*, Tübingen: Mohr Siebeck (1968; 51991), S. 15 f.
- [11] W. Kamlah, P. Lorenzen, *Logische Propädeutik. Vorschule des vernünftigen Redens*, Mannheim: BI (1973).
- [12] L. Lange, *Ueber die wissenschaftliche Fassung des Galilei'schen Beharrungsgesetzes*, *Philosophische Studien* 2, 266 (1885).
- [13] H. Wiesner et al., *Mechanik I: Kraft und Geschwindigkeitsänderung. Neuer fachdidaktischer Zugang zur Mechanik (Sek. 1)*, Aulis-Verlag, (2011).
- [14] R. Müller (Hrsg.), *Dorn/Bader Physik III Niedersachsen, Einführungsphase Klasse 11*, Braunschweig: Westermann (2018).

Der weltweit „einfachste“ und älteste Motor

Wie erklärt man seine Funktionsweise?

Hermann Härtel

1. Einführung

Vor einiger Zeit wurde in verschiedenen Veröffentlichungen über einen Motor berichtet, der in seiner Einfachheit wahrlich nicht zu überbieten ist [1] - [5]. Er besteht aus 4 Komponenten: einer 4,5 V Batterie, einem zylinderförmigen Neodymium-Magneten, einer eisenhaltigen spitzen Holzschraube und einem kurzem Kupferkabel. Wie in den Veröffentlichungen beschrieben, können diese Komponenten im Handumdrehen, wie in Abb. 1 dargestellt, zusammengesetzt werden.

Nach Schließen des Stromkreises beginnen Schraube und Magnet zu rotieren und dies zur Überraschung der Zuschauer mit einer verblüffend hohen Drehzahl. Es sei auch hier jedem Lehrer empfohlen, diesen Motor selbst auszuprobieren und in der Klasse vorzuführen. Dies allerdings nicht nur des verblüffenden Effektes wegen.

Dieser Motor ist in didaktischer Hinsicht aus zweierlei Gründen von besonderem Interesse:

Er hat eine Geschichte, die fast 200 Jahre bis in die Anfänge der Elektrizitätslehre zurückreicht. Faraday konstruierte einen ähnlichen Motor im Jahre 1821 und kurz darauf gelang Ampère die Demonstration, daß sich ein Magnet um die eigene Achse dreht.

Über seine Funktionsweise haben schon Ampère und Faraday gestritten und auch einige der Autoren der genannten Veröffentlichungen [2] [3] bieten eine Erklärung an, die auf den ersten Blick im Einklang mit der traditionellen Schulmeinung steht, aber doch sehr fundamentale Fragen aufwirft.

Über den ersten Punkt, der Geschichte des Motors, kann man bei Assis nachlesen und auch über die Kontroverse zwischen Faraday und Ampère bezüglich dieses Motors [6].

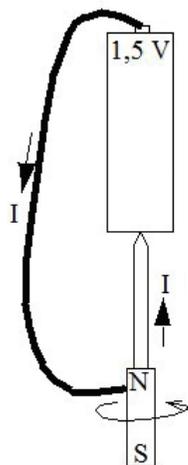


Abb. 1: Der „einfachste“ Motor (siehe Text)

Der traditionellen Erklärung, für welche die Lorentzkraft grundlegend ist, soll im folgenden tiefer nachgegangen werden.

Problematische Erklärung

In einer der genannten Veröffentlichungen [2] wird die Abbildung 2 zur Erklärung der Funktionsweise des „einfachsten“ Motors angeboten.

Der elektrische Strom durchquert das Magnetfeld des zylinderförmigen Magneten. Dabei wird eine Lorentzkraft auf den Strom ausgeübt und - so heißt es - diese Kraft wird zu einem

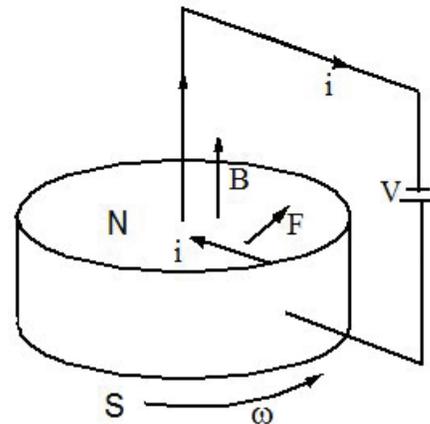


Abb. 2: Schematische Darstellung des einfachsten Motors (nach [2]).

auf den Magneten ausgeübten Drehmoment transformiert und versetzt diesen in Rotation.

Da irgendwelche Hinweise, wie eine solche Transformation erfolgen kann, fehlen, könnte man schlußfolgern, daß diese Lorentzkraft - eine innere Kraft - den Magneten in Rotation versetzen kann

2. Das Problem

Hier stellt sich die Frage: Wie soll es möglich sein, daß sich ein Körper, durch innere Kräfte angetrieben, in Rotation versetzt, oder anders formuliert: wie transformiert sich diese Kraft zu einem Drehmoment? Fehlen entsprechende Hinweise, so ist eine solche Erklärung unbefriedigend.

In der Kontroverse zwischen Faraday und Ampère ging es um dieselbe Frage: Kann sich ein Körper durch innere Kräfte in Rotation versetzen? Ampère bestand darauf, daß eine solche Rotation nur durch eine Einwirkung von außen bewirkt werden kann, und er lieferte auch eine entsprechende Erklärung durch sein Kraftgesetz [6][7].

3. Das Experiment

Diese Frage läßt sich durch ein einfaches Experiment beantworten. Wenn man um den Magneten einen etwas dickeren Aluminiumring legt, so verlegt man damit die Kontaktstelle in einen Bereich mit deutlich verkleinertem Magnetfeld.

Für die Vertreter der Lorentzkraft im Innern des Magneten dürfte sich durch den leitend mit dem Magneten verbundenen Alu-Ring nichts ändern. Der Strom fließt in gleicher Stärke durch das Innere des Magneten, das Magnetfeld bleibt unverändert und somit auch die Wirkung der im Innern postulierten Lorentzkraft.

Das Ergebnis ist eindeutig. Schon bei einem Alu-Ring mit einer Wandstärke von 1 mm ist es deutlich schwieriger, den Magneten in Rotation zu versetzen.

Bei einer Wandstärke von 5 mm ist kaum noch eine Rotation zu erzeugen. Ein im Netz verfügbares Video zeigt den Versuchsablauf. [8]

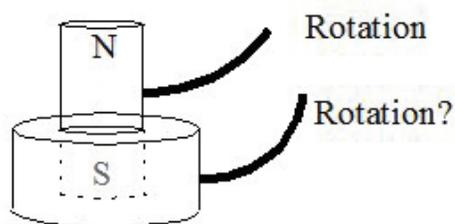


Abb. 3: Anordnung zur Verlegung der Kontaktstelle nach außen

Im Netz finden sich weitere Berichte über bestätigende Experimente, bei denen u.a. der Neodymium-Magnet feststeht und der Leiterkreis rotiert, natürlich in die entgegengesetzte Richtung [9] [10].

4. Diskussion

Nimmt man den Satz vom Erhalt des Drehimpulses sowie das Newtonsche actio=reactio-Prinzip ernst, so sollte eigentlich von vorne herein klar sein, daß innere Kräfte die Rotation nicht bewirken können, sondern daß hierfür eine Einwirkung von außen erforderlich ist.

Eine solche Erklärung auf der Grundlage der Lorentzkraft im Zusammenhang mit dem beschriebenen Motor wurde schon veröffentlicht [5]. In dieser Veröffentlichung liegt der Fokus auf der Wechselwirkung des außerhalb des Magneten fließenden Stromes in der Nähe der Kontaktstelle mit dem dort vorherrschenden starken Magnetfeld. Abb. 4 verdeutlicht diese Erklärung.

Betrachtet wird der Strom an dem Punkt P. Dort wirkt auf Grund des Magnetfeldes die Lorentzkraft F_I auf die bewegten Ladungsträger. Und dann heißt es lapidar: Auf Grund des Newtonschen Prinzips von actio und reactio übt dann der Strom auf den Magneten eine gleich große entgegengerichtete Kraft F_M aus. Durch das dadurch bedingte Drehmoment rotiert

der Magnet in der angegebenen Richtung.

Nun könnten neugierige Schüler fragen, woher denn der Strom „weiß“ dass er eine Reaktionskraft aufzubringen hat und wie er das denn macht?

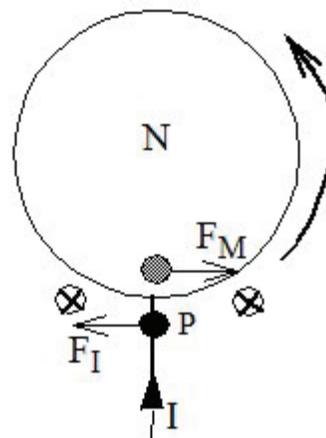


Abb. 4: Aufsicht auf den Motor mit Angabe der Kraft und Gegenkraft

Dann müßte man mehr ins Detail gehen, von kreisenden mikrophysikalischen Kreisströmen im Innern des Magneten sprechen, ein Magnetfeld des Stromes innerhalb des Magneten konstatieren, welches dort unabhängig von dem starken Feld des Magneten eine Lorentzkraft auf die vielen Kreisströme aufbringt und müßte schließlich behaupten, daß wegen des Prinzips actio=reactio diese Kraft genau so groß und entgegengesetzt gerichtet ist wie die Kraft F_I auf den Strom am Punkt P.

Nun stellt sich aber die Frage, ob der Hinweise auf das Newtonsche Prinzip von actio=reactio überhaupt zutreffend ist, um die Funktionsweise des Motors zu erklären.

Durchquert nicht der Strom zunächst das äußere Magnetfeld (Richtung vom Nord- zum Südpol) sowie das innere Magnetfeld (Richtung vom Süd- zum Nordpol)? Entstehen dadurch nicht zwei entgegengerichtete Lorentzkräfte? Erklärt dies nicht die Rotation, sofern diese beiden Kräfte auf zwei getrennte Körper einwirken? Und erklärt dies nicht zwanglos, warum die Rotation ausbleibt, wenn der Angriffspunkt der einen Kraft im Alu-Ring fest mit dem Magneten verbunden ist? Kann man hier von actio=reactio sprechen? Oder ist auch dieser Erklärungsversuch unzulässig?

Damit wird ein Verständnisproblem angesprochen, das der Lorentzkraft seit je anhängt: Sie ist eine Kraft, welche die Angriffspunkte von actio und reactio an zwei getrennte Punkte verlegt und die Richtung der beiden Kräfte nicht in Richtung der interagierenden Partner, wie bei der Gravitation und der Coulombkraft, sondern in die durch die Rechte-Hand-Regel vorgegebenen Richtungen bestimmt.

Wenn man dann noch liest, welche umfangreiche Kritik an der Schulphysik zum Thema Lorentzkraft und Induktion vorgebracht wurde [11], ist es doch verwunderlich, dass zu einem so wichtigem Thema als Grundlage der Elektrizitätslehre

und der Elektrotechnik so wenig Einigkeit unter Experten vorherrscht.

Da erklärt z.B. Feynman [12]:

„We know of no other place in physics where such a simple and accurate general principle requires for its real understanding an analysis in terms of two different phenomena.“

Wir kennen keine andere Stelle innerhalb der Physik, an der für das tiefere Verständnis eines einfachen und exakten Prinzips die Analyse zweier verschiedener Phänomene erforderlich ist (Übersetzung H.H.)

Gemeint sind hier das Flußgesetz und die Lorentzkraft, die je nach den vorliegenden Versuchsbedingungen angewendet werden, um das Auftreten einer Ringspannung zu deuten.

Ein Beispiel: Relativbewegung von Spule und Dauermagnet

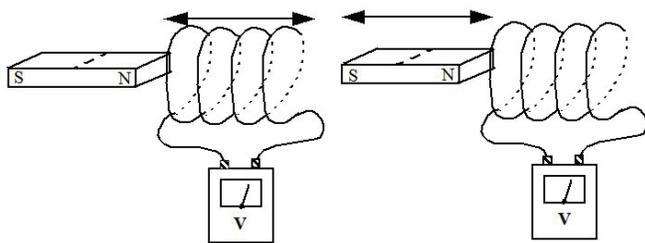


Abb. 5: links: Deutung der Induktion als bewirkt durch eine Lorentzkraft; rechts: Deutung der Induktion durch eine Änderung des magnetischen Flusses

Bewegt sich die Spule in Abb. 5. relativ zum Labor und zum Dauermagneten, so erklärt die Lorentzkraft die auftretende Induktionsspannung. Bewegt sich der Dauermagnet relativ zum Labor und relativ zur Spule, so liefert nur das Flußgesetz eine Erklärung. Dabei handelt es sich jedesmal um den identischen Versuch: eine Relativbewegung zwischen Spule und Dauermagnet.

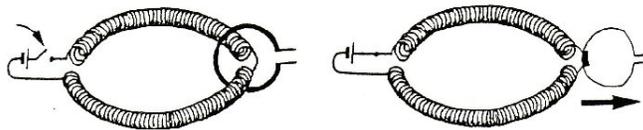


Abb. 6: Gleiches Induktionsergebnis trotz unterschiedlicher Versuchsdurchführung (siehe Text)

Ein weiteres Beispiel: Torroidförmige Spule mit einer Testspule
Beim Einschalten des Stroms tritt im linken Versuch längs der gesamten Test-Leiterschleife ein elektrisches Wirbelfeld in Folge von $\text{rot } \mathbf{E} = -\text{dB}/\text{dt}$ auf.

Bei dem rechten Versuch wird quantitativ das gleiche Wirbelfeld erzielt, jedoch findet - laut Schulphysik - in diesem Fall eine Wechselwirkung zwischen dem Magnetfeld und den Elektronen innerhalb der Leiterschleife nach der Gleichung $\mathbf{F} = q (\mathbf{v} \times \mathbf{B})$ statt, aber jeweils nur in den gekennzeichneten Teilen. Wieder gibt es zwei verschiedene Erklärungen für das quantitativ gleiche Resultat.

Weiterhin behauptet Feynman, daß es Versuchsbedingungen gibt, bei denen sowohl eine Änderung des magnetischen Flusses ohne das Auftreten einer Induktionsspannung zu beobachten ist, als auch das Auftreten einer Flußänderung ohne Induktion. Als Beispiele werden die in Abb.7 dargestellten Apparaturen angeführt.

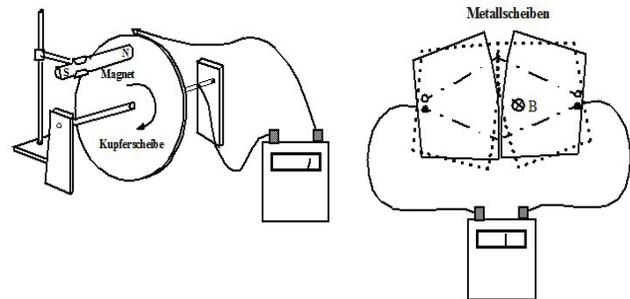


Abb. 7: Induktion ohne Flußänderung (oben)
Keine Induktion trotz Flußänderung (unten) (nach [12])

Dagegen heißt es dann bei Hübel [11]:

Den Beispielen von Feynman ist zu widersprechen. Solche Beispiele werden in den meisten Lehrbüchern warnend aufgeführt, damit das integrale Induktionsgesetz nicht zu schematisch angewendet wird. Der wahre Kern dieser Warnungen liegt darin, dass das integrale Induktionsgesetz richtig angewendet werden sollte, nicht darin, dass es angeblich gelegentlich nicht zutreffe.

5. Ausblick

Gäbe es keine Alternative zur Lorentzkraft und zum Flußgesetz, dann müßte man nur noch darüber streiten, wann welches Gesetz und in welcher Form es anzuwenden ist. Dann wäre die Natur nun einmal so kompliziert, dass sie eine elektrische Kraft bereitstellt, die nicht, wie bei der Gravitationskraft und der Coulombkraft, in Richtung der Interaktionspartner wirkt, sondern senkrecht zu maßgebenden Richtungen bezüglich dieser Partner. Und schließlich müßte man akzeptieren, daß es keinen Mechanismus gibt, der erklärt, wieso eine Änderung des magnetischen Flusses eine elektrische Ringspannung induziert. Nun gibt es aber eine Alternative, welche die experimentellen Ergebnisse unverändert läßt, die aber die Interpretation der Induktionsvorgänge wesentlich vereinfacht. Sie wurde schon vor über 150 Jahren von Wilhelm Weber 1855 veröffentlicht. Eine didaktisch aufbereitete Darstellung dieser Weberschen Theorie bleibt kommenden Veröffentlichungen vorbehalten. Der Nutzen eines solchen Vorhabens könnte uns zu einer vorsichtigeren und relativierenden Behandlung des Themas in seiner traditionellen Form, sowohl in der Schule als auch der Hochschule, führen.

Hermann Härtel ITAP - Uni-Kiel

Literatur

- [1] D Featonby, Inspiring experiments exploit strong attraction of magnets, 2006 Phys. Educ. 41 292
- [2] C. Chiaverina, "The simplest motor?," The Physics Teacher 42, 553 (2004).
- [3] H. J. Schlichting and C. Ucke, "Der einfachste Elektromotor der Welt," Physik in Unserer Zeit, 35, 272-273 (2004)
- [4] H. J. Schlichting and C. Ucke, "A fast, high-tech, low cost electric motor construction," (2004). This article is a modified version which was published originally in German in the journal „Physik in unserer Zeit“ 35, 272-273 (2004). English Translation by J. Williams. Available at: http://www.fysikbasen.dk/Referencemateriale/PDFartikler/Unipolarmotor_English.pdf
- [5] H. K. Wong, Motional Mechanisms of Homopolar Motors & Rollers, The Physics Teacher, 47,463- 465(2009)
- [6] A. K. T. Assis, J. P. M. C. Chaib, Ampère's motor: Its history and the controversies surrounding its working mechanism, American Journal of Physics, Vol. 80, 990-995 (2012)
- [7] A. K. T. Assis, J. P. M. C. Chaib, Ampère's Electrodynamics, verfügbar unter: <http://www.ifi.unicamp.br/~assis/Amperes-Electrodynamics.pdf>
- [8] [Video zum Versuch: <http://www.astrophysik.uni-kiel.de/~hhaertel/Videos/Einfachster-Motor.mp4>
- [9] <https://www.youtube.com/watch?v=hovbatdTLA&index=25&list=PL-1BEC89F3BB0B94B2>
- [10] https://www.youtube.com/watch?v=sdQHMuU_sOU
- [11] Horst Hübel, Was ist elektromagnetische Induktion?, <http://www.forphys.de/Website/induktion/induktion.htm>
- [12] R.P.Feynman, R.B.Leighton, M.Sands, The Feynman lectures Lectures on Physics, Electromagnetism I, Addison-Westley, 17/3-4

Elektromagnetische Induktion in neuer Perspektive

Hermann Härtel

1. Die Geschichte der Elektromagnetischen Induktion

Schlägt man in den geläufigen Lehrbüchern jeweils das Kapitel "Elektromagnetische Induktion" auf, so findet man - wenn überhaupt - eine weitgehend einheitliche Darstellung der geschichtlichen Entwicklung dieses Teilgebietes der Physik. Sie, diese Geschichte, begann im Jahr 1819, als Oersted beobachtete, - wie es heißt zufällig - dass eine Magnetnadel durch einen elektrischen Strom abgelenkt wird [1]. Damit wurde deutlich, dass es einen Zusammenhang gibt zwischen dem seit vielen Jahrhunderten bekannten Gebiet des natürlichen Magnetismus und dem damals neuen Phänomen des elektrischen Stromes. Diese Erkenntnis erregte großes Interesse in der damaligen Fachwelt und veranlasste besonders Faraday, diesen Zusammenhang zu untersuchen. Schon im folgenden Jahr (1821) veröffentlichte er seine ersten Resultate [2], die schließlich zu dem Ergebnis führten, welches heute als „Faradaysches Gesetz“ bekannt ist [3]. In amerikanischen Lehrbüchern kann man lesen, dass zeitgleich von dem amerikanischen Physiker Joseph Henry (1797-1878) die gleichen Ergebnisse gefunden wurden.

Die Entwicklung kam dann zu einem gewissen Abschluß, als im Jahr 1864 Maxwell seine berühmten „Maxwellschen Gleichungen“ aufstellte, die Existenz von Wellenausbreitung im Raum vorhersagte und diese von dem Experimentator Herz bestätigt wurden.

Hinzu kamen dann noch weitere Gesetze wie das Biot-Savarsche Gesetz, das Amperesche Gesetz und das Lorentzsche Kraftgesetz bzw die Lorentzkraft.

Die entsprechenden Gleichungen sind allgemein bekannt und werden hier nicht aufgelistet zu werden.

All diesen Gesetzen bzw. Gleichungen ist gemeinsam, dass das Feldkonzept als grundlegend akzeptiert wird und damit die bis dahin vorherrschenden Fernwirkungstheorien gegenüber einer Nahwirkungstheorie in Mißkredit gerieten. Weiterhin gilt in all diesen Gesetzen das Magnetfeld bzw. der magnetische Fluß als der entscheidende Partner in der Wechselwirkung mit den elektrischen Phänomenen, wie bewegte Ladungsträger, oder elektrische Felder.

2. Eine mögliche andere Geschichte – als Gedankenexperiment

Wenn es stimmt, dass Oerstedt seine Entdeckung zufällig gemacht hat, dann scheint es unter dieser Voraussetzung erlaubt zu sein, sich einen anderen Verlauf der geschichtlichen Entwicklung als Gedankenexperiment vorzustellen. Wie

sich zeigen wird, hätten sich daraus recht weitreichende Konsequenzen ergeben können.

In dieser anderen Geschichte muß zunächst angenommen werden, dass Oerstedt damals seine Entdeckung im Jahr 1819 nicht gemacht hätte. Die Magnetnadel befand sich vielleicht etwas weiter entfernt von dem betreffenden Stromkreis. Dann wäre Faraday damals nicht dazu angeregt worden, sich diesem neuen Phänomen zuzuwenden.

Neben Faraday wurde damals auch der französische Physiker Ampère von der Entdeckung Oerstedts in seinen physikalischen Aktivitäten beeinflusst und diese Beeinflussung wäre dann ebenfalls unterblieben.

Hier wird nun die neue, gedachte Geschichte weitergeführt, in der angenommen werden soll, dass Ampère, aus welchen Gründen auch immer, seine damals durchgeführten Experimente auch ohne die Entdeckung Oerstedts durchgeführt hätte.

Schon im Jahr 1820 stellte Ampere fest, dass zwei parallele stromführende Leiter miteinander wechselwirken, dass sie sich je nach Stromrichtung entweder anziehen oder abstoßen [4]. Ampere deutete diese Wechselwirkung und alle anderen, von Faraday entdeckten Phänomene von vornherein als Wechselwirkung zwischen infinitesimalen Stromelementen. Es gelang ihm, auf der Basis selbst durchgeführter Experimente und unter Verwendung diverser, neu entwickelter Meßvorrichtungen, für diese Wechselwirkung ein Gesetz zu formulieren - das ursprüngliche Ampèresche Gesetz - das ihm erlaubte, quantitative Aussagen über die Wechselwirkung zwischen zwei Stromkreisen bei beliebiger Ausrichtung im Raum zu machen [5].

Dieses Kraftgesetz hat eine kompliziertere Form als beispielweise das Gravitationsgesetz oder das Coulombgesetz, da es die Beziehung dreier, beliebig im Raum angeordneter Winkel beinhaltet. Es fand aber damals relativ große Anerkennung, wie aus dem folgenden Zitat einer Äußerung von Maxwell hervorgeht.[6]

„The experimental investigation by which Ampère established the law of the mechanical action between electric currents is one of the most brilliant achievements in science. The whole, theory and experiment, seems as if it had leaped, full grown and full armed, from the brain of the 'Newton of Electricity'. It is perfect in form, and unassailable in accuracy, and it is summed up in a formula from which all the phenomena may be deduced, and which must always remain the cardinal formula of electro-dynamics.“

Zwei Punkte sind bei der Beurteilung von Ampères Arbeit wichtig. Zum einen bestand Ampère darauf, dass alle in der Natur auftretenden Kräfte dem Newtonschen Prinzip von

„actio gleich reactio“ in seiner strengen Form unterliegen müssen, d.h. dass es nur anziehende und abstoßende Kräfte geben kann, deren Wirkungslinie mit der Verbindungslinie der wechselwirkenden Partner zusammenfällt.

Zum andern ging Ampère davon aus, dass sämtliche Phänomene des natürlichen Magnetismus auf eine Wechselwirkung zwischen elektrischen Strömen zurückzuführen seien. Er postulierte zur Erklärung der Wirkung eines Dauermagneten die Existenz von mikrophysikalischen Strömen im Innern des magnetischen Materials und zur Erklärung des Erdmagnetismus stellte er die Hypothese auf, dass im Erdinnern ein elektrischer Strom vorhanden sei. [4]

Es gibt weitere Aussagen damaliger Physiker mit ähnlich positiver Beurteilung der Ampèreschen Arbeit wie die von Maxwell. So ist erlaubt anzunehmen, dass die Grundidee Ampères, nämlich die Phänomene der Induktion als Wechselwirkung zwischen elektrischen Strömen aufzufassen, den Lauf der weiteren Entwicklung bestimmt hätten. Ampère führte für dieses Teilgebiet der Physik die Bezeichnung „Elektrodynamik“ ein.

3. Was wirklich geschah

Die Geschichte verlief anders. Oersted machte seine Entdeckung als Erster, Faraday folgte mit dem Induktionsgesetz und so stabilisierte sich das, was wir seitdem mit „Elektromagnetismus“ kennzeichnen: das Magnetfeld als wichtigen Partner aller elektromagnetischen Wechselwirkungen, oft ohne zu erwähnen, dass in aller Regel bewegte Ladungen die Ursache für ein Magnetfeld darstellen. Und für die auftretenden Kräfte gilt das Prinzip „actio gleich reactio“ nur noch in seiner weichen Form. Betragsmäßig sind Kraft und Gegenkraft gleich, aber sie sind nicht mehr gleichgerichtet.

Im Jahr 1846 stellte dann Wilhelm Weber sein Kraftgesetz auf. Ausgangspunkt waren für ihn das Faradaysche Gesetz sowie das Ampèresche Gesetz, die beide zunächst unverbunden nebeneinander standen, von denen aber Weber vermutete, dass ihnen ein gemeinsames Fundamentalgesetz der Elektrodynamik zu Grunde liegen müßte. Er entwickelte eine beeindruckende Meßapparatur - ein feinmechanisches Meisterwerk - mit dessen Hilfe er die Wechselwirkung zweier um die gleiche Achse drehbar aufgehängter Leiterkreise mit großer Präzision bestimmen konnte. Und da Weber nicht nur ein großartiger Experimentator, sondern zugleich ein ebenso großartiger Theoretiker war (er war Musterschüler und Assistent von Gauss), gelang es ihm, aus seinen Messungen das vermutete Fundamentalgesetz abzuleiten [7]. Dieses Gesetz ist eine Erweiterung des Coulombgesetzes, und das heißt zunächst: es gilt, wie in der Elektrostatik, das Newtonsche actio/reactio-Prinzip in seiner strengen Form: Die Kräfte zwischen wechselwirkenden Partnern sind nicht nur gleich groß, sondern wirken stets ausschließlich in Richtung der Wechselwirkungspartner. Neu sind zwei additive Glieder, von denen das erste den Faktor v^2/c^2 enthält, das zweite den Faktor a/c^2 .

Das Webersche Fundamentalgesetz beschreibt die gegenseitige Kraft $F_{1 \rightarrow 2}$ (Kraft von q_1 auf q_2) und $F_{2 \rightarrow 1}$ (Kraft von q_2 auf q_1) zwischen zwei Ladungsträgern q_1 und q_2 im gegenseitigen Abstand r und lautet:

$$\vec{F}_{1 \rightarrow 2} = \frac{q_1 q_2 \hat{r}_{12}}{4\pi\epsilon_0 r_{12}^2} \left(1 - \frac{v_{12}^2}{2c^2} + \frac{r_{12} a_{12}}{c^2} \right) = -F_{2 \rightarrow 1}$$

Die Größen v_{12} und a_{12} bedeuten die relative Geschwindigkeit bzw. die relative Beschleunigung zwischen den Wechselwirkungspartnern. Die zunächst von Weber eingeführte Konstante c wurde später durch ihn zusammen mit Kohlrausch experimentell bestimmt als übereinstimmend in Dimension und Größe mit der Lichtgeschwindigkeit [8]. Daraus folgt, dass alle Änderungen, die sich durch dieses Webersche Gesetz im Vergleich zum Coulombgesetz ergeben, sehr klein sind und somit in ihrer Größenordnung vergleichbar mit allen sonstigen magnetischen Effekten.

Ein häufig zu hörender und schon sehr früh erhobener Einwand gegen das Webersche Gesetz betrifft die Frage nach der Unterscheidung zwischen Fernwirkung und Nahwirkung.

Spätestens nach der Aufstellung der Maxwellschen Gleichungen und den Experimenten von Hertz war bekannt, dass Wellen im Raum möglich sind und somit sich eine Änderung elektrischer Größen an einem Ort kontinuierlich in Raum und Zeit ausbreitet, eine Nahwirkungstheorie also zugrunde gelegt werden sollte.

Das Webersche Kraftgesetz ist in diesem Sinne ein Fernwirkungsgesetz. Es macht keine Aussagen darüber, wie sich eine Änderung im Raum ausbreitet, d.h. wie sich z.B. die betragsmäßige Gleichheit von F_{12} und F_{21} einstellt. Allerdings ist es nicht korrekt, aus dem Gesetz abzuleiten, dass hier vorausgesetzt wird, diese Gleichsetzung geschehe gleichzeitig, also mit unendlicher Geschwindigkeit. Vielmehr waren es unabhängig voneinander Weber und Kirchhoff, die schon 1857 über mögliche Spannungs/Stromänderungen längs eines Leiters nachdachten und auf der Basis des Weberschen Kraftgesetzes die heute als Telegraphenleitung bekannte Gleichung ableiteten. [9]. Weber sagte voraus, dass sich eine Spannungs-Stromänderung längs eines Leiters mit dem Widerstand Null mit Lichtgeschwindigkeit ausbreitet. Und nicht nur das. Weber spannte zwei Drähte über die Dächer von Göttingen, die zwei seiner Arbeitsstätten verbanden und prüfte experimentell seine Theorie.

Von einem Leiter mit $R=0$ ist es nicht mehr weit bis zu einer Wellenausbreitung im Raum. Allerdings wurde zur Zeit Webers die Äthervorstellung allseits vorausgesetzt und über die Eigenschaften des Äthers gab es keine gesicherten Erkenntnisse.

In seiner Abhandlung von 1857 zeigte Weber, dass sich von seinem Gesetz das Faradaysche Gesetz sowie das Ampèresche

Gesetz ableiten lassen [7], was auch von Maxwell im letzten Kapitel seines Buches bestätigt wurde. [6]

Wie eine solche Ableitung im Einzelnen ohne Einsatz von höherer Mathematik (Vektor-Algebra) durchgeführt werden kann, soll im folgenden sowie in einer weiteren geplanten Veröffentlichung aufgezeigt werden.

Im Folgenden wird zunächst erklärt, wie sich aus dem Weberschen Gesetz die Anziehung bzw. Abstoßung zwischen Gleichströmen mit paralleler bzw. antiparalleler Stromrichtung ergibt.

4. Das Webersche Gesetz und die Wechselwirkung zwischen gleich- bzw. entgegengesetzt gerichteten Gleichströmen

Hierzu drei Vorbemerkungen.

1. Weber geht von einer direkten Wechselwirkung zwischen relativ zueinander bewegten Ladungsträgern aus. Direkte Wechselwirkung soll heißen, dass alle auftretenden Kräfte, wie z.B. die Coulombkräfte, stets längs der Verbindungslinie der Wechselwirkungspartner ausgerichtet sind.
2. In der Weberschen Gleichung kommen nur Relativkoordinaten vor. Damit erfüllt diese Gleichung die von Ernst Mach 1883 aufgestellte Forderung, in mechanischen Gesetzen nur Relativkoordinaten zu verwenden [10]. Um die Erfüllung dieser Forderung hatte sich Einstein bei der Entwicklung seiner Relativitätstheorie vergeblich bemüht. Er sah sich gezwungen, von dieser Forderung abzuweichen und den Beobachter als Bezugssystem einzuführen.
3. In der Weberschen Kraftgleichung ist das Beschleunigungsglied für qualitative Betrachtungen am interessantesten, da es sein Vorzeichen ändern kann. Der Einfachheit halber sei zunächst $v=0$ angenommen. Ist dann die Beschleunigung positiv, d.h. wächst der Abstand zwischen zwei verschiedenpoligen Wechselwirkungspartnern, so wird die (von Punktladung (1) auf Punktladung (2) ausgeübte) anziehende Coulombkraft um einen kleinen Betrag vergrößert, bei negativer Beschleunigung um einen kleinen Betrag verringert. Dieses Beschleunigungsglied wirkt hier somit wie eine Art Trägheit, es wirkt einer Abstandsänderung entgegen. Bei einer Vergrößerung des Abstandes wird ein Wechselwirkungspartner etwas stärker angezogen, bei einer Verringerung des Abstandes etwas weniger stark.

Bei zwei sich abstoßenden, gleichpoligen Punktladungen sind die Verhältnisse etwas anders. Hier wird bei positiver Beschleunigung die abstoßende, positive, von (1) auf (2) ausgeübte Coulombkraft um einen kleinen Betrag vergrößert, bei negativer Beschleunigung entsprechend verringert

Dass die von der Weberschen Gleichung abgeleiteten Kräfte auch quantitativ mit der traditionellen Theorie übereinstimmen, wurde schon von Weber [7]. und in anderen Veröffentlichungen nachgewiesen [11],

Für eine qualitative Überlegung, die verständlich macht, wie sich aus der Weberschen Gleichung die gesuchten Kräfte ergeben, ist das Beschleunigungsglied maßgebend. Die zu beantwortende Frage lautet: Welche Beschleunigung tritt bei zwei konstanten, gleichgerichteten Gleichströmen (1) und (2) auf? Im Laborsystem lautet die Antwort: keine Beschleunigung. Es sei jedoch daran erinnert, dass in der Weberschen Gleichung nur relative Größen vorkommen. Es gilt also, relative Beschleunigungen festzustellen. Dies kann graphisch geschehen.

Nehmen wir der Einfachheit halber an, dass die Driftgeschwindigkeiten der Elektronen in beiden Leitern gleich groß sind und wählen wir ein bestimmtes negatives Stromelement A im Leiter (1) als Bezugssystem (siehe Abbildung 2), so ruhen von diesem Stromelement aus gesehen alle strömenden Teilchen (Elektronen) des Leiters (2), während sich alle positiven Ladungsträger (Gitterbausteine) in diesem Leiter relativ zu A entgegen der Stromrichtung bewegen. Es muß für diesen Fall somit nur die Wechselwirkung zwischen dem negativen Teil des Leiters (1) und dem positiven Teil des Leiters (2) betrachtet werden.

Eine Beschleunigung wird graphisch ermittelt, indem zunächst die Geschwindigkeiten an zwei dicht beieinander liegenden Punkten (1) und (2) einer Bahnkurve und damit zu den entsprechenden Zeitpunkten t_1 und t_2 als Vektoren ermittelt und diese dann zu einem gemeinsamen Startpunkt verschoben werden. Deren Differenz Δv entspricht dann der mittleren Beschleunigung bezogen auf die Zeitspanne zwischen t_1 und t_2 . Abbildung 1 zeigt dieses Verfahren, welches im Unterricht oft am Beispiel einer Kreisbewegung angewendet wird.

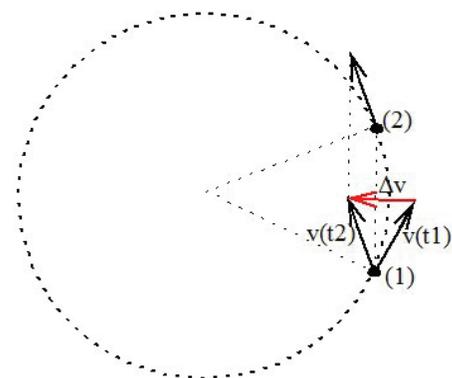


Abb. 1: Graphische Verfahren zur Bestimmung einer Beschleunigung (am Beispiel einer Kreisbewegung)

Abbildung 2a zeigt das Ergebnis dieses Verfahrens, angewendet auf das als Bezugspunkt gewählte Stromelement A des als beliebig lang gedachten Leiters 1. Es ergibt sich eine relative Beschleunigung in der x-Richtung. Dieses Ergebnis mag wegen der konstanten Driftgeschwindigkeit zunächst überraschen, folgt aber aus der Tatsache, dass eine Bewegung zweier wechselwirkender Teilchen ohne relative Beschleunigung nur möglich ist, wenn, wie in Abbildung 2b dargestellt, sich das eine Teilchen auf einer Kreisbahn mit dem Bezugsteilchen als Mittelpunkt bewegt. Bei einer geradlinigen Bahn ergibt sich jedoch eine nach außen gerichtete relative Beschleunigung.

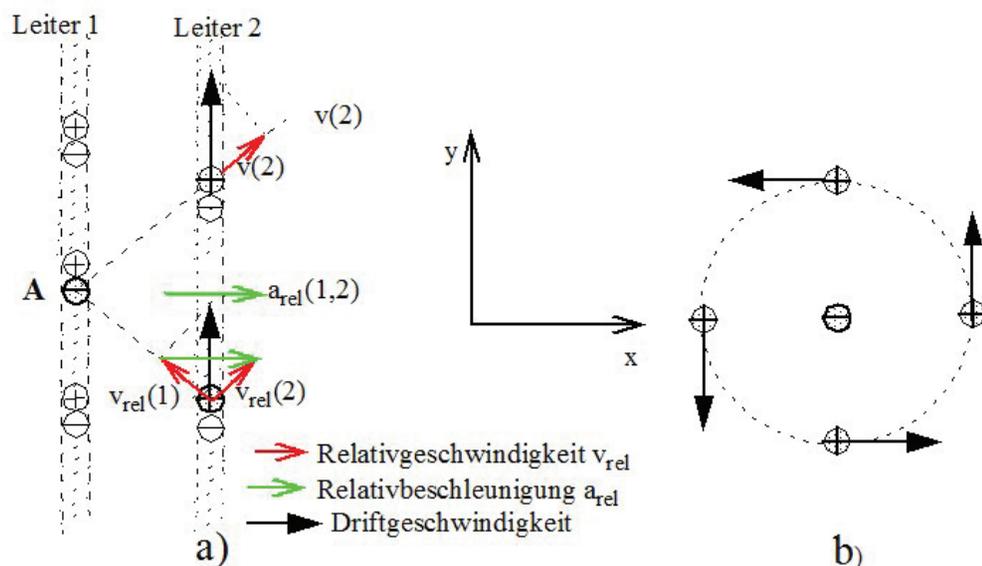


Abb. 2: a) Graphischen Bestimmung der Relativbeschleunigung zwischen dem Bezugspunkt A des Leiters (1) und dem Leiter (2) für $y = 0$
 b) Bewegung zweier Teilchen ohne Relativbeschleunigung

Bestimmt man auf die gleiche Art die relative Beschleunigung zwischen dem Element A und den anderen Punkten des Leiters (2), so ergeben sich zusätzlich Komponenten in der Y-Richtung, die sich aber bei einem beliebig lang gedachten Leiter gegenseitig aufheben. Insgesamt ergibt sich eine relative Beschleunigung in positiver x-Richtung zwischen den freien Elektronen von Leiter (1) und den positiven Ladungsträgern von Leiter (2).

Angewendet auf zwei parallele, gleichgerichtete Gleichströme ergibt sich aus dem Weberschen Kraftgesetz beim Auftreten einer positiven relativen Beschleunigung eine Verstärkung der Wechselwirkung zwischen den positiven und negativen Anteilen der beiden Leiter und somit eine Anziehung.

Bei antiparallelen Strömen bewegen sich von den freien Elektronen aus gesehen sowohl die positiven Gitterbausteine mit der einfachen Driftgeschwindigkeit, als auch die

negativen freien Elektronen des Leiters 2 mit der doppelten Driftgeschwindigkeit. Eine größere Driftgeschwindigkeit bedeutet eine größere relative Beschleunigung, und somit überwiegt die verstärkte Abstoßung zwischen den freien Elektronen beider Leiter. Dies führt zu dem erwarteten Ergebnis einer Abstoßung antiparalleler Gleichströme.

In der gleichen graphischen Art und Weise lassen sich alle anderen Wechselwirkungen auf dem Gebiet des Elektromagnetismus, wie Selbstinduktion und Induktion, oder das Faradaysche Paradoxon aus dem Weberschen Kraftgesetz ableiten. Wie dies im Einzelnen geschieht, bleibt einer weiteren, in Planung befindlichen Publikation vorbehalten.

Hermann Härtel ITAP - Universität Kiel

Literatur

- [1] J. C. Oersted. Versuche über die Wirkung des electricischen Conflicts auf die Magnethadel. Annalen der Physik, Vol. 6, pp. 295-304 (1820). Translated by Gilbert.
- [2] M. Faraday, "On some new electro-magnetical motions, and on the theory of magnetism," The Quarterly Journal of Science, Literature, and the Arts 12, 74-96 (1821).
- [3] M. Faraday, Experimental researches in electricity, Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Vol. 122, pp. 125-162 (1832). Read November 24, 1831.
- [4] A. M. Ampère, Annales de Chimie et de Physique, Vol. 15, pp. 59-76 (1820).
- [5] A. M. Ampère, Annales de Chimie et de Physique, Vol. 20, pp. 398-421 (1822).
- [6] J. C. Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism (Dover, New York, 1954), Vol. 2, article 528, p. 175.
- [7] W. Weber, Elektrodynamische Maassbestimmungen - Über ein allgemeines Grundgesetz der elektrischen Wirkung. Abhandlungen bei Begründung der Königl. Sächs Gesellschaft der Wissenschaften am Tage der zweihundertjährigen Geburtstagfeier Leibnizens herausgegeben von der Fürstl. Jablonowskischen Gesellschaft (Leipzig), pp. 211-378. Reprinted in Wilhelm Weber's Werke, Vol. 3, H. Weber (editor), (Springer, Berlin, 1893), pp. 25-214.
- [8] W. Weber and R. Kohlrausch, Annalen der Physik, Vol. 99, pp. 10-25 (1856).
- [9] G. Kirchhoff, Annalen der Physik, Vol. 102, pp. 529-544 (1857).
- [10] E. Mach, Die Mechanik in ihrer Entwicklung. (Saarbrücken : VDM Verlag Dr. Müller, 2012, 1. Aufl).
- [11] A. K. T.Assis, "Weber's Electrodynamics" (Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1994).

Lernprozesse fördern und diagnostizieren

Praxisnahe Interventionsforschung in der Physikdidaktik

Heiko Krabbe

In diesem Beitrag wird die Bedeutung praxisnaher empirischer Interventionsforschung in der Physikdidaktik erörtert, wenn es darum geht, verallgemeinerbare Erkenntnisse zur Gestaltung und Evaluation von Physikunterricht zu gewinnen. Dazu werden exemplarisch zwei Studien vorgestellt, mit denen die physikdidaktische Grundposition dieses Ansatzes verdeutlicht werden kann.

1. Einleitung

Lehrkräfte erleben täglich hautnah, wie schwierig es ist, Physik in der Schule zu vermitteln. Dabei stellt sich ihnen die Frage, wie sie die Motivation der Kinder und Jugendlichen steigern, deren Lernprozesse verstehen und bessere Lernerfolge erzielen können. Somit spielt das Thema Diagnostizieren und Fördern von Lernprozessen eine zentrale Rolle im Schulalltag. Bei dem Versuch, ihren Unterricht weiterzuentwickeln und zu verbessern, stoßen Lehrkräfte aber auf Schwierigkeiten. Was in der einen Klasse gut zu funktionieren scheint, funktioniert in der Parallelklasse plötzlich nicht so gut. Dadurch ist es schwer, auf Basis von Analysen der eigenen Schülerinnen und Schüler bzw. einzelner Klassen, Folgerungen über die Wirksamkeit bestimmter unterrichtlicher Maßnahmen zu ziehen. Es sollte daher die Aufgabe der Fachdidaktik sein, möglichst zuverlässige Aussagen über die Effekte unterrichtlicher Maßnahmen zu treffen, die eine Richtschnur für Lehrkräfte und die Grundlage für die Aus- und Weiterbildung von Lehrkräften sein können. Dazu gehören Erkenntnisse über adäquate didaktische Rekonstruktionen der Physik in Form bewährter Unterrichtszugänge ebenso, wie das Wissen über die fachspezifische Umsetzung lernpsychologischer Konzepte zur Gestaltung und Diagnose von Lernprozessen bei Kindern und Jugendlichen. Das Ziel einer solchen Ausbildung sollte sein, Lehrkräfte kompetent zu machen, mit variablen Unterrichtssituationen und curricularen Vorgaben angemessen umzugehen.

Für die Generalisierbarkeit von Forschungsergebnissen ist eine Voraussetzung, statistisch signifikante Ergebnisse durch ausreichende Stichprobengrößen zu erzielen. Nicht kontrollierbare Einflussgrößen (z. B. Klasseneffekte) versucht man dabei durch eine Randomisierung der Stichprobe zu unterdrücken. Dabei geht man davon aus, dass die gewählte Stichprobe repräsentativ für die Gesamtpopulation ist und sich z. B. Klasseneffekte statistisch herausmitteln [1]. Zusätzlich zur Signifikanz ist die Relevanz der Ergebnisse für die Schulpraxis wichtig, die - wie die viel zitierte Hattie-Studie [2] deutlich gemacht hat - anhand der Effektstärke gemessen werden kann.

Laut Hattie sollten beispielsweise nur Maßnahmen, die beim Lernzuwachs über ein Schuljahr eine Effektstärke über $d = 0,4$ erzielen, als unabhängig von der Lehrerpersönlichkeit und dem Unterrichtsumfeld betrachtet werden.

Nach Poppers Logik der Forschung [3] erzielt man wissenschaftliche Erkenntnis dadurch, dass man theoretische Annahmen gezielt überprüft, wobei sich die Annahmen grundsätzlich widerlegen lassen müssen. Um kausale Schlüsse ziehen zu können, reicht es nicht allein aus, Unterricht verschiedener Gruppen in einer großen Stichprobe nur zu beobachten und mittels Inferenzstatistik auf Gruppenunterschiede und Korrelationen in der Gesamtpopulation zu schließen. Festgestellte Korrelation können nämlich ganz andere, dahinter liegende Ursachen haben, die in Korrelationsstudien nicht ermittelt werden können. In der Psychometrie wird dazu oft das Beispiel der Korrelation der Geburtenrate nach dem Pillenklick mit dem Rückgang der Störche in Deutschland angeführt [4].

Um Ursache-Wirkungszusammenhänge untersuchen zu können, müssen deshalb Experimente gemacht werden, in den bestimmte Bedingungen kontrolliert verändert werden. Vielfach geschieht dies in sogenannten Laborstudien, in denen außerhalb der Unterrichtsrealität bestimmte kontrollierten Settings hergestellt werden. In solchen Laborstudien werden i.d.R. immer höhere Effektstärken als in Feldstudien erzielt. Deshalb ist es zusätzlich notwendig, die in Laborstudien gewonnenen Erkenntnisse auch in der Schulpraxis zu validieren. Eine derartige Feldforschung ist aber sehr aufwendig und meist ist es schwierig, eine ausreichende Stichprobengröße auf der Lehrer bzw. Klassenebene zu erreichen. Ebenso müssen aufgrund der schulischen Gegebenheiten i.d.R. Kompromisse im Design der Studien eingegangen werden. Die Feldforschung befindet sich also im Spannungsfeld zwischen dem forschungsmethodisch Wünschenswerten und dem real Machbaren.

2. Praxisnahe Interventionsforschung

Zwei Beispiele für praxisnahe Interventionsforschung sollen nun dargestellt werden:

1. Eine Studie, in der Basismodelle zur Gestaltung der Lernprozessesstruktur von Physikunterricht evaluiert wurden [5].
2. Eine Studie, in der Concept Maps als Diagnoseinstrument erprobt wurden [6].

Beide Studien sind unter der Betreuung von Dr. Heiko Krabbe und Prof. Dr. Hans E. Fischer an der Universität Duisburg-Essen durchgeführt worden.

2.1 Evaluation der Wirkung einer lernprozessorientierten Sequenzierung (Studie 1)

In der Studie zur lernprozessorientierten Unterrichtsgestaltung nach den Basismodellen von Oser [7] wurde die Wirkung der von Lehrkräften realisierten Lernprozessstruktur des Unterrichts unter Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden Unterrichtszeit auf das Fachwissen in Mechanik untersucht. Dazu wurde eine Prä-Post-Messung durchgeführt, d. h. auch das Vorwissen der Schülerinnen und Schüler erhoben. Für ein besseres Verständnis muss hier kurz die Basismodelltheorie vorgestellt werden. Sie beschreibt Lehr-Lernprozesse, die sich in der Tiefenstruktur des Unterrichts abbilden sollten. Ein Basismodell ist eine für eine bestimmte Art von Lehr-Lernziel charakteristische Abfolge von Lernschritten. Unterschiedliche Lehr-Lernziele sind beispielsweise Konzeptbildung, Lernen durch Eigenerfahrung oder Problemlösen, auf die sich diese Studie beschränkt hat. Vorstudien haben gezeigt, dass sich damit 90% des Physikunterrichts beschreiben lassen [8], [9]. Die dazugehörigen Lernschritte (siehe Tabelle 1) können als Unterrichtsphasen verstanden werden.

Tabelle 1: Die drei in der Fortbildung verwendeten Basismodelle. Jedes Basismodell steht für ein anderes Lehrziel mit jeweils spezifischem Unterrichtsgang.

Schritt	Lernen durch Eigenerfahrung	Konzeptbildung	Problemlösen
1	LdE 1: Planen der Handlung	KB 1: Aktivieren von Vorwissen	PL 1a: Erkennen eines Problems
2	LdE 2: Durchführen der Handlung	KB 2: Durcharbeiten eines Prototyps	PL 1b: Verstehen des Problems (Präzisierung)
3	LdE 3: Konstruieren von Bedeutung	KB 3: Abstrahieren der wichtigen Merkmale des neuen Konzepts	PL 2: Entwickeln von Lösungswegen
4	LdE 4: Verallgemeinern der Erfahrungen	KB 4: Üben und Anwenden des neuen Konzepts	PL 3: Testen von Lösungswegen
5	LdE 5: Dekontextualisieren durch Reflexion ähnlicher Erfahrungen	KB 5: Vernetzen zu anderen Inhaltsbereichen, Transferieren in andere Kontexte	PL 4: Evaluieren der Lösungen und der Lösungswege

Oser hat die Basismodelle aus verschiedenen Lehr-Lerntheorien und aus Unterrichtsbeobachtungen abgeleitet. Als Qualitätsmerkmale für erfolgreichen Unterricht nennt er die Zielklarheit, d. h. die lerngerechte Auswahl eines Basismodells und die Sequenzierung bzw. Vollständigkeit, d. h. das vollständige Durchlaufen der zugehörigen Lernschritte in der richtigen Reihenfolge. Im Gegensatz zu dieser Strenge in der Tiefenstruktur einer Unterrichtsstunde lässt Oser bei der Gestaltung der Sichtstruktur (Methoden, Sozialformen) jegliche Freiheit zu, sofern sich darin die Tiefenstruktur angemessen widerspiegelt.

Um die Wirksamkeit der Basismodelle zu überprüfen war zunächst eine Intervention in Form einer Lehrerfortbildung notwendig, durch die die gewünschte Lernprozessstruktur im Unterricht hergestellt werden sollte. An dieser einjährigen Lehrerfortbildung mit Videofeedback nahmen 15 Gymnasiallehrkräfte freiwillig teil, die das ganze Spektrum von Berufsanfängerinnen und -anfängern bis hin zu erfahrenen Lehrkräften einschließlich eines Fachleiters abdeckten. Aus den schulischen Rahmenbedingungen ergab sich, dass zehn der 15 Lehrpersonen in 90-minütigen, die anderen fünf Lehrkräfte in 45- oder 60-minütigen Physikstunden unterrichteten.

Fortbildungsgruppe (FG)

Prä	Lehrerfortbildung	Post
Test / Video	Coaching mittels Video	Test / Video
Sep. – Okt.	Nov. – Mai	Juni – Juli

Vergleichsgruppe (VG)

Prä		Post
Test		Test
Sep. – Okt.		Juni – Juli

Abbildung 1: Design der Studie 1. In beiden Gruppen wurden das Fachwissen der Schülerinnen und Schüler zu Beginn und zum Ende erhoben. In der Fortbildungsgruppe wurde zusätzlich die Veränderung des Unterrichts mittels Videos erfasst, die auch zum Coaching der Lehrkräfte eingesetzt wurden.

Je Lehrkraft wurde in jedem Quartal des Schuljahres ein Unterrichtsvideo im Physikunterricht einer 8. Schulstufe aufgezeichnet. Nach dem ersten Video fand ein eintägiger Fortbildungstag über die Basismodelle statt. Außerdem wurden die ersten drei Unterrichtsvideos jeder Lehrkraft mit einem Coach nachbesprochen und die Unterrichtsstunden für das 2. und 3. Video gemeinsam geplant. Alle Videos wurden auf Grundlage der Basismodelltheorie manualbasiert kodiert (Cohens κ zwischen 0,92 und 1) und die Kodierung den Lehrkräften als Feedback vorgelegt. Veränderungen in der Sequenzierung nach Basismodellen bei den Lehrkräften wurden anhand des ersten Videos (Vortest) und des letzten Videos (Nachttest) analysiert. Zu Beginn und zum Ende des Schuljahres wurde sowohl in der Fortbildungsgruppe als auch in einer Vergleichsgruppe mit 15 Parallelklassen, deren Lehrkräfte nicht an der Fortbildung teilgenommen hatten, ein Fachwissenstest zur Mechanik durchgeführt, um den Lernzuwachs zu bestimmen. Der Fachwissenstest zeigte für die Schüler der Fortbildungsgruppe ($n=380$) und der Vergleichsgruppe ($n=366$) zusammen im Vortest eine Reliabilität von Cronbach's $\alpha=0.48$ und im Nachttest von $\alpha=0.66$.

Nach der Fortbildung wies der Unterricht der Lehrkräfte der Fortbildungsgruppe eine klarere Zielsetzung und eine verbesserte Struktur im Sinne der Basismodelle auf. Lehrkräfte mit 90-minütigen Unterrichtsstunden zeigten nach der Fortbildung eine vollständigere Umsetzung der Basismodelle (Median = 100%) als Lehrkräfte mit einer geringeren Unterrichtszeit (Median = 80%). Sie verwendeten dabei mehr Zeit auf das Reflektieren der Stundenergebnisse.

Hierfür wurde ein Bewertungsbogen erstellt, auf dem bestimmte Kriterien auf einer vierstufigen Skala (von trifft nicht zu bis trifft völlig zu) beurteilt werden sollten. Die Kriterien decken die vier Stufen Energieformen, Transformation, Dissipation, Erhaltung der Lernprogression zum Energiebegriff nach [13] ab. Um die Beurteilungsgenauigkeit der Lehrkräfte als Maß für die Diagnosekompetenz bestimmen zu können, wurde außerdem ein Multiple-Choice-Kompetenztest mit 22 Aufgaben eingesetzt [14].

In der Studie haben insgesamt 48 Physiklehrkräfte mit ihren Kursen teilgenommen, die zufällig vier verschiedenen Gruppen zugeordnet wurden (siehe Tabelle 2), in denen ihnen unterschiedliche Instrumente bzw. Informationen zur Verfügung gestellt wurden, um ihre Schülerinnen und Schüler zu beurteilen. In den Gruppen 1 und 2 wurde zunächst ein Training mit den Lernenden zur Erstellung einer Concept Map durchgeführt. In der Folgestunde haben die Schülerinnen und Schüler dann die Energie-Concept Map erstellt sowie den Kompetenztest ausgefüllt. In den Gruppen 3 und 4 mussten die Jugendlichen nur den Kompetenztest ausfüllen.

Tabelle 2: Design der Studie 2. Die Lehrkräfte wurden zufällig vier verschiedene Gruppen zugeteilt, in der auf unterschiedlicher Informationsgrundlage eine Rangfolge der Schüler gebildet werden musste.

GRUPPE		VARIABLE	INSTRUMENT	n
Gruppe 1 Rangordnung mittels Concept Maps und Bewertungsbogen	Lehrer	-Rangordnung	-Concept Map und Bewertungsbogen	13
	Schüler	-Wissens- struktur -Kompetenz	-Concept Map -Kompetenztest	255
Gruppe 2 Rangordnung mittels Concept Maps ohne Bewertungsbogen	Lehrer	-Rangordnung	-Concept Map	14
	Schüler	-Wissens- struktur -Kompetenz	-Concept Map -Kompetenztest	304
Gruppe 3 Rangordnung nach pers. Eindruck mit Bewertungsbogen	Lehrer	-Rangordnung	-Bewertungsbogen	12
	Schüler	-Kompetenz	-Kompetenztest	239
Gruppe 4 Rangordnung nach pers. Eindruck ohne Bewertungsbogen	Lehrer	-Rangordnung	-persönliche Erfahrung	9
	Schüler	-Kompetenz	-Kompetenztest	179

Die Diagnosegenauigkeit von Lehrkräften wurde als Rangkorrelation zwischen dem Kompetenztest und der von den Lehrkräften gebildeten Rangfolge gemessen. Dabei ist zu beachten, dass die Lehrkräfte in Gruppe 1 und 2 die Rangordnung der Concept Maps anonym bilden mussten, d. h. ohne zu wissen, von welchem Schüler die einzelne Concept Map stammt. In den Gruppen 3 und 4 dagegen wurde die Rangordnung anhand der Schülernamen gebildet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 3 dargestellt.

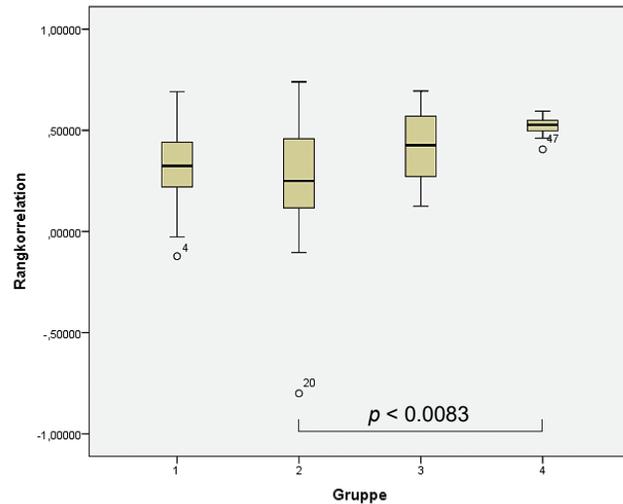


Abbildung 3: Rangkorrelationen zwischen der von den Lehrkräften gebildeten Rangfolge und der Rangfolge der Schülerinnen und Schüler, die sich aus dem Kompetenztest ergibt, aufgeteilt auf die vier Gruppen. Nur der Unterschied zwischen Gruppe 2 und Gruppe 4 ist signifikant.

Offensichtlich können Lehrkräfte die allgemeine Kompetenz ihrer Schülerinnen und Schüler gut vergleichen (Gruppe 4), tun sich aber schwerer, wenn es darum geht, die Kompetenzen differenziert mit dem Bewertungsbogen einzuschätzen (Gruppe 3). Die freie Bewertung der Concept Maps fällt dagegen signifikant schlechter aus (Gruppe 2), wogegen der Bewertungsbogen die Einschätzung der Concept Maps soweit verbessert, dass eine zur Gruppe 3 vergleichbare Beurteilung der spezifischen Teilkompetenzen möglich ist.

Diese Ergebnisse waren insofern unerwartet, als im Vorfeld angenommen wurde, dass der Einsatz zusätzlicher Diagnoseinstrumente zu einer verbesserten Diagnosegenauigkeit führen sollte. Dabei wurde offensichtlich der Einfluss der Kenntnis der Schülernamen unterschätzt. In einer Ergänzungsstudie wird deshalb zu prüfen sein, ob sich durch die nicht anonyme Beurteilung der Concept Maps mit Beurteilungsbogen die Diagnosegenauigkeit verbessert. Außerdem müsste untersucht werden, ob sich die Genauigkeit durch ein Training der Lehrpersonen und durch eine Kombination des Concept Map Verfahren mit der laufenden Unterrichtsbeobachtung steigern lässt. Der große Vorteil von Concept Maps könnte, anstatt in einer punktuellen Leistungsfeststellung, gerade in der Möglichkeit zur wiederholten, den lernprozessbegleitenden Diagnostik liegen. Deshalb stellt sich die grundsätzliche Frage, ob die Beurteilungsgenauigkeit als entscheidendes Kriterium zur Einschätzung von Diagnoseinstrumenten angesehen werden sollte. Helmke [15] betont, dass Lehrerdiagnosen nicht unbedingt den wissenschaftlichen Kriterien der Reliabilität und Validität entsprechen müssen, wenn sich die Lehrkräfte der Ungenauigkeit, Vorläufigkeit und Revisionsbedürftigkeit ihrer Urteile bewusst sind und sie diese permanent im Verlauf des Unterrichts überprüfen.

3. Resümee

Was lässt sich anhand dieser beiden Beispiele der praxisnahen Interventionsforschung über die physikdidaktische Forschung aussagen?

1. Physikdidaktische Forschung sollte theoriebasiert und theoriegenerierend sein:

Beide Studien verfolgen gemäß der eingangs erläuterten Forschungslogik des kritischen Rationalismus [3] einen hypothesenprüfenden Ansatz, indem sie theoretische Ansätze aus der pädagogischen Psychologie für den Physikunterricht adaptieren und evaluieren. In beiden Fällen ergeben sich aus den Ergebnissen theoretische Erkenntnisse, die Ausgangspunkt für neue Forschungsfragen sind.

Im ersten Fall können die Annahmen der Theorie bestätigt werden, d. h. die Theorie der Basismodelle eignet sich zur Planung und Analyse von erfolgreichem Physikunterricht. Im Rahmen der Theorie können nun Gestaltungsdetails z. B. der unterschiedliche Einsatz von Experimenten je nach Basismodell untersucht werden.

Im zweiten Fall sind die Ergebnisse dagegen überraschend. Hier stellt sich die Frage, ob die in Concept Maps dargestellten Wissensstrukturen andere Informationen über das physikalische Verständnis von Schülerinnen und Schüler enthalten, als sie in schriftlichen Tests oder durch sonstige Unterrichtsbeobachtungen gewonnen werden. Dies gibt Anlass zur Überarbeitung der theoretischen Annahmen.

Wissenschaftlicher Fortschritt in der Physikdidaktik besteht somit darin, dass man auf bestehenden Theorien aufbaut und diese weiterentwickelt, bis sich mit der Zeit ein stimmiges Gesamtbild mit einem wiederholt bestätigten physikdidaktischen Wissenskorpus ergibt.

2. Physikdidaktische Forschung muss zuverlässige Aussagen über Effekte unterrichtlicher Maßnahmen machen:

Die physikdidaktische Forschung ist mit ihrer heutigen, empirischen Ausrichtung noch eine vergleichsweise junge Wissenschaft, in der sich erst langsam gemeinsame Forschungsstandards zu etablieren beginnen. Diese sind notwendig, um den physikdidaktischen Wissenskorpus auf ein solides Fundament zu stellen. Experimentelle Studiendesigns und psychometrische Auswertemethoden sind inzwischen fester Bestandteil der physikdidaktischen Forschung. Hierzu gehört die Bestimmung einschlägiger Kenngrößen wie z. B. von Reliabilitätskoeffizienten, Korrelationen oder Effektstärken.

Die geringen Teilnehmerzahlen auf Lehrerebene in den verschiedenen Untersuchungsgruppen der obigen beiden Studien zeigen, wie schwierig es ist, ausreichend Probanden für derartige Feldstudien zu bekommen. Bei kleinen Stichproben können nur größere Effekte und Gruppenunterschiede signifikant nachgewiesen werden. Nicht signifikante Gruppenunterschiede wie in der zweiten

Studie könnten sich bei einer größeren Stichprobe als signifikant erweisen. Außerdem stehen die Repräsentativität der Stichproben und damit die Generalisierbarkeit der Ergebnisse in Frage. Man muss sich davor hüten, die Ergebnisse von einzelnen Studien überzubewerten, denn beide Studien stellen nur eine Messung an einer einzigen Stichprobe dar.

Um Effekte zuverlässig nachzuweisen, müssten Wiederholungsmessungen (Replikationsstudien) durchgeführt werden, für die meist die Ressourcen fehlen. In der ersten Studie wurde deshalb mittels Bootstrapping das Vertrauensintervall für die Effektstärke für die Leistungszuwächse abgeschätzt. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 Prozent fällt bei einer Wiederholungsmessung die Effektstärke in einen Bereich von 0.16 bis 0.44. Eine Alternative zu Replikationsstudien besteht darin, Studien zu vergleichbaren Variablen (Konstrukten) in Metaanalysen zusammen zu fassen (vgl. [2]). Da die physikdidaktische Forschergemeinschaft aber relativ klein ist, liegen erst für wenige Themen (z. B. für das Experimentieren) ausreichend Studien vor. Die lernprozessorientierte Unterrichtsgestaltung wird beispielsweise im deutschsprachigen Raum nur an drei Standorten beforscht.

Berücksichtigt man außerdem, dass beide obigen Studien je das Ergebnis einer dreijährigen Dissertationsarbeit sind, erklärt sich, warum die physikdidaktische Forschung noch ziemlich am Anfang steht. So betrachten beide Studien noch nicht die Förderung und Diagnostik von Lernprozessen auf der Individualebene, sondern auf der Klassenebene.

3. Physikdidaktische Forschung sollte praktische Relevanz für die Unterrichtspraxis und die Lehramtsausbildung haben:

Der Kompetenzgedanke hat auch in Lehrerbildung Einzug gehalten. Um Kompetenzen von Lehrkräften zu fördern, ist es notwendig, dass Lehrkräfte erprobte Konzepte und Prinzipien kennen lernen und ihre flexible Anwendung in den vielfältigen Situationen des Schulalltags einüben. Eine theoriegenerierende Physikdidaktik, die ihre Theorien praxisnah evaluiert, bietet hierfür eine gute Grundlage. Sie stellt nicht einfach Kopiervorlagen zur Verfügung, sondern generiert Prototypen, die von den Lehrkräften selbständig für ihren eigenen Unterricht adaptiert werden müssen. Ein Beispiel hierfür ist der Praxisband [16], der aus der Lehrerfortbildung zu den Basismodellen hervorgegangen ist. Dort werden exemplarisch Unterrichtsstunden theoriegeleitet analysiert und Entwicklungsmöglichkeiten aufgezeigt.

Kompetenzorientierung in der Lehrerbildung kann bedeuten, dass verstärkt Unterrichts- und Lernprozesse in den Blick genommen werden. Welche Rolle spielt dabei noch die Physik? Kompetenzen müssen immer in konkreten Kontexten erworben und umgesetzt werden. Deshalb ist ein profundes Fachwissen der Lehrkraft unabdingbare Voraussetzung für guten Physikunterricht. Gutes Fachwissen

garantiert aber noch keinen guten Physikunterricht. Hierfür ist neben einer didaktischen Rekonstruktion der Sachstruktur auch wichtig, wie Lern- Übungs- und Reflexionsgelegenheiten im Unterricht arrangiert werden. Eine Aufgabe der Physikdidaktik ist aufzuzeigen, wie dies unter den speziellen Rahmenbedingungen des Physikunterrichts mit seinen spezifischen Lernzielen und Methoden aussehen kann. Die oben dargestellten Forschungsprojekte versuchen solche Hinweise für den Physikunterricht zu geben, z. B. zur konkreten Umsetzung der häufig im Unterricht vergessenen Vernetzungsphasen

im Fall der ersten Studie [16]. Mit dem Perspektivwechsel von der Sachstruktur auf die Lernprozessstruktur ist eine Schülerorientierung verknüpft, die Schülerinnen und Schülern in ihrem schwierigen Aneignungsprozess ernst nimmt, sie begleitet und unterstützt. In diesem Sinne müssen Physiklehrkräfte, Physikdidakterinnen und Physikdidaktiker auch Spezialisten für Lernprozesse sein.

Prof. Dr. Heiko Krabbe *Ruhr-Universität Bochum*

Literatur

- [1] Fischer, H. E., & Krabbe, H. (2015) Empirische Forschung in der Physikdidaktik. Fragestellungen, Ergebnisse und Beispiele. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (3. Aufl., 727-757). Berlin: Springer.
- [2] Popper, K. R. (2005) Logik der Forschung. In H. Keuth (Hrsg.), *Karl R. Popper - Gesammelte Werke, Band 3* (11. Auflage). Tübingen: Mohr-Siebeck.
- [3] Hattie, J. (2014) *Lernen sichtbar machen: Überarbeitete deutschsprachige Ausgabe von Visible Learning*. Baltmannsweiler: Schneider Hohengehren.
- [4] Rost, D. H. (2009) *Interpretation und Bewertung pädagogisch-psychologischer Studien: Eine Einführung*. Weinheim: Beltz.
- [5] Zander, S. (2015) *Lehrerfortbildung zu Basismodellen und Zusammenhänge zum Fachwissen*. Dissertation an der Universität Duisburg-Essen
- [6] Ley, S. L. [2014] *Concept Maps als Diagnoseinstrument im Physikunterricht und deren Auswirkung auf die Diagnosegenauigkeit von Physiklehrkräften*. Dissertation an der Universität Duisburg-Essen
- [7] Oser, F., & Baeriswyl, F. (2001). Choreographies of teaching: bridging instruction to learning. In: V. Richardson (Ed.), *AERA's handbook of research on teaching* (4th ed., pp. 1031-1065). Washington, DC: American Educational Research Association
- [8] Reyer, T. (2004). *Oberflächenmerkmale und Tiefenstrukturen im Unterricht. Exemplarische Analysen im Physikunterricht der gymnasialen Sekundarstufe*. Berlin: Logos.
- [9] Wackermann, R. (2008). *Überprüfung der Wirksamkeit eines Basismodell-Trainings für Physiklehrer*. Berlin: Logos.
- [10] Baumert, J., Klieme, E., Neubrand, M. et al. (2001). PISA 2000: Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich. [PISA 2000: Students' fundamental competences in international comparison]. Opladen: Leske + Budrich.
- [11] Novak, J. D. (1991). Clarify with concept maps: A tool for students and teachers alike. *The Science Teacher*, 58(7), 45-49.
- [12] Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology: A cognitive view*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- [13] Liu, X. & McKeough, A. (2005). Developmental Growth in Students' Concept of Energy: Analysis from selected Items from the TIMSS Database. In: *Journal of Research in Science Teaching* 45 (5). 493-517.
- [14] Viering, T. (2012). *Entwicklung physikalischer Kompetenz in der Sekundarstufe I. Validierung eines Kompetenzentwicklungsmodells für das Energiekonzept im Bereich Fachwissen*. Berlin: Logos.
- [15] Helmke, A. (2009). *Unterrichtsqualität und Lehrerprofessionalität. Diagnose, Evaluation und Verbesserung des Unterrichts*. Seelze-Velber: Klett Kallmeyer.
- [16] Krabbe, H., Zander, S. & Fischer, H. E. (2015) *Lernprozessorientierte Gestaltung von Physikunterricht. Materialien zur Lehrerfortbildung*. Münster: Waxmann. verfügbar unter: <http://www.ganzin.de/wp-content/uploads/2015/10/Lernprozessorientierte-Gestaltung-von-Physikunterricht.pdf>

Die Physikolympiade – ein funktionierendes Förderkonzept?

Michael Schwarzer

1. Einleitung

Die internationale Physikolympiade (IPHO) ist ein Wettbewerb, an dem etwa 400 SchülerInnen aus der ganzen Welt teilnehmen. Sie findet jedes Jahr in einem anderen der rund 80 Teilnehmerländer statt. Österreich nimmt seit 1982 an diesem in Osteuropa erfunden SchülerInnenwettbewerb teil und hat 1988 die IHPO in Bad Ischl ausgetragen.

Bei dem Wettbewerb geht es um die Lösung anspruchsvoller theoretischer und experimenteller Aufgaben. In Österreich werden in einem vierstufigen Verfahren die fünf TeilnehmerInnen an der IPHO ermittelt. Das Auswahlverfahren beginnt mit einem Wettbewerb an der Schule und endet mit einem 10-tägigen Training, an dessen Ende das zweitägige Bundeswettbewerb-Finale steht. Zur Vorbereitung auf diese Wettbewerbe werden in Österreich an circa 60 Schulen unverbindliche Übungen mit insgesamt rund 700 SchülerInnen abgehalten.

Mit der Olympiade sollen begabte SchülerInnen auf ein technisches bzw. naturwissenschaftliches Studium vorbereitet werden. Mehrere Studien in Österreich und Deutschland haben sich mit der Frage beschäftigt, ob dieses Ziel auch tatsächlich erreicht wird. In Österreich hat Claudia Resch vom Österreichischen Zentrum für Begabten- und Begabungsförderung SchülerInnen und LehrerInnen zur Olympiade befragt [1]. Eine Langzeitstudie in Deutschland hat Unterschiede in der universitären Laufbahn zwischen OlympiadeschülerInnen und anderen Physikstudierenden über 20 Jahre hinweg dokumentiert [2].

2. Studiendesign

In einer neuen Studie des Zentrums für Fachdidaktik der Pädagogischen Hochschule Tirol wurde im Wintersemester 2016 die Sichtweise von StudentInnen, die die Olympiade besucht haben und jetzt Physik studieren, untersucht. Dafür wurde unter den PhysikstudentInnen der Universität Innsbruck im Jänner 2016 eine Umfrage durchgeführt. Insgesamt haben 107 StudentInnen einen Fragebogen online ausgefüllt. Zwei Drittel der StudentInnen kamen aus einer AHS und etwa 20 % aus einer HTL. 4 % waren HAK SchülerInnen und 10 % Sonstige. 17 % aller StudentInnen besuchten in ihrer Schulzeit die Physikolympiade, 20 % ein Wahlpflichtfach. Unter den SchülerInnen, die eine AHS besuchten, waren 25 % OlympiadeschülerInnen.

Der Fragebogen beschäftigte sich mit der schulischen Laufbahn und den besuchten Fördermaßnahmen und den Motiven für die

Studienwahl. Dabei wurde auch die Wirksamkeit universitäre Angebote (z.B. Tag der Physik) erhoben. Außerdem wurden die Schwierigkeiten beim Umstieg und Verbesserungsvorschläge für den Übergang abgefragt. Die für diese Studie interessante Frage war:

Wie schwer war der Umstieg von Schule auf Universität? (1-nicht so schwer, 2-genau richtig, 3-eher schwer 4-viel zu schwierig).

Mit dieser Frage erhält man eine persönliche Einschätzung der StudentInnen, die nicht mit den Noten im Studium bzw. dem Studienerfolg korrelieren muss. Für die Auswertung wurde jeweils der Mittelwert der vier Antwortmöglichkeiten erhoben.

3. Ergebnisse

1. Analysen nach Schultyp

Je nach Schultyp beurteilen die StudentInnen die Schwierigkeiten beim Wechsel auf die Universität unterschiedlich. Tabelle 1 gibt den Mittelwert in Abhängigkeit vom Schultyp wieder. SchülerInnen mit verstärktem Unterricht in Physik [RG(PH)] finden den Umstieg am einfachsten. HAK-Abgänger am schwierigsten. Der Mittelwert über alle Studierenden liegt bei 2,57.

2. Was bringt die Olympiade?

Wenn man den Besuch von Wahlpflichtfach oder Physikolympiade als Merkmal untersucht, zeigt sich, dass SchülerInnen, die die Olympiade besucht haben, den Umstieg leichter empfinden (2,24 zu 2,58). Der Befund ändert sich auch nicht, wenn man nur StudentInnen aus Realgymnasien berücksichtigt. Auch bei SchülerInnen aus Realgymnasien mit Schwerpunkt Physik, Biologie und Chemie bleibt ein Unterschied bestehen (2,20 zu 2,43). Die Alle Ergebnisse wurden mit einem T-Test geprüft und sind statistisch signifikant auf einem Niveau von $p < 0,05$!

Tabelle 1

Schultyp	Mittelwert
RG (PH)	2,29
HTL	2,35
BORG	2,50
Gymnasium	2,60
HAK	2,75
Sonst.	2,73

Noch deutlicher zeigt sich der Unterschied, wenn man die relative Häufigkeit der Antwortmöglichkeiten vergleicht.

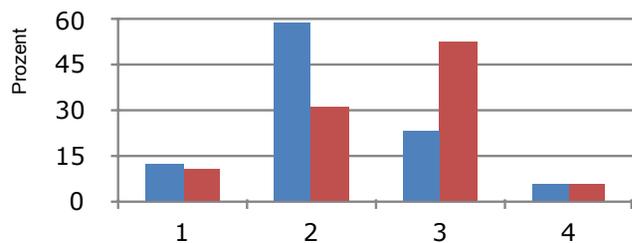


Abbildung 1: Häufigkeit der einzelnen Antwortmöglichkeiten in Prozent. [1-nicht so schwer, 2-genau richtig, 3-eher schwer 4-viel zu schwierig]

Die blauen Balken in Abbildung 1 zeigen die Antworten der OlympiadeschülerInnen in Prozent und die roten die aller SchülerInnen. Während bei den StudentInnen mit Olympiadehintergrund fast 60 % den Umstieg als genau richtig betrachten, sind es im Durchschnitt nur 30 %.

Darüber hinaus zeigt sich ein Unterschied zwischen männlichen und weiblichen StudentInnen. Studentinnen empfinden den Umstieg schwerer als ihn ihre männlichen Kollegen empfinden (2,69 zu 2,42).

3. Motive für die Studienwahl

Die StudentInnen wurden auch nach ihren Motiven für die Studienwahl befragt. Dabei wurde das fachliche Interesse am häufigsten genannt. Andere Motive, wie Lehrer, Eltern und Freunde oder die Teilnahme am Tag der Physik sind alle als gleich wichtig eingestuft worden. Es kann auch keinen Unterschied zwischen OlympiadeschülerInnen und anderen festgestellt werden, außer was die Rolle der LehrerInnen betrifft. OlympiadeschülerInnen bewerten die Rolle der LehrerInnen bei der Studienwahl höher als andere. Das stimmt mit den Ergebnissen der Studie von Claudia Resch überein [2].

4. Verbesserungsvorschläge für einen leichteren Umstieg

Die StudentInnen wurden auch gefragt, welche Vorschläge sie zur Erleichterung des Umstiegs von der Schule auf die Universität haben. Die Verbesserungsvorschläge reichen von besserem Unterricht und mehr Mathematik bis hin zu mehr Fördermaßnahmen in der Schule. Nicht-OlympiadeschülerInnen fordern mehr Selbstständigkeit

im Unterricht. Dieser Vorschlag kommt bei OlympiadeschülerInnen überhaupt nicht vor!

4. Resümee

Es lässt sich ein Unterschied in der Einschätzung der Schwierigkeiten beim Umstieg von der Schule auf ein Studium zwischen OlympiadeschülerInnen und anderen feststellen. Dieser Unterschied ist statistisch signifikant. Da nur an einem Viertel der Tiroler Gymnasien Physikolympiade angeboten wird, haben viele StudentInnen nicht die Chance, eine Olympiade zu besuchen, auch wenn sie sich für das Fach interessieren. Daher lässt sich der Unterschied zwischen OlympiadeschülerInnen und anderen nicht darauf zurückführen, dass die „besseren“ PhysikerInnen sich auch ohne Olympiade leichter tun.

Zusammenfassend kann man sagen, dass die Olympiade eine Fördermaßnahme ist, die ihr Ziel erreicht. Die dabei aufgewandten finanziellen Mittel sind als eher gering einzustufen. Das Engagement von LehrerInnen zur Förderung von Begabten außerhalb des Regelunterrichts sollte in viel stärkerem Maß als bisher gewürdigt werden. Zu genau demselben Schluss kommt auch eine großangelegte Studie der DPG [3].

Die Studie zeigt, dass Schulen, die an Begabtenförderung interessiert sind und darin auch die Möglichkeit einer Profilbildung sehen, mit der Olympiade auf ein bewährtes und erfolgreiches Fördersystem zurückgreifen können.

Um möglichst vielen SchülerInnen den Besuch einer Olympiade zu ermöglichen, müsste man die Olympiade an noch mehr Schulen anbieten. Um dieses Ziel zu erreichen, sind sowohl finanzielle Mittel (Geld für Materialien, zusätzliche Werteinheiten für Schulen, die Olympiaden anbieten) als auch organisatorische Unterstützung (Hilfe beim Einrichten eines Kurses, Arbeitsunterlagen für Neueinsteiger, Kursleiterseminare) sehr wichtig.

Dr. Michael Schwarzer RECC Physik West, Pädagogische Hochschule Tirol, Feldstraße 1/II, 6020 Innsbruck

Literatur

- [1] C. Resch (2013); Schüler/innenolympiaden als Maßnahme der Begabten- und Exzellenzförderung; News & Science; Nr. 33/Ausgabe 1
- [2] Heller, K, A, Lengfelder A. (1999). Wissenschaftliche Evaluation der Internationalen Schülerolympiade in Mathematik, Physik und Chemie (1977-1997). Abschlussbericht der deutschen Olympiadestudie mit kulturvergleichenden Analysebefunden. München, Ludwig-Maximilian-Universität
- [3] Physik in der Schule; Autorengruppe; Studie der DPG; Quelle: <http://www.dpg-physik.de/veroeffentlichung/broschueren/studien.html>, (Letzter Zugriff, am 20.3.2017)

Schokolade oder Handyakku?

Ein Ausflug in die Welt des Verkehrs

Michael Pillei

Mit der Unterrichtsmaterialiensammlung „intelligent unterwegs“, die seit Sommer 2015 auf der Webpage des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit) verfügbar ist, wird in 18 Unterrichtseinheiten auf Mobilität von heute und wie Mobilität von morgen aussehen kann eingegangen. Jugendliche eignen sich interaktiv Wissen über die Aus- und Wechselwirkungen des derzeitigen Verkehrssystems auf Mensch, Gesellschaft, Raum und Umwelt an. Sie setzen sich aktiv forschend mit dem Thema „Mobilität der Zukunft“ auseinander. Dabei lernen sie zukunftsfähige Mobilitätskonzepte kennen und werden eingeladen, an deren Realisierung mitzuarbeiten. Ziel ist es, Vorteile und Risiken unterschiedlicher Mobilitätsformen und Verkehrsarten für den Menschen, seinem Lebensraum und für die Umwelt einschätzen zu lernen und auf Basis dieser Erkenntnisse zu handeln.

Das so generierte Wissen hilft ein kritisches Verständnis für den Verkehrsablauf und seine Komponenten zu entwickeln und ermöglicht somit den Aufbau einer eigenständigen und umweltgerechten Verkehrsmittelwahl. Die unterschiedlichen Verkehrs- und Transportmittel (FüÙe, Fahrräder, Sportgeräte (Inlineskates), Busse, Bahnen, Mofas, Motorräder, Autos, Lkw, Schiffe, Flugzeuge, ...) werden gleichwertig behandelt und zwar mit einem sinnvollen Bezug zur Lebenswelt der SchülerInnen, sowie dem Wohn- und Schulumfeld. Neben dem Personenverkehr wird auch der Güterverkehr (Straßen-, Schienen, Wasser- und Luftverkehr) thematisiert.

Der Begriff (Elektro-)mobilität steht in den Unterrichtsunterlagen nicht nur für Elektroautos, sondern wird in einem wesentlich breiteren Kontext verwendet. Elektromobilität beschreibt dabei ein vernetztes Mobilitätssystem sämtlicher elektrifizierter Verkehrsmittel, die sowohl im öffentlichen als auch im Individualverkehr eingesetzt werden. Elektromobilität, als Querschnittsmaterie von Verkehr, Infrastruktur, Technologie, Energie und Umwelt, ist ein starker Impulsgeber für neue Mobilitätskonzepte und die Integration von Mobilität in sogenannten „Smart Cities“.

Die Unterrichtseinheiten sind in drei Schwerpunkte gegliedert, die aus jeweils sechs nicht aufeinander aufbauenden Einheiten bestehen:



Im Themenbereich „Elektromobilität ist innovativ“ analysieren SchülerInnen bestehende Systeme zur Energiespeicherung und zu effizienten Antrieben. Sie entwerfen innovative Verkehrskonzepte und folgen den „grünen“ Fußspuren des Güterverkehrs bei der Herstellung von Alltagsprodukten wie z. B. dem eigenen T-Shirt.



Im Themenbereich „Elektromobilität ist zukunftsfähig“ analysieren SchülerInnen das derzeitige Image von Elektromobilität, identifizieren Hindernisse für deren Nutzung und entwerfen eine Utopie für die Mobilität 2050.



Im Themenblock „Elektromobilität ist umweltfreundlich“ werden Grundlagen und Auswirkungen des Klimawandels von den SchülerInnen erforscht und in Bezug auf Mobilität (von Personen und Gütern) alternative Verhaltensweisen aufgezeigt, diskutiert und bewertet.

Klassenstufe:	ab der 9. Schulstufe
Dauer der Einheit:	2 Unterrichtsstunden
Themen:	Energiegehalt von Akkus, Lebensmitteln und Brennstoffen, Umrechnen von gängigen Energieeinheiten, Energiedichte
Fachliche Ziele:	Die SchülerInnen analysieren den Energiegehalt von Akkus, Lebensmitteln und Brennstoffen und vergleichen so unterschiedliche Energiespeicher und Energieträger. Sie festigen die Kompetenz im Umrechnen gängiger Energieeinheiten (kcal, J, kWh) und erarbeiten das Konzept der Energiedichte anhand von Alltagsmaterialien. Die SchülerInnen recherchieren und diskutieren die unterschiedliche Energiedichte verschiedener Energiespeicher und Energieträger, den daraus folgende Konsequenzen für unsere Mobilität, und den Wirkungsgrad der Umwandlung der gespeicherten in die für die Bewegung benötigten Energie.
Handlungskompetenz: „Wissen organisieren“:	Die Schülerinnen können Recherchen durchführen und die daraus gewonnen Informationen darstellen und für die Diskussion verwenden. Sie wissen über die Unterschiede in der Energiedichte verschiedener Energiespeicher und Energieträger und daraus folgende Konsequenzen für unsere Mobilität Bescheid.
Handlungskompetenz „Erkenntnisse gewinnen“:	Die Schülerinnen können zum Einstiegsexperiment Fragen stellen und Hypothesen bilden. Sie festigen ihre Kompetenz im Umrechnen zwischen den gebräuchlichen Einheiten und können somit zu den Fragestellungen und Vermutungen passende Untersuchungen planen, durchführen und auswerten.
Handlungskompetenz „Schlüsse & Konsequenzen ziehen“:	Die SchülerInnen bewerten die errechneten Ergebnisse und ziehen Schlüsse bezüglich des Zusammenhang zwischen Energiedichten, Treibstoffen und Reichweiten.
Alltagsbezug:	Einschätzung von Energiedichte und Energiegehalt und daraus folgende Konsequenzen für unsere Mobilität.

Kasten 1: Infobox

Unterrichtseinheit „Schokolade oder Handyakku“

Für die Alltags- und Wirtschaftlichkeit verschiedener Verkehrssysteme ist die Energiedichte des verwendeten Treibstoffs ein wesentlicher Faktor. Je mehr Energie pro kg des Speichermaterials genutzt werden kann, desto größer ist die potentielle Reichweite.

Mit den eigenen bzw. elterlichen Fahrzeugen bekommen Jugendliche heute von früher Kindheit an einen Bezug zur Wechselwirkung von Bewegung und Energie. Wenn nicht gerade ein Elektroauto zur Verfügung steht, gehört der regelmäßige Besuch einer Tankstelle, um Kraftstoff nachzufüllen, zu den regelmäßigen Ritualen im Familienleben. Auch wenn die genaue Funktionsweise vielleicht nicht im Detail verstanden wird, so wird dennoch der Zusammenhang zwischen einem leeren Tank und der dann nicht mehr gegebenen Mobilität vermittelt. Ähnliches können wir bei Mobiltelefonen feststellen, bei denen die Verfügbarkeit eines vollen Akkus – scheinbar – über die Teilhabe am sozialen Leben entscheidet. Während ein PKW mit Verbrennungsmotor bis zu 1.000 km mit einer Tankfüllung gefahren werden kann, muss ein Handyakku in der Regel spätestens nach zwei Tagen nachgeladen werden. Wie kommt es zu diesen eklatanten Unterschieden?

In beiden Fällen wird Energie von externen Quellen zugeführt. Neben der Größe der Energiespeicher ist vor allem die Energiedichte ein entscheidender Faktor. Unterschiedliche Dichten führen zu unterschiedlichen Möglichkeiten und Grenzen für unsere Mobilität. Die Schülerinnen erarbeiten anhand einer Checkliste die Fragestellung, wie Energie auf unterschiedliche Arten gespeichert werden kann und bei welchen Energieträgern die Energiedichte am höchsten ist. Zu Beginn wird von den Schülerinnen assoziativ eine Liste mit Energiespeichern erstellt. Diese werden nach dem vermuteten Energiegehalt je kg geordnet. Für die gefundenen Energieträger sind dann Gewicht und Energiegehalt zu recherchieren. Diese Werte werden anhand von Vorgaben in kJ umgerechnet. Anhand der errechneten Werte können die zuvor angestellten Vermutungen bestätigt oder korrigiert werden.

Das Konzept der Energiedichte und wo überall Energie „versteckt“ ist, wird durch das Einstiegsexperiment demonstriert.

Das Einstiegsexperiment:

In einem dünnwandigen Metallpfännchen wird etwas Speiseöl verteilt und ein rohes Ei aufgeschlagen. Um dieses zu braten wird ein Stück Bitterschokolade entzündet und auf einer feuerfesten Unterlage abgelegt. Die Energie reicht aus, um ein Spiegelei zu braten.

Der Rahmen:

Dieses Experiment soll aus der pädagogischen Sicht und dem Unterrichtsprinzip des forschenden Lernens folgend dazu beitragen, aktives Forschen im naturwissenschaftlichen Unterricht als Selbstverständlichkeit umzusetzen. Durch die Untersuchung und dem Vergleich von Energiedichten unterschiedlicher Energiespeicher aus dem Alltag (Akkus, Lebensmittel, Brennstoffe) wird eine zu Beginn erstellte Hypothese geprüft und korrigiert. Dabei festigen die SchülerInnen ihre Kompetenz im Umrechnen zwischen gebräuchlichen Energieeinheiten (kcal, kJ, kWh). Des Weiteren entwickeln sie konkrete Vorstellungen über die Größenunterschieden bei der Energiedichte fossiler Brennstoffe und elektrischer Akkus und erweitern ihr Wissen über den Wirkungsgrad der Umwandlung gespeicherter bzw. für die Bewegung benötigter Energie.

Aufbau der Unterrichtseinheiten:

Jede Unterrichtseinheit gliedert sich in einen Teil für LehrerInnen sowie einen Aufgabenteil für die SchülerInnen. Der Lehrerteil ist jeweils folgendermaßen aufgebaut:

- Ziel der Unterrichtseinheit
- Fächer und Altersstufe
- Dauer der Einheit
- Benötigte Materialien
- Möglicher Unterrichtsverlauf
- Durchführung Einstiegsexperiment
- Hintergrundinformationen (Kontext und Lösung)
- Weiterführende Ideen und Links

Für die Schüler stehen Arbeitsblätter zur Verfügung, die neben der eigentlichen Aufgabenstellung Tipps sowie weiterführende Links enthalten.

Verfügbarkeit:

Die Unterrichtsmaterialien stehen einzeln oder als Gesamtdokument auf der Webpage des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie kostenfrei zur Verfügung.

<https://www.bmvit.gv.at/verkehr/elektromobilitaet/ausbildung/unterrichtsmaterial/index.html>

Die Unterrichtsmaterialien wurden von AustriaTech – Gesellschaft des Bundes für technologiepolitische Maßnahmen GmbH im Auftrag des BMVIT erstellt. An dem Projekt mitgearbeitet haben: Gertraud Oberzaucher, MAS, DI Michael Pillei (Text), Henriette Spyra, MA

Dipl.-Ing. Michael Pillei *AustriaTech*

Start eines Wetterballons

Michael Himmelsbach

1. Einleitung

Im Sommersemester 2017 wurde am Europagymnasium Baumgartenberg (OÖ) mit den Schüler/innen des Wahlpflichtfaches (WPF) Physik (12. Schulstufe) ein Wetterballon gestartet. In diesem Beitrag wird von der Projektplanung und -durchführung berichtet.

Wetterballone sind in der modernen Meteorologie ein wichtiges Element, um aktuelle Wetterdaten zu sammeln [1]. Neben höhenabhängigen Druck-, Temperatur-, Luftfeuchte- und Windstärkenmessungen liefert ein Flug in die Stratosphäre auch eindrucksvolle Bilder von der Erdoberfläche und -atmosphäre. Die Planung und Durchführung des Starts eines Wetterballons ist im naturwissenschaftlichen Unterricht durchaus möglich, aber herausfordernd. Dieser Versuch ist sehr planungsaufwendig und setzt eine längerfristige Motivation der Schüler/innen zur (Mit)Arbeit am Projekt voraus.

2. Vorbereitung

Nachdem im WPF mehrere Wochen einfache Messungen mit Hilfe des Arduino-Boards [2] durchgeführt wurden, entwickelten zwei Schüler die Idee, dass ein Start eines Wetterballons ein interessantes Projekt wäre, um höhenabhängig einfache Messgrößen wie z.B. Temperatur zu ermitteln. Ein Schüler recherchierte Bezugsquellen für einen Ballon (z. B. [3]) und grübelte, welche Messungen beim Aufstieg gemacht werden können.

Bevor das Projekt durchgeführt werden konnte, musste natürlich die Organisation und die Finanzierung geklärt werden. Die Schüler/innen bildeten Projektgruppen, die

1. Ballongas/Helium, Ballon, Fallschirm bestellen,
2. mögliche sinnvolle Elemente einer Forschungsbox erheben und dabei auf die Gesamtlast achten,
3. erforderliche Genehmigungen abklären und ggf. einholen,
4. die Kosten des Projekts ermitteln und die Finanzierung klären.

Der erste Punkt war relativ rasch geklärt, denn das Ballonequipment und -gas war sofort verfügbar und konnte relativ rasch bezogen werden. Um die Kosten etwas niedriger zu halten, entschieden wir uns für einen Wetterballon mit einer Nutzlastmasse von maximal 800 g – dies limitierte allerdings die Auswahl der Messinstrumente für die Forschungsbox. Wir verwendeten eine Powerbank zur Stromversorgung, eine Go-Pro-Kamera, einen Raspery Pi PC mit Druck-, Luftfeuchte- und Temperatursensoren und ein Mobiltelefon zur GPS-Ortung und Datenübertragung. Die Datenspeicherung mit Hilfe eines Raspery Pis ist einfacher als mittels Arduino-Board, da dieser über einen SD-Memory-Slot zur Datenaufzeichnung

verfügt. Das Mobiltelefon musste umprogrammiert werden, denn auf Grund des Temperaturabfalls mit zunehmender Höhe kann sich das Telefon ausschalten. Zudem ist in großer Höhe kein Mobilfunknetz mehr verfügbar. Daher muss das Telefon so programmiert werden, dass es sich nach einem Ausfall sicher von selbst wieder aktiviert. Außerdem soll das Telefon GPS-Daten per SMS übertragen, um einerseits den Ballon zu verfolgen und um andererseits den Ballon nach dem Zerplatzen wieder zu finden. Die Schüler dieses Teams programmierten daher das Mobiltelefon mit Hilfe der App „Automate“ so, dass es

- nach einem möglichen Ausfall wieder selbstständig hochfährt und die App beim Gerätestart automatisch mitgestartet wird,
- regelmäßig die Sensoren des Handys ausliest und die Daten auf dem Handy lokal speichert,
- bei Verbindung mit dem Mobilfunknetz jede Minute eine SMS mit den GPS-Daten und der Höhe sendet.¹

Die Programmierung eines Mobiltelefons mit der Automatisierungsapp nach diesen Kriterien ist nicht schwierig. Da allerdings diese drei Kriterien zu beachten sind und die Funktionsweise mehrmals getestet werden muss, sollte zur Ortung ein Gerät zur GPS-Ortung verwendet werden. Der in Tabelle 1 angeführte GPS Tracker sendet verlässlich die Positionsdaten, benötigt lediglich eine SIM-Karte und ist mehrfach verwendbar. Bei einer derartigen Vorgehensweise kann auf ein Mobiltelefon in der Forschungsbox verzichtet werden.

Die dritte Projektgruppe stellte fest, dass eine Betriebsbewilligung der Behörde Austro Control [4] für einen leichten unbemannten Freiballon notwendig ist. Um diese zu erhalten, muss der Name des Betreibers und der beteiligten Personen (inkl. Passkopien) bekannt gegeben werden. Zudem muss die Nutzlast beschrieben, skizziert und fotografiert, Angaben zum Startort (sekundengenaue Koordinaten) gemacht und eine Versicherungsbestätigung gemäß LFG §168 beigelegt werden. Außerdem müssen alle beteiligten Personen bestätigen, dass sie die gültigen Rechtsvorschriften (SERA 3140 + Appendix 2, LFG §24g bzw. 24i und §§ 146-168), LVR 2014 - §17 LVR) [5] kennen. Dieses Team bereitete

¹ Bei unserem Start erhielten wir die letzte SMS in einer Höhe von 7000 m. Daher konnten wir den Ballon leider nicht mehr sofort auffinden und können in dieser Arbeit auch keine Datenauswertung präsentieren. Nach der Schneeschmelze im Frühjahr 2018 wurde die Forschungsbox bei Waldarbeiten gefunden und der Finder hat dankenswerterweise das Projektteam umgehend mittels der Kontaktdaten auf der Forschungsbox verständigt. Beim Abholen hat das Projektteam festgestellt, dass die Forschungsbox zuvor schon aufgerissen und die Go-Pro-Kamera, das Mobiltelefon und die Powerbank entwendet wurden.

die erforderlichen Dokumente auf und brachte den Antrag auf Betriebsbewilligung bei der zuständigen Behörde (Austro Control) ein. Dankenswerterweise standen hier Mitarbeiter/innen der Austro Control sehr hilfreich zur Seite, wodurch wir die geforderten Dokumente ordnungsgemäß vorbereiten konnten. Die Versicherung des Projekts konnten wir über eine Zusatzpolizze zur Schulversicherung abschließen².

Die vierte Projektgruppe erhob die Kosten des Projekts, die in Tabelle 1 aufgeschlüsselt sind, und verhandelte mit der Schulleitung und dem Schulverein, ob und welche Kosten von Seiten der Schule getragen werden.

3. Start des Ballons

Für den Start des Wetterballons können bis zu drei mögliche Starttermine im Ansuchen zur der Betriebsbewilligung unbemannter Freiballon bei der Austro Control angegeben werden. Es empfiehlt sich die Wetterverhältnisse zu überprüfen, denn neben klaren Sichtverhältnissen, die wichtig für ansprechende Bilder sind, ist es empfehlenswert, auf windarme Bedingungen zu achten, da diese den Aufbau und den Start erleichtern. Ein nützliches Tool [6] erlaubt eine Berechnung der Route und somit eine ungefähre Vorhersage des Landeplatzes.³ Am entsprechenden Starttermin sollte man ca. zwei Stunden vor dem geplanten Startzeitpunkt mit den direkten Vorbereitungen beginnen. Das Befüllen des Ballons mit Helium bzw. Ballongas nimmt ca. eine dreiviertel Stunde in Anspruch, das Anbringen und Fixieren des Fallschirms inklusive der Nutzlast kann in 15 – 30 Minuten bewältigt werden. Da die Ballonhülle sehr dünn ist, sollten beim Hantieren mit dem Ballon, vor allem beim Befüllen mit dem Ballongas, dünne Handschuhe verwendet werden, um Beschädigungen der dünnen Ballonhülle durch beispielsweise spitze Fingernägel zu vermeiden. Je nach Ausstattung der Nutzlast ist mit unterschiedlicher Vorbereitungszeit zu rechnen. In unserem Fall benötigten wir für den Einbau in die Styroporbox nach abschließender Programmierung des Systems ca. 90 Minuten.

Eine halbe Stunde vor dem Startzeitpunkt müssen letzte Zustimmungen für den Start bei drei Stellen, die im Bescheid der Austro Control angegeben sind, eingeholt werden. Auf Grund der vielen Schritte bis zum Start ist es günstig, bei den direkten Startvorbereitungen arbeitsteilig vorzubereiten und eine Koordinierungsperson zu benennen. In den Abbildungen 1 und 2 sieht man den Ballon und die Schüler/innen bei den direkten Vorbereitungen.

4. Zeitaufwand und Kosten

Der Start eines Wetterballons ist sicher eines der zeitauf-



Abbildung 1



Abbildung 2

wendigsten und kostenintensivsten Projekte, die im Schulunterricht durchgeführt werden. In nachfolgender Tabelle sind die Kosten und Vorbereitungszeiten angegeben, die bei unserer Durchführung entstanden sind. Die Referenzen zeigen die Bezugsquellen an.

Tabelle 1: Auflistung der verwendeten Utensilien für den Start eines Wetterballons

Mindestanforderung	Kosten	Zeitaufwand
Wetterballon 800 und Fallschirm [3]	ca. 125 €	1 Woche Lieferzeit
Ballongas bzw. Helium [7]	ca. 150 €	Vorbestellung, möglicherweise lagernd
Genehmigung Austro Control [4]	ca. 300 €	1 Monat Antragsbearbeitung
Versicherung (z.B. Allianz) über 750 000 SZR	ca. 170 €	ca. 1 Woche Bearbeitung
Ausstattung	Kosten	Anmerkungen
Rasperi Pie, Druck- und Temperatursensor	ca. 100 €	
Kamera (z.B. Go Pro)	gebraucht	
Power Bank 20 000 mAh	ca. 30 €	
Mobiltelefon	gebraucht	
GPS Tracker	79 €	Sichere Alternative zum Mobiltelefon
SIM-Karte	ca. 20 €	Wertkarte
Kleinmaterial (Verbindungskabel, SIM-Wertkarte, SD-Speicherkarten, Box, ...)		

² Eine Abklärung der Bedingungen der jeweiligen Schulversicherung ist sinnvoll, denn manche Schulversicherungen beinhalten bereits derartige Projektvorhaben. In diesem Fall ist keine Zusatzpolizze notwendig.

³ Die Stelle, an der Wetterballon gefunden wurde, lag weniger als 10 km vom vorherberechneten Landeplatz entfernt.

Bei der Ausstattung der Forschungsbox ist auf die Nutzlast des Wetterballons zu achten – in unserem Fall war die Maximallast 800 g.

Bei unserer Projektdurchführung lagen die Gesamtkosten bei ca. 750 €, da Schüler/innen manche Bauteile (Kamera, Mobiltelefon, Raspery Pi) gebraucht zur Verfügung stellten. Der gesamte Zeitaufwand lässt sich bei unserer Erstdurchführung nicht genau abschätzen. Mit der Projektplanung wurde nach den Semesterferien begonnen und erst gegen Ende April bekamen wir die Zusage, dass die Projektkosten von Seiten des Schulvereins übernommen werden und das Projekt finanziell gesichert ist. Der Start des Ballons erfolgte zwischen schriftlicher und mündlicher Reifeprüfung, wobei das Projektteam nach der schriftlichen Reifeprüfung vollständig anwesend war und hochmotiviert das Projekt durchführten.

5. Zusammenfassung

Obwohl der Wetterballon nach dem Zerplatzen nicht mehr aufgefunden werden konnte und die aufgezeichneten Daten somit nicht zur Verfügung stehen, war das Projekt im Sinne von forschendem Lernen [8] sehr erfolgreich. Die Schüler/innen des WPF Physik zeigten sich an dieser Unterrichtsmethode sehr interessiert und die Motivation blieb auch nach Abschluss des Schuljahres hoch. In der Vorbereitungszeit stellten die Lernenden zahlreiche Hypothesen zur Projektdurchführung auf, zeigten hohes Erkenntnisinteresse, explorierten viele Stunden die Möglichkeiten zur praktischen Umsetzung und führten stets einen kritischen Diskurs bis zum Projektstart.

Nach dem Start wurden die Möglichkeiten ausgiebig erörtert, warum die Forschungsbox keine Daten mehr lieferte und der Landeort nicht bestimmt werden konnte.

Zur Ergänzung dieses Projekts kann noch angeführt werden, dass zahlreiche naturwissenschaftliche Vorüberlegungen, wie zum Beispiel statischer Auftrieb, Berechnung der Helium-Gas-Menge, Beschleunigung des Ballons, Aufzeichnung und Auswertung der Messdaten, Gefrierpunkte in Abhängigkeit des Luftdrucks, ..., für Schüler/innen auch aus niedrigeren Klassenstufen durchgeführt werden können. Eine Sammlung von Unterrichtsmaterial steht hierbei zur Verfügung [9]. Somit kann das Projekt auch mit Schulstufen der Sekundarstufe I durchgeführt werden und das Projekt Wetterballon ist für jahrgangsübergreifenden Unterricht geeignet.

Das Projektteam (Alexander Hipfl, Victoria Bauer, Tobias Fröschl, Paul Valita, Lisa Kaltenberger, Lukas Eder, Lorenz Khayll, Paul Käferböck, Jan Wenigwieser) und der Autor danken der Schulleitung und dem Schulverein des Europagymnasiums Baumgartenberg [10] und der Österreichischen Physikalischen Gesellschaft für die großzügige Unterstützung des Projekts.

DI Mag Dr. Michael Himmelsbach, MA *AHS-Professor für Mathematik und Physik, Europagymnasium vom Guten Hirten Baumgartenberg, 4342 Baumgartenberg 1*
Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Linz School of Education, Abteilung für Bildungsforschung, Johannes Kepler Universität Linz, Altenbergerstraße 69, 4040 Linz.

Literatur

- [1] <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/messnetze/weitere-messsysteme> (Stand: Dezember 2017)
- [2] <https://www.arduino.cc/> bzw. <https://funduino.de/> (Stand: Dezember 2017)
- [3] <https://www.stratoflights.com/> (Stand: Dezember 2017)
- [4] <http://www.austrocontrol.at> (Stand: Dezember 2017)
- [5] <https://www.ris.bka.gv.at/> (LFG) bzw. <https://easa.europa.eu/regulations> (Sera) (Stand: Dezember 2017)
- [6] <http://predict.habhub.org/> (Stand: Dezember 2017)
- [7] http://www.linde-gas.at/de/produkte/luftballon_ballongas/index.html (Stand: Dezember 2017)
- [8] Reitinger, J. (2015). Selbstbestimmungsorientiertes forschendes Lernen – Theoretische Konzeption und empirische Zugänglichkeit. *Erziehung und Unterricht*, 7/8, 611 – 619.
- [9] <https://www.stratoflights.com/education/unterrichtsmaterial/> (Stand: Dezember 2017)
- [10] <http://www.eurogym.info/whats-up-2/1674-physik-wpg-geht-in-die-luft> (Stand: Dezember 2017)

Das ÖAMTC Fahrtechnikzentrum als außerschulischer Lernort

Ronald Binder

Eine großzügige Initiative der ÖAMTC Fahrtechnik in enger Zusammenarbeit mit dem Landesschulrat für NÖ ermöglichte Schulklassen aus Niederösterreichischen Gymnasien das Erleben von Grenzbereichen von und in stark motorisierten Autos in den Fahrtechnikzentren.

Im Sommer 2016 fanden die ersten Gespräche zwischen dem Initiator Philipp Pechhacker, MA, als Vertreter der ÖAMTC Fahrtechnik, der Landesschulinspektorin Mag. Hermine Rögner aus dem Landesschulrat für NÖ und dem Autor statt, um ein einzigartiges Projekt für den Physikunterricht in NÖ zu entwickeln. Das Ziel war es, Schulklassen der Oberstufe in Fahrtechnikzentren einzuladen, um im Kontext „Verkehrsgeschehen“ physikalische Inhalte in der Praxis beobachten, anwenden und interpretieren zu können. Dazu wurde vereinbart, dass kompetenzorientierte Materialien zur Vor- und Nachbereitung, aber auch Messideen für die „Experimente“ in den Fahrtechnikzentren von Lehrkräften der Arbeitsgemeinschaft entwickelt werden sollten.

Das Projekt mit dem Titel „Fahrphysik erleben“ bekam somit folgende Eckdaten:

- Veranstaltungsorte: Fahrtechnikzentrum Teesdorf und Melk/Wachauring
- Termine: nach Vereinbarung
- Zeitrahmen: ca. 3 Stunden
- Kosten: Die ÖAMTC Fahrtechnik stellt Geländeresourcen, Fahrzeuge, Instruktoren und die Räumlichkeiten zur Verfügung, die Anreise ist selbst zu finanzieren.
- Zielgruppe: Schüler/innen der 9. bzw. 10. Schulstufe
- Lehrplanbezug:

Inhaltsdimension:

- Relativität von Ruhe und Bewegung, Bewegungsänderung durch Kräfte, Newton'sche Bewegungsgleichung, geradlinige und kreisförmige Bewegung
- Energie und Energieerhaltung

Handlungsdimension:

- Vorgänge und Phänomene in Alltag und Technik beschreiben und benennen
- Vorgänge und Phänomene in Alltag und Technik in verschiedenen Formen darstellen, erläutern und adressatengerecht kommunizieren
- Fachwissen in unterschiedlichen Kontexten anwenden
- zu Vorgängen und Phänomenen in Alltag und Technik naturwissenschaftliche Fragen formulieren und Hypothesen aufstellen
- zu Fragestellungen eine passende Untersuchung oder ein Experiment planen, durchführen und protokollieren
- im Rahmen naturwissenschaftlicher Untersuchungen oder Experimente Daten aufnehmen und analysieren
- Daten durch mathematische und physikalische Modelle abbilden und interpretieren
- Bedeutung, Chancen und Risiken der Anwendung von naturwissenschaftlichen Erkenntnissen auf persönlicher, regionaler und globaler Ebene erkennen, um verantwortungsbewusst zu handeln

Kasten 1

Das Programm im Fahrtechnikzentrum wird in drei Teile mit folgenden praktischen Schwerpunkten aufgeteilt:

- Sitzposition, Slalomfahrt
- Bremsen, Kurvenfahrt
- Schleudern, Aquaplaning

Die Schüler/innen bekommen die Möglichkeit, im Vorfeld mögliche Szenarien abzuschätzen, die Experimente aktiv miterleben und dabei Messungen mit Smartphones durchzuführen. Zusätzlich werden sie jeweils in Beobachtungspositionen gebracht, von denen aus Videoanalysen möglich sind.

Bei der Projektvorstellung für die Arbeitsgemeinschaft kamen Physikvertreter/innen aus sämtlichen Gymnasien Niederösterreichs für einen Nachmittag in die Fahrtechnikzentren. Im Rahmen dieser Präsentation entstand die Arbeitsgruppe, die die Erstellung der Begleitmaterialien übernahm. Diese wurden nach Fertigstellung auf der Website der Arbeitsgemeinschaft <http://www.physik.gymnasium-noe.at> veröffentlicht.

Beim offiziellen Kick-off in Melk äußerte sich der amtsführende Präsident des Landesschulrates Mag. Johann Heuras folgendermaßen:

„Darüber hinaus leisten wir mit dem Projekt einen Beitrag zu mehr Verkehrssicherheit für diese jugendliche Zielgruppe. Darum haben wir uns entschlossen, seitens des Landesschulrates diese Exkursion als fixen Bestandteil des Unterrichts für die 9. und 10. Schulstufe in die Jahresplanung aufzunehmen.“

Für die Umsetzung wurden Terminvorschläge der ÖAMTC Fahrtechnik ausgesandt, wobei die Anmeldung nach dem Prinzip „first come, first serve“ erfolgte. Bei der Buchung mussten Name und Adresse der Schule, Klasse und Anzahl der Schüler/innen, gewünschter Termin und die Kontaktdaten der Lehrkraft für etwaige Rückfragen angegeben werden.

In Summe nahmen im Jahr 2017 über 850 Schüler/innen aus NÖ am Projekt „Fahrphysik erleben“ teil. Die Rückmeldungen waren sehr erfreulich, wobei Schüler/innen nicht nur das Anwenden der Physik als sehr interessant empfunden haben, sondern auch teilweise wichtige Erkenntnisse für die nahenden Fahrschulfahrstunden bzw. Führerscheinprüfung erlangt haben. Aufgrund dieser Rückmeldungen beschloss die ÖAMTC Fahrtechnik dieses Angebot im Jahr 2018 auf ganz Österreich auszuweiten. Für organisatorische Fragen steht nach wie vor Herr Philipp Pechhacker, MA unter der Adresse philipp.pechhacker@oeamtc.at zur Verfügung.

Mag. Ronald Binder *Leiter der Arbeitsgemeinschaft der AHS-Physiklehrer/innen NÖ, KPH Wien/Krems*

Wie viele Wissenskulturen gibt es?

Naturwissenschaft und Technik als Subkultur moderner Gesellschaften

Peter Schmid

Manche werden sich beim Titel dieses Artikels an das Buch von C.P. Snow „The Two Cultures“ erinnert fühlen. Dies mit Recht, da es der Ausgangspunkt meiner Überlegungen ist.

Im Jahr 1959 hielt C.P. Snow, ein englischer Naturwissenschaftler und Schriftsteller, einen Vortrag an der Universität Cambridge, in dem er das eklatante gegenseitige Unverständnis zwischen den literarischen und naturwissenschaftlichen Kreisen beschrieb und beklagte.

Ich behaupte nun, dass sich das Problem seither verschlimmerte, zwar nicht so sehr in der gegenseitigen „Verachtung“, aber im Auseinanderfallen der Gesellschaft in „Teilkulturen“, die sich gegenseitig nicht mehr verstehen und nicht mehr miteinander kommunizieren können oder wollen.

Ich möchte die Situation genauer beschreiben und begründen, warum ich sie für bedenklich bis gefährlich halte. Ich gehe von einem traditionellen - manche würden vielleicht sagen konservativen - Begriff der Allgemeinbildung aus. Er bedeutet in meiner Sicht, dass ein Mensch in der Gesellschaft, deren Teil er ist, verantwortungsvoll teilnimmt, sodass er im Sinne einer Selbstverwirklichung seinen Zielen und Werten und jener der Gesellschaft gerecht wird. Ich behaupte auch, dass traditionell verstandene Demokratie nur als selbstbestimmte Gemeinschaft freier, gebildeter Bürger möglich ist.

Die heutige Gesellschaft ist von diesem traditionellen Ideal weit entfernt. Warum ist das so? Aus den vielen Gründen will ich folgende herausgreifen: Im Zuge der Globalisierung und der allgemeinen zivilisatorischen Entwicklung löst sich der traditionelle Gesellschaftsrahmen mit seinen Sicherheiten auf. Die täglichen Herausforderungen nehmen ständig zu und das zu deren Bewältigung notwendige Wissen explodiert. Vielleicht gab es einmal eine Zeit, in der ein gebildeter Mensch zu allen für ihn und die Gesellschaft relevanten Fragen eine fundierte Meinung haben und mit seinen Mitbürgern darüber verhandeln konnte. Diese Zeit ist vorbei.

Die beruflichen Herausforderungen nehmen so rasch zu, dass die Aneignung des notwendigen Fachwissens alle Kräfte in Anspruch nimmt und das Wissen über andere Gebiete mit zunehmender Entfernung vom eigenen Fach rapide abnimmt. Wir werden alle zu „Experten“ in immer kleineren Fachbereichen. Diese Experten bilden Subkulturen mit eigener Sprache und eigenem Wertesystem.

Hier sind einige der heutigen Subkulturen plakativ aufgelistet:

- Ökonomie, einschließlich der Finanzwelt
- Medizin/Pflege/ Gesundheit/Nahrung/Sport
- (Aus-)Bildung
- Wissenschaft / Forschung
 - Naturwissenschaften und Technik, einschließlich der Informationstechnologie
- Kunst (elitär und populär)
- Medien und Unterhaltungsindustrie
- ...

Natürlich gibt es Überlappungsbereiche zwischen diesen Subkulturen: z.B. ist die Anwendung der Informationstechnologie in kaum einer der Subkulturen wegzudenken, wobei allerdings das Verständnis meist sehr gering ist. Die Überlappung hat also kaum etwas mit Verstehen zu tun, sondern nur mit elementaren zivilisatorischen Nutzen/Kosten Aspekten.

Fazit: Unsere Gesellschaft besteht aus Subkulturen. Die meisten von uns leben dominant in einer dieser Kulturen, nehmen mehr oder weniger dilettantisch an manchen anderen teil und sind von wieder anderen völlig entkoppelt.

Damit ist das auf dem klassischen Bildungsideal aufbauende Konzept der Gesellschaft als partizipativer Demokratie ernsthaft in Frage gestellt oder schon hinfällig. Welchen persönlichen und gesellschaftlichen modus operandi braucht es, um in den geschilderten neuen Verhältnissen ein erfülltes Leben zu führen?

Ich bin nicht fähig, darauf eine Antwort zu geben, möchte dazu aber Folgendes zu bedenken geben: Da die Gesellschaft ohne das Wissen und das verantwortliche Handeln der Experten nicht mehr funktionieren kann, braucht es Prozeduren, um ihr verlässliches Zusammenspiel sicherzustellen. In aller Naivität würde man diese Aufgabe der Politik zuweisen. Allerdings sehe ich dort wenig Kompetenz dafür. An Stelle einer fruchtbaren Kooperation der Fachbereiche erleben wir eine teilweise massive Diskreditierung:

- Die Banken- und Finanzwirtschaft hat ihre Glaubwürdigkeit selbst schwer beschädigt;
- die Schulmedizin wird von mehreren Richtungen her angezweifelt mit teilweise absurden Folgen für die Volksgesundheit;

- der von der Naturwissenschaft eindeutig festgestellte Klimawandel und dessen Ursachen werden aus ökonomischen Interessen angezweifelt.

Das Ziel dieser langen einleitenden Betrachtungen ist es, die Subkultur der Naturwissenschaft und Technik, in der wir uns als Physiker finden, zu positionieren und zwar so, dass sie das Beste für die Gesellschaft leisten kann.

1. Naturwissenschaft und Technik als Subkultur der modernen Gesellschaft.

Naturwissenschaft und Technik spielen in der modernen Gesellschaft eine ambivalente Rolle: die Einschätzungen reichen vom allmächtigen Heilsbringer bis zur Verdammung als Teufelszeug, das den Untergang der Menschheit herbeiführen wird. Solche Ansichten zeigen verbreitetes Unwissen und mangelndes Verständnis. Es muss unsere Aufgabe sein, dies überzeugend richtig zu stellen. Dazu braucht es zunächst eine solide Selbstreflexion. Wissen wir selbst, was wir tun?

Der primäre Zweck der Naturwissenschaft ist **kulturell**: das Verstehen der Natur ist ein essentielles Element eines Verstehens der Welt. Damit ist implizit bereits gesagt, dass „die Welt“ mehr ist als das, was die Naturwissenschaft darüber sagen kann; die Welt schließt uns selbst und die menschliche Gemeinschaft ein.

Die Naturwissenschaft ist eine höchst erfolgreiche gesellschaftliche Tätigkeit. Ihr Erfolg beruht wesentlich auf einer methodischen Selbstbeschränkung. Der Gegenstand der Naturwissenschaft sind nicht die Unzahl alltäglicher individueller Ereignisse, sondern die Menge der reproduzierbaren Phänomene (woraus deren Objektivierbarkeit folgt). In unserer experimentellen Tätigkeit erfahren wir nun, dass die ungeheure Vielfalt der Phänomene keine chaotische Ansammlung bildet, sondern unser Wissen darüber sehr erfolgreich in Theorien strukturiert werden kann. Das enge Zusammenspiel der beiden irreduziblen Komponenten Datengewinnung und Theorie ist die Grundlage des Erfolges der Naturwissenschaften. (An dieser Stelle möchte ich auf das neue Buch „Physikalische Wirklichkeit - Konstruktion oder Entdeckung?“ unseres Kollegen M. Grodzicki aus Salzburg hinweisen. Das Buch ist keine einfache Betteltüre; es beschreibt ausführlich und mit unbestreitbarer Kompetenz das erwähnte Zusammenspiel von Datengewinnung und Theorie und die daraus folgende Qualität der physikalischen Erkenntnis.)

Wenn wir uns unserer Leistungsfähigkeit und ihrer Grenzen bewusst sind, so sollten wir dies auch der Öffentlichkeit, d.h. den anderen Subkulturen erklären können. Da ist zunächst der beeindruckende Umfang dieses Wissens (in alphabetischer Reihenfolge der Fachgebiete):

- Astronomie und Kosmologie
- Biologie

- Chemie
- Geologie
- Physik

Natürlich gibt es keine einfache, umfassende Theorie aller dieser Naturwissenschaften, aber das Wissen ist kohärent und widerspruchsfrei! Das einfachste Bindeglied aller dieser Naturwissenschaften ist das Periodische System der Elemente. Ursprung und Eigenschaften der Elemente sind von der Physik vollständig erklärt.

Naturwissenschaftliches Wissen ist offen für den Fortschritt. Daten haben eine begrenzte Genauigkeit. Sie werden durch den Fortschritt nicht falsch, sondern genauer bestimmt und können, bzw. müssen dann vielleicht neu interpretiert werden. Auch etablierte Theorien werden durch den Fortschritt nicht „falsifiziert“. Ihre Gültigkeit kann eingegrenzt werden und sie können als Näherung einer umfassenderen Theorie interpretiert werden. Es geht in der Naturwissenschaft also nicht um philosophische „Wahrheit“, sondern um das zum jeweiligen Zeitpunkt beste Verstehen der Phänomene und die beste Formulierung der offenen Fragen.

Ein zweiter Zweck der Naturwissenschaft ist **zivilisatorisch**: die Naturwissenschaft ist der Treiber des technischen Fortschritts, der allerdings im Handwerk weitere Wurzeln hat.

Der massive Einsatz technischer Innovationen hat das Alltagsleben der meisten Menschen, selbst in noch unterentwickelten Ländern, grundlegend verändert. Ein Leben ohne Elektrizität ist kaum noch vorstellbar. Durch Solarenergie geladene Batterien treiben Motoren und Kommunikationsgeräte in immer größeren Bereichen der Erde. Technische Geräte und Pharmaka wurden zu einem unverzichtbaren Teil der medizinischen Versorgung. Die stetige Zunahme der Lebenserwartung ist direkt proportional zum Einsatz moderner Technologie. Parallel dazu steigt das Angebot an Bildungsmöglichkeiten.

Es ist bemerkenswert, dass selbst die schärfsten Kritiker des überbordenden Einsatzes von Technik deren Basis (Elektrizität, Verkehrsmittel, Mobiltelefon, ..) intensiv benutzen, wenn auch vielleicht gedankenlos. Dies soll jedoch nicht den Blick davor verstellen, dass eine Reihe von Entwicklungen gefährliche, ja sogar dramatische Folgen haben können. Hier ist eine unvollständige Liste solcher Gefahren:

aktuelle Themen:

- Kernenergie
- gentechnisch modifizierte Lebensmittel
- (menschliches) Klonen
- Klimawandel durch Emission von Treibhausgasen

drohende Themen:

- neuro enhancement (pharmakologisch, elektronisch)
- künstliche Intelligenz (z.B.: autonome Waffen)

Dazu eine triviale, aber dennoch notwendige Bemerkung: keine Technik ist inhärent gut oder böse; jede Technik kann zu guten Zwecken verwendet oder zu schlechten Zwecken missbraucht werden. Wer entscheidet? Wer trägt die Verantwortung?

Die Treiber des technisch/zivilisatorischen Fortschritts sind

- globale Herausforderungen (Welternährung, Energie, Klima, ...)
- individuelle Bedürfnisse
- durch die Naturwissenschaft neu gebotene Möglichkeiten
- Interessen der Wirtschaft

Diese Treiber erzeugen eine ungeheuer wirksame gesellschaftliche Eigendynamik. In Anbetracht der erwähnten Gefahren ist es bedenklich, dass die Gesellschaft den Prozess nicht unter Kontrolle bringt. Die Diskussion zwischen Politik, NGOs, Wirtschaft und Wissenschaft verläuft weitgehend chaotisch.

Es braucht dringend internationale Kontrollorgane, die das Gefahrenpotential neuer Technologien kompetent abschätzen, Kriterien für die Zulassung erstellen und durchsetzen und die Verantwortlichkeiten klar festlegen.

2. Was tun ?

Ich hoffe, die bisherigen Betrachtungen konnten klären, warum mir eine kompetente Selbstdarstellung der Subkultur „Naturwissenschaft und Technik“ in der breiten Öffentlichkeit wichtig und notwendig erscheint.

Es kann und darf dabei nicht nur um das Geld gehen, das wir von der Öffentlichkeit für unsere Arbeit erwarten. Wir können und dürfen diese Erwartung auch nicht nur mit den gelieferten Konsumgütern begründen.

Das Niveau der öffentlichen Diskussion dieses Themas ist in Österreich bescheiden. Wer sind die geforderten „players“ in dieser Diskussion? Natürlich die Naturwissenschaften selbst, die Industrie, das Bildungssystem, die Politik und die Medien.

Wir haben in Österreich eine große Zahl von Weltklasse-Wissenschaftlern. Einige davon haben auch Interesse und das Talent, die Sache der Naturwissenschaft in der Öffentlichkeit darzustellen. Als Beispiele nenne ich H. Pietschmann, A. Zeilinger und L. Kaltenbrunner. Auch auf der nächsten Ebene gibt es eine ganze Reihe erfreulicher Aktivitäten:

- die „Science Busters“ im ORF Fernsehen mit unserem leider verstorbenen Kollegen H. Oberhammer
- die „Physikalischen Soireen“ im Ö1 Radio unseres Kollegen T. Bodingbauer
- die vielen Aktivitäten unserer Kollegen, wie L. Ludick vom WELIOS, P.M. Schuster von echophysics, ...

Was mir fehlt ist eine kompetente öffentliche Diskussion über die Folgen neuer Technologien. Jeder Wissenschaftler müsste verpflichtet sein, seinen Teil der Verantwortung für die technische Entwicklung zu tragen, indem er sein Wissen in die öffentliche Diskussion einbringt, um damit eine qualitativ hochstehende Meinungsbildung zu fördern.

Zuletzt möchte ich noch einige Überlegungen zu einem besonderen Teil der Öffentlichkeit anstellen: jenem der **Ausbildung** vom Kindergarten bis zur Hochschule. Dieser Aspekt wird viele der Leser direkt betreffen.

Es ist eine Binsenwahrheit, dass die Schule die wichtigste Institution in der Vermittlung neuen Wissens in die Gesellschaft ist. Aber es geht nicht nur um Wissen, es geht auch um fachliche und soziale Kompetenzen.

Welches Verständnis der Subkultur „Naturwissenschaft und Technik“ möchten und sollen wir den jungen Menschen heute vermitteln? Ein bestimmter Teil der Jugendlichen wird sich selbst in diese Subkultur einleben, für den größeren Teil wird die Schule aber der letzte Kontakt mit dieser Subkultur sein, auch wenn sie selbstverständlich permanent die technischen Produkte benutzen werden.

Die Unterteilung der Naturwissenschaft in die klassischen Schulfächer Biologie, Chemie und Physik ist historisch bedingt und meiner Ansicht nach keineswegs optimal. Die wunderbare Einheit der Natur und unser Wissen darüber kommt dabei zu kurz. Die meisten natürlichen Phänomene brauchen zu ihrem Verständnis Wissen aus vielen Bereichen der Naturwissenschaft und die technische Zivilisation beruht auf einem dichten Netz von Produkten aus allen Wissensbereichen. Um das Staunen über und die Entdeckungsfreude in der Natur optimal zu fördern, plädiere ich für ein integriertes Fach „Naturkunde“ bis zum Ende der Unterstufe. Da in diesem Alter der Umgang mit technischen Objekten noch naives Interesse weckt, sollte dieser Zugang benutzt werden, um bei allen Jugendlichen ein Verständnis für alle Aspekte der Subkultur „Naturwissenschaft und Technik“ zu fördern.

In der Oberstufe ist eine Trennung des Unterrichts in die klassischen Fächer angebracht, wobei auch dann der enge Kontakt zwischen den Fächern gewahrt werden muss. Außerdem müssen naturwissenschaftliche Sachgebiete, die nicht explizit den drei klassischen Fächern zugeordnet werden können (z.B. Astronomie/Kosmologie, Geologie, Klima und Meteorologie) hinreichend abgedeckt werden. Da die Menge des Stoffes überwältigend groß ist, braucht es eine kluge Auswahl, die bei jedem Thema den Blick auf den heutigen Forschungsstand ermöglicht.

Dazu noch zwei weitere Aspekte:

Eine Reflexion über Sinn, Bedeutung und Grenzen der Naturwissenschaft, ihre Verbindung zu Mathematik und Philosophie ist in der Oberstufe unumgänglich. Ebenfalls die

Positionierung der Subkultur „Naturwissenschaft und Technik“ in der Gesellschaft und ihr Verhältnis zu anderen Subkulturen (Ökonomie, Medizin, Medien, ...)

Kontakte zu den realen Institutionen der Subkultur außerhalb der Schule sollten möglichst früh und intensiv durch Exkursionen und Einladung von Experten hergestellt werden. Eine besondere Möglichkeit dafür bieten die Vorwissenschaftlichen Arbeiten. Reine Literaturarbeiten sollten nicht zugelassen werden. Zur kritischen Analyse und Bearbeitung eines Themas braucht es auf dieser Wissensstufe Kontakte zu Experten.

3. Zusammenfassung

Ich habe diese Betrachtungen etwas provokant um die Idee der „Subkulturen“ herum gestaltet. Sie müssen dieser Idee nicht zustimmen, aber dann andere Lösungsvorschläge für die offensichtlichen Probleme unserer Gesellschaft formulieren.

Die Subkultur „Naturwissenschaft und Technik“ ist kulturell und zivilisatorisch ein unverzichtbarer Teil unserer modernen Gesellschaft. Es ist unsere Verantwortung, ihr Potential optimal zu entwickeln und dazu beizutragen, mögliche Gefahren zu beherrschen.

Dr. Peter Schmid *Experimentalphysiker, war am CERN in leitender Stellung tätig*



Informationen aus dem Verein

Neues Logo für den Verein zur Förderung des chemischen und physikalischen Unterrichts

Nachdem die vereinseigene Zeitschrift Plus Lucis schon seit über einem Jahr in neuem Design zu den Vereinsmitgliedern kommt, wurde jetzt ein neues zeitgemäßes Logo entwickelt. Dabei verfolgte das Team um Heftkoordinator Thomas Plotz (Sarah Zloklikovits und Maria Wasserburger) das Ziel den Verein und seine beiden Fachrichtungen möglichst gut zu repräsentieren. Außerdem wurde die lange Tradition des Vereins berücksichtigt.

Im Logo findet sich nun also links unten eine Strukturformel, die als Repräsentant der Chemie dient. Rechts oben sind zwei Ladungen mit den entsprechenden Feldlinien zu sehen, die die Physik darstellen sollen. Im Zentrum stehen die Buchstaben VFPC die als Abkürzung für den Vereinsnamen stehen. Am Kreis ist noch der Hinweis auf das Gründungsjahr.

Das Logo findet sich von nun an auf allen offiziellen Aussendungen des Vereins und soll zur stärkeren Außenwirkung und Identifikation des Vereins beitragen. Wir hoffen, dass das Logo auf große Zustimmung stößt.

Der gesamte Vorstand wünscht allen KollegInnen einen erholsamen Sommer.

Die nächste Ausgabe von Plus Lucis erscheint Ende September mit dem Titel „Digitale Medien im Physikunterricht“.



Österreichische Post AG
SP 17Z041123 S
Verein zur Förderung des physikalischen
und chemischen Unterrichts,
Porzellangasse 4, Stiege 2, 1090 Wien
DVR 0558567
VRN 668472729

Impressum: Medieninhaber (Verleger) und Hrsg.: Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts. Druck: Fa. Wograndl GmbH, Mattersburg

Retouren an: AECC Physik Universität Wien, Porzellangasse 4, Stiege 2, 1090 Wien.