

ARBEITSKREIS BAYERISCHER PHYSIKDIDAKTIKER

BEITRAG AUS DER REIHE:

Werner B. Schneider (Hrsg.)

Wege in der Physikdidaktik

Band 1

Sammlung aktueller Beiträge aus der
physikdidaktischen Forschung

ISBN 3 - 7896 - 0090 - 3

Verlag Palm & Enke, Erlangen 1989

Anmerkung:

Die Bände 1 bis 5 sind (Ausnahme Band 5) im Buchhandel vergriffen.
Die einzelnen Beiträge stehen jedoch auf der Homepage

<http://www.solstice.de>

zum freien Herunterladen zur Verfügung.

Das Copyright liegt bei den Autoren und Herausgebern.

Zum privaten Gebrauch dürfen die Beiträge unter Angabe der Quelle
genutzt werden. Auf der Homepage

www.solstice.de

werden noch weitere Materialien zur Verfügung gestellt.

Walter Klinger

Bildung physikalischer Begriffe und ihre Vermittlung im Unterricht

1. Die Fachsprache des Physikers

Hauptziel der Wissenschaft Physik ist die Erforschung und das Verstehen der Gesetzmäßigkeiten, die den Naturphänomenen zugrundeliegen. Um diesem Ziel näher zu kommen, setzt sich der Physiker mit den unbelebten Phänomenen der Natur in intensiver Weise auseinander: er beobachtet und analysiert sie, er läßt Naturerscheinungen unter einschränkenden experimentellen Bedingungen wiederholt ablaufen, er versucht, sie messend zu erfassen, und ist letztendlich bestrebt, seine Ergebnisse so genau wie nur möglich zu beschreiben. Bei dieser Tätigkeit ist der Physiker zunächst einmal auf die alltägliche Umgangssprache (Allgemeinsprache) als Kommunikationsmittel angewiesen. Dabei stellt sich aber sehr rasch heraus, daß die Allgemeinsprache nicht ausreicht, um seine Beobachtungen und die daraus gezogenen Schlüsse, seine über die Natur und ihre Phänomene gewonnenen Erkenntnisse auszudrücken. Denn auf der einen Seite sind die in der Umgangssprache verwendeten Begriffe (Wörter) meist recht vage. Sie haben oft ein viel zu umfangreiches Bedeutungsfeld und sind in der Regel mehrdeutig. Auf der anderen Seite reicht ihre Zahl nicht aus, um die Naturphänomene so detailliert erfassen und darstellen zu können, wie es der Physiker für notwendig hält. Der Physiker ist deshalb darauf angewiesen, die für seine Forschungsarbeit nötigen Begriffe selbst zu entwickeln. Begriffsklärung und Begriffsbildung stellen somit ganz entscheidende Tätigkeitsmerkmale für die Arbeit des Physikers dar. Durch Präzisierung und Ausdifferenzierung der umgangssprachlichen Begriffe sowie einer Erweiterung durch neue Begriffe entsteht so - bei gleichzeitiger Reduzierung des grammatischen Formenreichtums und einer Vereinfachung des Satzbaus - die physikalische Fachsprache [1]. Sie kann nur von demjenigen verstanden werden, der sich mit der genauen Bedeutung der darin auftretenden Begriffe und Fachtermini gründlich auseinandergesetzt hat.

2. Eigenschaften physikalischer Begriffe

2.1 Der Merkmalsbegriff als spezifisch physikalischer Begriff

Um zu begrifflich eindeutigen, objektiven und reproduzierbaren Aussagen über die Natur gelangen zu können, hat der Physiker die Ganzheitlichkeit der Natur aufgegeben. Er teilt sie in isolierte Teil- und Untersysteme auf und ist bestrebt, bei seinen Untersuchungen die Wechselwirkung zwischen seiner Person und dem zu beobachtenden System so klein wie nur möglich zu halten, im Grenzfall gegen Null gehen zu lassen. Dadurch wird die Beschreibung eines Vorgangs unabhängig von seiner Person und deshalb nachvollziehbar für andere, also objektiv. Auch die Reproduzierbarkeit, d.h. die beliebige Wiederholbarkeit eines Vorgangs bei gleichbleibendem Verlauf (natürlich nur im Rahmen der Meßgenauigkeit) ist damit aufs engste verbunden.

In diesem Rahmen befaßt sich Naturbeobachtung sowohl mit stofflichen Objekten (z.B. mit einem fallenden Stein, einer Flüssigkeit im Becherglas oder einem Stück Konstantandraht etc.) als auch mit unstofflichen Objekten (z.B. einem Lichtbündel, mit magnetischen oder elektrischen Feldern usw.). Diese stofflichen bzw. unstofflichen Objekte besitzen Merkmale (Eigenschaften), sie sind also

Merkmalssträger.

Neben Begriffen, die aus anderen Disziplinen, etwa der Mathematik stammen, sind in der Physik die auf Merkmale von Objekten bezogenen Begriffe, die sogenannten Merkmalsbegriffe, besonders wichtig. Sie sind spezifisch physikalisch [2].

Damit nun physikalische Zusammenhänge in bezug auf die Objekte und ihre Merkmale ausgesprochen werden können, müssen den Begriffsinhalten Wörter der Sprache als Begriffsbezeichnung zugeordnet werden. Nur in seltenen Fällen jedoch kann der Inhalt eines Begriffs direkt aus seiner Bezeichnung erschlossen werden (vgl. hierzu Abschnitt 3.5). Aus diesem Grunde muß zwischen Begriffsinhalt und Begriffsbezeichnung unterschieden werden.

2.2 Eindeutigkeit der Begriffe

Die der Beschreibung physikalischer Sachverhalte dienenden Begriffe müssen möglichst exakt und eindeutig definiert werden; sie sollten stets so stark differenziert sein, daß keine Überlappung der Begriffsinhalte auftritt, d.h. ihr Bedeutungsinhalt muß sich von dem anderer Begriffe klar unterscheiden lassen.

2.2.1 Eindeutigkeit durch Meßvorschriften

Werden physikalische Begriffe, so gebildet, daß sie durch Messung quantifizierbar sind, also durch Angabe einer Maßzahl charakterisiert werden können, so bezeichnet man sie als physikalische Größen. Unter Messen versteht man dabei, eine vorgegebene Größe mit einer durch Vereinbarung festgelegten Größe gleicher Dimension und reproduzierbarer Quantität ins Verhältnis zu setzen. Physikalische Größen sind stets als Produkt einer Maßzahl (Zahlenwert) und einer Maßeinheit angebar, z.B. Länge $l = 3 \cdot 1 \text{ m}$.

In diesem Fall wird die Eindeutigkeit der Begriffsbestimmung also nicht durch verbale Umschreibung sondern durch Angabe einer exakten Meßvorschrift erreicht. In vielen Fällen ist die verbale Umschreibung von Begriffen für den Physiker kaum von Nutzen. So können zwar so wichtige Grundbegriffe wie Raum, Zeit, elektrisches Feld usw. philosophisch wortreich reflektiert werden. Eine eindeutige Festlegung dieser Begriffe, wie sie in der Physik notwendig wäre, ergibt sich daraus aber nicht. Der Physiker nimmt sie daher als nicht hinterfragbare Gegebenheit der Natur hin (er macht sog. Existenzaussagen: "Es gibt ...") und begnügt sich damit, Raum (Längen, Flächen, Volumen), Zeit, elektrische Felder etc. durch genaue Meßvorschriften bestimmen zu können.

2.2.2 Eindeutigkeit durch mathematische Definition

Eindeutigkeit ist auch immer dann gewährleistet, wenn der physikalische Begriff durch eine mathematische Verknüpfung eindeutig definierter Begriffe festgelegt wird. Beispiele hierfür sind etwa physikalische Größen wie Geschwindigkeit $v = s/t$, elektrischer Widerstand $R = U/I$ usw.

Manche physikalische Begriffe lassen sich allerdings mathematisch nicht oder nur in einer umfassenden Theorie mathematisch formulieren. Als Beispiele können hier Begriffe wie "Körper", "Elektron", "Elektromagnetismus", "Inertialsystem", etc. aufgeführt werden.

Hierzu gehören auch die sogenannten "künstlichen" Begriffe, die vielfach als Einteilungsprinzip dienen und sich meist einer exakten Definition entziehen. Ein Beispiel hierfür sind die fünf Spektralfarben rot, gelb, grün, blau und violett.

2.3 Einfachheit physikalischer Begriffe

Neben der Eindeutigkeit spielt bei der Bildung physikalischer Begriffe noch ein anderer Gesichtspunkt eine grundsätzliche Rolle: Physiker gehen von der rational nicht begründbaren Annahme aus, daß alle grundlegenden Aussagen der Physik einfach sind, wenn nur passende Begriffe verwendet werden, und daß sich kompliziert erscheinende Vorgänge darstellen lassen als eine Kette ganz elementarer, nicht mehr weiter zerlegbarer Zusammenhänge. Physikalische Begriffe sind deshalb stets so zu definieren, daß die unermessliche Erscheinungsvielfalt der Natur durch logische Verknüpfung möglichst weniger physikalischer Größen möglichst einfach und genau beschrieben werden kann. Ob dieses Kriterium erfüllt ist, wird sich allerdings immer erst im nachhinein in der Bewährung eines neu eingeführten physikalischen Begriffs erweisen.

2.4 Theoriegeladenheit der Begriffe

So wichtig eine kurze, eindeutige Definition des Begriffsinhalts auch ist, volles Verständnis für einen Begriff erhält man nur, wenn man ihn im Kontext und in Abgrenzung zu anderen Begriffen sieht. Man spricht in diesem Zusammenhang von "theoriegeladenen Begriffen" [3]. Das bedeutet, daß die Entwicklung physikalischer Begriffe und Theorien Hand in Hand geht, daß Begriffe die Struktur einer Theorie ganz wesentlich prägen, daß aber andererseits die Theorie auf den Bedeutungsinhalt der Begriffe zurückwirkt. So wird beispielsweise der Begriff "Kraft" gewöhnlich durch die Angabe von zwei Merkmalen definiert: "Kräfte verändern den Bewegungszustand eines Körpers oder sie verformen ihn". Dies ist zwar eine exakte Definition der Kraft, sie gibt aber nur teilweise wieder, was der Physiker unter Kraft versteht. Denn zum vollen Verständnis des Kraftbegriffs muß auch erfaßt worden sein, welche Rolle dieser Kraftbegriff im Rahmen der ihn tragenden Newtonschen Theorie spielt, in welcher Beziehung er zu anderen Begriffen der Newtonschen Mechanik steht, z. B. zu Begriffen wie Impuls, Masse, Beschleunigung, Arbeit und Energie.

2.5 Abstraktheit physikalischer Begriffe

Die prägnanteste Formulierung, der höchste Abstraktionsgrad und die größtmögliche Verallgemeinerung physikalischer Begriffe und Zusammenhänge (Naturgesetzmäßigkeiten) wird in der Physik mit Hilfe der Mathematik erreicht. Mathematik spielt dabei aber immer nur die Rolle einer Hilfswissenschaft, allerdings einer sehr wichtigen. Denn die moderne Physik ist ohne die abstrakte mathematische Darstellung der physikalischen Begriffe, Erkenntnisse und Gesetzmäßigkeiten nicht denkbar. Mathematik ist unentbehrlich bei der Untersuchung und Analyse der Abhängigkeitsbeziehungen einzelner Größen, für die Formulierung der einzelnen Gesetze und für die Bildung von Theorien. Ohne Mathematisierung der Naturbeschreibung wäre die moderne Entwicklung der Physik ebensowenig denkbar, wie die Exaktheit ihrer Voraussagen und ihre Bedeutung für die praktische Anwendung im technischen Bereich. Die Aufstellung und Mittelbarkeit physikalischer Gesetzmäßigkeiten ist jedoch logisch unabhängig von allen höheren mathematischen Begriffsbildungen und mathematischen Formalismen [4].

Mathematik kann immer erst dann ins Spiel gebracht werden, wenn man sich über die wechselseitigen Beziehungen der Größen bereits im klaren ist, wenn man sich eine Vorstellung über die Struktur und die begrifflichen Zusammenhänge eines Sachverhalts gemacht hat. Die qualitative, phänomenologische Durchdringung eines Problems geht seiner mathematischen Behandlung stets voraus.

3. Mögliche Wege zur Begriffsbildung und Begriffsbezeichnung in der Physik

Eine Diskussion sämtlicher Möglichkeiten der physikalischen Begriffsbildung würde den Rahmen der vorliegenden Arbeit sprengen. Im folgenden werden daher nur die für den Physikunterricht am wichtigsten erachteten Prozesse physikalischer Begriffsbildung erörtert.

3.1 Begriffsbildung durch Klassifikation

Ein wichtiger, elementarer Weg, der unmittelbar zur Bildung von Begriffen führen kann, beruht auf der Beobachtung und Analyse von Ähnlichkeit und Verschiedenheit. Durch systematisches Sammeln und Ordnen von Gegenständen oder Sachverhalten nach bestimmten gemeinsamen Merkmalen erhält man Gruppierungen und Klassifikationen, die nach Abzug der trennenden Sondermerkmale auf dem Wege der Verallgemeinerung und der Abstraktion den Inhalt von Begriffen festlegen. So können auf diese Weise etwa Begriffe wie "rund" und "eckig", "durchsichtig", "durchscheinend" und "undurchsichtig" etc., aber auch dynamische Begriffe wie "schnell", "langsam" usw. gebildet bzw. erarbeitet werden.

Die bei der Untersuchung von Objekten einmal festgestellten Eigenschaften bzw. Merkmale werden umgekehrt in vielen Fällen zur Definition der Objekte selbst herangezogen. So stellt man beispielsweise durch Beobachtung fest, daß es in der Natur Objekte gibt, die Raum einnehmen, also Volumen haben, und Widerstand gegen Verdrängung aus diesem Raum leisten. Diese beiden Merkmale können nun im Rahmen einer Verallgemeinerung zur Definition des Begriffs "Körper" herangezogen werden, nämlich: "Objekte (Gegenstände), die Raum einnehmen und gegen Verdrängung aus diesem Raum Widerstand leisten, werden Körper genannt."

Begriffe, die aufgrund einer Klassifikation von Merkmalen gebildet werden, stehen in der Physik häufig am Anfang eines tieferen physikalischen Verständnisses des betrachteten Sachverhalts. Als Beispiel zur Erläuterung dieser Tatsache mögen die Begriffe Alpha-, Beta- und Gamma-Strahlung dienen. Man entdeckte, daß gewisse Mineralien eine unbekannte Strahlung aussandten und bezeichnete dieses Phänomen in deskriptiver Weise als "Radioaktivität" (vgl. Absatz 3.4). Eine genauere Untersuchung ergab dann, daß es sich um drei Klassen von Strahlung handelte, die sich hinsichtlich ihres Verhaltens in magnetischen und elektrischen Feldern unterschieden. Aus Mangel an weiterer Information über ihre wahre physikalische Natur klassifizierte man sie mit den Anfangsbuchstaben des griechischen Alphabets und führte die Bezeichnungsweise Alpha-, Beta-, Gamma-Strahlen ein. Die wahre Natur dieser Strahlungsarten wurde erst später erkannt.

Ein sehr aktuelles Beispiel, das anschaulich zeigt, daß auch in der modernen Physik Begriffsbildung durch Klassifikation praktiziert wird, stellt die Elementarteilchenphysik dar. Um den Überblick nicht zu verlieren, um Strukturen zu erkennen und ein tieferes Verständnis zu gewinnen, hat man die Elementarteilchen, deren Zahl sich in der jüngsten Vergangenheit durch Neuentdeckungen ständig vermehrte, nach gewissen Eigenschaften wie Masse, Ladung, Spin, Isospin u. a. m. in Gruppen und

Familien zusammengefaßt, also versucht, sie ähnlich wie Lebewesen in der Zoologie systematisch zu ordnen. In Analogie dazu sprechen Elementarteilchenphysiker auch vom "Zoo der Elementarteilchen".

3.2 Begriffsbildung durch Differenzierung umgangssprachlicher Begriffe

Jede Fachsprache, also auch die physikalische, wurzelt in der Allgemeinsprache. Vielfach entwickeln bzw. entwickelten sich daher physikalische Begriffe aus umgangssprachlichen Begriffen durch entsprechende Einschränkung, Präzisierung und Differenzierung der Begriffsinhalte. Ein bei diesem Vorgehen neu geschaffener physikalischer Begriff wird meist weiterhin mit dem entsprechenden Wort aus der Umgangssprache bezeichnet, so daß nun ein und dasselbe Wort verschiedene Bedeutungen hat, je nachdem ob es als physikalischer Begriff im Zusammenhang mit physikalischen Sachverhalten oder ob es im umgangssprachlichen Sinn gebraucht wird. Solche Begriffe findet man insbesondere immer dort, wo der unmittelbar alltäglich zugängliche Erfahrungsbereich des Menschen physikalisch untersucht wurde. Es handelt sich dabei vor allem um Begriffe, die dem Bereich unserer Sinne unmittelbar zugänglich sind, insbesondere um Begriffe aus den Gebieten der Mechanik und der Wärmelehre.

Beispiele, in denen physikalische und umgangssprachliche Begriffsinhalte ganz erheblich auseinander klaffen, sind "Kraft", "Arbeit", "Leistung", "Druck", "Wärme", "Zustand", "Menge". So umfaßt etwa das Wort "Kraft" in der Umgangssprache ein sehr weites Bedeutungsspektrum. Man spricht von "Muskelkraft", von "Gewichtskraft", von "Willens- und Geisteskraft", von "jener Kraft, die stets das Böse will und stets das Gute schafft", oder von "kraft seines Amtes", und diese Liste ließe sich noch erheblich verlängern.

Der Kraftbegriff in der Physik orientiert sich an den Auswirkungen der Muskel- und Gewichtskraft. Es wird definiert: "Eine Kraft ist imstande, materielle Körper zu verformen oder deren Bewegungszustand zu verändern." Diese Aussage bedeutet, daß der Begriff Kraft in der Physik nur dann angewandt werden darf, wenn eine Verformung oder eine Beschleunigung eines materiellen Körpers beobachtet wird. Nur dann wirkt für den Physiker eine Kraft.

3.3 Bildung von Analogiebegriffen

In der Physik findet man sehr häufig Begriffe, deren Bezeichnungsweise auf Vorstellungen zurückgeht, die bereits eine Deutung des physikalischen Phänomens widerspiegeln. Begriffsbildung und -benennung geht in diesem Fall Hand in Hand mit der Analyse der Sachverhalte und den dabei gebildeten modellhaften Vorstellungen. Dabei fällt auf, daß die vom Wissenschaftler verwendeten Bilder überwiegend in Analogie zu bereits erkannten Zusammenhängen und Sachverhalten gewählt werden. Häufig stammen sie aus dem makroskopisch anschaulichen Bereich, in vielen Fällen aus der Mechanik, oftmals aber auch aus dem Bereich der Alltagserfahrungen.

Dieses Analogiedenken tritt besonders deutlich in Erscheinung in solchen Gebieten der Physik, die sich der unmittelbaren Anschauung entziehen, wie etwa den Gebieten der Elektrodynamik und der Atom- und Kernphysik. Es ist z.B. ohne weiteres einsichtig, welche analoge Bilder und Modellvorstellungen den Begriffen "Atomkern", "Atomhülle", "Atomschale", "Elektronenbahn", "Lebensdauer", "Tunneleffekt" usw. zugrunde liegen.

Das Denken in Analogien spielt in der Interpretation physikalischer Sachverhalte und somit bei der

Begriffsbildung eine ganz zentrale Rolle. Wird ein Physiker (oder aber auch ein Schüler) mit einem ihm unbekanntem Phänomen oder Sachverhalt konfrontiert, so wird er in seinem Ringen um Verständnis nach Strukturen und Vorgängen suchen, die ihm bekannt erscheinen. Er greift dabei auf die vertrauten, in langjähriger Erfahrung bewährten Bilder und Vorstellungen zurück. Er versucht im Neuen Muster zu erkennen, die sich mit Mustern seines Erfahrungshintergrundes möglichst gut decken. Es werden also zur Deutung und zum Verständnis des unbekanntem Phänomens im Sinne einer Hypothesenbildung vertraute Vorstellungen und Bilder auf den noch unbekanntem, noch nicht erfaßten Sachverhalt übertragen, es werden plausible Analogien zur bisherigen Erfahrungswelt hergestellt. Dieser Vorgang soll im folgenden an zwei Begriffen der Elektrodynamik erläutert werden.

Der Begriff "elektrische Spannung" wurde von Alessandro Volta im Jahre 1778 im Zusammenhang mit seinen Untersuchungen des "Elektrophors" (ein mit Isoliergriff versehener Metalldeckel, der sich durch Influenz an einer geriebenen Isolierplatte aufladen läßt) eingeführt. Volta beobachtete, daß der Ausschlag seines Strohhalmelektrometers um so größer wurde, je weiter er den geladenen Elektrophordeckel von seiner Unterlage entfernte. Die Ladung auf dem Deckel hat demnach - so folgert er - je nach Abstand des Deckels von der Unterlage ein unterschiedliches Vermögen, die Strohhalm seines Elektrometers zu spreizen. Hand in Hand mit dem Vermögen, die Strohhalm stärker oder schwächer zu spreizen, ist ein mehr oder wenig starker "Drang" der Ladung verbunden, aus dem Deckel durch Funkenschlag zu entweichen. Der Ausschlag des Elektrometers ist für diesen Drang also ein direktes Maß. Volta deutet den Vorgang in Analogie zum Papinschen Dampfdrucktopf: So, wie der Dampf aus dem Papinschen Topf bei Überdruck durch ein Ventil entweicht, so bricht die Ladung auf dem Weg eines Funkens aus dem Elektrophordeckel aus, wenn nur - und nun prägt Volta im Hinblick auf diese Analogie einen neuen Begriff - wenn nur die "Spannung" der Ladung groß genug ist. Volta spricht von "tensione", was sowohl mit "Spannung" als auch mit "Druck" übersetzt werden könnte.

Benjamin Franklin (ca. 1746) vergleicht Funken und Knall beim Entladen einer Leidener Flasche (das ist eine innen und außen mit Metallfolie belegte Flasche, d. h. also ein Kondensator) mit dem Mündungsfeuer und dem Krach einer Kanone. Die Flaschen wurden "abgefeuert". Sie mußten dazu, ähnlich wie eine Kanone mit Pulverladung, vorher mit einer "elektrischen Ladung" beschickt werden, worunter er ein mehr oder weniger großes Quantum "elektrischer Materie" verstand. Aufgrund dieser Analogievorstellung ist die Begriffsbezeichnung "elektrische Ladung" geprägt worden.

Reicht eine einzige Kanone nicht aus, so läßt der Artillerist eine ganze Batterie auffahren. Um hellere und lautere Funken zu erhalten, schaltete Franklin mehrere Leidener Flaschen zusammen und nennt das ganze in Analogie zum militärischen Bereich "Batterie". Als später Voltaische bzw. Galvanische Elemente zu Gruppen vereinigt werden, wird auch dafür der Name "Batterie" übernommen [5].

Auch in der modernen Physik wird Analogiebildung bei der Beschreibung physikalischer Sachverhalte und der damit aufs engste verbundenen Begriffsbildung in ähnlicher Weise als wichtiges erkenntnistheoretisches Instrument benutzt. Dem heutigen Physiker steht freilich ein unvergleichlich größerer Vorrat an (vor allem auch abstrakten) Bildern und Vorstellungen zur Verfügung, aus dem er bei der Analyse neuer Naturphänomene schöpfen kann.

Die im Rahmen von Analogien herangezogenen Vorstellungen und Begriffe werden allerdings in den

seltensten Fällen einen neuen Sachverhalt genau zu beschreiben gestatten. Um eine bessere Übereinstimmung mit dem zu erforschenden Sachverhalt zu erlangen, müssen die zunächst gewählten analogen Bilder und die damit verbundenen Begriffe ergänzt, verfeinert, erweitert oder auch eingeschränkt werden. Auf diese Weise gelangt der Physiker über Analogien zu neuen Vorstellungen und Begriffen.

Die Bedeutung des Analogiedenkens für die Begriffsbildung in der Physik tritt auch in all jenen Fällen klar zutage, in denen die für ein neu zu erschließendes Gebiet benötigten Begriffe analog zu Begriffen eines bereits erforschten Gebiets gebildet werden. Der gesamte, zur Beschreibung eines Sachverhalts bereits entwickelte mathematische Formalismus kann dann komplett zur Beschreibung des neuen Sachverhalts übernommen werden. Ein bekanntes Beispiel hierfür ist die Dynamik der linearen Bewegung von Massenpunkten und die dazu analog gebildete Dynamik der Drehbewegungen. Werden Größen wie Winkelgeschwindigkeit, Drehmoment, Trägheitsmoment, Drehimpuls etc. analog zu den Größen Geschwindigkeit, Kraft, Masse, Impuls etc. gebildet, so ist der zur Beschreibung notwendige Formalismus in beiden Fällen identisch.

Ein weiteres Beispiel für dieses in der Physik zur Begriffsbildung sehr häufig angewandte Verfahren, stellt die im Physikunterricht zur Veranschaulichung gerne herangezogene Analogie zwischen den Phänomenen "laminare Strömung" (Wasserkreislauf), elektrischer Stromkreis, Wärmeleitung und Diffusionsströmung dar. Sie erhält ihre fachwissenschaftliche Rechtfertigung allein dadurch, daß diese physikalisch zunächst sehr unterschiedlich anmutenden Phänomene durch mathematisch gleichstrukturierte Gleichungen dargestellt werden, wenn nur die zur Beschreibung nötigen Größen entsprechend definiert worden sind (z.B. Druck $\hat{=}$ Spannung $\hat{=}$ Temperaturdifferenz $\hat{=}$ Konzentrationsunterschied).

3.4 Durch Normierung festgelegte physikalische Größen

Die Analyse eines physikalischen Sachverhalts erfordert neben genauer Beobachtung den Vergleich. Der Beobachter muß feststellen, was sich bei einem Vorgang ändert bzw. was gleichbleibt. Um nun exakte Aussagen darüber machen zu können, müssen Merkmale (Größen) definiert werden, die einen quantitativen Vergleich der unterschiedlichen Situationen ermöglichen.

Wird beispielsweise beobachtet, daß zwei bewegte Körper in verschiedenen Zeiten verschieden lange Strecken zurücklegen, dann wird zur Beurteilung bzw. zum Vergleich der "Schnelligkeit" des Ortswechsels der Körper bekanntlich angegeben, welche Strecke jeder der Körper pro Zeiteinheit zurücklegt (d. h. welche "Geschwindigkeit" er hat). Das bedeutet, die eine Größe "Wegänderung" wird auf die Einheit der anderen Größe "Zeit", bezogen. Erst durch diese Normierung einer Größe auf die Einheit einer anderen Größe wird ein quantitativer Vergleich der "Schnelligkeit" des Ortswechsels der beiden Körper möglich. Die Größe "Geschwindigkeit" kann somit "als die auf die Zeiteinheit normierte Änderung der Strecke eines bewegten Körpers" aufgefaßt werden. Selbstverständlich könnte man für Vergleichszwecke ebensogut eine Normierung der Zeitdauer auf die Längeneinheit (reziproke Geschwindigkeit) durchführen.

Es lassen sich zahlreiche physikalische Größen, die auf diese Weise definiert werden, in allen Bereichen der Physik finden. Sie sind stets angebar als Quotient zweier physikalischer Größen. Weitere Beispiele sind: Druck $P = \text{Kraft } F / \text{Fläche } A$; Widerstand $R = \text{angelegte Spannung } U / \text{fließender Strom } I$; Spannung $U = \text{im elektrischen Feld verrichtete Arbeit } W / \text{Ladung } q$, an der diese Arbeit verrichtet wird usw., usw.

3.5 Deskriptive Begriffsbezeichnungen

Um Beobachtungen sowie physikalische Zusammenhänge aussprechen zu können, müssen den genau festgelegten Begriffsinhalten Wörter zugeordnet werden. In vielen Fällen erfolgt die Wahl der Begriffsnamen auf deskriptive Weise, d. h. das zugeordnete Wort versucht, den Begriffsinhalt möglichst treffend und vollständig zu beschreiben, so daß der Begriffsinhalt weitgehend aus dem Begriffsnamen erschlossen werden kann. Willkürlich herausgegriffene Beispiele hierfür sind etwa Begriffe, deren Bezeichnung mit Koeffizient, Zahl oder Konstante endet, also Wärmeausdehnungskoeffizient, Brechungszahl, Federkonstante usw. In vielen Fällen werden solche Größen als Proportionalitätsfaktoren oder -konstanten bei der mathematischen Formulierung der Abhängigkeit zweier oder mehrerer Größen definiert. Auch Begriffsbezeichnungen wie Bild- und Gegenstandsweite, freie Weglänge, Transformator, Halbleiter usw. beschreiben den unmittelbaren Sachverhalt. Ebenso gehören Ausdrücke wie Lichtbrechung, Beugung, Linienspektrum etc. zu den Bezeichnungen, die den unmittelbar augenscheinlichen Eindruck eines Phänomens wiedergeben, obwohl hier bereits Analogien zu anderen Gegenstandsbereichen offensichtlich sind.

Besonders in der neueren Physik werden oftmals Kunstwörter gebildet, die sich aus den Anfangsbuchstaben der Wörter zusammensetzen, durch die der betreffende Sachverhalt bzw. Vorgang beschrieben wird. Beispiele hierfür sind etwa der Laser (light amplification by stimulated emission of radiation), Mosfet (Metall-Oxid-Semiconductor-Feldeffekt-Transistor), Leed (low energie electron diffraction = Beugung niederenergetischer Elektronen), aber auch Gerätebezeichnungen wie Desy (Deutsches Elektronen Synchrotron) usw. gehören dazu.

4. Didaktische Konsequenzen für das Lernen physikalischer Begriffe

Begriffe erarbeiten, Begriffe lernen stellt ein zentrales Ziel des Physikunterrichts dar. Doch damit hat es seine Not. Denn ein Schüler ist im allgemeinen nur beschränkt fähig, sich in rational-objektiver und kritischer Weise mit Phänomenen der Natur auseinanderzusetzen. Es herrscht vielfach Begriffsarmut und Begriffsunsicherheit (auch außerhalb des Fachs "Physik"). Trotz größter Mühe des Lehrers werden erarbeitete Begriffe immer wieder verwechselt und undifferenziert oder gar falsch angewendet. Das "Stromstärke-Spannungsdilemma" möge hier für viele Beispiele stehen.

Wie lernt der Schüler nun am besten physikalische Begriffe? Einen für alle verbindlichen Königsweg wird es dafür wohl kaum geben. Auch wird das vom Fachphysiker praktizierte Verfahren nur in sehr bedingter Weise im Unterricht anwendbar sein. Es gibt aber doch eine Reihe von Gesichtspunkten, die bei der Erarbeitung von Begriffen bedacht werden sollte, um nicht von vornherein unterrichtlichen Mißerfolg zu provozieren.

Regel 1: Begriffe müssen im elementaren Physikunterricht immer am Phänomen erarbeitet werden. Rein axiomatisch oder definatorisch eingeführte Begriffe, bei denen der Bezug zum realen Sachverhalt nicht klar erkennbar ist, bleiben leere Worte. Sie bilden ein Scheinwissen, das der Schüler nicht auf Erscheinungen im Alltag anzuwenden vermag. Die sachgerechte Verwendung und Handhabung von Begriffen kann nur dann erwartet werden, wenn der Lernende erfährt, wie und aus welchen Phänomenen Begriffe herausgewachsen sind, worauf sie sich beziehen und was sie zur Beschreibung und

zur Durchdringung der Phänomenwelt zu leisten vermögen.

Neue Begriffe müssen also im Kontext zu realen Situationen eingeführt werden. Soll etwa der Begriff Beschleunigung erarbeitet werden, so ist für den Lernenden die formale Definition "Beschleunigung $a = \text{Geschwindigkeitsänderung } v / \text{dafür benötigte Zeit}$ " wenig hilfreich. Erst aufgrund eines Phänomens, etwa einer Kugel, die auf der schiefen Ebene zum Durchlaufen gleichlanger Strecken verschiedene Zeiten braucht, bei der sich also die Geschwindigkeit dauernd ändert, kann im Unterschied zu einer Kugel, bei der die Geschwindigkeit auf gleichen Strecken konstant bleibt, erklärt werden: "Ändert ein Körper auf einer gegebenen Strecke dauernd seine Geschwindigkeit, so sagt man, er bewegt sich beschleunigt."

In diesem Beispiel wurde der physikalische Begriff durch den Vergleich zweier Situationen erhalten. Ein anderer, für den Unterricht häufig erfolgreicher Weg, ist die Einführung eines Begriffs durch Betrachtung eines "typischen Beispiels", eines sog. Paradigmas. Bei der Erarbeitung des Kraftbegriffs kann etwa die Gewichtskraft als Beispiel einer typischen Kraft gewählt werden. Man beobachtet an einer Reihe von Fällen, daß die Gewichtskraft Körper verformt oder beschleunigt und führt dann unter Abstraktion von diesem Beispiel ein: "Kraft ist alles, was dieselbe Wirkung ausüben kann wie die Gewichtskraft" [6].

Im elementaren Physikunterricht hat die Behandlung von Phänomenen an erster Stelle zu stehen. Das bedeutet nicht zuletzt, daß phänomenologischen Betrachtungsweisen Vorrang eingeräumt werden sollte. Es ist nicht sinnvoll, wenn immer gleich die in der heutigen Physik übliche mikroskopische Deutungsweise eines Phänomens angesteuert wird. Eine mikroskopische Deutung von Begriffen wie Temperatur, Druck, kinetische Energie, elektrische Spannung und Strom im Teilchenbild wird allenfalls dem Erfahrenen, der sich bereits mit vielen Phänomenen phänomenologisch auseinandergesetzt hat, größere Begriffsklarheit bringen. Den Anfänger werden mikroskopische Betrachtungsweisen, wie etwa die Deutung der Spannung als Elektronenüberschuß oder Elektronenmangel, eher verwirren. Anfänger nehmen, um bei diesem Beispiel zu bleiben, den phänomenologisch, im Sinne einer Existenzaussage eingeführten Spannungsbegriff: "Es gibt in der Natur ein Phänomen, das wir Spannung nennen" hin, ohne das Bedürfnis ihn zu hinterfragen.

Regel 2: Der Schüler sollte so stark wie nur möglich an der verbalen Beschreibung von Vorgängen und Sachverhalten beteiligt werden. Denn die Versprachlichung fördert die Genauigkeit des Beobachtens, sie macht bewußt, wo keine oder nur unzureichende Begriffe zur exakten Erfassung eines Sachverhaltes vorhanden sind, sie hilft bei der Eingrenzung und der sachgerechten Festlegung der Begriffsinhalte und zeigt, daß Begriffe stets im Kontext gesehen werden müssen. Die exakte, abstrakte fachwissenschaftliche, gar mathematische Definition sollte, wenn überhaupt, immer erst am Ende der Verbalisierungsphase stehen.

Auch eine eingehende Beschäftigung mit den Begriffsbezeichnungen wirkt sich häufig positiv auf das Lernen von Begriffen aus, sei es, daß die Schüler selbst Bezeichnungen für den neu einzuführenden Begriff vorschlagen und dann mit dem fachwissenschaftlichen Terminus vergleichen, sei es, daß eine vorgegebene Begriffsbezeichnung etymologisch, semantisch, assoziativ und kritisch reflektiert wird. Es macht Kindern Spaß, wenn sie bei der Suche nach einer möglichst treffenden Bezeichnung für einen

Begriffsinhalt schöpferisch tätig sein können, und sie sind mächtig stolz, wenn der Fachterminus unter ihren Vorschlägen ist.

Regel 3: Die Einführung festgeprägter Sprechweisen bzw. Redeweisen erleichtert den richtigen Gebrauch von Begriffen. So hat es sich beispielsweise in der Praxis bewährt, die beiden Begriffe "elektrische Spannung" und "elektrischer Strom" zusammen mit den festen Sprechweisen "Spannung herrscht" und "Strom fließt" einzuführen. Das Verb "herrschen" betont hier bereits den statischen Charakter der Spannung, das Wort "fließen" den dynamischen des elektrischen Stroms. Aufgrund dieser festen Sprechweisen konnte die Verwechslungsrate dieser beiden Begriffe erheblich gesenkt werden. Hüten sollte man sich allerdings, die Begriffsbezeichnungen "Spannungsquelle" und "Stromquelle" - womöglich im gleichen Atemzug - synonym für ein und denselben Gegenstand zu gebrauchen. Zwar läßt sich die Berechtigung beider Begriffsbezeichnungen begründen. Aber im Interesse der Schüler, deren enorme Schwierigkeiten beim Unterscheiden der Begriffe Spannung und Strom bekannt sind, sollte sich der Lehrer zu Beginn der Elektrizitätslehre konsequent auf eine der beiden Bezeichnungen festlegen. Der Name "Spannungsquelle" ist dabei vorzuziehen, weil diese Geräte üblicherweise konstante Spannung und nicht konstanten Strom liefern.

Daß auf korrekte Aussprache der Begriffsbezeichnungen, der fachlichen Termini und der Einheitenbezeichnungen geachtet werden muß, daß also etwa die Einheit km/h nicht als Stundenkilometer sondern als Kilometer pro Stunde ausgesprochen wird, daß die Begriffe mit den fachwissenschaftlich richtigen Adjektiva und Verben verbunden werden müssen (z. B. "hohe" Spannung und nicht "große" Spannung, Energie wird "umgewandelt" und nicht Energie wird "verbraucht" etc.), muß hier nicht eigens betont werden.

Regel 4: Sicherheit im Umgang mit Begriffen erreicht man nicht allein durch eine sorgfältige Einführung am Phänomen. Das intensive Einüben ist genauso wichtig. Nur durch häufigen Gebrauch in den verschiedensten Situationen und Zusammenhängen, durch die Rückübersetzung des abstrakten Begriffs auf konkrete Sachverhalte, durch Kennenlernen der Beziehungen und der Abgrenzung zu anderen Begriffen hin, lernt man die Bedeutung und die Tragweite eines Begriffs erst richtig kennen und abschätzen. Man muß für physikalische Begriffe und Größen ein "Gefühl" entwickeln. Dies gelingt nur, wenn der Schüler möglichst viele unterschiedliche konkrete Probleme löst, in denen der Begriff eine Rolle spielt, wenn er die physikalischen Größen eigenhändig und wiederholt in verschiedenen Situationen mißt, wenn er übt, den Einfluß einer Größe auf einen konkreten Sachverhalt größenordnungsgemäß abzuschätzen und lernt, Dimensionierungen, etwa einer elektrischen Schaltung, vorzunehmen.

Regel 5: Werden Begriffe in elementarisierter Weise eingeführt, etwa durch Partikularisierung, durch Reduktion auf das Qualitative, durch mangelnde Differenzierung etc., so muß darauf geachtet werden, daß eine möglichst zwanglose Erweiterung des elementarisierten Begriffs hin zum exakten fachwissenschaftlichen Begriff möglich bleibt [7].

Regel 6: Der Lehrer muß sich stets bewußt sein, daß die Begriffsbezeichnungen für physikalische Begriffe, auch nach sorgfältigster Einführung, beim Schüler die unterschiedlichsten Assoziationen

hervorrufen können, die mit dem physikalischen Inhalt des Begriffs nur noch wenig oder gar nichts gemein haben. Lehrer und Schüler reden dann zwangsläufig aneinander vorbei. Für den Erfolg des Physikunterrichts ist es daher unerlässlich, daß der Lehrer den Vorstellungen, die der Schüler mit einer Begriffsbezeichnung assoziiert, nachgeht und sie gegebenenfalls immer wieder korrigiert. Besonders mit solchen Begriffsbezeichnungen hat der Lehrer einen harten Stand, die aus der Umgangssprache stammen, etwa Kraft, Arbeit, Trägheit etc. oder die - aus heutiger Sicht - von Physikern in der Vergangenheit aus Mangel an tieferer Einsicht in die Zusammenhänge unglücklich gewählt wurden (z. B. "Spannung", "magnetischer" und "elektrischer Fluß", "Relativität" etc.).

Der vorliegende Beitrag "Bildung physikalischer Begriffe und ihre Vermittlung im Unterricht" ist leicht geändert auch in "Blätter für Lehrerfortbildung", in Lehrer-Journal Hauptschulmagazin 3, Heft 2, 1 - 3 (1988) erschienen.

Literatur

- [1] Gipper, H.: Denken ohne Sprache?
Päd. Verlag Schwann, Düsseldorf 1978
- [2] Fleischmann, R.: Einführung in die Physik,
Physik-Verlag, Weinheim 1980
- [3] Jung, W.: Was heißt Physiklernen? Didaktik der Physik zwischen Physik und
Wissenschaftstheorie.
In: Ewers, M.: Naturwissenschaftliche Didaktik zwischen Kritik und
Rekonstruktion, Beltz, Weinheim 1975
- [4] Schleichert, H.: Elemente der physikalischen Semantik, München 1966
- [5] Fraunberger, F.: Illustrierte Geschichte der Elektrizität, Aulis Verlag, Köln 1985
- [6] Jung, W.: Aufsätze zur Didaktik der Physik und Wissenschaftstheorie, Diesterweg,
Frankfurt 1979
- [7] Klinger, W.: Möglichkeiten zur Verwirklichung didaktischer Unterrichtsgrundsätze im
Physik- und Chemieunterricht, Teil II: Prinzipien der Individualisierung und
Ergebnissicherung Blätter für Lehrerfortbildung, Heft 10, 39 (1987) 362 - 367