

4.3 KOMMUNIKATIONSFÄHIGKEIT, FACHSPRACHE UND BEGRIFFSBILDUNG

So plausibel die Forderung ist, daß Physikunterricht Kommunikationsfähigkeit anstreben muß, damit seine Lernergebnisse in lebenspraktischen Zusammenhängen fruchtbar werden können (→ Kasten S. 157), so wenig sind die entsprechenden fachdidaktischen Konsequenzen bisher von der Unterrichtspraxis rezipiert worden. Noch immer beherrscht eine Begabungstypologie das Meinungsbild bei Schülerinnen und Schülern, Lehrerinnen und Lehrern, etwa derart, daß es eine Sprachbegabung gäbe, die besonders im Bereich sprachlicher Unterrichtsfächer zum Tragen komme, wogegen die sprachlichen Anforderungen in den Naturwissenschaften geringer seien. Dort käme es mehr auf formales und logisches Denken und auf praktisch-technische Fähigkeiten an; Defizite im Bereich der schriftlichen und mündlichen Ausdrucksfähigkeit seien in einem Fach wie Physik leichter zu verschmerzen als in den sprachlichen Fächern. In den folgenden Abschnitten wird dargelegt, daß hinter dieser pädagogischen Schablone eine unhaltbare Vereinfachung steckt.

Innerhalb der Fachdidaktik gibt es eine durchaus intensive Diskussion der Begriffsbildungsproblematik, die eng mit dem Sprachproblem verknüpft ist. Im Zusammenhang mit unserer Fragestellung geht es allerdings nicht in erster Linie um die weitere theoretische Klärung der Fachsprachen- bzw. Begriffsbildungsproblematik, sondern eher um die Transformation des im Prinzip Geklärten auf eine unterrichtspraktische Ebene. Denn die Diskrepanz zwischen fachdidaktischer Theoriebildung und ihrer Rezeption in der Unterrichtspraxis ist in diesem Problemfeld besonders auffällig.

Als BRÄMER/CLEMENS 1980 empirische Befunde publizierten, nach denen Physikunterricht schon allein aus quantitativen Gründen als Fremdsprachenunterricht bezeichnet werden müsse, fand dies breite Beachtung. Immerhin wurde nachgewiesen, daß die Zahl der im Physikunterricht zu erwerbenden Fachvokabeln diejenige der Fremdsprachen übertrifft. Solche Erkenntnisse haben sicher mit dazu beigetragen, daß die Forderung an den Physikunterricht, eine Einführung in die Fachsprache zu leisten, seit den 80er Jahren in den Lehrplänen wesentlich moderater gefaßt ist als zuvor. Insgesamt wird aber dem Verhältnis zwischen Alltagssprache und Fachsprache in den Lehrplänen nur eine randständige Bedeutung zugemessen, wobei manche Formulierungen hierzu ein völlig verkürztes Verständnis dieses Zusammenhangs implizieren. Die vor allem an Quantitätskriterien orientierte Forderung nach Zurückhaltung bei der Einführung der Fachsprache hat auch Auswirkungen auf die Schulbucharbeit. Dort müssen die Autoren nach meiner eigenen Erfahrung praktisch bei jedem neu eingeführten Fachwort dessen Unverzichtbarkeit rechtfertigen, es sei denn, es werde vom Lehrplan ausdrücklich verlangt.

Anscheinend gewinnen quantitative Argumente für das Praxisfeld schneller Bedeutung als strukturelle, kognitionspsychologische und erkenntnistheoretische. Hinsichtlich der Funktion, die der Fachsprache unterlegt wird, zeigen die Lehrpläne

keine differenziertere Sicht als vor 30 Jahren. Sie wird im wesentlichen als eine Ausschärfung der Umgangssprache mit präziseren Begriffen und klarerer Syntax als die der Umgangssprache verstanden. Die Fachsprache erscheint dann als eine Art Steigerung der Umgangssprache, als die „bessere“, dem Gegenstandsfeld angemessenere Ausdrucksweise. Auf der anderen Seite wird dann der graduelle Verzicht auf die Fachsprache und deren Substitution durch die Umgangssprache als Unvollkommenheit angesehen, die aus pragmatischen Gründen in Kauf zu nehmen ist, aber eben nur wegen der durch die Grenzen des Unterrichts bedingten Nichterreichbarkeit des Ideals vollkommen „exakter“ fachsprachlicher Ausdrucksformen.

Die folgenden Abschnitte sollen erläutern, warum diese Sicht des Verhältnisses zwischen Fachsprache und Alltagssprache den wissenschafts- und erkenntnistheoretischen Implikationen der Fachsprache nicht gerecht wird und daß die übergeordnete Leitlinie *Kommunikationsfähigkeit* (→ Abbildung 19, S. 219) nicht effektiv umgesetzt werden kann, solange Physikunterricht nicht ausdrücklich auch als ein *Problem des Erwerbs von Sprachkompetenz* angesehen wird. Dabei hat der quantitative Vergleich mit dem Lernen von Fremdsprachen den Blick von wichtigeren Gesichtspunkten abgelenkt. Vereinfachend mag dies ein kleines Beispiel zum Unterschied zwischen dem Lernen einer englischen Vokabel und einem physikalischen Begriff verdeutlichen:

Soll die englische Vokabel „dog“ gelernt werden, so beinhaltet dies den Erwerb einer neuen Bezeichnung für einen hinreichend vertrauten Inhalt, wobei allenfalls die zulässigen grammatikalischen Verknüpfungen und eventuell sprachraumspezifischen Bedeutungsnuancen mitgelernt werden müssen. Völlig anders liegen die Verhältnisse, wenn der physikspezifische Inhalt des Fachworts „Kraft“ gelernt werden soll. Die Vokabel als solche ist bekannt, und ihre sinnvolle Verwendung in lebenspraktischen Bewandnissen wird – trotz aller Bedeutungsvielfalt und Unmöglichkeit einer scharfen Abgrenzung von ähnlichen alltagssprachlichen Begriffen – relativ sicher beherrscht. Der *physikalische* Begriff „Kraft“ ist aber nur im Kontext der Theorie der Mechanik zu verstehen, er ist grundsätzlich verschieden von den alltagssprachlichen Bedeutungen und nicht aus diesen ableitbar. (Dies wird weiter unten genauer dargestellt; → Ü 4.3.2.1, S. 253.) Der Erwerb fachsprachlicher Kompetenzen ist vom Erwerb komplexer – und lebenspraktisch nicht unmittelbar bedeutungsvoller – Theorieeinsichten nicht zu trennen. Im Aspekt des „Vokabellernens“ geht dieser Zusammenhang völlig unter.

Die folgenden Ausführungen bauen auf früheren Abschnitten auf (→ S. 155 f). Vorsorglich sei darauf verwiesen, daß für den hier zu bearbeitenden Problembereich die kritischen Betrachtungen zum genetischen Lehren (→ S. 171 ff) von besonderer Bedeutung sein werden.

4.3.1 In welchem Sinn ist die Fachsprache präzise?

Naturwissenschaftler tendieren dazu, Bedeutungsunschärfe von Sätzen und Begriffen grundsätzlich negativ zu bewerten. Für Lehrerinnen und Lehrer naturwissenschaft-

licher Fächer steckt ein Stück professioneller Identität in dem Bewußtsein, ein Fach zu vertreten, dessen Inhalte nicht mühsam über semantische Klippen einer Sprache erklommen werden müssen, deren Unzulänglichkeit auch in endlosen Erörterungen und Diskussionen nicht überwunden werden kann. Man fühlt sich – auch während des gelegentlichen Gebrauchs laxer Formulierungen im Unterrichtsgespräch – über das festgeknüpfte Begriffsnetz der Fachsprache abgesichert und abgehoben von jenem Kampf um das richtige Wort, der zum Alltag der Geisteswissenschaften gehört.

Andererseits ist es eine tägliche Erfahrung im Physikunterricht, daß eine noch so „saubere“ Begriffsdefinition Mißverstehen bei den Schülerinnen und Schülern nicht ausschließt. Mißverstehen oder Nichtverstehen trotz einer scheinbar vorhandenen „exakten“ Begrifflichkeit erzeugt eine doppelte pädagogische Gefahr:

- Erstens wird der Grund für Fehlleistungen im subjektiven Unvermögen der Lernenden gesehen.
- Zweitens erscheint den Lernenden die „Exaktheit“ im Gewand der Abstraktheit oder des Formalismus. Exaktheit wird damit jenen Merkmalen zugerechnet, die einen Inhalt schwierig, lebensfern und unattraktiv erscheinen lassen.

Es handelt sich bei beiden Wahrnehmungsweisen um nichts weniger als um eine Fehlinterpretation dessen, was „präzise“ im Zusammenhang mit naturwissenschaftlichen Begriffen bedeutet.

In der täglichen Unterrichtspraxis helfen Merksätze oder äußerliche Sprachregelungen, die auswendig gelernt oder eingeübt werden, scheinbar aus dem Dilemma. (*Man sagt: „Kraft wirkt“, nicht „hat Kraft“!*) Schülerinnen und Schüler lernen schnell, was Lehrerinnen und Lehrer hören wollen. Merksätze und Sprachregelungen dienen dann allerdings vornehmlich der Verschleierung von Mißverständnissen.

Besonders hervorzuheben ist hier nochmals die Begrenztheit des Anwendungsfelds der Fachsprache (→ S. 155 f). Der Sinngehalt der Alltagswelt wird in der Alltagssprache beschrieben bzw. repräsentiert. Ob die physikalische Fachsprache hier eine Steigerung bzw. Verbesserung bewirken kann, möge die Antwort auf die folgende Frage zeigen:

Was beschreibt die Realität zutreffender, der Satz

Die Suppe ist lauwarm!

oder

Die Suppe hat eine Temperatur von 32,5 °C! ?

Auf Anhieb können vermutlich nur wenige Menschen mit letzter Sicherheit sagen, ob sie eine Suppe mit der Temperatur von 32,5 °C als lauwarm, kalt oder heiß einordnen würden. Es würde auch nicht viel Sinn machen, das Wort lauwarm durch die physikalische Definition eines Temperaturbereichs beschreiben zu wollen. Das Kriterium für die Angemessenheit einer solchen „Definition“ bliebe weiterhin die „unphysikalische“ sinnliche Wahrnehmung. In dem Beispiel geht es um sinnliche Qualitäten, denen die Physik nichts Überlegenes entgegensetzen kann und deren Bedeutung im Erfahrungsbezug der Alltagssprache genauestens aufgehoben ist.

Was sich für die physische Welt schon als problematisch ausweist, gilt erst recht für andere Erfahrungsbereiche. Keine wissenschaftliche Abhandlung könnte genauer als z. B. HEBBELS *Herbstbild (Dies ist ein Herbsttag ...)* beschreiben, was unsere Sprache im Wort „Herbst“ auszudrücken vermag.

4.3.1.1 Die Vagheit der Alltagssprache als Voraussetzung für Verstehen

Ein kleines Urlaubserlebnis soll Wesentliches illustrieren: Der Vorgang spielte sich auf einem Campingplatz ab. Dort liegen die Elektrokabel herum, mit denen die Wohnwagen an die Verteiler angeschlossen sind. Timo, ein fünfjähriger Junge, macht sich ein Vergnügen daraus, auf den Kabeln entlang zu balancieren, barfuß. Sein Vater verbietet ihm das und erläutert mit vielen Worten, aber durchaus sachgerecht die Gefährlichkeit solchen Tuns. Einige Minuten später kommt Timos ältere Schwester und tritt versehentlich auf ein Elektrokabel. „Paß auf“, ruft Timo, „nicht da drauftreten, sonst bekommst du *Stromentzündung*.“

Timo hat Vaters Hinweis „verstanden“, d. h., ihm den Sinngehalt zugeordnet, den er aufgrund seiner Erfahrung und seines Wissens zuordnen konnte. Dies geschah spontan und sicher nicht in der Form, wie es der Vater erwartet hatte.

Man könnte die „Stromentzündung“ als Ergebnis eines Mißverständnisses interpretieren, so wie das in der Schule oft mit den sogenannten „falschen“ Antworten der Schülerinnen und Schüler geschieht. Es war aber genau das Verständnis, das für Timo aufgrund seiner kognitiven Struktur möglich war. Derartige „Mißverständnisse“ sind auch beim Physiklernen unvermeidlich. Sie sind Ausdruck der jeweils individuellen *Verstehensmöglichkeit*. Ein physikalischer Begriff, ein Gesetz, ein Satz kann im Denken einer bestimmten Schülerin bzw. eines bestimmten Schülers ausschließlich die Bedeutung erlangen, die aus der möglichen und faktischen Einordnung in die individuelle Denkstruktur folgt. 25 Schülerinnen und Schüler ordnen denselben Inhalt in ihre Denkstruktur ein – mit 25 verschiedenen Verknüpfungsmustern und Bedeutungsinhalten und mit 25 verschiedenenartigen Konsequenzen für das weitere Lernen. Das ist letztendlich der Grundstein geistiger Individualität und menschlicher Kreativität. Daher gilt:

Kein Begriff, keine Aussage ist präziser zu verstehen, als es die individuelle Denkstruktur jeweils zuläßt. Die Diversifikation des Bedeutungsinhalts bei der Einordnung eines Begriffs, Satzes oder Theorieelements in das individuelle Denken ist eine zwangsläufige Begleiterscheinung des Lernvorgangs und zugleich die Voraussetzung dafür, daß es überhaupt zu einem Verstehen kommt.

Ein didaktisches Vorgehen, das darauf angelegt ist, in allen Individuen identische Bedeutungszuweisungen zu erreichen, ist nicht nur eine Utopie, sondern zugleich ein kreativitätsfeindliches Programm der Entindividualisierung. Daß dem Physikunterricht diese Tendenz aus Gründen der Wissenschaftsorientierung immanent ist, wurde weiter oben ausführlich dargelegt (→ S. 157 ff).

Die Vagheit alltagssprachlicher Begriffe ist – und dies zu zeigen war das Anliegen dieser Ausführungen – kein Mangel, sondern die Voraussetzung für ihre Eignung zu zwischenmenschlicher Kommunikation. Da Unterricht ein kommunikativer Prozeß ist, bleibt er auf „unexakte“ Begriffe angewiesen, oder, wie WAGENSCHNEIN dies ausdrückte: *Die Sprache der Physik ist also nicht einfach die Sprache des Physikunterrichts. Muttersprache ist nicht Abraum, sondern Fundament* (1988, S. 137; Hervorhebung i. O.). Dies ist nicht in dem trivialen Sinn gemeint, daß Unterricht als komplexes kommunikatives Geschehen ohnehin nicht außerhalb der Alltagssprache stattfinden kann, sondern daß *die Physik selbst* alltagssprachlich ausgedrückt werden muß.

Mit dem Hinweis auf die nicht völlig festgelegten Bedeutungshöfe alltagssprachlicher Begriffe als Basis der Verständigungsmöglichkeit soll natürlich nicht für die Willkür der Bedeutungszuweisung argumentiert werden. Auch diese würde Verständigung unmöglich machen. Das semiotische Problem der Optimierung des Verhältnisses von Festlegung und Offenheit alltagssprachlicher Begriffe und Sätze braucht aber in unserem Zusammenhang nicht weiter vertieft zu werden.

Die Diskrepanz zur Auffassung WAGENSCHNEINS

Es soll der Klärung der hier vertretenen Position dienen, wenn der zentrale Unterschied zu WAGENSCHNEINS Auffassung schon hier hervorgehoben wird: WAGENSCHNEIN will zwar die Verwurzelung der Fachsprache in der Alltagssprache bewahren, hält aber daran fest, die Fachsprache als *Ziel* des Unterrichts zu sehen: (*Muttersprache*) *führt zur Fachsprache, sie beschränkt sich auf sie hin. Sie entläßt sie mit ihrem Segen ...* (1988, S. 137; Hervorhebungen i. O.). Für WAGENSCHNEIN führt der Weg des Unterrichts linear aufsteigend von der Muttersprache bis zur Formelsprache. Dagegen folgt aus dem Orientierungsrahmen (→ Abbildung 19, S. 219):

Wenn man eine wesentliche Aufgabe des Physikunterrichts darin sieht, Physik in lebenspraktischen Zusammenhängen kommunizierbar zu machen, dann bildet die Fähigkeit, Physikalisches alltagssprachlich ausdrücken zu können, das Unterrichtsziel. Kommunikative Kompetenz auf der Ebene der Alltagssprache steht dann *am Ende* des Lernprozesses und ist *kein Durchgangsstadium*.

Der Fachsprache kommt eine Mittlerfunktion zu, soweit sie den Interpretationshintergrund bildet, an dem die (Alltags-)Sprachkompetenz sich entwickeln muß. WAGENSCHNEINS aufsteigende Stufenfolge: gesprochene *Muttersprache* → *Alltagssprache* (*Schriftsprache*) → *Fachsprache* ist ausdrücklich nicht der Weg, der zur Kommunikationsfähigkeit im Sinne des *Orientierungsrahmens* führt (→ Abbildung 19, S. 219). Es soll vielmehr deutlich werden, daß es darum geht, aus der umgangssprachlichen Auseinandersetzung mit den Inhalten und deren fachsprachlicher Fassung eine Kompetenzsteigerung in der *alltagssprachlichen* Ausdrucksfähigkeit zu gewinnen.

4.3.1.2 Die Präzision physikalischer Begriffe

Die Behauptung, Physikunterricht sei auf „unexakte“ Begriffe angewiesen, trifft ins Mark des üblichen Verständnisses von Physikunterricht, dem nach doch alles darauf angelegt ist, „präzise“ Aussagen, Begriffe oder Sätze zu gewinnen. Daher seien noch einige Erläuterungen hinzugefügt:

Es soll zunächst von der Fiktion ausgegangen werden, es gäbe Begriffe, die in dem Sinne eindeutig (präzise) sind, daß nur eine einzige scharf umgrenzte Bedeutungszuordnung möglich ist. Einen solchen Begriff könnte nur derjenige verstehen, dessen subjektive Denkstrukturen bereits das Beziehungsgefüge enthalten, das dem *eindeutigen* Begriff zugeordnet werden soll. Weder andere, noch mehr, noch weniger Beziehungen darf es im Kontext einer solch *eindeutigen* Festlegung geben. Ein teilweises Verstehen des Begriffs wäre gleichbedeutend mit einem Nicht-Verstehen. Für einen Lernenden gibt es in diesem Fall nur zwei Möglichkeiten. Entweder er verfügt über die entsprechende Denkstruktur, dann erfährt er durch den eindeutigen Begriff nichts grundsätzlich Neues (er vermag lediglich neue Ordnungsstrukturen zwischen bekannten Inhalten herzustellen); oder er versteht den Begriff nicht. Pointiert formuliert bedeutet das:

Begriffe, die in dem Sinne „präzise“ sind, daß ihnen nur *eine* scharf umrissene Bedeutung zugeordnet werden darf, sind für den Lernprozeß von geringem Wert, weil sie subjektiv keine neuen Inhalte konstituieren, sondern nur bereits Bekanntes ordnen oder aber nicht verstanden werden.

Strenggenommen, aber glücklicherweise gibt es auch in der Physik keine Begriffe, die in diesem Sinne eindeutig sind. Aber angestrebt ist diese Präzision in der Fachsprache schon. Das mögen einige Zitate aus den DIN-NORMEN FÜR DEN UNTERRICHT (1985) belegen. Dort wird u. a. festgelegt, wie unterrichtsrelevante physikalische Größen zu definieren sind.

Für die Größe *Gewichtskraft* gilt:

Die Gewichtskraft G ist das Produkt aus der Masse m eines Körpers und der (örtlichen) Fallbeschleunigung g : $G = m \cdot g$

Die Gewichtskraft setzt sich aus der Gravitationskraft und der Zentrifugalkraft zusammen. Der Auftrieb ist nicht Teil der Gewichtskraft.

Die Gewichtskraft ist ortsabhängig (S. 222).

Für den Begriff *Masse* wird festgelegt:

Die physikalische Größe Masse m ist die Eigenschaft eines Körpers, die sich sowohl in Trägheitswirkungen gegenüber einer Änderung seines Bewegungszustandes als auch in der Anziehung auf andere Körper äußert.

Die Masse ist ortsunabhängig (S. 222).

Für ein Verstehen wäre offenkundig nichts gewonnen, wenn Schülerinnen und Schüler solche Sätze auswendig hersagen könnten. Die verwendeten Begriffe sind sämtlich theoriegeladen, die Sätze daher nur im Rahmen der Theorie zu verstehen, der sie zugehören. Damit bestätigt sich die Behauptung, daß „präzise“ physikalische Be-

griffe nur von denjenigen verstanden werden können, die das Theoriegebäude bereits kennen, auf das sich diese Begriffe beziehen. Wer die Theorie aber schon kennt, lernt durch diese Definitionen nichts grundsätzlich Neues. Außerdem soll nochmals betont werden, daß die Definitionen sich *nur* auf die *Theorie* beziehen und daher noch keinen konkreten Verweis auf einen bestimmten lebenspraktischen, bedeutungsgeladenen Zusammenhang enthalten (→ Kasten S. 144).

Die Beispiele zeigen, daß eine vorwiegend um Präzision bemühte Sprache geeignet ist, Verstandenes zu ordnen, nicht jedoch Verstehen zu initiieren. *Die Muttersprache ist die Sprache des Verstehens, die Fachsprache besiegelt es, als Sprache des Verstandenen* (WAGENSCHNEIN 1988, S. 137). Deshalb sind die DIN-Normen auch nur für Fachleute geeignet. Definitionen im Physikunterricht machen ebenfalls erst einen Sinn, *nachdem* die Inhalte und deren theoretische Verankerung verstanden sind, also *nachdem* gelernt wurde.

Die abschottende Wirkung der Fachsprache

Vor diesem Hintergrund wird ein Phänomen verständlich, auf das man stößt, wenn Fachleute – z. B. Physikbuchautoren – gebeten werden, einen Begriff doch verständlich zu erklären. JUNG (1982b) hat dies ausführlich dargestellt: *Auf die Frage, was Kraft sei, wird z. B. mit einer Formel wie $F = dp/dt$ geantwortet* (S. 142). Dies ist nur eine spezielle Form der Beschreibung der „Sprachlosigkeit der Wissenschaftler“ (→ S. 156 und Fußnote 110). Innerwissenschaftlich sind solche Probleme der Begriffsexplikation nämlich von untergeordneter Bedeutung. Die Definitionen legen den innerwissenschaftlichen Umgang mit den Begriffen durchaus präzise fest. JUNG (1982b) schreibt dazu: *Da natürlich Physiker definieren, was Physik ist, und sie Physik verstehen, müssen sie ja offenbar ohne Antwort auf solche Fragen auskommen können* (S. 143). Aus meiner Erfahrung als Schulbuchautor kann ich von entsprechenden Diskursen unter Fachleuten berichten: Geht es darum, wie man einen physikalischen Begriff im Schulbuch, also für Laien, verständlich darstellen soll – man denke an Begriffe wie Temperatur, Wärme, Energie, Spannung –, so entstehen für Unbeteiligte kaum vorstellbare, stundenlange Auseinandersetzungen, an deren Ende meist ein Kompromiß formuliert wird, den *Physiker* oft als höchst unbefriedigend empfinden. Diese Diskussionen wiederholen sich dann bei allen Neubearbeitungen der Texte im gleichen Expertenkreis ohne erkennbaren Fortschritt im Sinne einer abschließenden Formulierung. Es handelt sich eben nicht um logische, sondern um hermeneutische Probleme.

Vom Standpunkt der Fachsprache aus stellt sich die Physik nach dem Gesagten als abgeschottetes Gebilde dar. Dies entspricht dem tendenziell elitären Charakter der Physik (→ These 8, S. 86). *Im Endzustand schnürt sich die physikalische Aussage sogar von der Sprache ab und verdichtet sich in mathematischen Symbolen* (WAGENSCHNEIN 1988, S. 135). „Präzise“ sind physikalische Begriffe in dem Sinne, daß ihre Stellung innerhalb der Theorie durch die Definitionen exakt festgelegt ist. Die physikalische Theorie ist aber, wie oben dargelegt wurde, von konkreten Sinnbezügen zur Lebenspraxis entkleidet (→ S. 143 ff), insofern also abstrakt, als sie keine un-

mittelbare, sondern nur *potentielle* lebenspraktische Bedeutung beansprucht. Anders formuliert: Physikalische Begriffe sind Produkte der Bedeutungsentleerung, die mit dem reduktionistischen Weg der Theoriebildung verknüpft ist.

Damit erweist sich die Präzision physikalischer Begriffe im Hinblick auf das Ziel der Kommunikationsfähigkeit in lebenspraktischen Zusammenhängen und für die Aufklärung konkret bedeuteter Inhalte als unfruchtbar. Denn die Fachsprache ist eben deshalb präzise, weil sie (tendenziell) *absieht* von aller alltagssprachlichen Bedeutung. Das erleichtert die Verständigung der Physiker untereinander in globalem Maßstab enorm. Naturwissenschaftliche Entdeckungen oder Theorien verbreiten sich über alle Sprachgrenzen hinweg innerhalb kürzester Zeit. Es ist eben unerheblich, ob alle Physiker mit einem physikalischen Begriff den gleichen Sinngehalt verbinden. Es ist präzise festgelegt, wie man eine Größe mißt und auf welche Weise sie in den formalen Zusammenhängen der Theorie verknüpft ist, z. B. in welchen Formeln sie vorkommt. Das heißt aber:

Die physikalische Fachsprache ist so konzeptualisiert, daß sie von der Bedeutungsvarianz unabhängig wird, die in alltagssprachlichen Verständigungsprozessen unverzichtbar ist. Fachsprache ist tendenziell nicht-kommunikativ.

Im *Absehen* von konkreten Sinngehalten gewinnen also physikalische Begriffe ihre „präzise“ Gestalt und nicht durch ein präzise festgelegtes Bedeutungsvolumen. Letzteres ist gewissermaßen unerschöpflich und damit nicht „präzise“ begrenzt, sondern „grenzenlos“ (→ Kasten S. 147). Es ist nicht dem physikalisch-theoretischen Begriffsinhalt zuzuordnen.

4.3.2 Der kommunikative Zugang zur Physik

Es ist offenkundig, daß die Abgeschlossenheit des physikalischen Begriffssystems, die auch als *Eingeschlossenheit* in das physikalische Theoriegebäude verstanden werden muß, nur von der Alltagssprache her durchbrochen werden kann. C. F. V. WEIZSÄCKER hat dies in ähnlichem Zusammenhang folgendermaßen formuliert:

Es gibt einen immer schon erschlossenen Bereich, in dem man sich gut genug verständigen kann, um – auf das dort herrschende Verständnis aufbauend – neue Bereiche zu erschließen. Der schon erschlossene Bereich, in dem wir uns verständigen können, ist uns erschlossen nicht nur, aber weitgehend durch die Sprache, die wir immer schon sprechen. Daher ist die „natürliche“ Sprache, d. h. die Sprache, die wir jeweils schon haben und die die Logiker heute manchmal Umgangssprache nennen, die Voraussetzung der weiteren Erkenntnis und damit auch der weiteren Verschärfung der Begriffe. Verschärfung der Begriffe heißt aber: Korrektur der Umgangssprache. Und so ist diese Sprache ein Mittel, das uns immer von neuem Wirklichkeit erschließt und uns an Hand der erkannten Wirklichkeit gestattet, jenes Mittel selbst zu korrigieren. Dieser, wenn man so will, zirkelhafte Vorgang scheint mir der-

jenige zu sein, der, von der sprachlichen Seite her gesehen, in einer Wissenschaft wie der Physik unablässig geschieht (1972, S. 105).

Beschrieben wird hier der Weg *aus* der Alltagssprache *in* die Wissenschaftssprache. Daß dies nicht notwendig ein Weg zu höherer kommunikativer Kompetenz sein muß, ist bereits deutlich geworden. In dem Zitat kommt aber die Eigenschaft der Alltagssprache zum Ausdruck, sich jederzeit transzendieren zu können. Dies ist nicht nur die Voraussetzung für die Weiterentwicklung der Wissenschaft, sondern für alle Formen sprachlicher Wirklichkeitserschließung, ob im Vorgang alltäglicher Verständigung, in der Dichtung oder anderen Feldern (z. B. dem des Unterrichts). Trotzdem darf diese Sichtweise nicht in dem Sinne mißverstanden werden, als sei damit auch schon die Genese einer neuen Theorie an eine *stetige* Ausschärfung der alltagssprachlichen Begriffe gebunden. Es hat sich ja bereits gezeigt, daß die Grundelemente einer physikalischen Theorie, nämlich die *mathematischen Idealgestalten*, intuitiv und im Absehen von den realen phänomenologischen Gegebenheiten gewonnen werden (→ S. 171 ff). Die Begriffe, in denen diese mathematischen Idealgestalten versprachlicht werden, sind zwar häufig der Alltagssprache entnommen, erfahren aber im Augenblick ihrer Verankerung in der physikalischen Theorie einen Bedeutungs*umschlag*, der sie – nicht immer, aber auch nicht selten – ihrem alltagssprachlichen Bedeutungsfeld vollkommen entfremden kann.

4.3.2.1 Ein Beispiel: Kraft

Am Beispiel des bereits oben erwähnten Kraftbegriffs läßt sich erläutern, wie wichtig die Einsicht in die Nicht-Ableitbarkeit des physikalischen Begriffsinhalts aus der Alltagssprache ist. Innerhalb der Fachdidaktik ist das Mißverstehen des Kraftbegriffs seit langem ein Diskussionspunkt. Auch zu den im folgenden skizzierten Verständnisschwierigkeiten liegt eine Fülle von Literatur¹⁷³ vor. Dennoch haben sich selbst die viel publizierten Einsichten in der Unterrichtspraxis weithin nicht durchgesetzt. Die Gründe dafür werden weiter unten noch erörtert.

In der Alltagssprache wird der Kraftbegriff in mannigfachen Zusammenhängen verwendet. „Sehkraft“, „Waschkraft“, „Überzeugungskraft“ sind außerphysikalische Beispiele. „Motorkraft“, „Magnetkraft“, „Muskelkraft“, aber auch „Kraftwerk“, „Kraftrad“, „Kraftstoff“, „Kraftfahrzeug“ sind Begriffe, die auf einen physikalischen Kontext verweisen. In allen Fällen bezeichnen die Begriffe ein „Vermögen“ bzw. eine „Potenz“, die so etwas wie die „Wirkungsfähigkeit“ eines Körpers, eines Gegenstands, einer Person, einer Substanz o. ä. charakterisiert. Beschränkt man sich auf jene Kontexte, die auch im Physikunterricht üblicherweise zur Erarbeitung des Kraftbegriffs herangezogen werden, dann bezeichnet „Kraft“ die Fähigkeit eines

¹⁷³ Eine kleine Auswahl typischer Arbeiten soll hier angeführt werden: JUNG/WIESNER 1979 und 1981; JUNG/WIESNER/ENGELHARDT 1981, JUNG 1983; NATURWISSENSCHAFTEN IM UNTERRICHT 4/1988, Heft 34. Einen umfassenden Überblick findet man in der Bibliographie von PFUND/DUIT und bei SCHECKER 1985. Die vorliegenden Ausführungen im Text waren auch schon Grundlage eines früheren Artikels (MUCKENFUß 1988b).

physikalischen Körpers, bestimmte Wirkungen hervorzurufen. Üblicherweise werden diese Wirkungen als „Verformung“ und „Bewegungsänderung“ bezeichnet.

Demgegenüber fassen die DIN-Normen für den Unterricht den physikalischen Kraftbegriff in folgender Explikation:

Die physikalische Größe Kraft F kann als das Produkt der Masse m eines Körpers und der Beschleunigung a , die er unter der Einwirkung der Kraft F erfahren würde, dargestellt werden:

$$F = m \cdot a \quad (\text{S. 222}).$$

Diese physikalische Beschreibung bezieht sich natürlich auf den newtonschen Kraftbegriff. Diesem liegen der Trägheitssatz, dessen quantitative Fassung $F = m \cdot a$ und das Wechselwirkungsgesetz zugrunde. Diese Gesetze werden im einführenden Physikunterricht aber selten gründlich behandelt. Statt dessen wird die *Verformung* in den Mittelpunkt der Betrachtung gestellt. Das folgende Lehrplanzitat ist für diese Auffassung repräsentativ:

Kräfte werden in der Sekundarstufe I vornehmlich als Ursachen von Formänderungen aufgefaßt. Die bewegungsändernden Wirkungen von Kräften werden erst auf der Sekundarstufe II thematisiert. Sie lassen sich in Klasse 9 wegen der Schwierigkeit des Begriffs Beschleunigung kaum sachgerecht behandeln (DIE SCHULE IN NORDRHEIN-WESTFALEN ..., S. 38).¹⁷⁴

Hervorzuheben ist, daß in der Begriffsexplikation der DIN-Normen nicht der Körper auftritt, der eine Kraft *ausübt* – von einem solchen ist nicht die Rede –, sondern nur derjenige, der eine Kraft *erfährt*¹⁷⁵. Von der Verformung bzw. den Formänderungen eines Körpers ist in der physikalischen Explikation ebenfalls nicht die Rede. Denn die newtonsche Mechanik ist eine Theorie der „Massenpunkte“. Punkte können sich nicht verformen. Im übrigen tritt eine Verformung auch an ausgedehnten Körpern nur unter der Voraussetzung auf, daß eine Kraft nicht gleichmäßig auf alle Teile eines Körpers wirkt. In homogenen Kraftfeldern, z. B. bei einem Apfel im Gravitationsfeld, verformen sich Körper nicht. Verformung ist also kein Konstituens des Kraftbegriffs.

Als Definitionselemente bilden Trägheitssatz und Wechselwirkungsgesetz die Verständnisgrundlage der newtonschen Mechanik. Wurzelt das Wissen zum Kraftbegriff nicht in diesen Gesetzen oder widerspricht es ihnen auch nur implizit, so muß das unterrichtliche Treiben weithin erfolglos bleiben, was es nach allen vorliegenden Untersuchungen zum Kraftbegriff auch tut (→ Lit.: Fußnote 173). Der zitierte Lehr-

¹⁷⁴ Die Behauptung dieses Lehrplans, die bewegungsändernden Wirkungen würden Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I überfordern, ist unhaltbar. Es gibt eine ganze Reihe von Vorschlägen, wie der newtonsche Kraftbegriff auch schon zu Beginn des Physikunterrichts ohne formalen Aufwand erarbeitet werden kann (vgl. z. B. CORNELSEN Nr. 33490, S. 132–141, WIESNER 1994a, MUCKENFUß 1988b). Ich halte die Behauptung für eine Sekundärrationalisierung der weiter unten erläuterten ideologischen Grundposition.

¹⁷⁵ Die Konditionalform im Zitat („erfahren würde“) berücksichtigt, daß der Körper trotz der „Einwirkung“ auch in Ruhe bleiben oder eine Beschleunigung mit anderem Größenwert erfahren könnte, nämlich dann, wenn er auch noch weiteren „Einwirkungen“ ausgesetzt ist. Korrekt wäre dann allerdings nur die Formulierung „erfährt oder erfahren würde“.

plan fordert nichts weniger, als die Kriterien für ein Urteil darüber im Verborgenen zu lassen, unter welchen Bedingungen ein Körper seinen Bewegungszustand ändert und sich dabei zugleich verformt, unter welchen Voraussetzungen eine dieser Wirkungen für sich alleine auftritt und von welchen Parametern die Wirkungen jeweils abhängig sind. Die Verwendung des Kraftbegriffs für die Vorhersage physikalischer Wirkungen bleibt ohne Kenntnis des Trägheitssatzes und Wechselwirkungsgesetzes notwendigerweise spekulativ und damit unphysikalisch.

Trotz der klaren aus der Theorie abzuleitenden Forderungen an die Konstitution des physikalischen Kraftbegriffs ist es weithin üblich, diesen im Unterricht mit Wortverbindungen wie „Muskelkraft“, „Magnetkraft“ usw. zu verbinden. Diese Begriffe betonen den Aspekt der „Potenz“ im Sinne einer „Kraft“, die den „kraftausübenden“ Körpern (Muskel, Magnet o. ä.) als Eigenschaft zugesprochen wird. Sie lenken den Blick weg von dem Körper, *der die Kraft erfährt* und um den es bei der Genese der Trägheitsvorstellung zuallererst geht. Daß der Betrag der wirkenden Kraft von *dem* Körper entscheidend mitbestimmt wird, *auf den sie wirkt* (Wechselwirkungsgesetz), wird durch diese Begriffsbildung ebenfalls verschleiert.

Nur am Rande sei hier darauf hingewiesen, daß der alltagssprachliche Kraftbegriff mehr Gemeinsamkeiten mit dem Energiebegriff aufweist als mit der Konzeptualisierung von „Kraft“ in der newtonschen Mechanik. Darin liegt wohl ein wesentlicher Grund, warum es Schülerinnen und Schülern so schwer fällt, zwischen Kraft und Energie zu unterscheiden.

Der übliche Unterrichtsweg zum Kraftbegriff versperrt daher den Lernenden die Einsicht in den Sinn fachsprachlicher Formulierungen, z. B. in den Satz: „eine Kraft wirkt“.¹⁷⁶ „Muskelkraft“, „Motorkraft“, „Magnetkraft“ sind Wortverbindungen, die eine semantische Deutung im Sinne von „die Kraft *des* Motors, *der* Muskeln, *des* Magneten“ beinhalten. Ein „starker“ Magnet, Mensch oder Motor *hat* dann eben mehr Kraft als ein „schwacher“. Bei dieser Sprache ist die Idee, daß ein Magnet keine größere Kraft auf eine an ihm hängende Stecknadel ausübt als die Nadel auf den Magneten, nicht naheliegend. „Der Magnet zieht Eisen an“, sagen die Schülerinnen und Schüler (weil es ihnen so mitgeteilt wurde). Dabei *hat* ein „starker“ Magnet gemäß seiner größeren Potenz eben eine größere Kraft als ein „schwacher“. Daß auch ein Eisenstück einen Magneten anzieht, gehört so wenig zum Schulwissen, wie daß ein Apfel die Erde exakt gleich anzieht wie diese ihn.

Manchmal sind die vor-newtonschen bzw. alltagssprachlichen Bedeutungselemente auch noch in der etablierten Fachsprache vorhanden. Es ist z. B. durchaus üblich, von der Gewichtskraft *des* Körpers zu reden statt von der Gewichtskraft *auf* den Körper. Viele Schulbücher und Lehrkräfte pflegen hier unterschwellig die Potenzvorstellung in dem Sinne, daß die Gewichtskraft eine Körpereigenschaft sei.

¹⁷⁶ Durch die Syntax solcher Sätze wird die Kraft zum tätigen „Subjekt“. Auch dies widerspricht der newtonschen Konzeptualisierung als einer Größe, die eine *Beziehung zwischen Körpern* beschreibt. Ähnliche Schwierigkeiten gibt es in der Fachsprache dutzendweise. Beispielsweise wird in der Formulierung „der Strom fließt“ *Strom* zu einer *Sache*, wogegen eine Konzeptualisierung im Sinne eines *Prozesses* (Strömungsvorgang) erforderlich wäre.

Nicht nur beim Kraftbegriff, sondern in vielen fachsprachlichen Regelungen impliziert und induziert die Sprache Vorstellungen, die den explizit angestrebten entgegenstehen.

Die Schülerinnen und Schüler lernen, daß man im Physikunterricht nicht sagen darf „*hat Kraft*“. Den Sinn dieses Verbots können sie aber nicht erkennen, solange sie keinen tieferen Einblick in die newtonsche Theorie der Trägheit von Körpern haben. Solange der Physiklehrer gegenwärtig ist, sagen sie wie erwartet „*Kraft wirkt*“ – womit dann Mißverstandenes verschleiert ist.

4.3.2.2 Zur Kluft zwischen Alltagssprache und theoriegeladenen Begriffen

Der Kraftbegriff diene nur als Beispiel für viele ähnliche Sprachprobleme im Bereich der elementaren Physik. Einige davon werden in späteren Abschnitten noch in den Blick kommen. An dieser Stelle sind nur die Konsequenzen für die Kommunizierbarkeit des physikalischen Wissens von Bedeutung.

Die Frage ist, warum sich – im hier gegebenen Beispiel – der kontraproduktive didaktische Weg zum Kraftbegriff so hartnäckig in der Unterrichtspraxis hält. Es kann weder an fehlenden Alternativen liegen (→ Fußnote 174) noch an den notwendigen Informationen. Letztere werden einfach nicht zur Kenntnis genommen. *Ein* Teil der Erklärung ist: Der Weg über die Verformung von Körpern führt unmittelbar zur *Kraftmessung*. Nachdem dann der Kraftmesser eingeführt ist, ist Kraft eben das, was der Kraftmesser mißt. Der Verzicht auf ein weitergehendes Verständnis entspricht durchaus dem oben skizzierten Verzicht der Physik auf eine differenzierte *semantische* Explikation ihrer Begriffe. *Innerhalb* der Physik erwachsen daraus keine Probleme, solange richtig gemessen und gerechnet wird. Wenn die Aufgabe des Unterrichts darin gesehen wird, Schülerinnen und Schüler *in die Physik einzuführen*, fällt der Mangel (scheinbar) nicht so sehr ins Gewicht. Theoretisch ist ein Nobelpreisträger für Physik vorstellbar, der noch nie mit den semantischen Problemen des Kraftbegriffs in Berührung kam. Sie entstehen erst, wenn die Begriffe, Gesetze oder Sätze in einem konkreten lebenspraktischen Zusammenhang kommunikativ *ge-deutet* und *be-deutet* werden müssen. Dort geht es um die „Wortfähigkeit“ der physikalischen Erkenntnisse, an der ja auch kompetente Physiker scheitern können („Sprachlosigkeit der Wissenschaftler“). Daraus folgt zunächst:

In einem der Förderung der Kommunikationsfähigkeit verpflichteten Physikunterricht müssen die Schülerinnen und Schüler *mehr* lernen, als für das Treiben von Physik erforderlich ist.

Diese Erklärung des weitverbreiteten Verzichts auf eine physikalisch vertretbare Konzeptualisierung des Kraftbegriffs ist aber noch unvollständig. Wenn es nur darum ginge, durch eine terminologische Tautologie („Kraft ist, was der Kraftmesser mißt“) in den Theorieraum der Physik einzudringen, dann wären die vielfältigen Anstrengungen überflüssig, den physikalischen Kraftbegriff aus der Alltagssprache

heraus zu entwickeln. (Daß solche Bemühungen in die Irre führen, ist ja im allgemeinen nicht bewußt.)

Diesen Anstrengungen liegt die Überzeugung zugrunde: *Wissenschaftliche Aussagen, Gesetze und Termini sind nichts anderes als die Verwesentlichung dessen, was wir leibhaft, im Umgang erfahren haben oder doch erfahren können. In der Wissenschaft wird nur zum klaren Bewußtsein gebracht, was wir, ohne uns darüber im klaren zu sein, immer schon erfahren haben* (GIEL, S. 116). Es handelt sich hier um die Position, die auch WAGENSCHNIG vertritt (sie ist *nicht* zugleich die Position GIELS). Sie wurde weiter oben durch den Nachweis als unhaltbar ausgewiesen, daß die Physik den Erfahrungsraum transzendiert und neu entwirft (→ S. 171 ff). Die Sichtweise des Werdens der Fachsprache als eine stetig fortschreitende, graduell sich bis zum Formalismus steigernde Entfaltung der Alltagssprache wurzelt in der ideologischen Position des „Bildungsideals der deutschen Klassik“ (→ vgl. auch S. 148 ff). Jene dort behauptete Auffassung, nach der das Wissen sich *bruchlos* aus der Erfahrung entfaltet, wobei Mensch und Welt eine *Formatio* erfahren, erweist sich in ihrer Konkretisierung durch Spracharbeit, nach der die wissenschaftlichen Begriffe durch stetige Ausschärfung aus der Alltagssprache zu entwickeln seien, aufgrund dieser falschen Voraussetzung als kontraproduktiv. Um es nochmals zu wiederholen: Die Voraussetzung bruchloser Ausschärfung ist falsch, weil die Fachsprache Bestandteil einer *abstrakten* Theorie ist, in der jede *konkrete* lebenspraktische Bedeutung – und damit auch die ihrer Begriffe – abgestreift ist.

Besonders für Fachwörter, die zugleich alltagssprachliche Begriffe sind (Kraft, Wärme, Arbeit, Leistung usw.), entstehen Lernprobleme wegen der Kluft zwischen dem Theoriegehalt der Begriffe und der nicht selten inkommensurablen alltagssprachlichen Semantik. Vielfach ist es notwendig, gegen die Semantik der Begriffe „anzudenken“. Didaktische Forderungen in der Richtung, daß als Fachwörter möglichst bekannte Begriffe aus der Alltagssprache zu wählen und Fremdwörter zu vermeiden seien, sind dem Lernen physikalischer Theorien demnach nicht dienlich.

Aber auch für die weniger vorbelasteten Fachwörter (z. B. Fremdwörter) ist die Aufgabe zu lösen, die mit ihnen codifizierten Sachverhalte kommunizierbar zu machen. Dies ist aber nicht *innerhalb* der Fachsprache zu leisten.

4.3.2.3 Physik lehren und lernen heißt: Physik interpretieren

Aus der mit dem Prozeß der Theorieentwicklung verbundenen Bedeutungsentleerung (→ S. 143 ff) folgt – nicht als pädagogisches Desiderat, sondern *logisch* – daß Physik außerhalb ihres Theorieraums, also in lebenspraktischen Kontexten, in denen Physik für die Schülerinnen und Schüler kommunikativ, nutzbar und aufklärend wirken soll, zuallererst *be-*deutet werden muß, um sie einer individuellen Sinnkonstitution zugänglich zu machen. Es geht dann um die Interpretation der Physik im Hinblick auf ihre möglichen Aussagen zu einem konkreten bedeutungsgeladenen Zusammenhang.

Beispiel: Geschwindigkeit

Um nicht gänzlich im Abstrakten zu bleiben, soll ein kleines Beispiel eingeschoben werden: Geschwindigkeit ist eine physikalische Vektorgröße, die im Theorieraum als Differentialquotient ds/dt , „Es-Punkt“, in zahlreichen Formeln vorkommt, wodurch der innerfachliche Umgang mit dieser Größe präzise – im oben ausgeführten Sinne – festgelegt ist.

Im Augenblick, in dem dieses „Es-Punkt“ in lebenspraktischen Zusammenhängen angewendet werden soll, erfährt es eine Bedeutungszuweisung, d. h., es muß geklärt werden, welche Situationen einen konkreten Fall von „Es-Punkt“ darstellen und welche nicht. Diese Bedeutungskonstitution muß über die Alltagssprache erfolgen. Dort umfaßt der Begriff Geschwindigkeit eine Fülle von Bedeutungen, die zunächst völlig unabhängig von „Es-Punkt“ existieren. Sie reichen von „rascher Fortbewegung“ über „schnelle Erledigung“ bis zum jargonhaften „Affenzahn“ und „Schneckentempo“; von der „schnell verstreichenden Zeit“ über die „Datenübertragungsgeschwindigkeit“ der Computerfestplatte bis zu „Tempo-Dreißig“ u. v. a. m. In der subjektiven Erfahrung ist Geschwindigkeit nicht durch einen Quotienten repräsentiert, sondern durch erlebnishaft gewonnene Sinnzusammenhänge zwischen den eben angedeuteten Bedeutungsfeldern und der subjektiven Disposition in Form von Haltungen, Wertzuschreibungen, Wünschen usw. (Vielleicht atme ich auf, wenn in unserem Wohngebiet „Tempo-Dreißig“ eingeführt wird, vielleicht ärgere ich mich.) „Hohe Geschwindigkeit“, das erinnert mich zunächst nicht an einen Quotienten, sondern an das flauere Gefühl, das mich jeden Morgen befällt, wenn ich – zur Arbeit eilend – auf meinem Fahrrad in eine Kurve einbiege, ohne ganz sicher zu sein, daß ich sie auch „kriege“. (Der letzte rollsplittbedingte Sturz ist noch nicht vergessen.)

Aus solchen Bedeutungshöfen des alltagssprachlichen Begriffs werden nun Situationen „herausgeschnitten“, die mit „Es-Punkt“ bzw. im einführenden Unterricht mit dem Quotienten $v = \Delta s / \Delta t$ neu beschrieben werden können. So kann es gelingen, daß ein Schüler seine Höchstgeschwindigkeit im sportlichen Wettkampf, die „Zwölf-Sieben-auf-hundert-Meter“ in einem neuen Licht sieht. Er erfährt, daß dies einer physikalischen Geschwindigkeit von ca. 28 km/h entspricht („Tempo-Dreißig“), daß eine Schwalbe leicht die doppelte Geschwindigkeit erreicht, daß der schnellste Mensch in einem Wohngebiet „Strafzettel-gefährdet“ wäre usw.

Es gäbe natürlich noch viel zur Didaktik des Geschwindigkeitsbegriffs zu sagen, beispielsweise zu seiner kulturellen und kulturhistorischen Bedeutung. In weniger schnellebigen früheren Zeiten brauchte man keinen Geschwindigkeitsbegriff im Alltag; „Tagesreisen“ oder „Wegstunden“ reichten für den entsprechenden Kommunikationszusammenhang aus. Ebenso interessant sind seine Verknüpfung mit anderen Begriffen der Theorie (Beschleunigung, Trägheitsgesetz) und die methodischen Wege für die Definition des Quotienten $v = \Delta s / \Delta t$. Dies auszuführen ist nicht meine Absicht. Hier kommt es nur auf die Veranschaulichung des oben Gesagten an, daß die bedeutungsleeren formalbegrifflichen physikalischen Strukturen durch ihre Anwendung auf lebenspraktische Zusammenhänge eine Bedeutungszuweisung er-

fahren. Diese stellt eine hermeneutische Interpretation des im Fachwort codifizierten Theoriezusammenhangs dar. Für den einzelnen resultieren dann aus dieser Interpretation noch ganz unterschiedliche Sinnzuschreibungen: Was dem einen wichtig ist, kann dem anderen belanglos erscheinen. Das *potentielle* Bedeutungsvolumen von „Es-Punkt“ ist mit dem skizzierten Bedeutungshof ersichtlich nicht ausgeschöpft und wegen der unbegrenzt möglichen Vielzahl relevanter Lebenssituationen auch prinzipiell nicht auszuschöpfen. Das gilt für alle physikalischen Begriffe.

Interpretationen als Basis der Kommunizierbarkeit

Die Interpretation einer physikalischen Definitionsgleichung, eines Fachworts, eines Gesetzes im Hinblick auf lebenspraktische Bedeutungen weist durchaus Analogien zu anderen Bereichen auf, in denen das Interpretieren zur selbstverständlichen Grundlage des Verstehensprozesses gehört, etwa im Bereich der Kunst. Man denke z. B. an die Vernissage einer Kunstaussstellung, bei der abstrakte Bilder den Besuchern durch sprachliche Auslegung näher gebracht werden. Für den einzelnen Betrachter eines abstrakten Gemäldes kann sich durch die sprachlich gestützte Bedeutungszuweisung ein subjektiver Sinngehalt ergeben. Eine vollständige Versprachlichung des Sinngehalts eines Gemäldes ist aber nicht möglich. Sonst wäre das Bild überflüssig, weil durch Sprache ersetzbar. Auch jede sprachliche Interpretation eines formal dargestellten physikalischen Beziehungsgefüges bewirkt eine begrenzte Bedeutungszuweisung. Eine sachgerechte sprachliche Interpretation stellt eine Teilklasse der dem *potentiellen* Bedeutungsvolumen zuzuordnenden Aussagen dar. Diese Teilklasse bezieht sich auf den jeweiligen lebenspraktischen Erkenntniszusammenhang. Eine physikalische Gleichung, eine physikalische Begriffsdefinition oder ein formal formuliertes Gesetz sind aber ebensowenig vollständig durch Sprache zu ersetzen wie ein Kunstwerk.

Spracharbeit im Bereich der physikalischen Begriffsbildung muß sich demnach in der *Konfrontation* von Fachsprache und Alltagssprache abspielen. Dies ist dann nur ein Aspekt der umfassenderen Gegenüberstellung von nicht induktiv zu gewinnenden Idealgestalten mit Alltagsvorstellungen. Letztere sind gewöhnlich weder sinnlos noch unbegründet, aber meist nicht physikalisch. Da die Idealgestalten nicht „entdeckt“ werden können, wohl auch nur in seltenen Fällen der Intuition der Schülerinnen und Schüler entspringen dürften, sind wir auf didaktisch aufbereitete Mitteilung angewiesen (→ Kasten S. 179), worunter selbstverständlich kein Verbalismus zu verstehen ist.

Zum selben Ergebnis gelangt auch GIEL: *Theoretische Aussagen, wo immer und in welcher Form auch immer sie an den Nichtfachmann herangetragen werden, bedürfen der ausdrücklichen Aneignung und des Verständnisses, in welchem Sinne sie genommen werden sollen* (S. 121). GIEL beschreibt dann ein Beispiel dafür, auf welchem Weg *im Medium der Sprache erklärt und verständlich gemacht werden kann, in welcher Weise ein Sachverhalt in wissenschaftlichen Aussagen angegangen worden ist. Schon die Frage nach der Anwendbarkeit auf einen konkreten Fall setzt*

die Umsetzung der Aussage in die Umgangssprache voraus (S. 120). GIELs Beispiel bezieht sich auf den oben diskutierten Kontext des Kraftbegriffs:

Wir führten die Schüler zunächst an rätselhafte Erscheinungen heran, die sie mit den erworbenen Erklärungsschemata der Umgangssprache nicht deuten konnten. Daraufhin gaben wir ihnen die entsprechende wissenschaftliche Information, die für die Schüler zunächst noch rätselhafter war als die Erscheinung selbst. Vor die Frage gestellt, was denn nun das Trägheitsprinzip ... besage, kamen, nicht nur in der Sprachführung, originelle Erklärungsversuche zutage, sondern die Schüler fingen an, mit der Sprache zu ringen, unterbrachen sich selber mit Bemerkungen: „nein, so geht es nicht“ –, in jedem Fall aber wurde das Sprechen argumentierend und begründend, nicht wie es sonst meistens in der Schule geschieht, beschreibend oder bloß aufzählend; argumentierend auch hinsichtlich der Wortwahl (S. 122).

Von meinen eigenen Erfahrungen her kann ich GIELs Ausführungen nur bestätigen. Freie Kommunikation kann erst dort entstehen, wo der Eindruck nicht mehr seine knebelnde Wirkung tut, es ginge darum, aus der Alltagssprache jene Bedeutungsvarianten von Begriffen herauszukitzeln, die der Lehrer oder die Lehrerin hören wollen, weil sie der physikalischen Theorie entsprechen.

4.3.3 Zur Theoriegeladenheit physikalischer Begriffe

Es ist bereits hinlänglich deutlich geworden, daß physikalische Begriffe nicht im Sinne von Vokabeln lehr- und lernbar sind. Vielmehr sind sie aus dem Netz ihres theoretischen Zusammenhangs nicht herauslösbar. Eine sachgerechte Interpretation muß immer den definitorischen Theoriezusammenhang mit berücksichtigen, also den wissenschaftlichen *Rahmen*, in dem der Begriff verankert ist. Geschieht dies nicht, dann werden Begriffe falsch konzeptualisiert, so wie dies oben für den Kraftbegriff dargestellt wurde.

Die Theoriegeladenheit physikalischer Begriffe stellt daher eines der fundamentalen didaktischen Probleme dar. Denn ein Verständnis der Begriffe ist an den Erwerb des Theoriezusammenhangs geknüpft, der, je nach Komplexität, eine mehr oder weniger umfassende und zeitaufwendige Bearbeitung verlangt. Beim Kraftbegriff ist es beispielsweise der in den newtonschen Axiomen enthaltene Definitionszusammenhang. Geht man dabei nach einer Unterrichtskonzeption vor, wie sie unter dem Diktat eines minimalen Zeitvolumens entwickelt wurde (MUCKENFUß 1988b), so erfordert dies etwa 10–14 Unterrichtsstunden. Die soeben ausgeführte, für das Verstehen unabdingbare Forderung, den jeweiligen Theoriezusammenhang im einem sinnstiftenden lebenspraktischen Kontext interpretatorisch zu entwickeln, schließt wesentliche Verkürzungsmöglichkeiten aus. Es ist ersichtlich, daß – bedenkt man die Vielzahl der zu vermittelnden physikalischen Begriffe – die dem Physikunterricht zur Verfügung stehende Unterrichtszeit sinnstiftendem Lernen beängstigend enge Grenzen setzt. Da aber auf andere Weise Physik nicht gelernt werden kann, kommt alles darauf an, daß die Theorieelemente einschließlich der zu erhellenden lebenspraktischen Kontexte eng aufeinander abgestimmt sind, um am Ende des Unterrichts

die im Orientierungsrahmen vorgezeichneten Kompetenzen aufbauen zu können. Dieses Abstimmen von Theorieelementen und Kontexten beinhaltet die Herstellung einer neuen Systematik, die sich nicht nur auf die Wissenschaft Physik bezieht, sondern auch auf den Interpretationsrahmen für die Physik.

Aus dem Umstand, daß nie nur einzelne Begriffe gelernt werden, sondern ganze Theorieelemente, resultieren auch Erleichterungen. Die Theorieelemente stehen untereinander zumindest partiell in einer Teilklassenbeziehung und überlappen sich vielfach. So setzt z. B. der Begriff des Auftriebs das Druckkonzept und dieses das Kraftkonzept voraus. Es werden daher nicht einzelne Begriffe erworben, sondern theorieadäquate Begriffsgefüge.

4.3.3.1 Zur Komplexitätsreduktion theoriegeladener Begriffe durch die sinnstiftende Interpretation von Fachbegriffen

Beispiel: Elektrische Spannung

Die Theoriegeladenheit der Begriffe ist unterschiedlich komplex. Hält sie sich beim newtonschen Kraftbegriff noch in einem überschaubaren Rahmen, so eskaliert sie bei anderen Begriffen enorm. Als Beispiel möge die *elektrische Spannung* dienen (vgl. MUCKENFUß/WALZ, S. 18–62; MUCKENFUß 1988a und 1991). Den Ausgangspunkt mögen wieder die DIN-Normen bilden, auch wenn dies zunächst eher abschreckend wirkt:

(1) *Das Linienintegral der elektrischen Feldstärke, das von einem Anfangspunkt 1 zu einem Endpunkt 2 einer Wegkurve s erstreckt wird, heißt elektrische Spannung:*

$$U_{12} = \int_1^2 E ds$$

(DIN 1324, 2. Elektrische Spannung, 1. Absatz).

oder:

(2) *Ein kleiner Körper, der die gleichbleibende Elektrizitätsmenge Q trägt, legt in einem elektrischen Feld (siehe DIN 1324) einen Weg s von einem Anfangspunkt 1 zu einem Endpunkt 2 zurück. Dabei verrichten die Feldkräfte an dem Körper eine Arbeit A_{12} , die proportional zur Elektrizitätsmenge Q ist. Der Quotient A_{12}/Q ist deshalb eine von Q unabhängige, dem Weg s von 1 nach 2 zugeordnete Größe. Diese wird elektrische Spannung U zwischen 1 und 2, kurz U_{12} genannt. Es ist also $U_{12} = A_{12}/Q$ (DIN 1323, Abschnitt 1.1., 1. Absatz).*

Es braucht wohl nicht eigens erläutert zu werden, daß diese den Theorieinhalt des Spannungsbegriffs umfassenden Definitionen nicht im Sinne eines Unterrichtsziels für die Sekundarstufe I verstanden werden können. Sie stellen aber den Zusammenhang dar, auf den jede sachgerechte unterrichtliche Formulierung, wie elementar sie auch immer sein möge, bezogen bleiben muß, wenn der zu lernende Spannungsbegriff ein physikalischer bleiben soll. Was sonst geschieht, nämlich ein völliges Mißverstehen des Spannungsbegriffs, ist allgemein bekannt und im populärsten Wörterbuch der

Kapitel IV: Entwurf einer zeitgemäßen Didaktik des Physikunterrichts

deutschen Sprache schön dokumentiert. Dort wird auf folgende Weise erläutert, was im Sinne des *Common sense* unter der elektrischen Spannung zu verstehen ist:

(3) *Spannung, die: ... 2. el.: Stärke des elektrischen Stromes*

(Duden, Deutsches Universal-Wörterbuch, Stichwort „Spannung“).

Das Herzensanliegen aller Physiklehrkräfte, nämlich die sichere Differenzierung der beiden elektrischen Fundamentalgrößen *Spannung* und *Stromstärke*, wird durch die Begriffsexplikation des Duden in ihr Gegenteil verkehrt.

Dieses Beispiel soll aufzeigen, wie im Fall hoher Theoriegeladenheit eines wichtigen physikalischen Begriffs didaktisch verfahren werden kann. Der Spannungsbegriff dürfte dabei zu den besonders problematischen Größen gehören. Nimmt man nämlich die definitorischen Grundlagen der in (1) und (2) benutzten Begriffe und Symbole zusammen und berücksichtigt, daß jeder der Begriffe wieder in einem eigenen theoretischen Definitionszusammenhang steht, dann wird deutlich, daß der Spannungsbegriff in seiner wissenschaftlichen Form mehr physikalische Theorie integriert, als gegenwärtig in der Sekundarstufe I behandelt werden kann.

Daraus folgt, daß ein physikalisches Verständnis des Spannungsbegriffs den Definitionen (1) und (2) nicht in der Weise gerecht werden kann, daß sich die Bedeutungszuweisung in einem sinnstiftenden Kontext (die sich ja als unverzichtbar erwiesen hat) auf den *gesamten* implizierten Theorierahmen bezieht. Einen Ausweg zeigt die folgende Darstellung der wichtigsten formalen Strukturen, die den Spannungsbegriff konstituieren (→ Abbildung 21):

| Ebene | innerwissenschaftlicher Realitätsbereich | Gleichungen (Operationen) | Einheitengleichungen |
|-------|--|--|-------------------------------------|
| IV | Potentialdifferenzen in E-Feldern | $U_{12} = \int_1^2 E ds \rightarrow$ für homogene Felder: $U = E \cdot s$ | 1 V = 1 (V/m) · 1 m |
| III | Bewegung elektrischer Ladungen in E-Feldern | (für $E = F/Q$ bzw. $F \cdot s = W$): $U_{12} = \int_1^2 F/Q \cdot ds$ bzw. $U = F \cdot s/Q \rightarrow W/Q$ | 1 V = 1 (N/As) · 1 m = 1 J/As |
| II | Stromkreise mit kontinuierlicher Ladungsträgerbewegung | (Multiplikation mit t/t): $U = (F/I) \cdot v \rightarrow U = F \cdot v/I$ $\rightarrow U = P/I$ | 1 V = 1 N · (m/s)/A = 1 W/A |
| I | Ströme durch ohmsche Leiter | (Substitution: $P = I^2 \cdot R$): $U = I \cdot R$ | 1 V = 1 A · 1 Ω |

Abbildung 21: Abstraktionsebenen und innerwissenschaftliche Realitätsbereiche, auf die sich der Spannungsbegriff in seinen formalen Verknüpfungen bezieht

Die Darstellung sieht noch recht kompliziert aus. Dennoch erleichtert sie die notwendige Aufgabe, den Theorieumfang sinnvoll zu begrenzen, der über den unterrichtlich zu vermittelnden Spannungsbegriff erschlossen werden soll.

Die Gleichungen, in denen der Spannungsbegriff vorkommt, sind in vier Ebenen geordnet, die ein vom IV nach I abnehmendes Abstraktionsniveau beinhalten. Die jeweils unterhalb liegende Ebene ist durch formale Operationen abgeleitet. Die Ordnung der Ebenen enthält eine Teilklassenbeziehung:

- Die *Ebene IV* bezieht sich auf elektrische Potentialdifferenzen. Sie definieren z. B. *Bedingungen* für alle möglichen Energieumsätze in elektrischen Feldern.
- Die Gleichungen der *Ebene III* beschreiben eine Teilklasse von Sachverhalten der Ebene IV, nämlich alle diejenigen, bei denen tatsächlich elektrische Ladungen („ Q “) in elektrischen Feldern bewegt werden.
- Die *Ebene II* grenzt wieder eine Teilklasse der Vorgänge der Ebene III aus, nämlich all jene, in denen eine kontinuierliche Ladungsbewegung stattfindet. Sie bezieht sich in diesem Sinn auf elektrische Strömungen („Ströme“).
- Schließlich hat der Theorieumfang der *Ebene I* einen recht begrenzten Gültigkeitsbereich. Er bezieht sich nur auf diejenigen Ströme der Ebene II, bei denen ein ohmscher Zusammenhang zwischen Stromstärke und Spannung gegeben ist. Die Bauteile dieser Stromkreise müssen also spezifische Bedingungen erfüllen.

Auf welchem Niveau nun der Spannungsbegriff im Unterricht erfaßt werden muß, hängt von dem sinnstiftenden Kontext ab, in dem seine Bedeutung konstituiert werden soll. Es ist unter bestimmten Voraussetzungen möglich, den Bedeutungsumfang des Spannungsbegriffs kommunikativ zu erfassen, also in wortfähiger Form für alltägliche Zusammenhänge nutzbar zu machen, ohne die Ebene II zu überschreiten: *Wenn als lebenspraktischer Kontext das Problemfeld gewählt wird, wie mit Hilfe elektrischer Anlagen Energie übertragen und umgewandelt wird, was diese Energieübertragungssysteme in unserem Alltag für eine gesellschaftliche, ökologische und politische Bedeutung haben, wie sie privat sinnvoll zu nutzen sind, und welche Folgen diese Nutzung zeitigt, dann kann die Gleichung $U = P/I$ der Ebene II den Definitionsumfang begrenzen.*

Welche sprachliche *Interpretation* die Größe „elektrische Spannung“ unter diesen Voraussetzungen erfährt, soll kurz dargestellt werden:

Der theoretische Rahmen, auf den sich die Interpretation beziehen muß, ist durch den Quotienten P/I bzw. die Ebene II symbolisiert. Es kommt also darauf an, wie dieser Quotient wortfähig gemacht wird. Für die Größe I ist das weitgehend geläufig. Sie wird unglücklicherweise als „Stromstärke“ bezeichnet, obwohl sie mit der Semantik des Begriffs „Stärke“ im Sinne von „Kraft haben“, „stark sein“ bzw. mit der Fähigkeit, mehr oder weniger große Wirkungen zu erzeugen, gerade nichts zu tun hat.¹⁷⁷ Sie beschreibt die Strömung von Elektrizität rein quantitativ. Kontinuierliche Strömungen aller Substanzarten (Luft, Wasser usw.) können über die Menge dieser Substanz beschrieben werden, die in einer Zeiteinheit durch eine bestimmte Stelle des Strömungsquerschnitts, z. B. durch die Öffnung eines Wasserhahns fließt. Mathematisch wird dies durch den Quotienten „Substanzmenge durch Zeit“ beschrieben. Die Maßeinheit „1 A“ bezieht sich dann auf die Elektrizitätsmenge, die pro Sekunde durch einen „Strömungskanal“, z. B. durch einen Draht fließt. Es folgt daraus, daß der Vermittlung des Spannungsbegriffs Erfahrungen vorausgehen

¹⁷⁷ Zur Erläuterung: Die Stromstärke von 0,6 A in einem 4 V-Glühlämpchen „bewirkt“ wesentlich weniger als die von 0,26 A in einer 60 W-Haushaltsglühlampe. Letztere vermag ein Zimmer hinlänglich zu beleuchten, erstere reicht nur bei einem Abstand von weniger als einem Meter, um den vorliegenden Text zu lesen.

müssen, die eine Vorstellung von I als Elektrizitätsströmung einschließlich ihrer Maßeinheit erzeugen.

Wesentlich schwieriger zu beantworten ist die Frage, wie der Ausdruck P interpretiert werden soll. Definitionsgemäß handelt es sich um den Quotienten W/t bzw. E/t . W steht hier für die physikalische Größe *Arbeit*. Sie erfaßt den *Vorgang des Arbeitens*. Arbeit beschreibt die Umwandlung von Energie und/oder deren Übertragung auf ein anderes System. Wenn z. B. in physikalischem Sinne körperlich gearbeitet wird (Physiker sprechen von „Arbeit verrichten“, um durch diese Substantivierung syntaktisch eine physikalische Größe zu konstituieren), dann wird Energie umgewandelt und übertragen auf ein anderes System: Aus der im System „menschlicher Körper“ biochemisch gespeicherten Energie wird z. B. beim Fahrradfahren kinetische Energie des Systems „Fahrrad plus Fahrer“ bzw. thermische Energie der Umgebungsluft, die beim Fahren „durchschnitten“ wird.

Es ist nun leicht ersichtlich, daß man in einer bestimmten Zeit viel oder wenig arbeiten kann. Es gibt also ein „Arbeitstempo“, das ausdrückt, wieviel innerhalb einer Zeiteinheit, z. B. pro Sekunde, gearbeitet wird. Arbeit muß dazu meßbar gemacht werden, wofür es verschiedene Möglichkeiten gibt, die hier nicht weiter ausgeführt werden. Die Maßeinheit der Arbeit ist „1 J“ (*Joule*), für die des Arbeitstempos folgt daraus $1 \text{ J}/1 \text{ s} = 1 \text{ W}$. In *dieser* Interpretation bezeichnet der Quotient P das „Arbeitstempo“, das in der Physik *Leistung* genannt wird.

Eine andere Interpretation des Ausdrucks P wird möglich, wenn nicht der Arbeitsbegriff der Gleichung $P = W/t$ herangezogen wird, sondern der Energiebegriff der Gleichung $P = E/t$. *Formal* sind beide Gleichungen identisch, denn die Größenwerte für E und W unterscheiden sich nicht, weil auch die Energie in der Einheit *Joule* gemessen wird. Das hat rein historische Gründe. *Interpretatorisch*, also im Hinblick auf die durch Sprache konstituierten Vorstellungen, besteht allerdings *keine* Identität. Energie ist eine mengenartige Größe. Man kann sie transportieren, übertragen, speichern, verteilen, kaufen und verkaufen.

Es gibt nun Energietransportsysteme mit einer kontinuierlichen Energieübertragung von einem Ort zu einem anderen. Elektrische Anlagen sind solche Transportsysteme und zu einem erheblichen Teil auch eigens dafür gebaut, Energie transportieren und anschließend umwandeln zu können. Betrachten wir als Beispiel einen elektrischen Staubsauger: Er wandelt pro Sekunde etwa 1000 J elektrische Energie in mechanische (Luftströmung und Staubtransport) und thermische Energie um (Aufheizen der Umgebung). Der Staubsauger ist also – wie jedes andere elektrische Gerät – ein Energiewandler. Die Energie muß dem Staubsauger zugeführt werden. Sie strömt über das Anschlußkabel in das Gerät hinein, wird dort umgewandelt und strömt in die Umgebung. Seinen Ursprung hat dieser Energiestrom bekanntlich im *Kraftwerk*. Dort wird die Energie in das Leitungssystem eingespeist, nachdem sie vorher anderen Systemen entzogen und in elektrische Energie umgewandelt wurde. Auch am Beginn der Übertragungsstrecke steht also ein Energiewandler (elektrische Energiequelle).

Der Quotient $P = E/t$ ist in dieser Interpretation ein Maß für den *Energiestrom*, der von einer „Energiequelle“ (Energiewandler I) zu einem „Energieverbraucher“ (Energiewandler II) strömt. Die Größe *Energiestrom* wird anschaulich und erfahrungsbezogen, wenn man den menschlichen Körper als Energiequelle betrachtet. Er ist dann im Ruhezustand mit einer Glühlampe vergleichbar, denn er heizt seine Umgebung ständig durch einen (nicht-elektrischen) Energiestrom von ca. 80 W auf. Beim sportlichen Ausdauertraining kann der Energiestrom, der unseren Körper verläßt, auch schon mal 150–200 W betragen.

Daraus ergibt sich nun eine sinnvolle Interpretation des Spannungsbegriffs: Beispielsweise gibt die elektrische Spannung einer Energiequelle an, wie groß der Energiestrom ist, der die Quelle bei einer Elektrizitätsströmung von 1 A verläßt (aus $U = P/I$ folgt die Einheitengleichung $1 \text{ V} = 1 \text{ W/A}$). Eine Autobatterie mit 12 V erzeugt einen Energiestrom von 12 W, wenn die Elektrizitätsströmung 1 A beträgt. Sind am Auto die Lichter eingeschaltet, so erfordert dies einen Energiestrom vom 120 W. Sie mit „physiologischer“ Energie zu betreiben, wäre schon eine beachtliche sportliche Leistung. Die Autobatterie bringt diese Anstrengung auf, indem sie eine Elektrizitätsströmung von 10 A durch die Leitungen treibt. Der Anlasser muß beim Start eines kalten Motors 1200 W leisten. Entsprechend groß muß der Energiestrom sein, was durch eine Elektrizitätsströmung von 100 A ermöglicht wird. Das erfordert dann schon recht dicke Kabel, damit die Energie wirklich zum Anlasser gelangt und nicht schon unterwegs durch die Erwärmung von Drähten in der Umgebung verschwindet.

Haushaltsgeräte werden bei 230 V betrieben. Dies bedeutet, daß eine Elektrizitätsströmung von 1 A einen Energiestrom von 230 W erzeugt. Der oben erwähnte Staubsauger (1000 W) erfordert also eine Elektrizitätsströmung durch die Drähte von etwas mehr als 4 A. Es wären schon acht bis zehn gut trainierte „Sklaven“ erforderlich, um einen entsprechend leistungsfähigen Staubsauger „physiologisch“ zu betreiben. Mißt man an einem elektrischen Gerät oder Bauteil eine bestimmte Spannung, so gibt sie an, wie groß der Energiestrom pro 1 A ist, der in dieses Gerät hineinfließt, umgewandelt wird und es wieder verläßt. Auf handelsüblichen Geräten ist dieser Energiestrom angegeben.

In der Bundesrepublik Deutschland wird pro Einwohner im Jahresmittel ein *elektrischer* Energiestrom von knapp 700 W erzeugt (elektrische „Nutzleistung“; primärseitiger Energiestrom >2000 W). Ständig erfordert daher die Lebensform unserer Zivilisation pro Einwohner allein einen elektrischen Energiestrom, der einer sportlichen Leistung von sechs erwachsenen Männern entspricht. Bei den üblichen 230 V Netzspannung ist also ständig eine Elektrizitätsströmung von ca. 3 A pro Person nötig. Deshalb sind wir auch überall von elektrischen Leitungen umgeben. Übrigens ist der *gesamte* kommerziell erzeugte (Primär-)Energiestrom, einschließlich Straßenverkehr, Industrie usw. pro Einwohner der Bundesrepublik Deutschland knapp 6000 W groß. Für einen Inder wird dagegen ein Energiestrom von weniger als 400 W erzeugt, bei einem Afrikaner sind es etwa 630 W, bei einem Amerikaner 9400 W.

Das Beispiel soll zeigen, daß die sinnstiftende Interpretation physikalischer Größen lebenspraktisch bedeutsame Einsichten ermöglicht, bis hin zu den Schlüsselproblemen der Menschheit. Wie dies im Falle des Elektrizitätsunterrichts auch methodisch zu erreichen ist, wurde an anderer Stelle ausführlich dargelegt (MUCKENFUB/WALZ, Kapitel I–III). Der Abschnitt 4.4.3 wird dazu einige Hinweise liefern.

Nicht alle physikalischen Begriffe sind gleichermaßen theoriegeladen. Auch ist es nicht immer möglich, den Bogen von einem Begriff über die Interpretation seines Theoriegehalts bis hin zu den Schlüsselproblemen zu spannen. Daß aber prinzipiell auf diesem Wege Physik zum sinnvollen Repertoire an Kenntnissen und Fähigkeiten werden kann, sollen die nächsten Abschnitte erweisen.

4.3.4 Kommunikationsfähigkeit als didaktisches Konzept – eine Zusammenfassung

Kommunikationsfähigkeit im Hinblick auf physikalische Sachverhalte erfordert eine veränderte Sicht des Verhältnisses von Fachsprache und Alltagssprache. Da sich die Fachsprache aus den kommunikativen Kontexten „auskoppelt“, kann sie nicht das *Ziel* des Unterrichts sein. Auf die Sichtweise des Unterrichtsprozesses, wie sie uns bei WAGENSCHNEIDER begegnet und auch von den Lehrplänen nahegelegt wird (→ Abbildung 22), darf sich ein auf Kommunikationsfähigkeit ausgerichteter Unterricht nicht festlegen lassen.

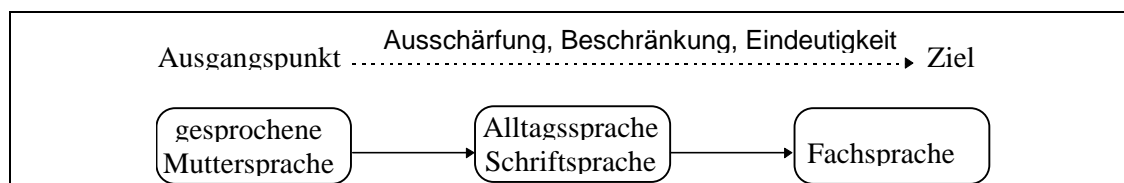


Abbildung 22: Zur kritisierten Sichtweise des Verhältnisses von Alltagssprache und Fachsprache. Kommunikationsfähigkeit als Unterrichtsziel bedeutet im Gegensatz zur abgebildeten Darstellung, daß die Fachsprache *nicht* das Ziel darstellt.

Es kommt für wissenschaftsverständige Laien, die wissenschaftliche Kenntnisse und Fähigkeiten für die verantwortliche Mitgestaltung des gesellschaftlichen und privaten Lebens nutzen wollen, alles darauf an, daß der Erwerb von Fachkompetenz unauflöslich mit ihrer Kommunizierbarkeit verknüpft wird. Da die physikalische Fachsprache tendenziell nicht-kommunikativ ist, bedarf sie der Interpretation durch Bedeutungszuschreibungen, die ihrerseits nur aus der Verknüpfung von Lebenspraxis und Wissenschaft resultieren können. Im Prozeß der Konfrontation von Wissenschaft und Alltag konstituieren sich neue Sichtweisen, die auch eine neue sprachliche Kompetenz erfordern. In dieser werden sowohl die vorhergegangene Alltagssprache als auch die bedeutungsentleerte Fachsprache überschritten. Das soll die Abbildung 23 ausdrücken.

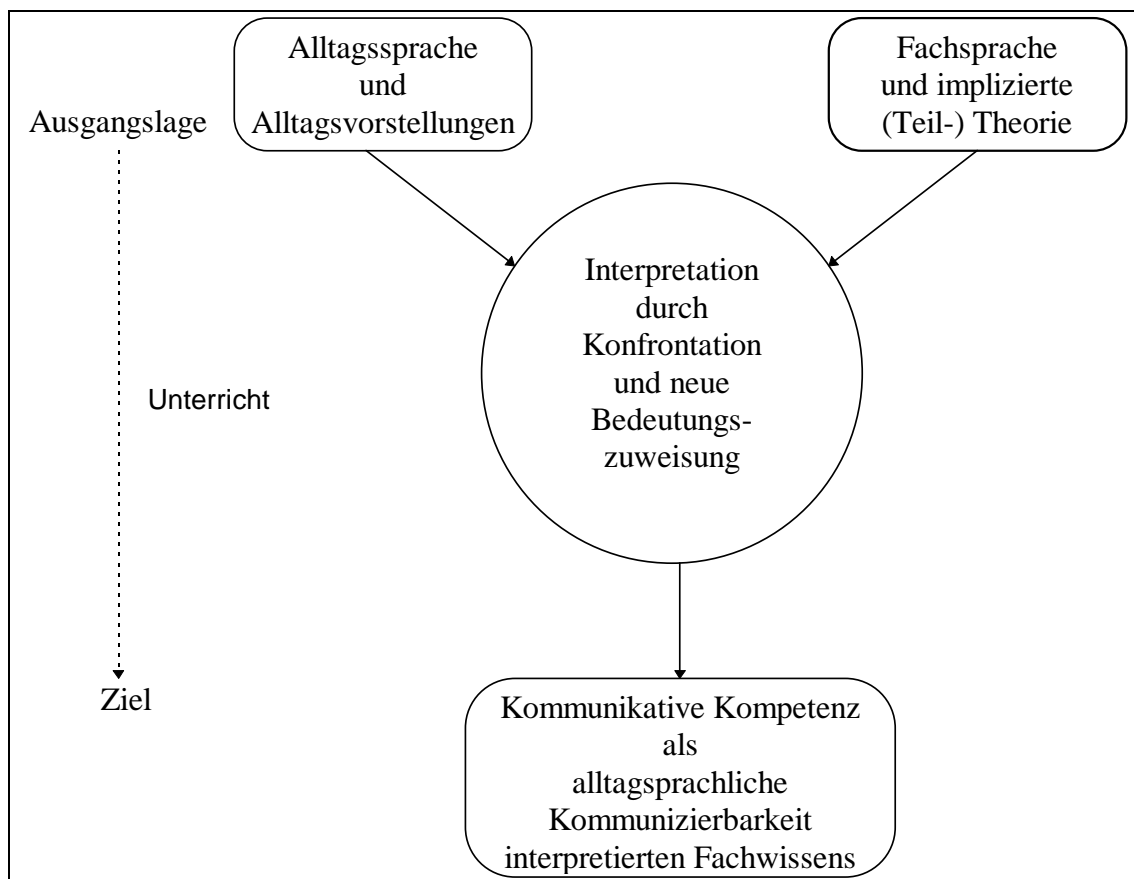


Abbildung 23: Schematische Darstellung des Wegs zu kommunikativer Kompetenz

Die Aufgabe des Unterrichts wird dadurch verändert. Methodische Formen der Sprachförderung erhalten auch im Physikunterricht einen erhöhten Stellenwert. Andererseits bleibt die Fachsprache notwendig Inhalt des Unterrichts. Da über sie die zu erwerbenden theoretischen Zusammenhänge codiert sind, gehört die Fachsprache zur Basis, von der aus eine neue kommunikative Kompetenz erworben wird.