

Vorwort zur 2. Auflage

Wenn man ein Jahr nach der Publikation eines Lehrbuches mit der Vorbereitung einer 2. Auflage beginnt, ist man als Autor natürlich sehr zufrieden. Die gute Resonanz von „Physikdidaktik“ bei den Adressaten äußerte sich nicht nur mittelbar über Verkaufszahlen, die die Neuauflage notwendig machen, sondern auch unmittelbar durch viele Rückmeldungen über Medien verschiedenster Art.

Die rasch auf die Publikation von „Physikdidaktik“ folgende 2. Auflage enthält keine grundlegenden inhaltlichen oder formalen Änderungen. Dem verschiedentlich geäußerten Wunsch nach kommentierter ergänzender und erweiterter Literatur kommen wir gerne am Ende jedes Kapitels nach. Das Personen- und Sachverzeichnis wurde vervollständigt; auch Flüchtigkeitsfehler in der 1. Auflage wurden selbstverständlich korrigiert.

Durch die TIMSS-Ergebnisse über die nur mittelmäßigen Leistungen deutscher Schülerinnen und Schüler in den Naturwissenschaften und der Mathematik (s. Baumert u. a. 2000^{a,b}) sind lebhafte Diskussionen über notwendige schulpraktische Konsequenzen (MNU 2001) und vielfache Forschungsaktivitäten (z. B. das DFG Schwerpunktprogramm „Bildungsqualität von Schule“ (2000)) angeregt worden. Ich meine, dass die Ergebnisse und die daraus zu ziehenden Folgerungen für den Physikunterricht die noch programmatischen Überlegungen in „Physikdidaktik“ stützen. In den Kapiteln 1, 2 und 5 sind ergänzende Argumente und schulpraktische Folgerungen aus der TIMS-Studie aufgenommen.

Auf besondere Weise kann auf in Rezensionen geäußerte inhaltliche „Lücken“ von „Physikdidaktik“ eingegangen werden: Bereits im Vorwort der ersten Auflage war von der Notwendigkeit eines ergänzenden Bandes „Physikdidaktik in der Praxis“ die Rede und ein solcher geplant. Dieser Band wird von ca. zwanzig Kolleginnen und Kollegen aus Schule und Hochschule verfasst und von mir und meinem Kollegen Werner B. Schneider (Universität Erlangen-Nürnberg) im Jahr 2002 herausgegeben. Beide Lehrbücher sollen einerseits die wichtigsten physikdidaktischen Grundlagen für künftige und bereits praktizierende Physiklehrerinnen und Physiklehrer bereitstellen, andererseits sollen ausführliche für den Physikunterricht wichtige Beispiele den Transfer in die eigene Schulpraxis erleichtern.

Zur weiteren Verbesserung von „Physikdidaktik“ setzen wir weiterhin auf Kommunikation mit Ihren Vorstellungen, Erfahrungen und neuen Ideen:

Ernst Kircher:	kircher@physik.uni-wuerzburg.de
Raimund Girwidz:	girwidz@ph-ludwigsburg.de
Peter Häußler:	haeussler@ipn.uni-kiel.de

Sie können wie bisher davon ausgehen, dass wir die derzeitigen Entwicklungen und Tendenzen in der Physikdidaktik und im Physikunterricht mit Sympathie und Interesse verfolgen, auch in der Annahme, dass diese Auflage nicht die letzte sein wird.

Würzburg, Mai 2001

Ernst Kircher

Vorwort zur 1. Auflage

1. „Physikdidaktik – eine Einführung“ ist aus einer Vorlesung entstanden, die ich seit dem Wintersemester 78/79 an der Universität Würzburg jährlich abhalte. Diese Vorlesung orientierte sich zunächst an „Unterricht Physik“ (Duit, Häußler & Kircher, 1981), einer Einführung in die Physikdidaktik, die während meiner Zeit am Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN) in Kiel entstanden ist. War diese Einführung vor allem an der Curriculumtheorie orientiert, habe ich in vorliegendem Werk zur Legitimation des Physikunterrichts auch Argumente herangezogen, die der *bildungstheoretischen Tradition* entstammen. Dies wird beispielsweise in Kapitel 2 „Ziele im Physikunterricht“ deutlich, das einerseits von Klafkis (1963) bildungstheoretischer Sicht einer *didaktischen Analyse* und andererseits von Häußler & Lauterbachs (1976) Auffassungen, wie physikalische Ziele und Inhalte zusammenhängen, geprägt ist. Mit dieser Physikdidaktik möchte ich eine implizite Würdigung Martin Wagenscheins verbinden, dem wichtigsten Vertreter der bildungstheoretischen Tradition in der Physikdidaktik: Er hat die neue, wissenschaftliche, aber immer noch um ihre Anerkennung ringende Physikdidaktik nach dem 2. Weltkrieg auf den Weg gebracht.

2. Eine Physikdidaktik muss den theoretischen Rahmen des Physiklehrens und -lernens bereitstellen. Das bedeutet z.B., dass sich Studentinnen und Studenten die *aktuellen theoretischen Grundlagen der Physikdidaktik* aneignen können, die für einen erfolgreichen Abschluss ihrer Physiklehrausbildung an der Hochschule nötig sind. Darüber hinaus muss eine Physikdidaktik *Handlungswissen* für eine möglichst erfolgreiche Unterrichtspraxis begründen und vermitteln. In dieser „Physikdidaktik“ wird das Handlungswissen vor allem in Übersichten, Zusammenfassungen und Handlungsanweisungen für die Unterrichtsplanung dargestellt. Sie sind insbesondere *für Studienanfänger wichtig*, um sich in den verschiedenartigen und verschlungenen Aspekten etwa der Unterrichtsplanung und den aus verschiedenen Disziplinen stammenden physikdidaktischen Fachausdrücken zurechtzufinden. Eine Physikdidaktik soll also zur Legitimation des Physikunterrichts beitragen und sie soll ein *Leitfaden für Handeln in physikdidaktischen Kontexten* für Lehrende und Lernende sein: Studentinnen und Studenten, Seminarleiter und Seminarleiterinnen, Referendare und Referendarinnen, Dozenten und Dozentinnen an den Hochschulen.

„Physikdidaktik – eine Einführung“ wendet sich auch an praktizierende Physiklehrer und Physiklehrerinnen aller Schularten. Auch sie können davon profitieren, wenn sie über *neue Begründungen*, über *aktuelle praxisrelevante Forschungsergebnisse*, über *neue Medien des Physikunterrichts* informiert sind und dadurch Bescheid wissen über *gegenwärtige* und vielleicht *künftige Entwicklungen der Physikdidaktik*. Denn das gehört auch zur Professionalität des Berufsstandes: einen Überblick gewinnen über aktuelle Diskussionen in ihrem eigentlichen *Hauptfach Physikdidaktik*.

Ein Beispiel: Es ist meines Erachtens zu erwarten, dass der Physikunterricht künftig in höherem Maße als bisher *schülerorientiert* sein wird. Dies hat u. a. Auswirkungen auf die Unterrichtsmethoden. Als Konsequenz dieser Auffassung sind in

„Physikdidaktik – eine Einführung“ *Projektunterricht, Spiele im Physikunterricht und freies Arbeiten* ausführlicher dargestellt als die *lehrerorientierten* „Normalverfahren“, die im Frontalunterricht eingesetzt werden.

3. Physikdidaktik ist eine interdisziplinäre Wissenschaft. Sie bezieht ihre Grundlagen aus einer ganzen Reihe sogenannter *Bezugswissenschaften* wie z. B. aus der Pädagogik, der Psychologie, der Soziologie, der Philosophie und natürlich der Physik. Dem Anspruch, eine aktuelle Physikdidaktik verfasst zu haben, ist schon bei den hier aufgeführten Bezugswissenschaften kaum zu genügen, weil diese in kurzer Zeit immer neue Wissensbestände erzeugen. Das hat verschiedene Konsequenzen:

- Die Literatur aus den Bezugswissenschaften ist selektiv und subjektiv ausgewählt. Das hat dann auch zur Folge, dass eine Physikdidaktik subjektive Züge enthält. Man kann auch sagen, eine Physikdidaktik ist in gewisser Hinsicht eine Spiegelung der Verfasser.
- Die aus den Bezugswissenschaften stammenden Fakten, Theorien, Argumente werden in einer Physikdidaktik *holzschnittartig* dargestellt. Über Anmerkungen und Verweise auf die Originalliteratur wird versucht, dass insbesondere interessierte Kolleginnen und Kollegen sich ein differenzierteres Bild verschaffen können als den „Holzschnitt“. Soweit Detailfragen den erkenntnis- und wissenschaftstheoretischen Hintergrund der Physikdidaktik betreffen, mag dazu auch „Studien zur Physikdidaktik“ (Kircher, 1995) beitragen.

4. Die Vielfalt des Physikunterrichts in der antizipierten und der faktischen Schulpraxis kann man nicht hinreichend darstellen. So leben beispielsweise die Beschreibungen Thiels (s. Wagenschein, Banholzer & Thiel, 1973) des *genetischen Unterrichts* auch von spezifischen Charakteristika des ehemaligen Lehrers Thiel, die aber nicht in die Darstellungen eingehen. Daher: Auch wissenschaftliche Beschreibungen und Analysen von faktischem Unterricht können im Grunde nur die Grobstruktur des Unterrichts deutlich machen. Mit dieser Bemerkung möchte ich die *Grenzen einer systematischen Physikdidaktik in Form eines Buches* andeuten: Eigene schulpraktische Erfahrungen der Studierenden sind notwendige Ergänzungen zu wissenschaftlich zugänglichem *Wissen* aus Vorlesungen und der begleitenden physikdidaktischen Literatur.

Auch ein Praxisband mit Beispielen kann die Kluft zwischen Theorie und Praxis verringern. Entsprechende Beispiele über Projekte, über Spiele, neue Schulexperimente, über neue Medien und Methoden sind in zahlreichen Zulassungsarbeiten natürlich nicht nur an der Uni Würzburg schon dargestellt. Diese Ideen und Vorschläge für Innovationen im Physikunterricht sind in „Physikdidaktik – eine Einführung“ vor allem *aus theoretischer Sicht beschrieben* oder wurden auch aus Platzgründen oft nur erwähnt

Um die „Physikdidaktik“ in einer auch von Seiten des Verlags gewünschten *vernünftigen* Zeit abzuschließen, habe ich meine Kollegen Raimund Girwidz (Uni Würzburg) und Peter Häußler (IPN Kiel) um Unterstützung gebeten und für die Mitarbeit gewonnen.

Ihre besonderen Kompetenzen über Medien und die Evaluation von Physikunterricht sind sicherlich ein Gewinn für diese „Physikdidaktik“. Autor des Kapitels 6 „Medien im Physikunterricht“ ist Dr. R. Girwidz“, Autor des Kapitels 7 „Wie kann man Lernerfolge messen?“ ist Prof. Dr. P. Häußler.

5. Die Grundlagen, die „roten Fäden“, die dieses Buch zusammenhalten, werden vor allem in Kapitel 1 gesponnen, weniger allgemein auch in Kapitel 4. Gelegentliche Verweise in den anderen Kapiteln in beide Richtungen erinnern an die „roten Fäden“. Wir hoffen, dass die übrigen Kapitel aber auch für sich sprechen und verständlich sind ohne die „Grundlagen“.

6. Anmerkungen, Erläuterungen, Entschuldigungen:

Wir verwenden hier die *weibliche und die männliche Form* von Lernenden und Lehrenden der verschiedenen Ausbildungsphasen. Aus sprachlichen und aus Platzgründen werden nicht in jedem Fall beide Formen verwendet. Wir bitten Sie um Nachsicht, dass die kürzere Formulierung häufiger vorkommt.

Wir, die drei Autoren, haben uns bemüht, die physikdidaktischen Fachausdrücke einheitlich zu verwenden. Aber es versteht sich, dass die sprachlichen Formulierungen, die Diktion der Texte ein Charakteristikum unserer Individualität bleiben.

Wir sind an einer lebhaften Diskussion mit unseren Lesern interessiert: Sollten Sie Anregungen inhaltlicher Art, Änderungsvorschläge für die eingeführten Fachausdrücke über die wir selbst nicht immer glücklich sind (z. B. in Kap. 5 „Methodische Großformen“ und „Physikmethodische Unterrichtskonzepte“) haben, Schreibfehler entdecken, können Sie sich an die Autoren unter folgende E-Mail-Adressen wenden.

kircher@physik.uni-wuerzburg.de

girwidz@physik.uni-wuerzburg.de

7. Prof. R. Duit (IPN Kiel), Prof. Dr. W. Klinger (Uni Erlangen – Nürnberg) und Prof. Dr. H. Mikelskis (Uni Potsdam) danke ich für ihre physikdidaktischen Anregungen und Änderungsvorschläge. Prof. Dr. G. Wegener-Spöhring (Uni Würzburg) gab wichtige Impulse für den pädagogischen Hintergrund. Mein ganz besonderer Dank gilt Prof. Dr. A. Häußling (Uni Landau), der über Jahre hinweg anregender und kritischer Diskussionspartner insbesondere bei philosophischen Fragen war. Er hat auch wesentlich zum angenehmen Arbeitsklima und den günstigen Arbeitsbedingungen während meiner Vertretungsprofessur an der Uni Landau im SS 1999 beigetragen – Faktoren, die für die zügige Fertigstellung der von mir verfassten Texte äußerst hilfreich waren.

In der Endphase hat sich E. Peter für die Fertigstellung der Druckvorlagen verdient gemacht. Meinen Kollegen an der Universität Würzburg, Dr. B. Lutz (Chemiedidaktik) und W. Reusch (Physikdidaktik) bin ich für die vielen großen und kleinen Hilfen, Unterstützungen und Ermutigungen im Alltag einer Hochschule dankbar, insbesondere während der zwei Jahre, in denen diese „Physikdidaktik“ mein Denken und Handeln maßgeblich prägte.

Würzburg, September 1999

Ernst Kircher

3 Elementarisierung und didaktische Rekonstruktion

Es ist kein neues und auch kein fachspezifisches Problem komplizierte Zusammenhänge so zu vereinfachen, dass diese möglichst von allen Schülerinnen und Schülern, möglichst gründlich, in möglichst kurzer Zeit und auf humane Weise verstanden werden. Dieses Problem ist so alt wie der Versuch, Lernen zu organisieren und zu systematisieren.

Der berühmte Schweizer Pädagoge Pestalozzi glaubte noch an eine *naturgemäße Methode*, der zufolge man Lehrstoffe in „Elemente“ zerlegen kann. Im Unterricht werden solche angeblich natürlichen „Elemente“ in einer *unveränderlichen, lückenlosen Reihenfolge* zusammengesetzt (s. Klafki, 1964). Eine solche *universelle Methode kann es nicht geben*, weil die psychischen Gegebenheiten der Lernenden nicht genau genug bekannt sind. Außerdem sind *die durch die Physik dargestellten Strukturen der physikalischen Objekte nicht beliebig „zerlegbar“*; sie beziehen sich ja auf eine von uns im Wesentlichen unabhängige Realität.

Die Aufbereitung von Sachstrukturen für die Schulphysik muss neben den erwähnten *fachlichen Strukturen und internen psychischen Strukturen der Schüler auch allgemeine Zielvorstellungen* berücksichtigen. Dieser Prozess wird als „didaktische Reduktion“ (Grüner, 1967) oder wie derzeit in der Physikdidaktik bevorzugt, als „Elementarisierung“ bezeichnet. Kattmann u. a. (1997) schlagen neuerdings den Ausdruck „didaktische Rekonstruktion“ vor. Hier bedeutet „Elementarisierung“ die *Vereinfachung von realen oder theoretischen Entitäten* mit Bezug zu Physik und Technik – ein Zerlegen von komplexen „Dingen“ in *elementare Sinneinheiten*. „Didaktische Rekonstruktion“ charakterisiert den *Wiederaufbau von Strukturen aus den Sinneinheiten*. Beides, das Zerlegen und der Wiederaufbau, geschieht aufgrund *anthropologischer und soziokultureller Gegebenheiten* und aufgrund *normativer Gesichtspunkte, den Unterrichtszielen*.

3.1 Elementarisieren –
didaktisch rekonstruieren:
Wie macht man das?

3.4 Über die Elementarisierung
physikalischer Objekte
und Methoden

3.2 Didaktische Rekonstruktionen von
begrifflichen und technischen Systemen

3.3 Elementarisierung
durch Analogien

3.5 Zusammenfassung
und Ausblick

3.1 Elementarisieren – didaktisch rekonstruieren: Wie macht man das?

3.1.1 Pestalozzis Traum – nicht nur historische Bemerkungen

Pestalozzis Auffassung über Elementarisierung lässt sich als mechanistisch charakterisieren (Klafki 1964, 35 ff.). Seine „Elemente“ sind *Bestandteile der Lernobjekte*, die sich nach der *Form* und der *Anzahl* unterscheiden. Bei biologischen Objekten wie Blüten mögen diese oberflächlichen Merkmale noch sinnvoll sein. Für die Beurteilung, ob ein physikalischer oder technischer Zusammenhang leicht oder schwierig zu lernen ist, sind die Anzahl der Objekte und deren Form im Allg. irrelevant; für physikalisches Verstehen sind *Beziehungen zwischen Begriffen und zwischen Objekten* wichtig.

Elementarisieren: in Bestandteile zerlegen, vereinfachen

Schwierige Begriffe und komplexe Geräte müssen zunächst elementarisiert, das heißt so vereinfacht, so zerlegt werden, dass sie von einer bestimmten Adressatengruppe gelernt werden können. Dabei darf der physikalische Sinn eines Begriffs nicht verfälscht, die Funktionsweise eines Gerätes nicht auf falsche physikalische Grundlagen bezogen und nicht trivialisiert werden. Dieser Vorgang des Vereinfachens und des Zerlegens soll zu kleineren *Sinneinheiten* führen, die dann im Verlauf des Unterrichts wieder aneinander gefügt werden. Diese, Schleiermachers Auffassung, kann man als Grundprinzip der Elementarisierung bezeichnen, das bis heute Gültigkeit hat: „*Das Elementare sind Sinneinheiten*“; Diesterweg formulierte dieses Prinzip kurz und bündig an die Lehrer: „Gib kleine Ganze!“ Das bedeutet, dass ein recht komplexes physikalisch technisches Gerät wie der Kühlschrank nicht bloß in seine Bestandteile zerlegt wird, sondern in physikalische und technische Sinneinheiten. Weltner (1982) hat versucht, diesen Grundgedanken weiter zu präzisieren:

Das Elementare sind Sinneinheiten

Gib kleine Ganze!

Das Erklärungsmuster entsteht durch eine didaktische Rekonstruktion

Ein „*Erklärungsmuster*“ besteht aus einer Reihe von „*Erklärungsgliedern*“, die additiv das Erklärungsmuster ergeben. Jedes Erklärungsglied sollte jeweils in sich schlüssig und vollständig sein. Das erste Erklärungsglied soll einen möglichst großen Erklärungsanteil enthalten (s. Weltner, 1982, 195 ff.):

$$\text{Erklärungsmuster} = \sum \text{Erklärungsglieder}_j$$

Das Erklärungsmuster ist eine didaktische Rekonstruktion. Dabei muss man sich wie schon Schleiermacher bewusst sein, dass das Ganze mehr ist als die Summe seiner Teile. Ein Auto ist mehr als die

Summe der Einzelteile; es ist Fortbewegungsmittel, Kultobjekt, Ärgernis und noch vieles mehr.

Trotz der vermeintlichen Stringenz in Weltners Darstellung eines Erklärungsmusters als mathematische Reihe, *bleiben Spielräume für verschiedenartige Elementarisierungen und alternative didaktische Rekonstruktionen*. Ein Blick in Schulphysikbücher zeigt etwa beim Thema „Elektromotor“ wie unterschiedlich die vorgeschlagenen experimentellen Aktivitäten und ihre Reihenfolge sein können, obwohl die Erklärungsmuster für die gleichen Adressaten, d.h. für Schüler mit ähnlichen Lernvoraussetzungen und bei gleichen Zielen (Grobzielen) konzipiert sind. Bei diesem Beispiel kann man sich wahrscheinlich darauf verständigen, dass die folgenden Sinneinheiten (\triangleq Erklärungsglieder) relevant sind:

1. Magnete sind Dipole (Magnete haben immer einen Nordpol und einen Südpol; magnetische Monopole gibt es nicht).
2. Gleiche Pole stoßen sich ab, verschiedene Pole ziehen sich an.
3. Ein magnetischer Rotor bewegt sich nur dann ständig im Kreis, wenn ein zweiter Magnet den Rotor zum richtigen Zeitpunkt abstößt bzw. anzieht.
4. Bei einem Elektromagnet lassen sich Nord- und Südpol dadurch ändern, dass man (bei Gleichspannung) die elektrischen Anschlüsse (Pluspol und Minuspol) vertauscht.
5. Die Änderung von Nord- und Südpol am Elektromagneten wird durch den mit dem Rotor verbundenen Polwender gesteuert.

Spielräume für Elementarisierungen und didaktische Rekonstruktionen

**Beispiel:
Elektromotor**

Die *Art der Erklärungsglieder* und deren *Reihenfolge* erscheint aus der Sicht der Physikdidaktik zwar plausibel, beides ist aber nicht notwendig. Das macht das Beispiel „Kühlschrank“ deutlich:

Bei fächerüberschreitenden Themen wie dem Kühlschrank kommen zu den physikalischen Sinneinheiten (s. z.B. Weltner 1982, 211 ff.) weitere hinzu. Aus der Sicht der Chemiedidaktik sollten Eigenschaften des Kühlmittels hinzugefügt werden, weil an dieses bestimmte physikalisch-chemische Anforderungen gestellt werden müssen (z.B. an den Siedepunkt). Aus der Sicht der Umwelterziehung mag eine Sinneinheit „geeignetes Kühlmittel“ sogar das wichtigste sein, weil das herkömmliche Kühlmittel Frigen sich als Ozonkiller in der oberen Atmosphäre herausgestellt hat.¹ Chemieunterricht und Umwelterziehung werden die Thematik vermutlich auch durch andere Zugänge (Einstiege) erschließen. Es wird an diesem Beispiel deutlich, dass neben den Adressaten, die Sachstrukturen der Fachdisziplinen

**Beispiel:
Kühlschrank**

Sachstrukturen der Fächer, die Adressaten und die Ziele haben Einfluss auf den Prozess und die Produkte der Elementarisierung und der didaktischen Rekonstruktion

Eine Elementarmethode mit unveränderlichen Erklärungsmustern für jedes Thema kann es nicht geben

und die Ziele Einfluss auf den Prozess und auf die Produkte der Elementarisierung, die Erklärungsglieder haben.

Eine Elementarmethode mit einer natürlichen lückenlosen Reihenfolge, das bedeutet *ein unveränderliches Erklärungsmuster für jedes Thema, gibt es nicht*. Unterschiedliche Lernvoraussetzungen, Interessen und Motive der Schüler, aber auch die kognitive Unerschöpflichkeit der Realität (s. Kap. 4), führen dazu, dass eine solche Elementarmethode – Pestalozzis Traum – eine Fiktion bleibt.

Der folgende Überblick über *Kriterien* und heuristische *Verfahren* soll Ihnen für die *Erfindung neuer Erklärungsmuster*, neuer didaktischer Rekonstruktionen Anregungen geben.

3.1.2 Kriterien der didaktischen Rekonstruktion

Welche Gesichtspunkte bestimmen die Relevanz und die Qualität einer didaktischen Rekonstruktion? Wir illustrieren dieses Problem an einem Beispiel:

Auf die Frage: Was ist elektrische Spannung? können *ganz unterschiedliche Antworten* gegeben werden. Etwa:

- (1) Spannung als die Voltzahl auf einer Batterie,
- (2) Spannung ist das, was man mit dem Voltmeter misst,
- (3) Spannung ist die Kraft, die Elektronen im Leiter bewegt,
- (4) Spannung ist Potentialdifferenz,
- (5) Spannung ist Elektronen(dichte)unterschied,
- (6) Spannung ist Arbeit pro Ladung,
- (7) Spannung ist die zeitliche Änderung des magnetischen Flusses,
- (8) Spannung kann man mit dem Wasserdruck vergleichen,
- (9) Spannung $U = \int E \, ds$.

Viele Antworten auf eine alltägliche Frage im Physikunterricht. *Kriterien* für didaktische Rekonstruktionen sind nötig. Um obige Antwortmöglichkeiten diskutieren zu können, muss der Kontext der Frage bekannt sein: zum Beispiel die *Schulstufe, die Vorkenntnisse und Vorerfahrungen der Schülerinnen und Schüler*. Außerdem sollte man als Lehrkraft wissen: Wurde die Frage in einer Experimentierphase, bei einer Rechenaufgabe, für einen Hefteintrag gestellt, während der Einstiegsphase einer Unterrichtseinheit oder bei deren Abschluss?

Die physikdidaktische Diskussion der letzten Jahrzehnte zusammenfassend (Bleichroth, 1991; Jung, 1973; Kircher, 1985 u. 1995; Weltner, 1982) sollen didaktische Rekonstruktionen folgenden Kriterien genügen: sie sollen *fachgerecht*, *schülergerecht*, *zielgerecht* sein.

Kriterien:
fachgerecht,
schülergerecht,
zielgerecht

Diese schlichten Formulierungen bedürfen der Interpretation.

1. Der Ausdruck „fachgerecht“ (\triangleq fachlich relevant) relativiert das Begriffspaar „fachlich richtig“ – „fachlich falsch“. Er lässt auch Modellvorstellungen oder Analogien zu, die nur zum Teil mit einer physikalischen Theorie übereinstimmen oder diese illustrieren können. Außerhalb dieser Modell- bzw. Analogbereiche sind die Erklärungen möglicherweise falsch, die Vergleiche hinken, sind irrelevant.

Es wäre nun reizvoll, unsere verschiedenartigen Deutungen des Spannungsbegriffs unter diesem Kriterium „fachliche Relevanz“ zu betrachten. Wir müssen uns hier auf ein Beispiel beschränken, um *die Problematik dieses Kriteriums* zu beleuchten:

„Spannung ist die Kraft, die Elektronen im Leiter bewegt“ ist „fachlich falsch“, u. a. weil „Kraft“ in der Physik eine vektorielle Größe mit diesbezüglich charakteristischen Eigenschaften ist („hat eine Richtung“, „hat einen Betrag“). Die elektrische Spannung ist dagegen eine skalare Größe, die mechanische Spannung eine tensorielle. Ist der physikalische Kraftbegriff im Unterricht noch nicht eingeführt, könnte diese Formulierung (3) des Spannungsbegriffs allerdings noch akzeptabel sein, weil für die Schüler die umgangssprachlichen Bedeutungen von Kraft, Energie und Arbeit weitgehend zusammenfallen. Unter dieser Voraussetzung kann obige „Erklärung“ als *vorübergehend „fachlich relevant“* eingestuft werden, weil sie die Spannung als Ursache der Elektronen(drift)bewegung verdeutlicht. In Schulbüchern oder in Schulheften hat diese vorläufige Erläuterung trotzdem nichts zu suchen.

„Fachliche Relevanz“ ist nicht immer eindeutig zu klären

Zur fachgerechten didaktischen Rekonstruktion gehört die Überprüfung, ob ein neuer Vorschlag *fachlich erweiterbar* ist. Durch die Forderung nach „Erweiterbarkeit“ (Jung, 1973) soll vermieden werden, dass die Schüler in jeder Schulstufe oder gar in jeder Jahrgangsstufe *umlernen müssen*. Erweiterbarkeit bedeutet, dass grundlegende Bedeutungen eines Begriffs oder eines Modells erhalten bleiben und neue Eigenschaften, neue Begriffe und Gesetze hinzugefügt werden. Erweiterbarkeit kann noch mehr bedeuten: Beispielsweise wird das Modell des elektrischen Stromkreises der Primarstufe in der Sekundarstufe I erweitert, indem elektrische Abstoßungs- und Anziehungskräfte zwischen Elektronen und Atomrümpfen hinzugefügt werden.

Erklärungsmuster sollen erweiterbar sein

Mit quantitativen Erweiterungen von Modellen sind häufig qualitative Bedeutungsänderungen verbunden

Das impliziert aber eine *neue Interpretation der Begriffe* elektrischer Strom, elektrischer Leiter und Nichtleiter, der Vorgänge im Lämpchen, in den Leitern usw., schließlich auch eine *Änderung des physikalischen Weltbildes: aus einer phänomenologischen Betrachtung wird eine atomistische*. Mit der quantitativen Erweiterung sind häufig qualitative Änderungen der skizzierten Art verbunden.

2. Sie haben natürlich bemerkt, dass die obigen Formulierungen über den Spannungsbegriff für unterschiedliche Adressaten konzipiert sind: Spannung als Voltzahl auf einer Batterie (1), ist im Grunde nur als eine Art Ausrede, ein Signal eines Grundschullehrers für seine Kommunikationsbereitschaft aufzufassen, mehr nicht. Denn der Spannungsbegriff gilt für Schüler in dieser Schulstufe zu Recht als zu schwierig. Auch eine *operationale Definition des Spannungsbegriffs* (2), bedeutet keine Erklärung und trägt auch nicht zum Verständnis bei. Diese Definition wird in der Orientierungsstufe verwendet, wenn mit Messgeräten der elektrische Stromkreis erforscht wird. 11- oder 12-jährige Kinder sind i. Allg. noch nicht zu *formalem Denken* fähig; dieses ist eine Voraussetzung für ein adäquates Verständnis des Spannungsbegriffs.

Nicht nur allgemeine entwicklungspsychologische Aspekte sind bei einer *schülergerechten* didaktischen Rekonstruktion zu berücksichtigen, sondern auch das Vorwissen und das Vorverständnis, sei dieses fachlich richtig oder falsch.

Der wichtigste Einzelfaktor, der das Lernen beeinflusst ist, dass der Lehrer weiß, was die Schüler schon wissen (nach Ausubel 1974)

Dazu gehören Alltagserfahrungen, in der Schule erworbenes Wissen und die Fähigkeiten, altes und neues Wissen zu verbinden, Wissen neu zu strukturieren, damit sinnvoll zu arbeiten. Schließlich sollen didaktische Rekonstruktionen auch anregend und attraktiv sein, so dass sich die Schüler hinreichend intensiv damit beschäftigen.

„Schülergerecht“ bedeutet hier *psychologisch und soziologisch angemessen*.² Aus physikdidaktischer Sicht ist damit vor allem ein angemessener *Umgang mit den Alltagsvorstellungen und dem Vorverständnis der Schüler* gemeint. In diesem Forschungsbereich wurden vor allem in der Physikdidaktik interessante und relevante Ergebnisse erzielt. Man kennt beispielsweise die Alltagsvorstellungen über Batterien und Lämpchen, über verzweigte und unverzweigte Stromkreise recht genau (Maichle, 1980 u. 1985; v. Rhöneck, 1986).

Schülergerechte Erklärungsmuster müssen inadäquate Alltagsvorstellungen berücksichtigen

Schülergerechte Erklärungsmuster müssen inadäquate Alltagsvorstellungen berücksichtigen. Dies ist eine zentrale Einsicht der Physikdidaktik im ausgehenden 20. Jahrhundert. Weniger klar sind bisher noch die Wege, wie diese hartnäckigen, den Physikunterricht

häufig überdauernden „Fehlvorstellungen“ geändert werden können. Wir haben einige Ideen zur Lösung dieses nicht nur methodischen Problems in 1.4. diskutiert (Näheres s. Duit, 1998).

3. Physik und Schulphysik unterscheiden sich nicht nur hinsichtlich der unterschiedlichen Abstraktion bei der Darstellung der physikalischen Inhalte. Sie unterscheiden sich vor allem hinsichtlich ihrer Ziele: Weltformel und technische Anwendungen einerseits, Allgemeinbildung, „Wert- und Weltorientierung“ andererseits. Salopp formuliert: hier Weiterentwicklung der Physik, dort Weiterentwicklung junger Menschen. Während Konzept- und Prozessziele des Physikunterrichts noch gewisse Entsprechungen zur Wissenschaft Physik aufweisen, fehlen natürlich soziale Ziele und Ziele zu Werten und Einstellungen (s. Kap. 2) als deklarierte Ziele der Physik.

Die unterschiedlichen Ziele führen zu unterschiedlichen Sachstrukturen. Die Sachstrukturen des Physikunterrichts sind umfassender als die Sachstrukturen der Physik. Das impliziert auch unterschiedliche Sinneinheiten für Erklärungsmuster. Dies ist an dem physikalischen Beispiel „Kinematik und Dynamik“ bzw. dem entsprechenden Beispiel des Physikunterrichts „Mehr Sicherheit im Straßenverkehr“ (s. 2.1.1) leicht zu zeigen. Kinematik und Dynamik besitzen für sich allein zunächst keine didaktische Relevanz.

Während man in den 70er-Jahren glaubte, *ein Fundamentum für die Schulphysik* auf physikalische Entitäten (grundlegende Phänomene, Begriffe, Theorien) beschränken und damit zusammenhängend das „Elementare des Physikunterrichts“ formulieren zu können, erscheint dieses Ziel heutzutage in weite Ferne gerückt. Falls die Redeweise „das Elementare des Physikunterrichts“ überhaupt Sinn macht, ist damit eher die Fähigkeit gemeint, wichtige Probleme in naturwissenschaftlich technischen Kontexten zu lösen als das Verständnis des Energieerhaltungssatzes oder die Bedeutung der planckschen Konstante in der Quantentheorie. Durch *zielgerechte Erklärungsmuster* sollen (vor allem aus der Sicht der Lernenden) relevante, lebensweltliche Dinge mit physikalischen Inhalten verknüpft werden.

Allerdings: Im Zusammenhang mit der Argumentation in 1.2, dass Physik und Aspekte der Philosophie im Physikunterricht thematisiert werden sollen, können aus einer didaktisch begründeten *wissenschaftstheoretischen Perspektive* Kinematik und Dynamik, der Energieerhaltungssatz und die plancksche Konstante ebenso eine *fundamentale Bedeutung* für den Physikunterricht erhalten, wie durch Verknüpfungen mit lebensweltlichen Problemen.

Physik und Schulphysik unterscheiden sich in den Zielen

Unterschiedliche Ziele führen zu unterschiedlichen Sachstrukturen

Ziele von Unterrichtsmethoden können Erklärungsmuster beeinflussen

Kriterium „Didaktische Relevanz“ hilft, Unwesentliches auszuschließen

Schließlich können auch pädagogische Zielvorstellungen wie z. B. „humanes Lernen“ bestimmte methodische Großformen wie Projektunterricht erfordern oder andererseits Kursunterricht ausschließen. Das bedeutet, dass die in solchen *Unterrichtsmethoden implizierten Ziele* ebenfalls *Erklärungsmuster beeinflussen* können.

Das Kriterium „*zielgerechte didaktische Rekonstruktion*“ (= didaktisch relevantes Erklärungsmuster) bedeutet aber nicht nur die bisher erörterte Ausweitung und *Transformation physikalischer Inhalte in physikdidaktische Zusammenhänge*. Es hilft auch die *vielen Möglichkeiten der didaktischen Rekonstruktion einzuengen*. Die *Ziele entscheiden darüber, was im Unterricht intensiv, was nur oberflächlich, was nicht behandelt werden soll* (s. Kap 2). Letzteres führt zu *negativen Eingrenzungen für didaktische Rekonstruktionen*. Das Kriterium „didaktische Relevanz“ ist dadurch zwar kein roter Faden, der mit Sicherheit zu relevanten elementaren Sinneinheiten und dann zu adäquaten didaktischen Rekonstruktionen führt, aber immerhin ein Besen, der Irrelevantes zur Seite fegen kann.

3.1.3 Heuristische Verfahren der didaktischen Rekonstruktion

1. Sie haben im vorigen Abschnitt drei eingrenzende Bedingungen (Kriterien) für didaktische Rekonstruktionen kennen gelernt. Aber eine Theorie, in die man bloß das physikalische Thema, anthropogene und soziokulturelle Voraussetzungen in der Klasse und die Ziele z. B. des Lehrplans eingeben müsste, um relevante elementare Sinneinheiten zu generieren, gibt es nicht. Vielmehr gewinnen wir durch einen Blick in die Entwicklung der Physik und des Physikunterrichts typische Möglichkeiten, *Arten der didaktischen Rekonstruktion*³, die im Folgenden aufgelistet werden. Eine solche auf Erfahrung beruhende *Liste ist weder vollständig, noch unveränderlich*. Die verschiedenen Möglichkeiten sind vor allem *heuristische Verfahren* für die Praxis des Physikunterrichts:

Die folgende Liste über Arten der didaktischen Rekonstruktion ist weder vollständig, noch unveränderlich

- *Abstrahieren*: In der Realität allgemeine Zusammenhänge entdecken, insbesondere Gesetze und Theorien.
- *Idealisieren*: Konstruieren von Begriffen mit z. T. unwirklichen Eigenschaften, z. B. „Massepunkt“, „Lichtstrahl“.
- *Symbolisieren*: Kurzschreibweise von Begriffen und Gesetzen durch Buchstaben und mathematische Zeichen.

- *Theoretische Modelle entwickeln*: Theoretische Entitäten zusammenfassen, vereinheitlichen, vereinfachen, z.B. Modell Lichtstrahl.
- *Gegenständliche Modelle (1) (Strukturmodelle) bauen*: Theoretische Entitäten durch eigens konstruierte Gegenstände veranschaulichen, z.B. Gittermodelle von Kristallen, Strukturmodelle von Molekülen.
- *Gegenständliche Modelle (2) (Funktionsmodelle) bauen*: Technische Zusammenhänge veranschaulichen/untersuchen: z.B. Motormodelle.
- *Analogien bilden*: Theoretische Entitäten durch vertraute Kontexte veranschaulichen; Hypothesen (er)finden.

2. Diese Verfahren der Elementarisierung werden sowohl in der Physik als auch in der Physikdidaktik eingesetzt, um neue Erklärungen zu finden, verbesserte technische Geräte zu entwickeln und zu verstehen. Die damit verbundenen Lernschwierigkeiten erfordern zusätzliche Maßnahmen. Insbesondere für die Primarstufe gilt Wagenscheins Mahnung: „Erklärungen nicht verfrühen“; den Vorgang des Verstehens „stauen“, „entschleunigen“ (s. 1.4). Das bedeutet i. Allg. den Verzicht auf quantitative mathematische Darstellungen. Trotzdem können in der Primarstufe didaktisch relevante und attraktive Themen behandelt werden. Die folgenden Verfahren der Elementarisierung gelten nicht nur für die Primarstufe oder die Sekundarstufe I (Hauptschule), sondern grundsätzlich für das Lehren der Physik.

Trotz des Verzichts auf mathematische Darstellungen können in der Primarstufe didaktisch relevante und attraktive physikalische Themen behandelt werden

- *Beschränken auf das Phänomen*: z.B. magnetische Phänomene zeigen, betrachten.
- *Beschränken auf das Prinzip*: (z.B.) „Eisenschiffe schwimmen dann, wenn sie nicht mehr wiegen als das Wasser, das sie verdrängen.“
- *Beschränken auf das Qualitative*: Zwei gleiche Magnetpole stoßen sich ab.
- *Experimentell veranschaulichen*: z.B. Brechung des Lichts in Wasser; brownsche Molekularbewegung.
- *Bildhaft veranschaulichen*: z.B. Wirkung einer Sammellinse.
- *Zerlegen in mehrere methodische Schritte*: z.B. Elektromotor; boyle-mariottesches Gesetz (s. 3.2.1).
- *Einbeziehen historischer Entwicklungsstufen*: historische Atommodelle; historische Messverfahren und Messanordnungen.

3. Ergänzende Bemerkungen:

Das erste Erklärungsmitglied soll die Kernaussage einer Erklärung enthalten

Physikalische Begriffe werden durch das erste Erklärungsmitglied nicht hinreichend differenziert bzw. auf Sonderfälle reduziert

Ungelöste Probleme der Elementarisierung

Didaktische Rekonstruktionen für die Schulphysik sind eine zentrale Aufgabe der Physikdidaktik

- Wie von Weltner (1982) thematisiert, soll *das erste Erklärungsmitglied die Kernaussage* einer Erklärung enthalten. Dabei nimmt man i. Allg. in Kauf, dass physikalische Gesetzmäßigkeiten *unzulässig generalisiert* werden („Stoffe dehnen sich bei Erwärmung aus“). Die Erörterung der *Grenzen eines Gesetzes*, dessen Zusammenhang mit weiteren Gesetzen und dessen *Anwendung* erfolgt i. Allg. in *weiteren Erklärungsgliedern*.
- Bei der Einführung physikalischer Begriffe werden diese absichtlich durch das erste Erklärungsmitglied *nicht hinreichend differenziert* bzw. *auf Sonderfälle reduziert* (vgl. die unterschiedlichen Spannungsbegriffe in 3.1.2.). Dabei ist von Fall zu Fall nach den zuvor diskutierten Kriterien zu entscheiden, ob überhaupt weitere Erklärungsglieder in der Unterrichtseinheit folgen, ob diese auf eine andere Jahrgangs- oder Schulstufe oder auf ein entsprechendes Fachstudium verschoben werden.
- Die in dieser Übersicht skizzierten Verfahren betreffen vor allem die Elementarisierung *physikalischer Theorien*. *Es sind aber grundsätzlich auch physikalische Objekte und physikalische Methoden davon betroffen* (s. 3.4).
- Schwierigkeiten und ungelöste Probleme entstehen, schon bei traditionellen Themen der Schulphysik, wenn z. B. physikalische Theorien mit Hilfe eines Teilchenmodells auf elementare Weise erklärt werden sollen. So ist es bisher nicht gelungen, *den Energietransport in einem elektrischen Leiter auf der Basis eines einfachen Elektronenmodells* (d. h. ohne das elektrische Feld bzw. die elektrische Feldenergie) zu erklären. In der Sekundarstufe II steht die *Quantentheorie* seit über zwanzig Jahren im Mittelpunkt von Elementarisierungsbemühungen. Wenn es bisher noch keine allgemein akzeptierte Lösung gibt, liegt dies weniger an der schwierigen Mathematik dieser Theorie, sondern vor allem an der unterschiedlichen Interpretation der Quantentheorie durch Bohr, Einstein, Bell oder v. Weizsäcker (s. Baumann & Sexl, 1984).
- Didaktische Rekonstruktionen für die Schulphysik sind eine Herausforderung und zentrale Aufgabe der Physikdidaktik. Wie erwähnt gibt es hierfür keine Theorie, die man bloß noch anwenden muss. Man benötigt *Schulerafahrung, Fingerspitzengefühl für die Lernfähigkeit der Schüler, einen Überblick über relevante Probleme, zu deren Lösung die Schulphysik beitragen kann, gründliche Kenntnis des Faches und der fachdidaktischen Literatur und vor allem Kreativität für originelle Lösungen*.