

**Lehrmaterial zur Ausbildung von Diplomlehrern
PHYSIK**

Methodik des Physikunterrichts

Teil: Theoretische Ausbildung I

1986

Das vorliegende Lehrmaterial wurde von der Hauptabteilung Lehrerbildung des Ministeriums für Volksbildung als Manuskriptdruck herausgegeben.

Es wurde unter Anleitung der Zentralen Fachkommission Methodik des Physikunterrichts beim Ministerium für Volksbildung und beim Ministerium für Hoch- und Fachschulwesen erarbeitet.

Autoren:

Prof. Dr. habil. Werner Karsten	Wilhelm-Pieck-Universität Rostock
Doz. Dr. Werner Riehl	Karl-Marx-Universität Leipzig
Prof. Dr. sc. Hans-Joachim Lechner	Humboldt-Universität Berlin
Prof. Dr. sc. Rudolf Göbel	Technische Hochschule Karl-Marx-Stadt
Prof. Dr. Manfred Wunschmann	Pädagogische Hochschule „Karl Liebknecht“ Potsdam
Doz. Dr. Helmut Menschel	Pädagogische Hochschule "Karl Friedrich Wilhelm Wander" Dresden
Doz. Dr. sc. Klaus Jupe	Friedrich-Schiller-Universität Jena
Doz. Dr. sc. Ekkehard Ciesla	Martin-Luther-Universität Halle/Wittenberg
Doz. Dr. sc. Hans-Joachim Wilke	Pädagogische Hochschule "Karl Friedrich Wilhelm Wander" Dresden

Hergestellt im Wissenschaftlich Technischen Zentrum der Pädagogischen Hochschule „Karl Liebknecht“ Potsdam

Inhaltsverzeichnis

Karsten, W.: Struktur, Inhalt und Anforderungsniveau der neuen Physiklehrpläne	S. 4 - 22
Riehl, W.: Zur Entwicklung des Könnens im Physikunterricht	S. 23 - 35
Lechner, H.-J.: Zur Erhöhung der geistigen Aktivität der Schüler im Physikunterricht durch problemhafte Unterrichtsgestaltung	S. 36 - 51
Göbel, R.: Typische Situationen des Physikunterrichts	S. 52 - 105
Menschel, H.; Wunschmann, M.: Zur didaktisch-methodischen Gestaltung des Physikunterrichts	S. 106 - 138
Jupe, Kl.: Gestaltung und Einsatz physikalischer Aufgaben	S. 139 - 157
Ciesla, E. und Wilke, H.-J.: Audiovisuelle Unterrichtsmittel im Physikunterricht	S. 158 - 172
Wilke, H.-J.: Das Experiment im Physikunterricht	S. 173 - 196

Struktur, Inhalt und Anforderungsniveau der neuen Physiklehrpläne

In den Jahren 1980/81 traten neue Physiklehrpläne für die Abiturstufe in Kraft. Gegenwärtig vollzieht sich eine Weiterentwicklung des Physikunterrichts, die im Schuljahr 1983/84 in der Klasse 6 begonnen hat und ab 1. September 1985 mit der Einführung eines neuen Lehrplans, neuer Lehrbücher und Unterrichtshilfen die Klasse 8 erreicht hat. Jeder Physiklehrer muß sich mit den Hauptrichtungen dieser Weiterentwicklung, den Inhalten und den Anforderungen an die methodische Gestaltung im einzelnen vertraut machen, um zur Erhöhung der Qualität des Unterrichts beitragen zu können. Detaillierte Hinweise dazu enthalten Beiträge von Bienioschek und Liebers in der Fachzeitschrift.

In den Lehrplänen tritt uns der Inhalt der sozialistischen Allgemeinbildung als Unterrichtsstoff entgegen. Die Pläne enthalten den gesamten Unterrichtsstoff in systematischer Anordnung, den sich die Schüler anzueignen haben. Im Zusammenhang mit der Entwicklung und Einführung neuer Lehrpläne treten Fragen auf, wie die Auswahl des Unterrichtsstoffes erfolgt, nach welchen Gesichtspunkten er angeordnet ist, wie eine Zuordnung des Stoffes zu den einzelnen Klassenstufen unter Beachtung der Anforderungsniveaus vorgenommen wird, welche methodische Konzeption den einzelnen Stoffgebieten zugrundeliegt und welche Konsequenzen für das methodische Vorgehen daraus abzuleiten sind.

1. Zu den Zielen des Physikunterrichts und zur Auswahl des Unterrichtsstoffes

Die Auswahl des Unterrichtsstoffes wird bestimmt durch die Zielstellung unserer Schule: Die allseitige Entwicklung der Persönlichkeit, die Vorbereitung auf Leben, Arbeit und Beruf in unserer Gesellschaft erfordern eine breite Allgemeinbildung - eine Allgemeinbildung, die sich erstens in der Gesamtheit der Unterrichtsfächer widerspiegelt und zweitens innerhalb eines jeden Faches die Vermittlung hinreichend umfassender Grundlagenkenntnisse bedingt. Im Fach Physik sind die Grundkenntnisse Fundament für den gesamten naturwissenschaftlichen und polytechnischen Unterricht.

"Die zentrale Aufgabe des naturwissenschaftlichen Unterrichts besteht in der Vermittlung eines exakten, systematischen Wissens über die grundlegenden Erscheinungen und Gesetzmäßigkeiten der Natur und die Ausnutzung der ... Naturgesetze für die sozialistische Gesellschaft" /2; S. 177/.

Diese allgemeine Zielstellung galt für die Stoffauswahl der gegenwärtig im Jahre 1984 für die Klassen 8 bis 10 noch gültigen Lehrpläne, sie hat auch Gültigkeit für die neu eingeführten sowie für die noch einzuführenden Pläne. Infolgedessen konnten die neuen Pläne unter Berücksichtigung der im Unterricht gesammelten Erfahrungen und neuer methodischer Einsichten sowie einiger Weiterentwicklungen in Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft aus den alten entwickelt werden. Man spricht in diesem Zusammenhang von der Kontinuität der Lehrplanentwicklung und insbesondere auch von der sich über viele Jahre erstreckenden zeitlichen Invarianz des physikalischen Grundlagenwissens. Prinzipiell kann jedoch die Frage des zur Allgemeinbildung zählenden Unterrichtsstoffes nicht ein für allemal entschieden werden.

Aus den Hauptrichtungen zur Neukonzeption des Physikunterrichts wird deutlich, daß das Festhalten an dem im Physikunterricht Bewährten einerseits und die Weiterentwicklung des Physikunterrichts in bestimmten Richtungen andererseits kein Widerspruch ist.

Folgende Hauptrichtungen kennzeichnen diese Weiterentwicklung /1; S. 5/:

- Die Tragfähigkeit der grundlegenden Ziele des Physikunterrichts bis in die neunziger Jahre. Sie entsprechen weiterhin den gesellschaftlichen Forderungen an die Allgemeinbildung. Zu dem zu vermittelnden Grundlagenwissen gehören vor allem Grundlagen der klassischen Physik. Kenntnisse der klassischen Physik einschließlich ihrer Denk- und Arbeitsweisen in den verschiedenen Teilgebieten sind sowohl Voraussetzung für das Verständnis der modernen Physik als auch für die Tätigkeit des Menschen in der industriellen Produktion.
- Im Physikunterricht ist eine enge Verbindung mit dem Leben durch die Auswahl und Anordnung des Unterrichtsstoffes sowie durch die methodische Gestaltung des Unterrichts zu gewährleisten.
- Die Qualität der Arbeit mit Schülerexperimenten wird durch Einsatz der Schülerexperimente in allen Phasen des Unterrichts und die Entwicklung von Fähigkeiten beim Experimentieren erhöht.

- Die Anwendung der Mathematik im Physikunterricht als Mittel zur Formierung von Naturgesetzen und für die Ableitung von Folgerungen aus den mathematischen Formulierungen der Gesetze wird verstärkt.
- Die geistige Aktivität der Schüler ist durch zunehmend sicherere Beherrschung wesentlicher geistiger und geistig-praktischer Tätigkeiten zu fördern.
- Der Festigung und Vertiefung des Wissens und Könnens ist durch eine ausgewogene Gestaltung des Lehrstoff-Zeit-Verhältnisses besondere Beachtung zu schenken.

2. Zur Strukturierung des Unterrichtsstoffes

Eine zweckmäßig durchdachte Anordnung des Stoffes ist notwendig, weil die Grundlagen der Physik - wie die jeder anderen Wissenschaft - nicht als Sammlung einzelner Fakten, sondern nur in systematischen Zusammenhängen überschaubar sind. Die gültigen Lehrpläne für die Klassen 6, 7 und 8, die Entwürfe für die folgenden Klassenstufen - wie auch die noch gültigen Lehrpläne ab Klasse 9 - enthalten für jede Klassenstufe im Anschluß an die "Ziele und Aufgaben" eine thematische Übersicht. In dieser Übersicht finden wir Stoffgebiete, die der herkömmlichen Einteilung der Physik in die Gebiete Mechanik, Wärmelehre oder Thermodynamik, Elektrizität, Atomphysik, Relativitätstheorie entsprechen.

Wir erkennen darin einen ersten, wichtigen Gesichtspunkt für die Anordnung des Unterrichtsstoffes, für den Aufbau des Physiklehrganges der allgemeinbildenden Schulen. Diesem zwar groben, aber wichtigen Einteilungsprinzip liegen vor allem folgende Standpunkte zugrunde:

- Es ist Aufgabe des Physikunterrichts, in die Grundlagen der Physik einzuführen.
- Es hat sich bisher keine andere, zweckmäßigere Gliederung des gesamten Lehrganges der Physik in der Schule bewährt als die traditionelle Einteilung der Physik. Diese Systematisierung entspricht der Erfassung der für die Physik charakteristischen Objektbereiche und schließt auch die Anwendung geeigneter physikalischer Untersuchungsmethoden ein, die diesen Bereichen eigentümlich sind.

Ordnet man die herkömmlichen, grundlegenden Teilgebiete der Physik gemäß den Plänen den einzelnen Klassenstufen zu, so ergibt sich folgende Übersicht:

Klasse 6 (seit 1983)	1. Mechanik 2. Wärmelehre 3. Aufbau des Atoms und elektrische Ladung 4. Geometrische Optik
-------------------------	---

Klasse 7 (seit 1984)	1. Mechanik - Kräfte, Arbeit, Leistung 2. Energie in Natur und Technik 3. Mechanik der Gase und Flüssigkeiten
-------------------------	---

Klasse 8 (seit 1985)	1. Thermodynamik 2. Elektrizitätslehre
-------------------------	---

Klasse 9 (voraussichtlich ab 1987)	1. Elektrizitätslehre 2. Mechanik
--	--

Klasse 10 (voraussichtlich ab 1988)	1. Mechanik 2. Elektromagnetische Schwingungen 3. Elektromagnetische Wellen 4. Kernphysik
---	--

Klasse 11 (seit 1980)	1. Mechanik I 2. Thermodynamik 3. Optik (Strahlen- und Wellenoptik)
--------------------------	---

Klasse 12 (seit 1981)	1. Mechanik II 2. Elektrodynamik 3. Spezielle Relativitätstheorie und Kern- energie
--------------------------	---

Der Überblick zeigt, daß im Lehrgang der allgemeinbildenden Schulen die Mechanik in fast allen, die Elektrodynamik in der Mehrzahl der Klassenstufen behandelt wird. Vergleicht man diese Anordnung der in der Ausbildung wichtigsten Gebiete der Physik mit der Anordnung der Lehrgebiete an der Hochschule, so erkennt man einen wesentlichen Unterschied: An der Hochschule tritt - wie besonders in der Abfolge der theoretischen Lehrveranstaltungen deutlich wird - jedes Teilgebiet der Physik nur einmal auf. Man spricht von einem linearen Aufbau des Lehrganges.

Ein generell durchgehend, linearer Aufbau des Lehrganges an den allgemeinbildenden Schulen würde methodisch-didaktischen und psychologischen Erkenntnissen und pädagogischen Erfahrungen grob widersprechen. Die Struktur des Unterrichtsstoffes in obiger Übersicht stellt eine Synthese von konzentrischer und linearer Anordnung dar. Wir erkennen aus diesen Überlegungen, daß für den Aufbau des Physiklehrganges in der Schule nicht nur sachlich-physikalische, sondern auch unterrichtsmethodische und psychologische Gesichtspunkte maßgebend sind /3; S. 88 und S. 79/. Beide Arten von Gesichtspunkten für die Anordnung des Stoffes sollen im folgenden näher betrachtet werden.

2.1. Physikalische Ordnungsprinzipien von Lehrstoffsystemen

Eine grundlegende Aufgabe der Physik ist es, die uns in der Realität umgebende Mannigfaltigkeit der Vorgänge und Erscheinungen in geordneter Weise widerzuspiegeln. So ist z.B. mit der Existenz aller materiellen Objekte untrennbar die Bewegung verbunden. Die dem Gegenstandsbereich der Physik zugehörigen Bewegungsvorgänge werden geordnet erfaßt, indem von einem Ordnungsprinzip, einem Systematisierungsgesichtspunkt ausgegangen wird.

Wählt man für mechanische Bewegungen als Ordnungsprinzip den zeitlichen Verlauf der Vorgänge, kann eine Gliederung der geradlinigen Bewegungsvorgänge vorgenommen werden in

- Bewegungen mit konstanter Geschwindigkeit - gleichförmige Bewegung
- Bewegungen mit zeitlich veränderlicher Geschwindigkeit - ungleichförmige Bewegungen, wie z.B. die gleichmäßig beschleunigte Bewegung.

Systematisierungen, deren Elemente physikalische Begriffe sind, werden vom Lehrplan bereits in der 6. Klasse in didaktisch vereinfachter Weise gefordert:

„Unterscheiden von Bewegungen: geradlinige Bewegung, Kreisbewegung, Schwingung, beschleunigte und verzögerte Bewegung auf der Geraden, geradlinige, gleichförmige Bewegung“

/4; S. 10/.

In der 9. Klasse erfolgt eine Wiederholung und Vertiefung dieser Systematisierung.

In der Physik und im Physikunterricht entwickelt man nicht nur Systeme, deren Elemente Begriffe sind. Die Bildung der Begriffe für die Bewegungsarten z.B. wird erst dann sinnvoll, wenn die als unveränderlich anzusehenden Merkmale dieser Bewegung erkannt sind. Diese Merkmale haben die sprachliche Form von Aussagen, z.B.: Bewegungen, bei denen in gleichen Zeiten gleiche Wege zurückgelegt werden, nennen wir gleichförmig. Diese Aussage läßt erkennen, daß sich die Definition der gleichförmigen Bewegung auf die Begriffe Weg und Zeit stützt. Es besteht ein sachlogischer Zusammenhang zwischen diesen Begriffen. Auf die angedeutete Weise entsteht ein - hier auf die Bewegungslehre begrenztes - sachlogisch-physikalisches Lehrstoffsystem. Zu derartigen Systemen gehören auch Untersuchungsmethoden und Meßverfahren der Physik, z.B. Verfahren der Geschwindigkeitsmessung, auch Fakten wie Einheiten des SI sowie wichtige Größen wie die Fallbeschleunigung.

Wir stellen die am Beispiel der Bewegungslehre gewonnenen Erkenntnisse zusammen: Die Bewegungslehre in Klasse 6 und die Kinematik in Klasse 9 sind Beispiele für sachlogisch gegliederte Teilsysteme des Unterrichtsstoffes. Derartige Teilsysteme lassen sich zu einem umfassenden System (Kinematik) zusammenfügen. Systemelemente sind Begriffe, Aussagen - insbesondere Gesetze - Fakten sowie physikalische Methoden und Verfahren. Zwischen diesen Elementen bestehen viele Beziehungen, Zusammenhänge, Relationen. Alle diese Relationen zwischen den Systemelementen werden durch den Begriff der Struktur des Lehrstoffsystems erfaßt. Lehrstoffsysteme, die im Lehrplan als Stoffeinheiten auftreten, wie die Bewegungslehre in Klasse 6, zeichnen sich durch recht enge und zahlreiche Relationen zwischen den Systemelementen aus also durch ihre besondere Struktur.

In manchen Zusammenhängen kann man sowohl den System- als auch den Strukturbegriff verwenden. Ein prinzipieller Unterschied besteht darin, daß sowohl materiellen Systemen (z.B. Planetensystem) als auch ideellen Systemen (z.B. System der Bewegungsarten u.a. Begriffe- und Aussagensysteme) eine selbständige Existenz zukommt - Strukturen dagegen nicht! Strukturen sind Eigenschaften von Systemen und auch anderer Gesamtheiten ohne Ordnungscharakter (z.B. Haufen materieller Objekte, ungeordnete Begriffe, auch Zahlen, deren Aufeinanderfolge keinem mathematischen Gesetz unterliegt).

Ausgehend von der Frage nach den Kräften, die die Änderung von Bewegungsvorgängen bewirken, folgt sowohl in Fachlehrbüchern als auch im schulischen Lehrgang der Physik auf die Kinematik die Dynamik. In entsprechender Weise wie für die Kinematik läßt sich auch für die Dynamik ein System entwickeln. Unter den Systemelementen kommt den Begriffen Trägheit, Masse und Kraft, unter den Aussagen den Newtonschen Gesetzen der Mechanik besondere Bedeutung zu. Den unterschiedlichen Anforderungsniveaus in den Klassen 6 und 9 angemessen wird in der Klasse 6 ein didaktisch stark vereinfachtes System des Unterrichtsstoffes, in Klasse 9 ein demgegenüber erweitertes und vertieftes, durch mannigfaltigere Beziehungen zwischen den Elementen komplizierter strukturiertes System entwickelt. Beide Systeme unterscheiden sich in der Anzahl ihrer Elemente und der zwischen ihnen bestehenden Relationen (z.B. statische Kraftmessung in Klasse 6 mittels Federkraftmesser einerseits und statische und dynamische Kraftmessung auf Grund von $F = m \cdot a$ in Klasse 9 andererseits; Masse als Größe zur Messung der Trägheit in Klasse 6 - träge und schwere Masse in Klasse 9). Sie stimmen jedoch in der Hinsicht überein, daß der Kraftbegriff selber grundlegend für die Dynamik ist.

Auch Fachlehrbücher haben aus sachlogisch zwingenden Gründen im Aufbau der Dynamik der Punktmassen in wesentlichen System- und Strukturelementen Gemeinsamkeiten, z.B. müssen die Begriffe Masse und Kraft den Newtonschen Gesetzen der Mechanik vorangestellt werden.

Wir erkennen daran, daß sachlogisch-physikalische Systematisierungsgesichtspunkte wesentlich sind für die Entwicklung physikalischer Lehrstoffsysteme.

Obwohl alle klassischen Teilgebiete der Physik als Theorien relativ geschlossene Systeme darstellen, bestehen doch auch sachlogische Beziehungen zwischen ihnen. So können Begriffe und Gesetze der Mechanik auch Elemente anderer Teilgebiete wie Thermodynamik, Elektrodynamik und Kernphysik sein.

Neben sachlogisch-physikalischen Systematisierungsgesichtspunkten werden mit dem physikalisch-technischen und dem physikalisch-historischen Gesichtspunkt weitere Systematisierungsgesichtspunkte angewandt. Diese Gesichtspunkte sind in ihrer Bedeutung für die Anordnung von Lehrstoffsystemen für die allgemeinbildenden

Schulen weniger umfassend und grundlegend und im Zusammenhang mit der sachlogisch-physikalischen Systematisierung zu sehen.

Der physikalisch-technische Gesichtspunkt ist in den Klassen 6 und 7 häufig anzuwenden, auch in höheren Klassenstufen. Jede technische Einrichtung wie die optischen Instrumente (Klasse 6), Wasser- und Wärmekraftwerke, hydraulische Anlagen, Dosenbarometer (Klasse 7), Verbrennungsmotoren (Klasse 8), Generatoren, Elektromotoren, Transformatoren, Röntgen- und Bildröhren, Kernreaktoren und Schwingkreise (Klasse 9 und 10) dienen ganz bestimmten Zwecken. Dieser Zweck bestimmt den prinzipiellen Aufbau; der Wirkungsweise liegen physikalische Gesetze zugrunde - damit ist eine einheitliche Anordnung der nach diesem Gesichtspunkt zu gliedernden Lehrstoffelemente gegeben.

Die Beispiele lassen erkennen, daß manche physikalisch-technischen Systeme wie z.B. Kraftwerk und Reaktor, Systemelemente aus verschiedenen Teilgebieten der Physik enthalten. Auf eine differenzierte Behandlung bei der Einbeziehung technischer Geräte in den Physikunterricht geht Bienioschek ein /1; S. 16/.

Einige Abschnitte des physikalischen Unterrichtsstoffes sind nach historischen Gesichtspunkten gemäß der geschichtlichen Entwicklung angeordnet. Beispiele hierfür sind historische Betrachtungen zur Entwicklung kraftumformender Einrichtungen /1; S. 14/, die Entwicklung der Atomphysik sowie das Leben bedeutender Physiker. Auch diese historisch strukturierten Teilsysteme haben nur begrenzten Umfang und sind in umfassendere sachlogische Systeme eingefügt. Historische Betrachtungen vermitteln den Schülern jedoch wertvolle Einsichten in Zusammenhänge der Entwicklung der Wissenschaft Physik, den technischen und gesellschaftlichen Fortschritt.

Zusammenfassung zur Strukturierung des Lehrstoffes nach physikalischen Ordnungsprinzipien: Ausgehend von Beispielen aus den Lehrplänen wurde dargelegt, daß sich die Systematik des Fachlehrganges Physik wesentlich an der sachlogisch bestimmten Systematik der Physik orientiert /2; S. 71/. Hierin eingefügt sind physikalisch-technische und physikalisch-historische Teilsysteme des Unterrichtsstoffes begrenzten Umfangs.

Der auf der S. 7 gegebene Überblick zeigt jedoch, daß die den Physiklehrplänen zugrunde liegende Systematik nicht allein von objektiven physikalischen Gesichtspunkten her bestimmbar ist, sondern auf das komplexe Ziel der Persönlichkeitsentwicklung im Unterricht zu beziehen ist /2; S. 68/.

2.2. Anforderungsniveaus und didaktisch-methodische Gesichtspunkte zur Gliederung des Unterrichtsstoffes

Die Schüler erreichen die im Lehrplan vorgegebenen Wissens- und Könnensziele im Ergebnis eines Prozesses der Aneignung des Unterrichtsstoffes. Da sich dieser Prozeß in vielen Fächern gleichzeitig und in enger Wechselbeziehung vollzieht, kann die Entwicklung der Schülerpersönlichkeit prinzipiell nicht allein aus der Sicht eines Faches gesehen werden. Wir fragen daher nach den Ansatzpunkten, von denen man im Physikunterricht ausgehen kann, um zu Aussagen über die Berücksichtigung der Altersbesonderheiten zu kommen.

Zunächst sei daran erinnert, daß die zehnklassige POS in Unterstufe (Klasse 1 bis 3), Mittelstufe (Klasse 4 bis 6) und Oberstufe (Klasse 7 bis 10) gegliedert ist. Der Physikunterricht in Klasse 6 gehört also noch zur Mittelstufe, der übrige Physikunterricht zur Oberstufe. Somit ergibt sich für die vier Klassenstufen der Oberstufe die Notwendigkeit einer weitergehenden Untergliederung zur Kennzeichnung von Niveaustufen der physikalischen Bildung und Entwicklungsstufen der Schüler. Diese

„Entwicklungsstufen werden bestimmt durch den Inhalt und Umfang des Unterrichtsstoffes, durch die Abstraktionshöhe und Komplexität der praktischen und geistigen Tätigkeit, durch den Grad der wissenschaftlichen Verallgemeinerung und die Verflechtung des erreichten Wissens und Könnens ...“ /5; S. 85/.

Hierbei ist zu beachten, daß der Begriff des Unterrichtsstoffes im weitgefaßten Sinne zu verstehen ist /2; S. 68/.

Aus dieser Sicht der die Entwicklungsstufen bestimmenden Faktoren werden drei Niveaus angegeben und umrissen - das erste wird am Ende der Klasse 6, das zweite am Ende der Klasse 8, das dritte am Ende der Klasse 10 erreicht. Diese Stufen sind bereits durch die Struktur des physikalischen Unterrichtsstoffes im Lehrplan vorgegeben. Sie entsprechen der im Überblick auf S. 7 gekennzeichneten Anordnung des Stoffes in „konzentrischen Kreisen“ /3; S. 89/.

In der Klasse 6 werden elementare Grundlagen der Physik auf den Gebieten Mechanik, Wärmelehre, Strahlenoptik und der modellhaften Vorstellungen vom Teilchenaufbau der Stoffe gelegt. Bis zum Ende der Klasse 8 werden dann in den zwei folgenden Schuljahren die traditionellen Teilgebiete der Physik Mechanik, Thermodynamik und Elektrizitätslehre auf einer gegenüber der Klasse 6 teils wesentlich erweiterten, teils vertieften Art und Weise behandelt.

Nach dieser Zäsur im Aufbau des Unterrichtsstoffes werden in den Klassen 9 und 10 die wichtigsten Teilgebiete der Physik - Mechanik und Elektrizitätslehre - wiederum behandelt und zwar vertieft und erweitert gegenüber der zweiten Niveaustufe am Ende der Klasse 8. Die stoffliche Erweiterung ist sofort und leicht an der Einbeziehung mechanischer Schwingungen und Wellen in die Mechanik sowie der Einbeziehung der elektromagnetischen Schwingungen und Wellen in die Elektrizitätslehre erkennbar. Mit der Kernphysik wird der bereits in Klasse 6 angelegte Aufbau des Atoms entsprechend der Zielstellung der Klasse 10 abgerundet.

3. Beispiele für die Einführung von Begriffen auf verschiedenen Niveaustufen

Es soll nun die Einführung von Begriffen auf den verschiedenen Niveaustufen (Klasse 6, Klasse 8, Klasse 9/10) und unter Berücksichtigung der Hauptrichtungen der Weiterentwicklung des Physiklehrplans (S. 5) anhand weniger Beispiele erörtert werden. Dabei sollen folgende Schwerpunkte beachtet werden:

- Lehrplankonzeption für die Unterrichtseinheit, die die ausgewählten Begriffe enthält,
- unterrichtsmethodisches Vorgehen,
- Schülertätigkeiten innerhalb dieser Unterrichtsmethoden und Kennzeichnung der Anforderungsniveaus.

Die Behandlung des Massebegriffs im Physiklehrgang der POS

a. Zur Lehrplankonzeption und Lehrplaninterpretation im Lehrbuch Klasse 6

Die Körpereigenschaft „Masse“ wird über den Gedankengang: Qualitatives Erfassen der Eigenschaft - Meßbarkeit der Eigenschaft - Meßverfahren gewonnen, also wie eine Grundgröße /6; S. 12/.

Da für Schüler der Klasse 6 nicht alle Merkmale des Massebegriffs faßbar sind, ist nur die Trägheitseigenschaft der Körper zu behandeln.

b. Zum methodischen Vorgehen in Klasse 6

Es ist von Beispielen aus der Erlebnisswelt der Schüler auszugehen (vgl. /7; S. 38/). Der Nachvollzug im Experiment, in dem unterschiedlich belastete Wagen in Bewegung versetzt werden, führt zur Erkenntnis, daß jeder Bewegungsänderung ein Widerstand entgegengesetzt wird. Diese Körpereigenschaft wird als Trägheit bezeichnet. Das Maß der Trägheit wird durch die Masse angegeben. „Die Masse eines Körpers gibt an, wie träge dieser ist“ /7; S. 39/ (qualitative Begriffskomponente). Meßbarkeit und Meßverfahren werden im Lehrbuch ausführlich dargestellt /7; S. 39 bis 41/ (quantitative Komponente).

c. Kennzeichnung des Anforderungsniveaus mit Hilfe der erforderlichen, an den Gegenstandsbereich gebundenen Schülertätigkeiten in Klasse 6

Die sich aus der Lehrplankonzeption und den anzuwendenden Erkenntnismethoden ergebenden wichtigen Schülertätigkeiten

- Beobachten von Trägheitswirkungen im Experiment
- Beschreiben dieser Beobachtungsinhalte
- Messen von Massen durch Vergleichen dieser Massen mit Wägestücken

sind an einfache physikalische Sachverhalte gebunden.

Die außerordentlich starke Verallgemeinerung von wenigen Demonstrationen der Trägheitserscheinungen an wenigen Körpern auf die für beliebige Körper geltende Formulierung für die o.g. qualitative Komponente der Masse kann den Schülern nicht sofort voll bewußt gemacht werden. Trotzdem liegt bei dieser didaktisch vereinfachten Einführung des Massebegriffs eine Begriffsbestimmung vor.

In dem dargestellten Lernprozeß haben die Schüler nicht nur einen neuen Begriff in starker didaktischer Vereinfachung kennengelernt, es wurde zugleich das bereits bei Einführung des Kraftbegriffs angewandte Vorgehen gefestigt: Kennzeichnung der physikalischen Bedeutung - Angabe des Formelzeichens, Festlegen der

Einheit - Durchführung der Messung mittels geeigneter Meßgeräte. Sie lernen die zugehörigen geistigen und praktisch-gegenständlichen Handlungen zu beherrschen, entwickeln also ihr Können, z.B. beim Messen.

Die folgenden Anwendungen des Massebegriffs noch auf dem Anforderungsniveau der Klasse 6, z.B. bei der Gegenüberstellung Masse - Gewichtskraft und bei der Dichte decken für die Schüler neue, den Erkenntnisgegenstand „Masse“ betreffende Zusammenhänge auf. So läßt das Hervorheben von Unterschieden zwischen Masse und Gewichtskraft in einer vergleichenden Betrachtung z.B. deutlich werden, daß die Masse Eigenschaft jedes einzelnen Körpers ist, während die Gewichtskraft zwischen Erde und Körper, als zwischen zwei Körpern wirkt. Der Begriffsinhalt der Masse wird durch diese Anwendungen nicht verändert, tritt jedoch auf der Grundlage der Tätigkeit des Vergleichens deutlicher hervor. Der weite Umfang des Begriffs - die Gesamtheit der Klasse von Körpern, auf die der Massebegriff zutrifft - wird bestätigt.

Neue Zusammenhänge werden für die Schüler zwischen den bekannten Begriffen Masse und Volumen durch Einführung der Dichte hergestellt. Der Lehrer lenkt die Tätigkeiten der Schüler gezielt auf wesentliche Verknüpfungsrelationen, hinsichtlich der physikalischen Qualität auf Beziehungen zwischen Körper- und Stoffeigenschaften, hinsichtlich der quantitativen Komponente auf die mathematische Operation der Quotientenbildung. Mit Wiederholung des Verfahrens, der Ableitung einer physikalischen Größe (Dichte, zuvor Geschwindigkeit) wird ein erster Schritt zur Verallgemeinerung der Gewinnung abgeleiteter Größen getan.

Zusammenfassende Feststellung: Dadurch, daß der Begriff „Masse“ als Element des Unterrichtsstoffes der Klasse 6 in bestimmten Relationen mit anderen Elementen verknüpft wird, nimmt die Komplexität der an den Massebegriff gebundenen geistigen Tätigkeiten zu. Durch die Ausübung und zunehmende Beherrschung immer komplexer werdender geistiger Tätigkeiten erreichen die Schüler das als Anforderungsniveau der Klassenstufe vorgegebene Entwicklungsniveau.

d. Zur Lehrplankonzeption in Klasse 9/10

Der in Klasse 6 eingeführte Begriff der Masse ist zu festigen und zu vertiefen. Die Festigung ist zu beziehen auf die Trägheitseigenschaft der Körper, die Vertiefung einerseits auf die quantitativen Verknüpfungen im Newtonschen Grundgesetz und dessen Anwendungen, andererseits kommt die Körpereigenschaft der Schwere neu hinzu. In der Dynamik des freien Falls ist zu verdeutlichen, daß der Begriff der Masse sowohl die Trägheit als auch die Schwere enthält. Die Kennzeichnung der Schwere von Körpern durch den Massebegriff ist Grundlage für die Gravitation.

e. Zum methodischen Vorgehen in Klasse 9/10

Das Newtonsche Grundgesetz ist empirisch unter Anwendung der experimentellen Methode zu gewinnen. Dagegen ist die Beziehung $F_G = m \cdot g$ Ergebnis deduktiver Überlegungen. Das Gravitationsgesetz ist den Schülern zu geben, zu erläutern und zu interpretieren.

f. Kennzeichnung des Anforderungsniveaus mit Hilfe der erforderlichen, an den Gegenstandsbereich gebundenen Schülertätigkeiten in Klasse 9/10

Zu den lt. Lehrplankonzeption und methodischem Vorgehen wesentlichen Schülertätigkeiten gehören

- das Erklären dynamischer Vorgänge mit Hilfe des Grundgesetzes,
- das Unterscheiden zwischen Gewichtskraft eines Körpers und seiner Masse auf der Grundlage $F_G = m \cdot g$,
- das Berechnen von Massen (dynamische Massenbestimmung).

Das gegenüber der Klasse 6 wesentlich höhere Anforderungsniveau wird nicht nur in der geforderten Tätigkeit des Erklärens unter Heranziehung vielfältiger, unterschiedlicher Erfahrungsbereiche, sondern auch in den Tätigkeiten des Unterscheidens und Berechnens deutlich, denn sie sind nicht mehr an relativ einfache qualitative Sachverhalte gebunden.

Weitere, das Anforderungsniveau in den Klassen 9 und 10 mitbestimmende Sachverhalte und Schülertätigkeiten sollen anhand der Begriffsfolge Trägheit - Schwere - Masse - Gravitation dargelegt werden.

Während entsprechend dem Niveau der Klasse 6 Trägheitserscheinungen behandelt werden, die unmittelbar sinnlich erfaßbar sind, kann auf die Körpereigenschaft der Schwere nur aus beobachtbaren Anziehungskräften geschlossen werden. Es kann nicht von vornherein als selbstverständlich angesehen, jedoch aus dem Vorgang des freien Falls gefolgert werden, daß ein von der Erde angezogener Körper die Eigenschaft der Schwere und im Zusammenhang mit seiner beschleunigten Fallbewegung auch zugleich die Eigenschaft der Trägheit besitzt. Am Beispiel des freien Falls werden also die (vorläufigen) engen Beziehungen zwischen träger und schwerer Masse aufgedeckt.

Das Gravitationsgesetz stellt schließlich zunächst eine Verknüpfungsbeziehung zwischen der Masse der Erde und der Masse eines von der Erde angezogenen Körpers dar. Der Gültigkeitsbereich des Gesetzes wird dann erweitert auf die Massen beliebiger Körper in beliebigem Abstand, z.B. auf Körper geringer Masse auf der Erde. Hierauf kann nur durch Verallgemeinern des Gesetzes geschlossen werden.

Das Anspruchsniveau der Klassen 9/10 wird mitbestimmt durch eine vielfältige Komplexität der zu beherrschenden Tätigkeiten in Verbindung mit einer Quantifizierung der anzueignenden physikalischen Sachverhalte und durch einen gegenüber der Klasse 6 wesentlich höheren Grad der Verallgemeinerung.

Wichtige Schülertätigkeiten sind auch in den durchzuführenden Experimenten enthalten, die als strukturbestimmende Bestandteile der experimentellen Methode notwendig sind, hier aber nicht näher ausgeführt werden sollen. Kennzeichnend für das in der POS höchste Anforderungsniveau der Klassenstufen 9/10 ist auch die zunehmende Selbständigkeit der Schüler im Prozeß der Lern­tätigkeit, beispielsweise der selbständige Gewinn von Kenntnissen über die Schwerelosigkeit aus geeigneter Literatur. Derartiger Kenntnisgewinn versetzt die Schüler in die Lage, komplizierte Sachverhalte zu erörtern und falsche Auffassungen zu widerlegen.

Ausführliche Hinweise zum Können der Schüler am Abschluß der Klasse 10 und insbesondere auch zu den Überzeugungen und Verhaltensweisen, die wichtiger Bestandteil des mit der Klasse 10 erreichten Entwicklungsniveaus sind, sind in /5/ zu finden.

Behandlung des Temperaturbegriffs im Physiklehrgang der POS

a. Lehrplankonzeption und Lehrplaninterpretation in Klasse 6

Zunächst ist die große Bedeutung der Temperatur in Natur und Technik herauszuarbeiten. Danach erfolgt die quantitative Erfassung der Eigenschaft (die Temperatur gibt an, wie kalt oder wie heiß ein Körper ist). Nach dem Nachweis der Unzulänglichkeit des subjektiven Temperaturempfindens des Menschen ist die physikalische Größe Temperatur als Grundgröße einzuführen: Qualitatives Erfassen der Eigenschaft, die durch die Größe Temperatur beschrieben wird; quantitative Meßbarkeit der Temperatur: Meßgerät, Einheit (Grad Celsius), Meßvorschrift. Anschließend ist der Bezug zwischen Temperatur und der Bewegung der Teilchen herzustellen /8; S. 101 ff /.

b. Zum methodischen Vorgehen in Klasse 6

Ausgangspunkt ist die Notwendigkeit, die Eigenschaft eines Körpers „heiß oder kalt zu sein“, physikalisch exakt zu erfassen. Den Schülern wird im Experiment gezeigt, daß der Temperatursinn des Menschen eine objektive Angabe der Temperatur nicht zuläßt. Deshalb nimmt man einen physikalischen Effekt, der direkt mit der Temperatur verknüpft ist, als Grundlage der Temperaturmessung. In Klasse 6 wird zunächst die Volumenänderung der Thermometerflüssigkeit, später auch die Krümmung eines Bimetallstreifens, genutzt. Die Einführung der Temperatur als Grundgröße erfolgt mit dem Meßgerät „Flüssigkeitsthermometer“. Über die beiden Festpunkte (Temperatur des schmelzenden Eises und des siedenden Wassers) führt man die Celsiusskale ein. Besonderer Wert ist auf die Tätigkeit des Messens der Temperatur zu legen. Die Verbindung von Temperatur und Teilchenbewegung besteht im wesentlichen in der Aussage „Je höher die Temperatur eines Körpers ist, desto heftiger bewegen sich die Teilchen“.

c. Kennzeichnung des Anforderungsniveaus mit Hilfe der erforderlichen, an den Gegenstandsbereich gebundenen Schülertätigkeiten in Klasse 6

Die wichtigsten Schülertätigkeiten

- Beschreiben des Aufbaus eines Flüssigkeitsthermometers,
- Ablesen von Temperaturen am Flüssigkeitsthermometer,

- Messen von Temperaturen (Anwenden der Meßvorschrift /7; S. 68/),
- Anlegen von Temperatur-Zeit-Diagrammen,
- Berechnen und Angeben von Temperaturdifferenzen, die auch über den Nullpunkt der Celsiusskale hinausgehen,

können von den Schülern bereits recht selbständig ausgeführt werden, da die Schüler über die physikalische Größe Temperatur bereits umfangreiche Vorkenntnisse aus dem täglichen Leben und aus Nachbarfächern besitzen, und der Temperaturbegriff in der Alltagssprache ebenso benutzt wird wie in der Fachsprache der Physik, also kein Umlernen erforderlich ist.

Wesentliche Einschränkungen im Anforderungsniveau der Klasse 6 bestehen darin, daß

- die Kelvinskale nicht behandelt wird,
- nur eine lockere Verbindung zwischen Temperatur und Teilchenbewegung hergestellt wird /7; S. 70/.

Eine enge Beziehung besteht zu dem Begriff der Wärme, dessen Notwendigkeit bei der Erörterung von Temperaturänderungen den Schülern nahegebracht wird. Auf dem Anforderungsniveau Klasse 6 ist aber eine Einbeziehung des Energiebegriffs noch nicht möglich.

d. Zur Lehrplankonzeption in Klasse 8

Der in Klasse 6 eingeführte Begriff der Temperatur ist zu festigen, zu vertiefen und zu erweitern. Die Festigung erfolgt durch eine Anwendung der Kenntnisse aus der Klasse 6, schwerpunktmäßig durch das Ausführen von Messungen (Anwenden der Meßvorschrift) der Temperatur. Weiterhin sind den Schülern eine Reihe von Beispielen für Größenordnungen von Temperaturen in Natur und Technik zu geben.

Ein besonderer Aspekt der Festigung des Temperaturbegriffes besteht in dem Bewußtmachen der Notwendigkeit des Temperatúrausgleichs zwischen zwei Körpern sowohl bei der Temperaturmessung als auch bei Mischungsvorgängen. Des weiteren erfolgt ein Festigen im Umgang mit dem Thermometer dadurch, daß die Problematik der Meßgenauigkeit bei der Temperaturmessung in Abhängigkeit von ihrem Zweck mit den Schülern intensiver als in Klasse 6 behandelt wird.

Die Vertiefung und Erweiterung des Temperaturbegriffs ist in folgendem zu sehen:

- Deutung der Temperatur mit Hilfe der Vorstellungen vom Aufbau der Stoffe; Hinweis auf durchschnittliche Geschwindigkeit der Teilchen,
- Einführung der Kelvinskale und des absoluten Nullpunktes der Temperatur.

e. Zum methodischen Vorgehen in Klasse 8

Bei der Deutung der Temperatur eines Körpers mit Hilfe der Vorstellungen vom Aufbau der Stoffe wird herausgearbeitet, daß die Geschwindigkeit der Teilchen um eine durchschnittliche Geschwindigkeit schwankt, die wiederum von der Temperatur abhängig ist. Damit ist der Ansatzpunkt zur Einführung des absoluten Nullpunktes der Temperatur und der Kelvinskale gegeben. Beim absoluten Nullpunkt ist die durchschnittliche Geschwindigkeit der Teilchen gleich Null, es bewegt sich also kein Teilchen mehr; eine niedrigere Temperatur gibt es nicht.

Bei der Kelvinskale wird vom absoluten Nullpunkt an mit der gleichen „Schrittlänge“ wie bei der Celsiusskale vorgegangen, d.h. die Temperaturdifferenz 1 K ist gleich der Temperaturdifferenz 1 °C (1 K = 1 °C).

Die Beziehung zwischen Temperatur und durchschnittlicher Geschwindigkeit der Teilchen spielt im Erkenntnisweg der Schüler noch eine weitere Rolle: Im Zusammenhang mit der Deutung des Verdunstens und der Abkühlung der verdunstenden Flüssigkeit werden die Schüler an Elemente statistischer Betrachtungsweisen herangeführt. Sie erkennen, daß sich durch den Austritt der schnellsten Teilchen aus der Flüssigkeit die durchschnittliche Geschwindigkeit der verbleibenden Teilchen verringert.

f. Kennzeichnung des Anforderungsniveaus mit Hilfe der erforderlichen, an den Gegenstandsbereich gebundenen Schülertätigkeiten in Klasse 8

Zu den wesentlichen Schülertätigkeiten gehören

- Deuten der Temperatur und des absoluten Nullpunkts mit Hilfe der Vorstellungen über den Aufbau der Stoffe,
- Vergleichen verschiedener Temperaturen in Natur und Technik,
- Berechnen von Temperaturdifferenzen,

- Interpretieren des ϑ -t-Diagramms für den Temperaturnausgleich,
- Erläutern von Fehlerarten bei Temperaturmessungen.

Das gegenüber der Klasse 6 höhere Anforderungsniveau besteht in einer verstärkten Anwendung des Modells vom Aufbau der Stoffe aus Teilchen auf die in d und e dargestellten Sachverhalte. Weiterhin werden Temperaturdifferenzen jetzt in Kelvin angegeben.

Gegenüber der Klasse 6 stellt das Interpretieren des Temperatur-Zeit-Diagramms für den Temperaturnausgleich eine anspruchsvolle Schülertätigkeit dar. Während in Klasse 6 die Tätigkeit des Anlegens eines derartigen Diagramms auftritt, kommt es in Klasse 8 (neben dem Anlegen dieses Diagramms) auf eine physikalische Deutung des in mathematischer Symbolik dargestellten Sachverhaltes an. Letztlich erfolgt dabei ein „Rückübersetzen“ des Diagramms in die sprachliche Form des Satzes /9; S. 446 ff/.

Auch beim „Erläutern von Fehlerarten bei Temperaturmessungen“ ist in Klasse 8 das Niveau höher. Die Meßfehler werden nicht mehr nur konkret an Beispiele gebunden, sondern bereits verallgemeinert in Kategorien eingeordnet. Es wird unterschieden zwischen

- Fehlern der Meßgeräte
- persönlichen Fehlern (Ursache liegt in der Person des Menschen) und
- Fehlern, die durch die Experimentieranordnung bedingt sind.

Literatur:

- /1/: Bienioschek, H.: Ziele, Inhalt und methodische Konzeption des Physikunterrichts in Klasse 7 nach dem neuen Lehrplan und seine Einordnung in den Gesamtlehrgang.
In: "Physik in der Schule", Berlin, 22 (1984) 1/2, S. 3-37
- Liebers, Kl.: Ziele, Inhalt und didaktisch-methodische Grundkonzeption des Physikunterrichts Klasse 8 nach dem neuen Lehrplan. In: "Physik in der Schule", Berlin, 23 (1985) 1/2, S. 16 - 46
- /2/: Autorenkollektiv: Allgemeinbildung - Lehrplanwerk - Unterricht.
Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1972
- /3/: Klingberg, L.: Einführung in die Allgemeine Didaktik - Vorlesungen.
Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1974
- /4/: Lehrplan Physik, Klasse 6.
Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1982

- /5/: Autorenkollektiv: Methodik des Physikunterrichts in der DDR und in der UdSSR.
Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin, und Verlag Proswestschenije, Moskau 1978
- /6/: Graumann, L.; Holz, H.; Wilke, H.-J.: Zur Behandlung des Stoffgebietes Mechanik in Klasse 6 auf der Grundlage der überarbeiteten Lehrmaterialien.
In: „Physik in der Schule“, Berlin, 21(1983), 1/2, S. 11-17
- /7/: Physik. Lehrbuch für Klasse 6.
Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1983
- /8/: Wilke, H.-J.: Zur Behandlung des Stoffgebietes Wärmelehre in Klasse 6 auf der Grundlage der überarbeiteten Lehrmaterialien.
In: „Physik in der Schule“, Berlin, 21(1983) 3, S. 99 - 104
- /9/: Schmidt, H.; Tresp, P.: Das Interpretieren als geistige Tätigkeit im Physikunterricht.
In: „Physik in der Schule“, Berlin, 21(1983) 11, S. 446-453

Zur Entwicklung des Könnens im Physikunterricht

Die Vorbereitung der Jugend auf die Meisterei der wissenschaftlich-technischen Revolution und die weitere Erhöhung der Wirksamkeit der kommunistischen Erziehung der heranwachsenden Generation erfordern eine verstärkte Beachtung der Entwicklung des Könnens aller Schüler auch im Physikunterricht. Es ist nicht ausreichend, wenn sich die Schüler im Unterricht nur ein System von Kenntnissen aneignen; sie müssen auch in die Lage versetzt werden, ihre Kenntnisse zur Lösung von Aufgaben (im weitesten Sinne) selbständig, bewußt und schöpferisch anzuwenden und sich neue Kenntnisse anzueignen. Das erfolgt durch die Ausbildung ihres Könnens.

Die Entwicklung des Könnens ist aber nicht Selbstzweck: Wissen, Können, Überzeugungen einschließlich Verhaltensweisen sind Bestandteile einer allseitig entwickelten Persönlichkeit, deren Ausbildung die Aufgabe der allgemeinbildenden polytechnischen Oberschule ist.

Jede dieser Komponenten besitzt für die allseitige Persönlichkeitsentwicklung Ziel- und Mittelfunktion: Das allgemeine Ziel der Könnensentwicklung ist die Befähigung der Schüler zum aktiven, bewußten und schöpferischen Lernen, Denken und Handeln. Als Mittel wirkt die Könnensentwicklung vor allem dadurch, daß durch gezielte didaktisch-methodische Maßnahmen jeweils das Niveau des Könnens angestrebt wird, das eine notwendige Voraussetzung für die erfolgreiche Auseinandersetzung der Schüler mit dem konkreten Unterrichtsstoff ist, und es den Schülern ermöglicht, erfolgreich und aktiv zu lernen.

1. Zu den Begriffen Können und Fähigkeiten

In der Literatur werden die Begriffe Können und Fähigkeiten in unterschiedlicher Weise verwendet: Zuweilen werden beide Begriffe synonym gebraucht; manchmal versteht man Können als Oberbegriff von Fähigkeiten und Fertigkeiten. Schließlich wird unter Können das Beherrschen von Tätigkeiten verstanden.

Da eine konkrete Leistung oder ein konkretes Können immer der Ausdruck des Entwicklungsstandes der gesamten Persönlichkeit, bezogen auf die jeweilige Anforderung ist, wollen wir unter Können folgendes verstehen:

Können ist eine komplexe Persönlichkeitseigenschaft, die sich im Grad der ziel-, inhalts- und bedingungsäquivalenten Beherrschung von geistigen, geistig-praktischen und sprachlich-kommunikativen Tätigkeiten bei der Bewältigung von Leistungsanforderungen äußert. Dieses Beherrschen wird durch eine spezifische Synthese von Leistungsdispositionen bewirkt, insbesondere von Kenntnissen, Fertigkeiten, Gewohnheiten und Fähigkeiten.

Bis zu welchem Niveau und in welchem Zeitraum und unter welchem Kraftaufwand Können entwickelt werden kann, hängt weitgehend von den psychischen und physischen Eigenschaften der Persönlichkeit ab, also von ihren Fähigkeiten, ihren Einstellungen und Charakterzügen, ihren Kenntnissen und von aktuellen physischen und psychischen Zuständen.

Geistige Fähigkeiten sind Eigenschaften der Persönlichkeit und werden als verfestigte Systeme verallgemeinerter psychischer Tätigkeiten (Operationen) aufgefaßt. Sie bestimmen wesentlich die Art und Weise der Synthese von Leistungsdispositionen zur Bewältigung geistiger und geistig-praktischer Tätigkeiten. Sie haben auch Einfluß darauf, wie das Können ausgebildet wird.

Geistige Fähigkeiten äußern sich vor allem in

- der Auswahl und Anwendung grundlegender wissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen und
- in der Qualität der Ausführung geistiger Tätigkeiten. Entwickelte Fähigkeiten bestimmen den Verlauf von Tätigkeiten. Wichtige Verlaufsqualitäten sind: Beweglichkeit, Planmäßigkeit, Exaktheit, Selbständigkeit, Aktivität.

2. Zu den Zielen der Könnensentwicklung im Oberschulunterricht

Das Ziel der Könnensentwicklung im Physikunterricht besteht darin, die Schüler in die Lage zu versetzen, Erscheinungen und Vorgänge in Natur und Technik zu beobachten, zu beschreiben und zu erklären, Hypothesen und Prognosen aufzustellen, Experimente zu planen, vorzubereiten, durchzuführen und auszuwerten (einschließlich der Durchführung einer Fehlerbetrachtung), mathematische Verfahren anzuwenden, physikalische Größen zu messen und Gesetze auf empirischem und experimentellem Wege zu gewinnen. Die Schüler werden in die Lage versetzt, Aufgaben und Probleme zu lösen.

Der Physikunterricht trägt auch zur Befähigung der Schüler bei, ihr Lernen zielgerichtet zu gestalten (Vermitteln von Methoden und Techniken der geistigen Arbeit).

Dieses Können äußert sich in einer von Klassenstufe zu Klassenstufe zunehmend selbständigen, bewußten und schöpferischen Ausführung geistiger und geistig-praktischer Tätigkeiten.

Eine Niveaustufung der Könnensentwicklung kann aus den Vorworten und Teilvorworten der Lehrpläne für Physik abgeleitet werden; explizite Angaben dazu enthält der Lehrplan nicht.

Beispiel: Planung, Durchführung und Auswertung von Experimenten:

Klasse 6: Die Schüler führen unter Anleitung des Lehrers folgende Tätigkeiten durch: Durchführen von Messungen, Anlegen übersichtlicher Meßprotokolle, grafisches Darstellen einfacher funktioneller Abhängigkeiten, Bilden von Mittelwerten aus Meßwertreihen, dabei Anwenden der jeweils vorhandenen mathematischen Kenntnisse unter Anleitung des Lehrers /5; S. 6/.

Die Schüler erwerben Grundlagen für ein Können hinsichtlich dieser Tätigkeiten. Selbständigkeit, Bewußtheit und Schöpferium sind noch nicht ausgeprägt.

Klasse 7: Die Schüler führen zunächst unter genauer Anleitung durch den Lehrer, dann aber zunehmend selbständig Experimente (bei Beschränkung auf unkomplizierte, leicht erfaßbare Gegenstände, etwa beim Schülerexperiment „Erarbeiten des Hebelgesetzes“ oder „Bestätigen des Gesetzes von Archimedes“) durch. Bei der Anfertigung von Protokollen wird auch die Durchführung des Experimentes beschrieben, z.B. beim Schülerhauserperiment „Untersuchen der Wirkung des Luftdruckes“. Fehler, die wesentlichen Einfluß auf die Ergebnisse des Experiments haben, werden von den Schülern zunehmend selbst erkannt /6; S. 4/. Die Durchführung dieser Tätigkeiten führt zur Weiterentwicklung des Könnens in Richtung Bewußtheit und Selbständigkeit.

Klasse 8: Das höhere Niveau zeigt sich darin, daß die Schüler nunmehr zunehmend selbständig Experimente durchführen und auswerten können. Sie sollen auch in die Planung von Experimenten einbezogen werden. Am Ende des Schuljahres ist das Können der Schüler so weit entwickelt, daß sie Experimente von der Planung bis zur Auswertung relativ selbständig durchführen können.

Klasse 9/10: In diesen Klassenstufen wird das erreichte Könnensniveau bei der experimentellen Arbeit hinsichtlich der Bewußtheit, Selbständigkeit systematisch erhöht, so daß die Schüler am Ende der 10. Klasse in der Lage sind, Experimente selbständig und schöpferisch durchzuführen. Entsprechende Verfahrenkenntnisse bilden die Grundlage für ein bewußtes Arbeiten.

3. Zu den Schülertätigkeiten im Physikunterricht

Unter den vielfältigen Tätigkeiten, die der Schüler im Physikunterricht ausführen muß, haben einige für die Ausbildung des Könnens besondere Bedeutung. Zu diesen Tätigkeiten zählen

. die typischen Erkenntnistätigkeiten

- Beobachten
- Beschreiben
- Erklären der Wirkungsweise technischer Geräte und physikalischer Erscheinungen
- Verallgemeinern
- Folgern (als Ableiten, Voraussagen)
- Prüfen (direkte Beobachtung, Bestätigen)
- Begründen

. Tätigkeiten bei der Anwendung der Mathematik im Physikunterricht

- Erfassen, Darstellen und Analysieren physikalischer Zusammenhänge in Form von Tabellen, Diagrammen, Proportionalitäten und Gleichungen
- Definieren physikalischer Größen
- Erklären von Erfahrungstatsachen und von experimentellen Ergebnissen sowie Vorausbestimmen des Verlaufs physikalischer Prozesse in Natur und Technik durch das Interpretieren von Gleichungen und Diagrammen sowie durch das Berechnen physikalischer Größen
- Herleiten von Gesetzen und Beziehungen zwischen physikalischen Größen
- Darstellen räumlicher Beziehungen zwischen physikalischen Objekten /8; S. 12/.

Diese geistigen Tätigkeiten sind Elemente wissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen und treten bei Leistungsanforderungen auf. Sie sind sowohl ein Mittel der methodischen Gestaltung des Physikunterrichts als auch Unterrichtsstoff, in Form von Verfahrenkenntnissen (Methodenwissen) z.B. beim Beschreiben technischer Geräte und Erklären der Wirkungsweise derselben (Klasse 7) oder beim Gewinnen von Gesetzen ausgehend, von empirischen Befunden bzw. von theoretischen Aussagen.

Eine eindeutige Verständigung zwischen Lehrer und Schüler ist Voraussetzung für die Auslösung der beabsichtigten Schülertätigkeiten. Man kann davon ausgehen, daß von der Umgangssprache her den Schülern die Bedeutung der Tätigkeitsbezeichnung geläufig ist. Es gibt aber einige Bezeichnungen für Tätigkeiten, die im täglichen Leben anders als im Physikunterricht gebraucht werden, z.B. Erklären und Begründen.

Nachfolgende Charakterisierung einiger Tätigkeiten soll beim richtigen Gebrauch helfen.

Beobachten

Wissenschaftliche Erkenntnistätigkeit mit dem Ziel, bewußt ausgewählte Gegenstände, Vorgänge oder Zustände durch zielgerichtete, sinnliche Wahrnehmung bezüglich ihrer Existenz oder ihrer Veränderung zu erfassen.

Beispiel: Die Schüler beobachten die im Unterricht gezeigten Experimente, z.B. Klasse 7: Einfache Demonstration verschiedener Energieträger und der von diesen verrichteten Arbeiten bzw. der von diesen abgegebenen Wärme oder des von diesen abgestrahlten Lichtes.

Beschreiben

Wissenschaftliche Erkenntnistätigkeit mit dem Ziel, beobachtete physikalische Sachverhalte bezüglich ihrer äußeren wahrnehmbaren Merkmale mit sprachlichen Mitteln und in systematisch geordneter Folge darzustellen. Die Beschreibung gibt an, wie der Sachverhalt beschaffen ist, aber nicht, warum er so und nicht anders beschaffen ist.

Beispiel: Klasse 7: Schülerexperiment (Hausexperiment):
Untersuchen der Übertragung der Energie an gekoppelten Pendeln: Beobachten und Beschreiben der Energieübertragung.
Zwei Pendelschwinger sind miteinander gekoppelt. Stößt man den einen Schwinger an, so beginnt nach einer Weile auch der zweite Schwinger zu schwingen. Dabei verkleinert sich die Schwingungsweite des ersten Schwingers. Schließlich ist der erste Schwinger in Ruhe, nur der zweite schwingt. Dann verläuft der Vorgang in umgekehrter Weise. - Zunächst wurde dem ersten Schwinger Energie zugeführt, diese wurde nach und nach an den zweiten Schwinger übertragen, bis die gesamte Energie übertragen worden ist.

Weitere Hinweise zu dieser Tätigkeit und weitere Beispiele findet der Leser bei Opherden /10, S. 352/.

Erklären

Wissenschaftliche Erkenntnistätigkeit mit dem Ziel, physikalische Erscheinungen und die Wirkungsweise technischer Geräte aus Gesetzes- und Bedingungsansagen abzuleiten und festzustellen, warum ein Sachverhalt so und nicht anders beschaffen ist.

Es ist erforderlich, das Erklären nicht beim Nennen des Gesetzes abubrechen, sondern die Erklärung als logische Schlußkette in verbaler Form darzustellen.

Beispiele: Klasse 6: Erklären der Wirkungsweise eines Mikroskopes. Das vergrößerte Bild eines sehr kleinen Gegenstandes wird im Mikroskop beobachtet. Warum entsteht ein vergrößertes Bild? Bedingungsansagen: Bestimmte Lage der Sammellinsen; bestimmte Lage des Gegenstandes bezüglich des Objektives. Gesetzesansagen: Abbildungsgesetze bei Lage des Gegenstandes innerhalb und außerhalb der einfachen Brennweite einer Sammellinse. Schlußkette: Beim Mikroskop erzeugt das Objekt ein wirkliches, vergrößertes Zwischenbild innerhalb der einfachen Brennweite des Okulars. Das Okular wirkt wie eine Lupe und erzeugt ein vergrößertes, scheinbares Bild /4; S. 231/.

Klasse 7: Erklären einfacher physikalischer Vorgänge mit dem Gesetz von der Erhaltung der Energie. Ein schwingendes Pendel wird beobachtet und der Bewegungsvorgang beschrieben. Bedingungsansagen: Pendel schwingt frei; Arbeit zur Überwindung der Luftreibung bleibt unberücksichtigt. Gesetzesansagen: Energieerhaltungssatz. Schlußkette: Durch Anstoßen erhält das Pendel kinetische Energie. Bei der Bewegung wird der Pendelkörper gehoben: kinetische Energie wird in potentielle Energie umgewandelt, Gesamtenergie konstant. Im Umkehrpunkt nur noch potentielle Energie vorhanden. Bei der entgegengesetzten Bewegung wird potentielle Energie wieder in kinetische Energie umgewandelt.

Die zum Erklären benutzten Aussagen können gesichert oder mehr oder weniger gesichert sein.

Sind die zur Erklärung eines Sachverhaltes erforderlichen Gesetzes- oder Bedingungsansagen den Schülern nicht bekannt, dann wird versucht, eine wissenschaftlich begründete Vermutung, eine Hypothese, zu finden, die eine Erklärung möglich macht.

Begründen

Wissenschaftliche Erkenntnistätigkeit mit dem Ziel, Argumente in Form von Beobachtungen, Erfahrungen, gesicherten Erkenntnissen, aber auch von Gesetzen, Normen, Interessen, Bedürfnissen usw. zu theoretischen Aussagen oder menschlichen Verhaltensweisen beizubringen, welche diese Aussagen oder Verhaltensweisen als wahr bzw. glaubwürdig oder falsch bzw. unglaubwürdig erscheinen lassen.

Beispiele: Klasse 7: Begründen, daß der Wirkungsgrad von Anlagen für die Energieumwandlung in der Praxis stets kleiner als 100 % ist: Energiebilanz vor und nach der Umwandlung; Nutzenergie; Definitionsgleichung des Wirkungsgrades.

Klasse 6 /11; S. 95/ Aufgabe 3: Begründe, warum die Rohre der Fernheizung mit Glaswolle und glänzendem Aluminiumblech umgeben sind. Schätzen Sie die volkswirtschaftliche Bedeutung ein! Diese Maßnahmen sollen eine unerwünschte Wärmeübertragung verhindern. An sich genügt es, die Rohre mit einem Luftpolster zu umgeben. Dabei würden in der Luft Wärmeströmungen auftreten. Diese wird durch das Einlagern von Glasfasern verhindert. - Durch das glänzende Aluminiumblech wird die Wärmestrahlung, die vom Heizungsrohr ausgeht, so reflektiert, daß sie wieder auf das Rohr auftrifft. - Durch die Wärmedämmung werden Wärmeverluste gering gehalten. Es werden weniger Brennstoffe benötigt, um den Bedarf zu decken.

Folgern

Wissenschaftliche Erkenntnistätigkeit mit dem Ziel, durch deduktives Schließen (ohne direkte Zuhilfenahme der Praxis) aus gesicherten oder mehr oder weniger gesicherten Aussagen neue Aussagen zu gewinnen.

Eine spezielle Form des Folgerns ist das

Voraussagen

Folgern mit dem Ziel, neue, bisher dem Schüler noch nicht bekannte Sachverhalte zu erschließen. Das Ergebnis ist eine Voraussage (Prognose).

Beispiel: Klasse 7: Vorhersagen von Zugkräften am Flaschenzug durch Anwenden der Erkenntnisse an der losen Rolle auf den Flaschenzug, der aus mehreren losen und festen Rollen besteht. Voraussage S. 72

4. Zur Entwicklung des Könnens im Physikunterricht

4.1. Allgemeine Voraussetzungen

1. Bei der Planung, Vorbereitung und Durchführung des Unterrichts müssen die im Lehrplan ausgewiesenen Schülertätigkeiten konsequent beachtet werden.

Bei der Vermittlung der Unterrichtsstoffe müssen die Schüler geeignete Tätigkeiten ausführen. Um den Lehrer bei der Auswahl zu unterstützen und um ein ausgewogenes Verhältnis zwischen den verschiedenen Tätigkeiten innerhalb einer Klassenstufe und des gesamten Physiklehrganges zu gewährleisten, werden in den Lehrplänen zu jeder Stoffeinheit „Wesentliche Schülertätigkeiten“ verbindlich angegeben.

Beispiel:

Im Lehrplan für die Klasse 7 /6/ sind folgende Tätigkeiten angegeben (Reihenfolge nach der Anzahl der Nennungen): Beschreiben, Erklären, Erläutern, Berechnen, Vergleichen, Untersuchen, Umrechnen, Nennen, Unterscheiden, Systematisieren, Bestimmen, Anwenden, Zeichnen, Messen, Vermuten und Prüfen, Vorhersagen, Verallgemeinern, Begründen, Berichten /6; S. 19 ff/.

Der Lehrer hat die Ziele einer Stoffeinheit nicht erreicht, wenn er nur stoffliche Fakten vermittelt hat, die Schüler aber nicht die vorgegebenen Tätigkeiten ausgeführt haben.

Die neuen Lehrpläne zeichnen sich durch eine erhöhte Anzahl von Schülerexperimenten aus. Bei der Durchführung dieser Experimente werden von den Schülern vielfältige geistige und geistig-praktische Schülertätigkeiten gefordert.

Schülerexperimente im Stoffgebiet „Mechanik der Flüssigkeiten und Gase“:

Beobachten von Druckunterschieden bei Verringerung des Volumens und bei Erhöhung der Temperatur der Luft mit Hilfe eines U-Rohr-Manometers: Verringern des Volumens bzw. Erhöhen der Temperatur von Luft, Beobachten der Druckunterschiede.

Untersuchen der Wirkungen des Luftdrucks (Hausexperiment): Beobachten der Wirkungen des Luftdruckes, Beschreiben des Experiments, Erklären der beobachteten Erscheinung.

Bestätigen des Gesetzes von Archimedes: Messen der Auftriebskraft und des Volumens des verdrängten Wassers, Vergleichen von Auftriebskraft und Gewichtskraft des verdrängten Wassers, Nennen der Fehler.

Untersuchen der Bedingung für das Schwimmen von Körpern:
Messen der Gewichtskraft des Körpers und des Volumens des verdrängten Wassers, Bestimmen der Gewichtskraft des verdrängten Wassers, Vergleichen der Gewichtskräfte, Nennen der Fehler.

Im Lehrbuch sind vielfältige Aufgaben zur Realisierung der vom Lehrplan vorgegebenen Tätigkeiten enthalten. Darauf wird auch in den Unterrichtshilfen Bezug genommen. Die Schüler werden zur richtigen Ausführung dieser Tätigkeiten durch deren häufige Anwendung sowie durch das Vormachen durch den Lehrer angeleitet.

2. Der Unterricht muß konsequent tätigkeitsorientiert sein. Er muß den Schülern Gelegenheit geben, aktiv tätig zu sein. Das kann z.B. durch das bewußte Schaffen von Widersprüchen zwischen dem vorhandenen Wissen und Können der Schüler und den gestellten Anforderungen, durch die Einbeziehung der Schüler in eine entwickelnde oder problemhafte Darstellung des Lehrstoffes erfolgen (dazu S. 36 bis S. 51).

Beispiel:

In Klasse 9 wird das Wirkprinzip des Gleichstrommotors behandelt. Das Prinzip des Kommutators wird vom Lehrer nicht gegeben und erläutert, sondern im Unterrichtsgespräch erkennen die Schüler die Notwendigkeit, beim Gegenüberstehen der Pole des Ankers und des Feldmagneten die Stromrichtung im Anker und damit die Polarität des Ankers zu wechseln.

3. Eine ungenügende Ausführung einer Tätigkeit ist nicht notwendig Ausdruck eines nicht vorhandenen Könnens. Versagen tritt auch ein, wenn der Schüler keine anwendbaren und sicheren Kenntnisse besitzt oder eine negative Einstellung zu der von ihm geforderten Tätigkeit hat. In diesem Fall führt auch sein Tätigsein nicht zu einer Verbesserung seines Könnens. Sichere und anwendbare Kenntnisse (Sach- und Verfahrenkenntnisse) und eine positive Einstellung des Schülers zu seiner Tätigkeit sind wesentliche Bedingungen für eine erfolgreiche und vor allem könnenswirksame Ausführung einer Handlung. Nur auf der Basis eines wissenschaftlichen, parteiischen und lebensverbundenen Unterrichts werden diese Bedingungen erfüllt.

4. Untersuchungen haben gezeigt, daß die Ausbildung des dialektisch-materialistischen Denkens bei den Schülern eine weitere wesentliche Voraussetzung für die Entwicklung ihres Könnens ist.

Zur Entwicklung des dialektisch-materialistischen Denkens wird beigetragen, wenn die physikalischen Objekte in ihrer Bewegung und Veränderung betrachtet werden, den Schülern der Weg der Erkenntnis von der Erscheinung zum Wesen, das Wechselverhältnis von Einzelnem, Besonderem und Allgemeinem, die dialektische Einheit von Empirischem und Theoretischem sowie von Theorie und Praxis bewußt gemacht wird und sie dazu erzogen werden, beim Erkennen des Wesens einer Erscheinung die vielfältigen Zusammenhänge zu beachten.

Beispiele:

Die Behandlung der Stoffgebiete beginnt oft mit Hinweisen auf die historische Entwicklung und die praktische Bedeutung der folgenden Unterrichtsinhalte, in Klasse 7 z.B. zur historischen Entwicklung der Mechanik der Gase und Flüssigkeiten.

In Klasse 7 wird bei der Behandlung der Reibungskraft auf die „erwünschte und unerwünschte Reibung im täglichen Leben und in der Technik“ durch Erläutern von Beispielen für die Reibung und für die Veränderung von Reibungskräften in der Technik eingegangen.

4.2. Spezielle didaktisch-methodische Maßnahmen zur Könnensentwicklung

Im Mittelpunkt der Vermittlung von Verfahren steht das Bewußtmachen ihrer Funktion, ihrer Struktur und ihres Verlaufs. Dazu ist es notwendig, den Gesamtverlauf in Teilschritte zu zerlegen und in einer Orientierungsgrundlage für den Schüler (Schrittfolge oder Handlungsvorschrift) darzustellen.

Der Prozeß der Vermittlung verläuft über einen längeren Zeitraum. Man kann dabei folgende Phasen unterscheiden:

1. Phase (Phase der Vorbereitung): Der Lehrer gibt den Schülern genaue Anweisungen über die durchzuführenden Teiltätigkeiten, ohne ihnen den Gesamtverlauf explizit bewußtzumachen. Die Schüler werden dabei an einen bestimmten Verlauf gewöhnt. Untersuchungen haben gezeigt, daß schon das mehrmalige Nachvollziehen einer Tätigkeit für deren Ausbildung wertvoll ist. (Über das Verhältnis, in dem dieses Nachvollziehen und das folgende Bewußt-

machen stehen muß, um einen optimalen Unterrichtserfolg zu erzielen, gibt es z.Zt. keine gesicherten Aussagen). Um die Einheit von Gewöhnen und Bewußtmachen zu realisieren, ist es unbedingt erforderlich, daß der Lehrer stets den gleichen, für das Verfahren typischen Verlauf beachtet und einhält (Vorbildwirkung des Lehrers!).

2. Phase (Phase des Bewußtmachens): Der Verlauf der Tätigkeit bzw. des Verfahrens wird bewußtgemacht. Meist wird anhand eines Beispiels eine Schrittfolge mit den Schülern erarbeitet.

Beispiele:

Einige Arbeitsverfahren der Physik sind Unterrichtsstoff des Physikunterrichts in Klasse 6. Im Lehrbuch Physik für Klasse 6 /11; S. 102/ werden die Arbeitsverfahren Beobachten, Beschreiben, Erklären und Messen beschrieben. Diese Tätigkeiten werden den Schülern an dieser Stelle bewußtgemacht, obwohl sie diese Tätigkeiten bereits durchgeführt haben. Die Schüler erfahren z.B., daß es beim Erklären darauf ankommt, Erscheinungen und Vorgänge auf bekannte Zusammenhänge und Gesetze zurückzuführen. Sie erhalten damit eine erste Orientierung, was beim Erklären zu beachten ist.

Im Lehrplan für Klasse 7 /5/ wird das Beschreiben technischer Geräte und das Erklären der Wirkungsweise derselben mit den Schülern geübt. Dafür sind z.B. Anwendungen kraftumformender Einrichtungen, Meßgeräte für den Druck sowie Druck- und Saugpumpe geeignete Objekte. Im Lehrbuch wird die Struktur dieser Tätigkeit bei der Behandlung kraftumformender Einrichtungen in einfacher, schülergemäßer Form deutlich gemacht. Es wird mit den Schülern folgende heuristische Handlungsvorschrift erarbeitet:

- Wie wird das technische Gerät bezeichnet?
- Wozu wird das technische Gerät verwendet?
- Welches physikalische Gesetz wird angewendet?
- Aus welchen Teilen besteht das technische Gerät?
- Wie wirkt das technische Gerät? /1; S. 30/

In den Textteilen des Lehrbuchs, welche die Beschreibung und die Wirkungsweise technischer Geräte zum Gegenstand haben, wird stets die gleiche Struktur eingehalten. Sie muß auch bei der Gestaltung des Unterrichts vom Lehrer berücksichtigt werden.

In Klasse 9 wird zunehmend der Weg der Erarbeitung eines Gesetzes, ausgehend von theoretischen Aussagen, beschrieben. Es ist z.B. mit gutem Erfolg erprobt worden, das Weg-Zeit-Gesetz der gleichmäßig beschleunigten Bewegung theoretisch zu erarbeiten (S. 104).

Um den Schülern dieses Verfahren bewußtzumachen, wird folgende Schrittfolge vorgeschlagen:

- Analysieren des physikalischen Inhaltes und der gegebenen Bedingungen

- Nennen bekannter Sätze (Gleichungen), die für den Sachverhalt unter Beachtung der Bedingungen gelten
- Formulieren eines Ansatzes (Gleichung)
- Umformen des Ansatzes unter Beachtung weiterer geltender Gesetze (Gleichungen)
- Formulieren eines Ergebnisses (Gleichungen)
- Interpretieren und Anwenden des hergeleiteten Gesetzes.

Das Lösen von Aufgaben ist ein wertvolles Mittel zur Ausbildung des Könnens. Es ist dabei zweckmäßig, die Schüler an eine bestimmte Abfolge der Teilschritte zu gewöhnen. In den Lehrbüchern für Physik (z.B. /11/ und S. 134 - 154) wird stets folgendes Vorgehen eingehalten:

- Aufgabenstellung
- Analyse, bestehend aus einer Skizze und der Angabe der gesuchten und gegebenen Größen
- Plan der Lösung (nur bei umfangreichen Aufgaben)
- Lösung
- Ergebnis.

(Zum Finden des Lösungsplanes gibt eine Schrittfolge zum Rechnen mit physikalischen Größen und Größengleichungen nach Göbel /2; S. 94/ wertvolle Hilfe).

Diese Beispiele zeigen, wie wissenschaftliche Arbeitsverfahren, die im Lehrplan ausgewiesen sind, für die Schüler aufbereitet werden können. Solche Orientierungsgrundlagen können die Abfolge der notwendigen Schritte in mehr oder weniger algorithmischer oder mehr oder weniger heuristischer Form kennzeichnen.

3. Phase (Phase des Generalisierens und Anwendens): In dieser Phase der Vermittlung erfolgt das Generalisieren und bewußte Anwenden des Verfahrens in Verbindung mit unterschiedlichen Inhalten, etwa zum Lösen von Aufgaben. Dadurch wird die Fähigkeit entwickelt, erworbene Kenntnisse auf neue Zusammenhänge zu übertragen und die Methoden und Verfahren zunehmend bewußt und selbstständig anzuwenden. Dabei ist es u.U. notwendig, die Schrittfolge zu erweitern oder zu verkürzen, wie Grosche /3/ bei der methodischen Aufbereitung der Tätigkeit „Erklären physikalischer Erscheinungen“ gezeigt hat.

Literatur:

- /1/ Bienioschek, H. : Ziele, Inhalt und methodische Konzeption des Physikunterrichts in Klasse 7 nach dem neuen Lehrplan und seine Einordnung in den Gesamtlehrgang.
In: „Physik in der Schule“, Berlin, 22 (1984) 1/2, S. 3 - 37

- / 2/ GÜbel, R.: Wissensspeicher Größen und Einheiten.
Volk und Wissen Volkseigener Verlag,
Berlin 1982

- / 3/ Grosche, I.: Wie befähigen wir die Schüler der Klasse
6 zum Erklären physikalischer Erscheinun-
gen.
In: "Physik in der Schule", Berlin,
13 (1975) 4, S. 161 - 166 und S. 171

- / 4/ Grosche, I.: Zum Erklären physikalischer Sachverhalte
im Unterricht der Klasse 6.
In: "Physik in der Schule", Berlin,
22 (1984) 6, S. 227 - 232

- / 5/ Lehrplan Physik. Klasse 6. Volk und Wissen Volkseigener
Verlag, Berlin 1982.

- / 6/ Lehrplan Physik. Klasse 7. Volk und Wissen Volkseigener
Verlag, Berlin 1983.

- / 7/ Lehrplan Physik. Klassen 6 bis 10. Volk und Wissen Volke-
eigener Verlag, Berlin 1977.

- / 8/ Liebers, Kl.: Anwendungen der Mathematik im Physik-
unterricht. Beiträge zum Physikunter-
richt. Volk und Wissen Volkseigener
Verlag, Berlin 1982.

- / 9/ Lompscher, J.: Theoretische und experimentelle Untersu-
chungen zur Entwicklung geistiger Fähig-
keiten.
Volk und Wissen Volkseigener Verlag,
Berlin 1972.

- /10/ Opherden, S.: Wie befähige ich die Schüler zum richti-
gen Beobachten und exaktem Beschreiben?
In: "Physik in der Schule", Berlin,
21 (1983) 9, S. 352 - 357

- /11/ Physik. Lehrbuch für Klasse 6. Volk und Wissen Volkseige-
ner Verlag, Berlin 1983.

- /12/ Methodik des Physikunterrichts in der DDR und der UdSSR.
Volk und Wissen Volkseigener Verlag,
Berlin und Verlag Prosweitschenije,
Moskau 1978.

Zur Erhöhung der geistigen Aktivität der Schüler im Physikunterricht durch problemhafte Unterrichtsgestaltung

1. Anforderungen an den Physikunterricht

Unter den Bedingungen des wissenschaftlich-technischen Fortschritts stellt sich immer stärker die Forderung, den Schüler so vorzubereiten, daß er ein aktives, die gesellschaftlichen Prozesse vorwärtstreibendes Mitglied der sozialistischen Gesellschaft wird. Dies bedeutet, der Schüler muß sich die Inhalte des Physikkurses so aneignen, daß sie dauerhaft, disponibel und anwendungsbereit werden. Er muß in der Lage sein, sein Wissen und Können auf neue Situationen anzuwenden. Dazu bedarf es der Beherrschung der entsprechenden Arbeitsmethoden und der notwendigen Einstellungen und Verhaltensweisen.

Dieses Ziel ist aber nur zu erreichen, wenn der Schüler genügend Möglichkeiten erhält, den Unterrichtsprozeß aktiv mitzugestalten. Er muß von der Objektposition stärker in die Subjektposition gebracht werden /1/.

Dabei ist zu berücksichtigen, daß der einzelne Schüler als Mitglied des Klassenkollektivs diese Anforderung in unterschiedlicher Weise, je nach seinen Begabungen und Interessen, in den einzelnen Fächern des obligatorischen und fakultativen Unterrichts realisiert.

Um alle Schüler anzuregen, sind Phasen des schöpferischen Lernens stärker in den obligatorischen Unterricht einzubeziehen. Solche bestehen besonders im

- Aufdecken von Analogien oder Ähnlichkeiten
- Finden neuer - anderer als der behandelten - Lösungswege
- Interpretieren komplexer mathematisch-physikalischer Beziehungen einschließlich Tabellen und grafischer Darstellungen
- Erklären und Voraussagen physikalischer, naturwissenschaftlicher oder technisch-physikalischer Sachverhalte
- Projektieren neuer Experimentieranordnungen oder Geräteanordnungen
- moralischen und ideologischen Werten von erziehungsträchtigen Sachverhalten mit physikalisch-naturwissenschaftlichem oder physikalisch-technischem Inhalt.

Diese Phasen sind so zu gestalten, daß sie für möglichst viele Schüler lernmotivierenden Charakter haben. Eine Möglichkeit zur Erreichung dieser Ziele stellt die problemhafte Unterrichtsgestaltung dar.

2. Was heißt problemhafte Unterrichtsgestaltung in den naturwissenschaftlichen Fächern? /2/

Problemhafter Unterricht in den naturwissenschaftlichen Fächern ist ein erkenntnisprozeßgerechter Lehr- und Lernprozeß, in dessen Mittelpunkt das Problembearbeiten (Problemstellen und Problemlösen) steht, und der sich auszeichnet durch Variantenreichtum des Vorgehens, durch besondere Förderung der Aktivität der Schüler, durch Maßnahmen zum Auslösen und Wachhalten der Lernmotivation. Somit zielt problemhafter Unterricht in den naturwissenschaftlichen Fächern auf die Entwicklung von Schöpferfertum auf naturwissenschaftlichem Gebiet und auf die Entwicklung moralischer und ideologischer Werturteile in Verbindung mit naturwissenschaftlichen (technischen) Sachverhalten.

Problemhafter Unterricht in den naturwissenschaftlichen Fächern wird realisiert durch

- eine variable, auf Schülertätigkeit orientierte Unterrichtsführung, die auf die Auslösung geistiger Aktivität gerichtet ist. Sie berücksichtigt die Erfahrungen der Schüler, beachtet in starkem Maße die Ideen und Meinungen der Schüler in Verbindung mit dem Lerngegenstand, verwirklicht alle Seiten der experimentellen Tätigkeit, löst kooperative Tätigkeiten aus und macht die Anwendbarkeit angeeigneten Wissens und Könnens deutlich. Dadurch wird ein stärkeres Lerninteresse hervorgerufen. Diese Unterrichtsführung fördert und fordert schöpferische Schülertätigkeiten.
- umfassende Problembearbeitungen an wesentlichen Inhalten des naturwissenschaftlichen Lehrganges, die dadurch ausgezeichnet sind, daß die Schüler in größerem Umfang schöpferisch und wertend tätig sind. Der Lehrer unterstützt diesen Prozeß durch wohlabgestimmte, der Klassensituation entsprechende, heuristische Führungsmaßnahmen.

Problemhafter Unterricht beschränkt sich aber nicht auf diese Unterrichtsabschnitte. Die umfassenden Problembearbeitungen sind Höhepunkte im Befähigungsprozeß der Schüler, sie müssen unbedingt ergänzt werden durch

- das Auslösen schöpferischer Schülertätigkeiten an geeigneten Stellen des Unterrichtsprozesses, ohne daß ein vollständiger Problembearbeitungsprozeß abläuft,
- Aneignung und Reaktivierung von Wissen und Können auch auf reproduktive und applikative Weise, als Basis für die Bewältigung schöpferischer Situationen.

Da Wissen und Können nur effektiv angeeignet werden, wenn der Schüler „Anwendungen“ sieht und die Notwendigkeit der Aneignung erkennt, ist ein motivierender und zielorientierender Unterrichtsabschnitt am Beginn einer neuen Thematik notwendig.

Problemhafter Unterricht enthält deshalb

- Erörterungen zum Beginn neuer Stoffeinheiten, die der Motivation, Zielorientierung und Selbstkontrolle für den gesamten Abschnitt dienen. Das kann das Auslösen einer übergreifenden Problemsituation (bezogen auf die gesamte Stoffeinheit) und die Erarbeitung einer „Zielliste“ für die Stoffeinheit einschließen.

Problemhafter Unterricht ist gerichtet auf die

- systematische Ausbildung von naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen, die Entwicklung ideologischen, moralischen Wertens und die Beachtung motivierender Aktivitäten.

Andererseits ist diese systematische Ausbildung Voraussetzung für die Bewältigung schöpferischer Situationen in Form von naturwissenschaftlichen Problemen.

Ein so konzipierter problemhafter Unterricht trägt dazu bei, das Gesamtkonzept der Bildung und Erziehung in den naturwissenschaftlichen Fächern zu realisieren. Er stellt ein effektives Mittel dar, die Schüler

- zu anwendbarem, sicherem, disponiblen Wissen und Können der wesentlichen Inhalte der Lehrpläne,
- zum Erkennen der weltanschaulichen Potenzen der Naturwissenschaften und ihrer Umsetzung in ideologische und moralische Werte,

- zur Aneignung solcher moralischer Verhaltensweisen, die für die Tätigkeit des Facharbeiters und des Hochschulabsolventen in der sozialistischen Gesellschaft gleichermaßen wichtig sind, zu führen.

3. Stellen und Lösen physikalischer Probleme

Ein wichtiges Element des problemhaften Unterrichts sind Problembearbeitungen. Dabei ist es wichtig zu wissen, in welchen Etappen und Phasen eine solche Problembearbeitung abläuft. Für den naturwissenschaftlichen Unterricht hat sich eine Unterteilung in Problemstellen und Problemlösen bewährt. Die einzelnen Phasen sind in Abb. 1 dargestellt. Sie haben gleichzeitig Teilzielcharakter bei der Planung des Unterrichtsprozesses. Die Schülertätigkeiten stehen im Mittelpunkt, die Lehrertätigkeiten sind als Anregungen für die Auslösung der Schülertätigkeiten gedacht. Der Lehrer muß sich immer wieder klarmachen, daß er die Lösung kennt, für ihn der Auftrag kein Problem ist, für den Schüler aber die notwendigen Wege oder/und die notwendigen Bedingungen nicht gegeben sind, der Schüler also ein Problem zu lösen hat.

Ein Problem sei ein System von Aussagen und Aufforderungen bzw. Fragen, bei dem der Erkenntnisstand des Schülers nicht ausreichen bzw. ihm kein Algorithmus bekannt ist, um das in den Anforderungen bzw. Fragen gestellte Ziel zu erreichen.

Probleme können nicht durch Reproduzieren und einfaches Kombinieren gelöst werden, sondern erfordern die Suche nach noch Unbekanntem, Neuem, unter Berücksichtigung mehrerer Lösungsmöglichkeiten, also schöpferische Tätigkeiten.

PROBLEMBEARBEITUNG
realisiert durch
Schülertätigkeit und Lehrertätigkeit
(Auswahl von Beispielen)

A. PROBLEMSTELLEN

Schüler erlangt Problembewußtsein durch

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Erfassen des Verwunderlichen, Widersprüchlichen etc.• Analysieren der Problemsituation• Formulieren des Problems | <ul style="list-style-type: none">• Gestalten der Problemsituation• Impulse zum Analysieren• Korrigieren bzw. Präzisieren der Problemformulierung |
|--|---|

B. PROBLEMLÖSEN

Schüler erlangt

PROBLEMLÖSEVERHALTEN durch

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Inbeziehungsetzen des Problems mit vorhandenem Wissen und Können• Aufstellen von Lösungsideen<ul style="list-style-type: none">- Hypothesen, Prognosen, Prototyp- von Folgerungen• Planen der Überprüfung• Überprüfen• Rückschließen:<ul style="list-style-type: none">zur Folgerungzur Lösungsideezum Problem• Formulieren des Ergebnisses und ggf. Darstellen weiterer Probleme | <ul style="list-style-type: none">• Einsetzen von Führungsmaßnahmen zur Suchraumeinschränkung• Darbieten, Hinweisen auf Analogien etc.• Stellen von Zusatzaufträgen• Auslösen logischer Operationen• Steuerung der Suchraumeingrenzung bzw. des Kombinieren von vorhandenem Wissen und Können• Auslösen von angeeigneten Fertigkeiten und Gewohnheiten• Einsetzen von Führungsmaßnahmen zum zielgerichteten Vergleichen• Einsetzen von Führungsmaßnahmen zur präzisen Formulierung, zum Erkennen der Wirkungsbedingungen |
|---|---|

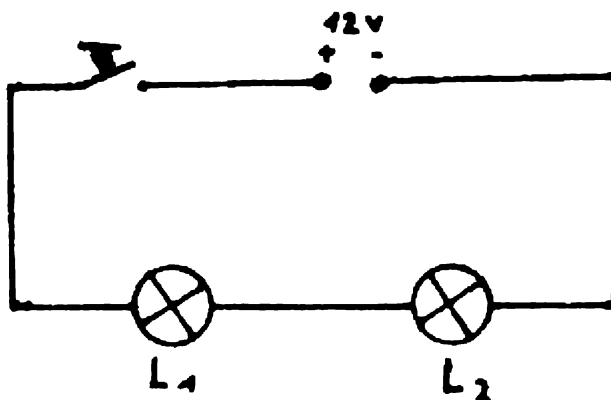
Abb. 1

4. Problemhafte Unterrichtsgestaltung erfordert eine entsprechende Lehrstrategie

In der Unterrichtspraxis ist sehr häufig festzustellen, daß der geplante Ablauf der Stunde erkenntnistheoretisch allen Anforderungen entspricht. Trotzdem werden die Ziele der Stunde nur teilweise erreicht. Analysiert man die Situation, so stellt man fest, daß die Gedankengänge der Schüler anders verlaufen als die „idealen“ geplanten erkenntnistheoretischen Wege. Dadurch kommt es sehr oft zu einem uneffektiven Frage-Antwort-Gespräch, bei dem der Lehrer Begriffe oder Erscheinungsbilder „erfragt“, die der Schüler gar nicht wissen kann.

Wie stark die Erfahrung den Prozeß der Erarbeitung auch hindern kann – wenn sie nicht beachtet wird –, soll das eine Beispiel zeigen:

Die Schüler werden mit der folgenden Schaltung vertraut gemacht:



L_1 : 6 V; 0,1 A

L_2 : 6 V; 0,4 A

Abb. 2

Sie nehmen wahr, daß nur eine der Glühlampen leuchtet. Es wird nur gesagt, daß es sich um 6-V-Lampen handelt. Sie werden aufgefordert, diese – doch verwunderliche – Erscheinung zu erklären.

Die Schüler haben sowohl im Werkunterricht der Klasse 5 und 6 als auch im Physikunterricht gelernt, daß ein Strom nur in einem geschlossenen Kreis fließen kann, trotzdem geben über 30 % als Grund für das Nichtleuchten der Lampe L_1 an, daß sie defekt ist. Diese für einen Physiker oder physikgebildeten Menschen völlig unverständliche Antwort verleitet vielfach den Lehrer leicht zu einer kurzen negativen Wertung der Antwort. Geht man der Antwort auf den Grund, so stellt man u.a. fest, daß die Schüler eine Analogie in der modernen elektrischen Weihnachtsbaumbeleuchtung suchen. Beim Durchbrennen einer Kerze leuchtet die Lichterkette weiter. (Im Sockel ist ein Kitt vorhanden, der beim Anliegen der

vollen Spannung durchschlägt und einen Ersatzwiderstand bildet). Aus der Sicht dieser Schüler ist die Antwort verständlich, wenn man ihre Erfahrungen berücksichtigt.

Geht der Lehrer „leichtfertig“ über die Antwort hinweg, so werden diese Schüler entweder resignieren (sie arbeiten nicht mehr mit) oder sie werden ihren Gedankengängen weiter nachgehen, obwohl der Unterricht auf anderen Wegen fortgeführt wird. Das führt in beiden Fällen zur Abkehr vom Unterrichtsgeschehen

Die geschilderte Situation stellt für die Schüler eine Problemsituation dar. Die abgeleiteten Lösungsideen haben hypothetischen Charakter. Da in der Wissenschaft niemand der Lösungsidee ansieht, ob sie verifizierbar oder falsifizierbar ist, muß auch dem Schüler das Recht eingeräumt werden, seine Idee auf den Wahrheitsgehalt zu überprüfen. Die Kenntnisse des Lehrers über den Wahrheitswert der Lösungsidee dürfen nicht dazu führen, dem Schüler eigene Denkarbeit abzunehmen. So führt die Falsifizierung von Lösungsideen zur Festigung erworbenen Wissens, zur höheren Anwendungsbereitschaft, aber auch zur Beachtung der Bedingungen, unter denen Gesetze gelten. Somit lernt der Schüler, wie er sich in schöpferischen Situationen zu verhalten hat.

Die Ausführungen machen deutlich, daß sich der Lehrer bei Problembearbeitungen nicht darauf beschränken kann, den Unterrichtsprozeß „linear“ zu planen. Er muß mögliche Gedankengänge und Ideen der Schüler voraussehen, um ggf. daran anknüpfen zu können. Da mehrere Lösungsideen, mehrere Folgerungen, mehrere Überprüfungsmöglichkeiten denkbar sind und im Unterrichtsprozeß auftreten können, sind Formen der Fortführung des Unterrichts auf der Basis der möglichen (häufigsten) Schülerideen vorzusehen. So können Lösungsideen geäußert werden, die falsifiziert werden. Dazu ist aber ein entsprechender – in der Regel experimenteller – Aufwand notwendig. Dazu ist eine entsprechende Vorbereitung notwendig.

Im folgenden wollen wir das Vorgehen an typischen Problembearbeitungen zeigen. Die methodischen Grundgedanken sind aber auch im gesamten Unterricht zu berücksichtigen.

- a) Von den Schülern werden sowohl die verifizierbaren Lösungs-
ideen als auch falsifizierbare Lösungsideen angeboten.

Zur Festigung des Gesetzes der gegenseitigen Verdrängung der
Körper wird das folgende Experiment (Abb. 3) /3/ vorgeführt.

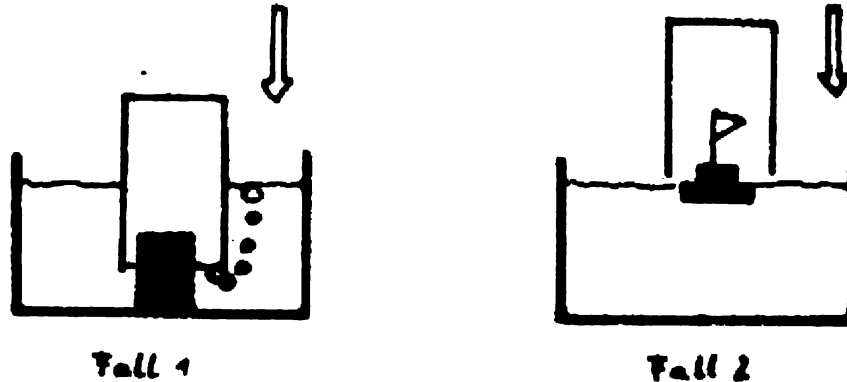


Abb. 3

Fall 1

Fall 2

Die Schüler beobachten, daß im 1. Fall Blasen aufsteigen, im
2. Fall nicht.

Sie werden aufgefordert, dies zu erklären.

(Das Experiment ist gegenüber der üblichen Darstellung so ab-
gewandelt, daß der Körper im Wasser ein großes und der
schwimmende Körper ein kleines Volumen hat. Dies ermöglicht,
die Schüler zu Beginn der Klasse 6 darauf aufmerksam zu ma-
chen, daß man nach Wesentlichem suchen muß).

In der Regel werden folgende Erklärungen (Erklärungsmöglich-
keiten) gegeben:

1. Das Volumen des im Wasser befindlichen Körpers ist wesent-
lich größer, deshalb wird die Luft verdrängt. Beim schwim-
menden Körper kommt es nur zum Zusammendrücken der Luft.
2. Der Körper im Wasser ist schwerer als der schwimmende Kör-
per, deshalb kann er die Luft verdrängen.
3. Beim schwimmenden Körper wird die Luft vor dem Eintauchen
verdrängt. Dabei muß sie nicht durch das Wasser, wie beim
im Wasser befindlichen Körper

Die letztgenannte Lösungsidee (Hypothese) wird gewöhnlich nur
von sehr aufgeweckten leistungsstarken Schülern gebracht.

Im „gewöhnlichen“ Unterricht greift der Lehrer die 3. Lösungs-
idee auf und bestätigt sie als richtige Lösung. Die anderen
Ideen werden – mehr oder minder begründet – als nicht zutref-
fend vom Lehrer abgetan. Eine solche Wertung der geäußerten
Ideen ist aber für die Schüler nicht sehr ermunternd. In der
Regel beschäftigen sie sich noch mit der Frage, warum ihre
Idee nicht richtig ist, während der Unterricht weiterläuft.
Dies führt zu Informationsverlust, der sich in den Leistungen,
aber auch in der Disziplin niederschlägt.

Problemhafte Unterrichtsgestaltung greift deshalb diese Ideen auf. So werden erst Idee 1 und dann Idee 2 überprüft, indem entsprechende Folgerungen überprüft werden (z.B. ein schwimmender Körper mit gleichem Volumen oder ein am Boden befestigter schwimmender Körper).

Entsprechende Körper müssen vor der Stunde bereitgestellt werden. Es handelt sich um bewußte Variationen der Experimentieranordnung. So erleben die Schüler, daß ihre Idee ernst genommen wird, sie erleben aber auch in der Tätigkeit, daß diese nicht das Wesen der Erscheinung trifft. Sie werden neugierig, aufgeschlossen gegenüber verifizierbaren Lösungsideen. Sie werden dann ebenso überprüft. Dabei kann das Vorgehen bei der Überprüfung der Ideen 1 und 2 anregend für das notwendige Vorgehen sein.

- b) Werden bei der Problembearbeitung die verifizierbaren Lösungsideen von den Schülern nicht gefunden, so ist ein langwieriges Erfragen mit starker Hilfe durch den Lehrer nicht sinnvoll. Besser ist es, sofort mit der Überprüfung der vorhandenen, falsifizierbaren Lösungsidee zu beginnen. Dabei wird Unwesentliches ausgesondert und Bedeutsames hervorgehoben. Dies führt - gegebenenfalls mit Unterstützung des Lehrers - zu den entscheidenden Ansätzen, die für die verifizierbaren Lösungsideen notwendig sind. Durch die Überprüfung der aufgestellten Lösungsideen umgeht der Schüler gewissermaßen die „Barriere“.

Beispiel: In der Stoffeinheit „Elektromagnetische Induktion“ wird folgendes Experiment behandelt:

Ein Dauermagnet wird in einen drehbar aufgehängten Aluminiumring hineinbewegt. (Abb. 4)

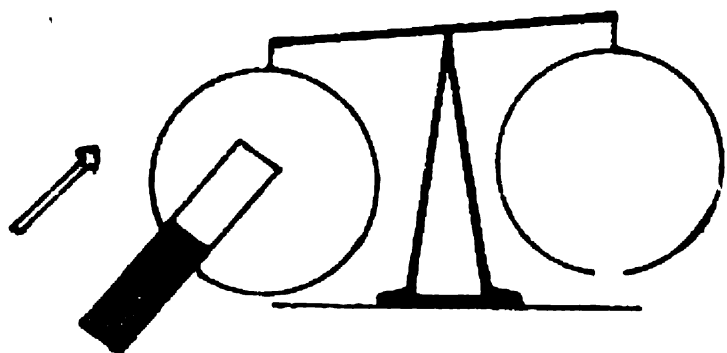


Abb. 4

An diesem Experiment wird in der Regel das Lenzsche Gesetz erarbeitet. Häufig wird den Schülern die entscheidende Denkarbeit abgenommen, indem man ihnen sagt, daß der Ring wie eine Spule wirkt.

Die Schüler suchen die Lösung erfahrungsgemäß in der anziehenden und abstoßenden Bewegung zwischen Magneten und Eisen, weniger in der Induktionserscheinung. Es bietet sich deshalb eine Problembearbeitung an. Wird das Wesen einer solchen Erscheinung erkannt, kann auf dieser Grundlage das Lenzsche Gesetz erarbeitet werden /4/. Erfahrungsgemäß werden als Lösungsideen das Mitbewegen des Ringes durch die bewegte Luft bzw. der Eisenanteil im Ring angegeben. Die Induktionserscheinung wird als Grund selten vom Schüler genannt. Die Überprüfung der ersten beiden Lösungsideen führt zu der Erkenntnis, daß der Dauermagnet und der Metallring (elektrisch leitend) wesentlich für die Erscheinung sind. Aus der Kenntnis, daß diese Voraussetzung auch bei der elektromagnetischen Induktion notwendig war, entsteht der neue Gedanke, der zur verifizierbaren Lösungsidee führt (ausführliche Darstellung in /4/).

- c) Ein weiteres methodisches Vorgehen ergibt sich dann, wenn die Schüler den erteilten Auftrag nicht als Problem erkennen. Sie berücksichtigen wichtige Bedingungen nicht und behandeln den Auftrag wie eine Aufgabe, zu deren Lösung sie einen geeigneten Algorithmus bzw. Lösungsweg zu erkennen glauben. Auch hier muß man in der Unterrichtspraxis häufig feststellen, daß der Lehrer zu schnell Wertungen vornimmt. Die Schüler werden auf Fehler in der Analyse oder/und Synthese der Ausgangssituation aufmerksam gemacht. Das führt meist zum Abbruch eigener Gedankengänge bei den Schülern. Da die eigene intensive Auseinandersetzung der Schüler mit dem Problem unterbunden wird, führt das auch nicht zu anwendungsbereitem und dauerhaftem Wissen und Können. Als effektiver erweist es sich daher, diese Gedankengänge, das heißt die „Aufgabenlösung“, durch die Schüler zu Ende führen zu lassen und sie dann aufzufordern, ihre Lösung zu überprüfen. Der Widerspruch, der zwischen Voraussage/Aufgabenlösung und Experiment für die Schüler auftritt, führt zur Problemsituation. Es entsteht die Frage: Warum ist das so? Wie kann diese Erscheinung erklärt werden? Auf diese Weise werden die Schüler angehalten, gewissenhaft eine Situation zu analysieren und möglichst alle Bedingungen zu beachten, bevor sie eine Aussage machen. Das entwickelt Eigenschaften und Fähigkeiten, wie Gewissenhaftigkeit, kein vorschnelles Urteil zu fällen, Aussagen immer zu überprüfen.

Beispiel: Erarbeitung der Schmelzwärme in Klasse 8

Die Schüler haben den Wärmeaustausch beim Mischen von Flüssigkeiten kennengelernt. Sie haben erfahren, daß die Mischungstemperatur die Hälfte der Summe beider Ausgangstemperaturen ist, wenn von einer Flüssigkeit zwei gleichgroße Massen mit unterschiedlicher Temperatur in einen Behälter gegossen werden. Bei der Behandlung der Schmelzwärme wird von der Mischungstemperatur von Eis und Wasser ausgegangen. Die Schüler werden aufgefordert, die Mischungstemperatur von Wasser und Eis bei gleichen Massen vorauszusagen. Dafür wird sehr häufig das Verfahren der Bestimmung der Mischungstemperatur zweier Flüssigkeiten vom Schüler übernommen.

Die experimentelle Überprüfung dieser Voraussage führt zu einem Widerspruch. Es entsteht eine Problemsituation. Sie hat gleichzeitig heuristische Bedeutung für die Aufstellung der Lösungs-ideen.

Auf diese Weise wird an Bekanntes angeknüpft und gleichzeitig das Wesentliche des Neuen herausgehoben. Weitere Beispiele sind in /5/ angegeben.

5. Wie ist der Prozeß des weitgehend selbständigen Problembearbeitens durch die Schüler zu unterstützen?

Die Forderungen, die an den Schüler beim selbständigen Problembearbeiten gestellt werden, sind sehr hoch. Im Unterrichtsprozeß muß der Lehrer

- durch die Gestaltung entsprechender Problemsituationen das notwendige Lerninteresse auslösen /6/; /7/
- das notwendige Wissen und Können beim Schüler bereitstellen (auch in anderen als den Problembearbeitungsstunden)
- Hilfen bei der unmittelbaren Bewältigung der schöpferischen Situation im Prozeß des Problembearbeitens geben. Diese müssen die Anforderungsniveaus verringern, ohne die schöpferische Leistung völlig abzubauen. Diese Hilfen werden situative heuristische Führungsmaßnahmen genannt.

Die situativen heuristischen Führungsmaßnahmen basieren auf der Analyse des Vorgehens erfolgreicher schöpferischer Menschen. Sie orientieren den Schüler, wie er bei der Suchraumerweiterung oder -eingrenzung vorgehen, wie er Erfahrungen oder angeeignetes Wissen und Können für die Lösung des Auftrages einsetzen kann. Somit trägt der Einsatz heuristischer Führungsmaßnahmen zur Methodenbewußtheit bei.

Im Unterricht ist häufig festzustellen, daß die Schüler bei der Bewältigung schöpferischer Situationen allein gelassen werden. Der Lehrer stellt zwar Fragen, die die Schüler veranlassen sollen, die jeweilige Situation selbständig zu bewältigen. Kommen die Schüler jedoch zu keinem Ergebnis, so wird vielfach die Frage ein zweites oder drittes Mal wiederholt. Führt dies zu keinem Ergebnis, so wird den Schülern die Lösung gegeben. Damit werden aber die Überlegungen der Schüler abgebrochen, sie übernehmen die Lösung rezeptiv.

Soll erreicht werden, daß sich die Schüler in einem angestregten Denkprozeß um die Lösung mühen, so muß der Lehrer den Schülern gezielt Anregungen in Form der heuristischen Führungsmaßnahmen geben /8/,/9/.

Beispiel: Schweredruck in Flüssigkeiten (Klasse 7)

In Abb. 5 ist eine Erscheinung wiedergegeben, die von Schülern der Klasse 7 nach der Behandlung des Schweredrucks in Flüssigkeiten erklärt werden soll. Es zeigt sich, daß viele Schüler große Schwierigkeiten haben, den entscheidenden Gedanken - zwei verschiedene Flüssigkeiten - zu finden. Sie sind durch den bisherigen Unterricht auf eine Flüssigkeit orientiert.

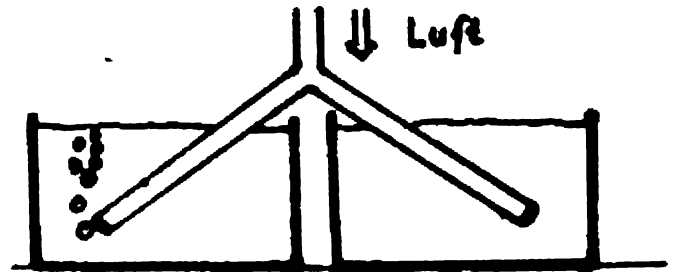


Abb. 5

Was sollte der Lehrer tun, damit die Schüler dieses Problem weitgehend selbständig lösen können?

Die Lösung beruht auf zwei Erkenntnissen:

- Die beobachtete Erscheinung ist vom Schweredruck abhängig.
- Es muß sich um zwei Flüssigkeiten mit unterschiedlicher Dichte handeln.

Die zu gebenden Hilfen sollten die Schüler anregen, sich mit dem vorgelegten Problem intensiver zu beschäftigen und sie so orientieren, daß die beiden oben genannten Erkenntnisse gefunden werden.

Eine solche Möglichkeit ist zum Beispiel die Erinnerung der Schüler an das in Abb. 6 dargestellte Experiment, das im Unterricht behandelt wurde.

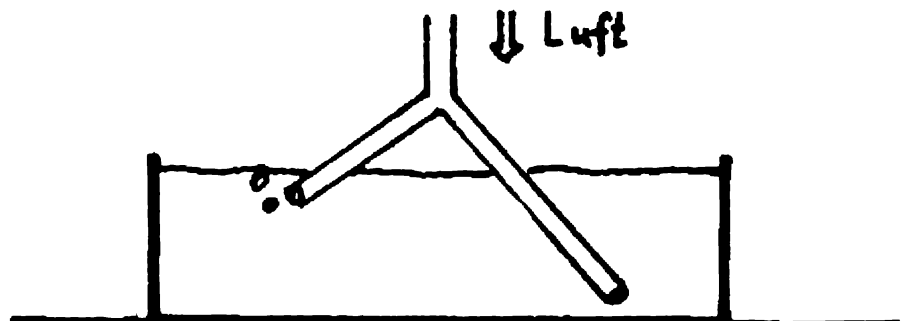


Abb. 6

In diesem Experiment ist das Austreten der Blasen darauf zurückzuführen, daß der Druck der Flüssigkeit am kürzeren Ende kleiner als am längeren Ende ist (die Tiefen sind unterschiedlich). Im vorliegenden Experiment sind die Höhen gleich. Wir haben aber gelernt, daß der Druck abhängig ist von der Tiefe und von der Dichte der Flüssigkeit. Es müssen also unterschiedliche Flüssigkeiten vorhanden sein. So könnte der Gedankengang der Schüler sein.

Für den naturwissenschaftlichen Unterricht haben sich folgende heuristische situative Führungsmaßnahmen als zweckmäßig erwiesen:

- **Heuristischer Impuls**

Er ist ein Denkanstoß zum Reaktivieren und Übertragen methodologischen Wissens in Form von Aufforderungen und Hinweisen, um theoretisches und empirisches Wissen aus vorhergehenden Stoffgebieten, aus anderen Unterrichtsfächern und der Alltagserfahrung aufzuspüren und zu nutzen.

- **Heuristische Anleitung**

Sie ist eine geordnete Menge von Aufforderungen zur Unterstützung methodologischen Wissens, mit der die Handlung nur so weit bestimmt ist, daß das Ziel mit Wahrscheinlichkeit erreicht wird.

- **Pauschale Vorsage**

Sie ist ein relativ gering determinierender allgemeiner Hinweis auf den Suchraum, in dem der entscheidende Gedanke bzw. eine Analogie zu finden ist.

- **Zusatzauftrag**

Er ist eine Aufforderung, bei deren Erfüllung analoge Erfahrungen zwecks heuristischer Nutzung bzw. Wirkung mobilisiert werden. Solche Zusatzaufträge gehören nicht in jedem Falle zum unmittelbaren Thema der Unterrichtsstunde und sind nicht auf das in der jeweiligen Situation Gesuchte gerichtet.

- **Analogien**

Sie werden dem Schüler in Form von Fakten und Zusammenhängen gegeben.

- **Lösungsideen**

Sie werden in Form von Auswahlantworten dem Schüler zur Verfügung gestellt. Der Schüler muß die Auswahl begründen.

Für die Gestaltung der Problembearbeitung „Schmelzwärme Klasse 8“, die auf Seite 46 beschrieben wurde, bieten sich z.B. folgende heuristische Führungsmaßnahmen bei der Aufstellung der Hypothesen an:

- a) Wenn eine Erklärung gesucht wird und der eingeschlagene Weg zu keinem Ergebnis führte, so ist zu überprüfen, ob alle Bedingungen der Problemstellung beachtet wurden.
(Dieser heuristische Impuls hilft nur dann weiter, wenn dieses Vorgehen mit den Schülern explizit besprochen und geübt wurde).
- b) Vergleicht diese Erscheinung mit den bisher durchgeführten Experimenten zur Bestimmung von Mischungstemperaturen!
(Hier lenkt die Führungsmaßnahme die Schüler direkt auf die Bedingungen, anknüpfend an Überlegungen im gleichen Stoffgebiet.)
- c) Denkt an das Experiment in der Klasse 6, bei dem wir das θ -t-Diagramm beim Übergang von Eis zu Wasser aufgenommen haben!
(Diese Führungsmaßnahme nimmt Bezug auf die in Klasse 6 gewonnenen Erkenntnisse. Dieser Inhalt kann durch eine Hausaufgabe reaktiviert werden.)
- d) Erinnerst euch an die in Klasse 6 erarbeitete Tabelle über die Aggregatzustände!
(Gegebenenfalls wird die Tabelle z.B. über eine Folie eingeblendet).
- e) Warum befinden sich Eis und Schnee noch auf Straßen und Wiesen, wenn die Tagestemperaturen schon mehrere Tage über 0 °C lagen?
(Durch die Abarbeitung eines derartigen Zusatzauftrages wird an die Erfahrungswelt der Schüler angeknüpft. In der Lösung des Zusatzauftrages ist der Hinweis auf einen oder den entscheidenden Gedanken schon direkt enthalten.)
- f) Was ist zu tun, wenn ein Eisblock in Wasser verwandelt werden soll? Was ist zu tun, wenn tiefgefrostete Speisen zubereitet werden?

Wichtig ist, daß der Lehrer diese situativen Führungsmaßnahmen nach einem selbständigen Lösungsversuch, aber vor Erlöschen des Lösungsinteresses beim Schüler, einsetzt.

Stoffeinheitenplanung - eine notwendige Voraussetzung für problemhafte Unterrichtsgestaltung

Wie in der Charakterisierung des problemhaften Unterrichts sichtbar wurde, kann dieser nur realisiert werden, wenn die Problembearbeitung im Rahmen von Stoffeinheiten gesehen wird. Dies ergibt sich daraus, daß

- der gestellte Auftrag, je nach Stellung in der Stoffeinheit, ein Problem oder eine Aufgabe sein kann.
Um die schöpferischen Situationen zu erhalten, sind bestimmte Voraussetzungen zu erfüllen. Wenn z.B. die Problemsituation durch ein Experiment ausgelöst wird und ein ähnliches Experiment vorher ausführlich behandelt wurde, so wird der Auftrag zur Aufgabe. Die Schüler brauchen nur einfache Gedankenverbindungen herzustellen bzw. einen vorgegebenen Algorithmus abzuarbeiten.
- entsprechende Voraussetzungen für die selbständigen Problembearbeitungen geschaffen werden müssen. Dies betrifft sowohl Wissen als auch Können. Entsprechende Teilziele sind in den Stunden vor der Problembearbeitung auszuweisen. Damit kann auch der Schwierigkeitsgrad der Problembearbeitungen beeinflusst werden. Die Schüler sind in anderen Stundenabschnitten ständig an variantenreiches Denken, an selbständiges Suchen von Lösungen usw. heranzuführen.
- die Schüler die Anforderungen besser bewältigen, wenn sie das Gesamtziel im Auge haben. Eine Einführung in die Stoffeinheit mit übergreifender Problemsituation erweist sich deshalb als zweckmäßig.

Die Problembearbeitungen sind in das gesamte Unterrichtsgeschehen einzubeziehen. Wenn die Gleichung $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$ zu erarbeiten ist, so kann man von einer allgemeinen Problemsituation ausgehen, z.B.

„Auch an den wärmsten Sommertagen ist im Schwimmbad die Wassertemperatur niedriger als etwa die Temperatur der Luft, der Betoneinfassung oder der Holzplanken, obwohl überall die gleiche Sonneneinstrahlung wirkt. Außerdem unterscheidet sich die Wassertemperatur im großen Schwimmbecken von der im Planschbecken. Messe ich die Wassertemperatur morgens und nachmittags, so erhalte ich ebenfalls unterschiedliche Werte.
Versucht für diese 3 Tatbestände Erklärungen anzugeben.“

Das Problem ist für die Schüler noch nicht lösbar, da ihnen die für die Lösung notwendige Gesetzmäßigkeit nicht bekannt ist. Die Erarbeitung der Gesetzmäßigkeit geschieht durch aktive Mitarbeit der Schüler. So werden Voraussagen über mögliche Abhängigkeiten auch unter Anwendung der Kenntnisse über das Teilchenmodell gemacht. Bei der Überprüfung dieser Voraussagen sind die Schüler

unmittelbar einbezogen. Sie können hier ihre Kenntnisse vielfältig anwenden. Nach der Erarbeitung des Gesetzes wird die Ausgangssituation nochmals betrachtet und das Erklärungsproblem durch Nutzung der neuen Erkenntnis bearbeitet. Dieser Prozeß verläuft über 3 bis 4 Stunden.

Literatur:

- /1/ Lechner, H.: Intensive Nutzung des naturwissenschaftlichen Unterrichts für die Persönlichkeitsentwicklung - eine notwendige Aufgabe der Gegenwart.
In: „Physik in der Schule“, Berlin, 19 (1981) 1/2, S. 1 - 9.
- /2/ Lechner, H.: Einige Grundgedanken zu den Forschungen der Intersektionellen Forschungsgemeinschaft der Methodiken der naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächer der Sektionen Biologie, Chemie und Physik an der HUB.
In: Problemhafte Unterrichtsgestaltung in den Fächern Biologie - Chemie - Physik, Berichte, Heft 12/1982, HU Berlin.
- /3/ Hörtz, R. und Lechner, H.: Zum Lösen physikalischer Probleme in Klasse 6.
In: „Physik in der Schule“, Berlin, 15 (1977) 5, S. 191 - 205.
- /4/ Lechner, H.: Einige Aspekte der Befähigung der Schüler zur Bewältigung schöpferischer Lernsituationen.
In: „Physik in der Schule“, Berlin, 20 (1982) 5, S. 187-195.
- /5/ Jablko, L. und Lechner, H.: Zum Erkennen und Lösen physikalischer Probleme.
In: „Physik in der Schule“, Berlin, 16 (1978) 10, S. 418-426.
- /6/ Frantz, B. und Lechner, H.: Zur bewußten Gestaltung von Problemsituationen im Physikunterricht.
In: „Physik in der Schule“, Berlin, 15 (1977) 1/2, S. 22-30.
- /7/ Kurze, M. und Lechner, H.: Aktivierung schöpferischen Lernens durch wirksames, methodisch variantenreiches Problemstellen.
In: „Pädagogik“, Berlin, 35 (1980) 12, S. 974 - 983.
- /8/ Lechner, H.: Führungsmaßnahmen des Lehrers im problemhaft gestalteten Unterricht.
In: „Physik in der Schule“, Berlin, 21 (1983) 6, S. 241-247.
- /9/ Jäckel, D. und Lechner, H.: Selbständiges Problemlösen - eine Form der aktiven Auseinandersetzung mit den Lerninhalten.
In: „Pädagogik“, Berlin, 37 (1982) 4, S. 289 - 299.

Typische Situationen des Physikunterrichts

Die Vielfalt der zur Planung und Gestaltung des Physikunterrichts zu berücksichtigenden Faktoren verlangt, nach ordnenden bzw. systematisierenden Strukturen zu suchen. Sie widerspiegeln die Invarianten des Unterrichts und ermöglichen es dem Lehrer, die von den konkreten Bedingungen der jeweiligen Klasse bestimmten variablen Komponenten in schöpferischer Auseinandersetzung mit den Zielen, Inhalten, Methoden und Organisationsformen auf der Grundlage der gefundenen Invarianten zu gestalten.

Geht man davon aus, daß im Physikunterricht bestimmte Unterrichtssituationen häufig wiederkehren und damit einen wesentlichen Teil der Unterrichtszeit umfassen, dann kann daraus gefolgert werden, daß von ihnen ein erheblicher Einfluß auf die Bildungs- und Erziehungsergebnisse ausgeübt wird.

Bei der didaktisch-methodischen Gestaltung solcher Unterrichtsstrecken zeigt sich in der Praxis, daß von Lehrer zu Lehrer und von Lerngegenstand zu Lerngegenstand weitgehend analog verfahren wird. Fuhrmann spricht in diesem Zusammenhang von typischen Situationen und versteht darunter

„... die Klasse (Abstraktionsklasse) aller derjenigen realen Situationen eines Faches oder mehrerer Fächer..., die Ähnlichkeit hinsichtlich bestimmter Parameter des Unterrichts besitzen, insbesondere hinsichtlich der Ziel- bzw. Ziel-Stoff-Struktur und daher ein ähnliches Vorgehen bei der Anwendung einer bestimmten Führungsstrategie und des organisatorisch-methodischen Instrumentariums gestatten.“ /1; S. 37/

Für den obligatorischen Physikunterricht können hinsichtlich der Ziel- bzw. Ziel-Stoff-Struktur entsprechend den vom Lehrplan geforderten Inhalten folgende typische Situationen unterschieden werden:

1. Typische Situationen, die durch die Struktur typischer Erkenntnistätigkeiten, typischer Erkenntnismethoden oder typischer Erkenntniswege bestimmt sind (typische Erkenntnissituationen)
2. Typische Situationen, die durch die fachliche und erkenntnistheoretisch-logische Struktur wesentlicher Erkenntnisgegenstände bestimmt sind.

Rückt man als Strukturierungsaspekte die Invarianten der didaktisch-methodischen Gestaltung in den Vordergrund (Seite 106 bis 138), dann lassen sich weitere typische Situationen abheben, etwa typische Situationen bei der Arbeit am neuen Stoff, bei der Festigung usw. oder typische Situationen der methodischen Gestaltung der Schülertätigkeit in Form eines darbietenden, eines erarbeitenden oder eines aufgebenden Unterrichts (S. 118).

Wir konzentrieren uns im folgenden auf die beiden einleitend gekennzeichneten Klassen von typischen Situationen.

Typische Situationen, die durch die Struktur typischer Erkenntnistätigkeiten, typischer Erkenntnismethoden oder typischer Erkenntniswege bestimmt sind

Eine Analyse wesentlicher Denkabläufe bei der Erarbeitung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse zeigt, daß bestimmte Erkenntnistätigkeiten wiederholt auftreten und die Voraussetzung für die Erkenntnis physikalischer Zusammenhänge bilden. Wichtige Erkenntnistätigkeiten ganz unterschiedlicher Zielstellung zeigt in ihrer logischen Aufeinanderfolge die Abbildung 1. Eine detaillierte Beschreibung einiger dieser Erkenntnistätigkeiten ist im Kapitel „Zur Entwicklung des Könnens im Physikunterricht“ (Seite 23 bis 35) zu finden.

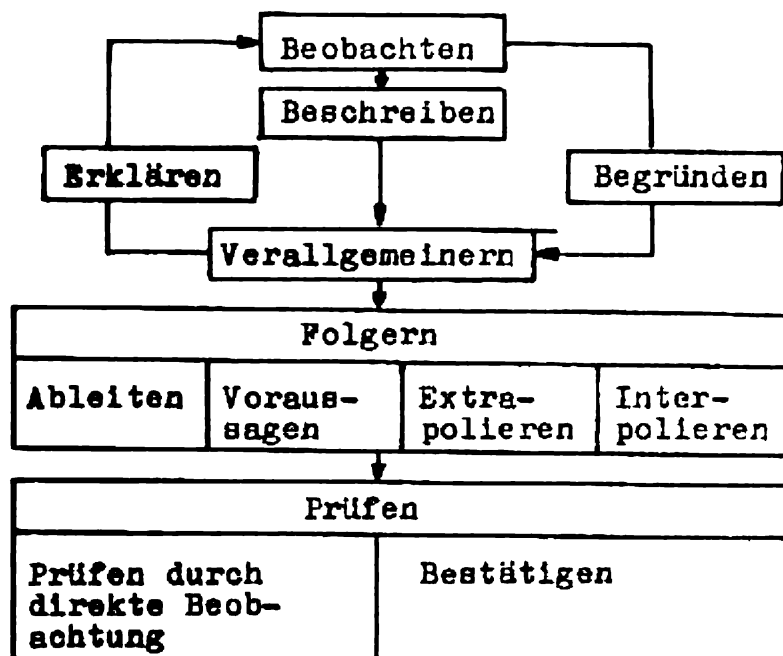


Abbildung 1

Die Analyse des Erkenntnisprozesses zeigt weiterhin, daß, wiederum in Abhängigkeit vom Erkenntnisziel, bestimmte Erkenntnistätigkeiten die Grundlage spezifischer Erkenntnismethoden bilden. Erkenntnismethoden tragen komplexeren Charakter als die einzelnen Erkenntnistätigkeiten. Unter den vielfältigen Erkenntnismethoden haben folgende für den Physikunterricht besondere Bedeutung:

- die experimentelle Methode, mit dem Ziel, ungesicherte Aussagen auf ihren Wahrheitswert zu überprüfen. Diese Methode ist in /2; S. 125/ ausführlich dargestellt.
- die analytisch-synthetische Methode, mit dem Ziel der gedanklichen oder praktischen Zerlegung eines Ganzen in seine Teile, um die Struktur des Ganzen, die Funktion der Teile, die wirkenden Gesetze und Bedingungen zu erkennen und durch anschließende Zusammenfügung vom undifferenzierten und „undurchsichtigen“ Ganzen zum strukturierten, „durchschauten“ Ganzen vorzudringen. Im einzelnen verweisen wir dazu auf die Darstellung in /2; S. 121/.
- die Modellmethode, mit dem Ziel, für originale Sachverhalte Modelle zu schaffen, am Modell neue Erkenntnisse zu gewinnen und die gewonnenen Erkenntnisse am originalen Sachverhalt zu überprüfen. Auch hierzu verweisen wir auf /2; S. 127/.
- die induktive Verallgemeinerung
- die deduktive Ableitung
- die genetische Methode
- die Black-Box-Methode

Auf die vier zuletzt genannten Methoden werden wir im folgenden eingehen.

Schließlich führt eine Analyse der Erkenntnisabläufe im Physikunterricht auf zwei wesentlich voneinander verschiedene Erkenntniswege. Ihre Darstellung wird zeigen, daß sich dabei sowohl die genannten wesentlichen Erkenntnistätigkeiten als auch bestimmte Erkenntnismethoden wiederfinden. Zu unterscheiden sind

- Erkenntniswege, die von empirischen Befunden ausgehen
- Erkenntniswege, die von theoretischen Aussagen ausgehen.

1. Typische Erkenntnismethoden

1.1. Die induktive Verallgemeinerung

Methode zur Gewinnung von wissenschaftlichen Begriffen bzw. Aussagen, die dadurch gekennzeichnet ist, daß von den Elementen einer Teilklasse, denen eine bestimmte Eigenschaft zukommt, auf das Vorliegen dieser Eigenschaft bei allen Elementen der Gesamtklasse geschlossen wird.

Die induktive Verallgemeinerung von Einzelaussagen bildet die wesentlichste Form und die Grundlage von Verallgemeinerungen im Alltagsdenken und bei wissenschaftlichen Verallgemeinerungen. Induktive Verallgemeinerungen können auf der Grundlage qualitativer oder quantitativer empirischer Befunde vorgenommen werden.

Beispiele:

a) Experimentell wird festgestellt:

Kupfer leitet den elektrischen Strom
Eisen leitet den elektrischen Strom
Aluminium leitet den elektrischen Strom

•
•
•

Kupfer, Eisen, Aluminium sind Metalle

Induktive Verallgemeinerung: Metalle leiten den elektrischen Strom

b) Durch Einzelmessungen wird eine bestimmte Anzahl diskreter Meßwertepaare gewonnen. Es wird geschlossen, daß sich auch für dazwischenliegende, nicht gemessene Wertepaare unter denselben experimentellen Bedingungen dieselbe Eigenschaft (z.B. der Quotient ist konstant) ergibt. Formal erfolgt dieser Schluß beim Verbinden der experimentell ermittelten und im Diagramm dargestellten Meßwertepaare durch eine Kurve. Sie bezieht auch die nicht gemessenen Wertepaare durch die Verallgemeinerung in den erkannten Zusammenhang mit ein.

Die Anwendung der Methode der induktiven Verallgemeinerung ist an folgende, auch im Unterricht zu beachtende und zu realisierende Besonderheiten geknüpft:

(1) Die Sicherheit der durch induktive Verallgemeinerung gewonnenen Aussagen wächst

- mit der Anzahl der in den Schluß eingehenden Einzelaussagen,
- aber vor allem mit der Eigenschaft der Einzelaussagen, wesentliche Seiten des Sachverhalts widerzuspiegeln.

- (2) Die Sicherheit des Schlusses ist umso größer, je geringer die Differenz zwischen den in den Schluß eingehenden Elementen und der Gesamtanzahl der Elemente ist.
- (3) Der Wert der induktiven Verallgemeinerung besteht methodologisch darin, daß aus der Kenntnis nur weniger Einzelaussagen auf eine allgemeine Aussage geschlossen werden kann.
- (4) Die induktive Verallgemeinerung erweist sich als falsch, wenn ein Gegenbeispiel angegeben werden kann.
- (5) Wesentlicher Fehler bei der induktiven Verallgemeinerung ist die voreilige Verallgemeinerung, d. h. der Schluß wird auf der Grundlage einer zu geringen Anzahl von Einzelaussagen gezogen bzw. der Umfang der verallgemeinerten Aussage geht über den Umfang der untersuchten Elementeklasse hinaus (im o.a. Beispiel wäre das der Fall, wenn geschlossen würde: Alle Stoffe leiten den elektrischen Strom!)
- (6) Eine durch induktive Verallgemeinerung gewonnene Aussage muß grundsätzlich an weiteren Sachverhalten der Praxis, im Experiment oder an der Erfahrung geprüft werden. Zur Prüfung sind solche Sachverhalte heranzuziehen, die nicht bereits für die Verallgemeinerung benutzt wurden. Jede erneute Bestätigung erhöht die Gültigkeit der Verallgemeinerung, sichert sie aber nicht endgültig. Diese Besonderheit muß im Unterricht dadurch aufgefangen werden, daß der Lehrer nach einer angemessenen Anzahl bestätigender Überprüfungen und unter Verweis auf die vielfältigen Bestätigungen, die in der Wissenschaftsgeschichte erbracht worden sind und ständig erneut erbracht werden, die betreffende Erkenntnis von einem bestimmten Zeitpunkt des Unterrichts an als gesichert kennzeichnet. Er sollte im Interesse der weltanschaulichen Erziehung diese Besonderheit aber stets im Auge haben und vor allem anfänglich auf die Überprüfenden Experimente nicht verzichten.
- (7) Ausgehend vom Ergebnis, zu dem die induktive Verallgemeinerung führt, wird zwischen empirischer und theoretischer Verallgemeinerung unterschieden. Die empirische Verallgemeinerung bleibt auf der Stufe der Erscheinungen stehen (S. 55, Beispiel a)), die theoretische Verallgemeinerung dringt zum Wesen, zum Gesetzmäßigen in den Erscheinungen vor (S. 96 ff.).

1.2. Die deduktive Ableitung

Methode zur Gewinnung theoretischer Aussagen aus gesicherten oder mehr oder weniger gesicherten (als wahr vorausgesetzten) theoretischen Aussagen durch logisch zwingende Schlüsse.

Voraussetzung für die Anwendbarkeit dieser Erkenntnismethode ist das Vorliegen theoretischer Aussagen. Die deduktive Ableitung führt zu Aussagen, deren Allgemeingrad höchstens gleich, meist aber geringer als der Allgemeingrad der Ausgangsaussagen ist. Die Ausgangsaussagen können in verbaler oder mathematischer Formulierung vorliegen.

Beispiele:

- a) der Allgemeingrad von Ausgangs- und erschlossenen Aussagen ist gleich

Bei einer Temperaturmessung wird festgestellt,

- der Körper A (z.B. die Wassermenge m) steht mit dem Körper T (z.B. dem Quecksilber im Thermometer) und
- der Körper B (z.B. die Wassermenge M) steht mit dem Körper T

im Wärmegleichgewicht (durch Beobachtung gesicherte Aussage). Daraus folgt (deduktive Ableitung): Die Körper A und B stehen untereinander im Wärmegleichgewicht, d.h. sie haben dieselbe Temperatur.

Formalisiert: $T_A = T_T$

$$T_B = T_T$$

$$T_A = T_B$$

Schlüsse dieser Art liegen allen Meßprozessen zugrunde.

- b) der Allgemeingrad der erschlossenen Aussage ist geringer als der Allgemeingrad der Ausgangsaussage(n)

Da $W = F \cdot s$ und $F = m \cdot a$ und $v = a \cdot t$ und $s = \frac{a}{2} \cdot t^2$
(gesicherte Aussagen) folgt (deduktive Ableitung): $W = \frac{m}{2} \cdot v^2$.

- c) die Ableitung einer neuen Aussage erfolgt aus einer als wahr, angenommenen Aussage

Hypothese (als wahr angenommene Aussage): Die beobachtete Verdunstung von Wasser könnte dadurch zu erklären sein, daß die Wasserteilchen eine unterschiedliche kinetische Energie besitzen und die Teilchen mit ausreichend hoher kinetischer Energie den Flüssigkeitsverband verlassen können.

Deduktiv abgeleitete zwingende Folgerung: Wenn das richtig ist, dann müßte sich die Temperatur der zurückbleibenden Flüssigkeit erniedrigen, da (Begründung) die durchschnittliche kinetische Energie der Flüssigkeitsteilchen geringer wird. Das überprüfende Experiment bestätigt die Folgerung. Die Hypothese erklärt die Beobachtung.

- d) die Ableitung einer neuen Aussage erfolgt aus einer als wahr erwiesenen Aussage

Aus den gesicherten Aussagen über den Aufbau der Stoffe aus Teilchen (Klasse 6) kann die Beobachtung erklärt werden, daß ein Wassertropfen auf einer fettfreien Unterlage auseinanderläuft, während ein Quecksilbertropfen sich nur abflacht und eine Stahlkugel ihre Form nicht verändert.

- e) der Gültigkeitsbereich einer Aussage wird durch deduktiven Schluß erweitert (Extrapolation)

Für einen Metalldraht wird im Bereich $0 \leq s \leq s_1$ experimentell festgestellt, daß die Ausdehnung unter der Wirkung einer Kraft durch den Zusammenhang $F = k \cdot s$ beschrieben werden kann. Folgender deduktiver Schluß wird gezogen:

Wenn $F = k \cdot s$ für den Bereich von 0 bis s_1 gilt, dann gilt dieser Zusammenhang auch für den Bereich $s_1 < s$.

Aus dem Experiment ist bekannt: $F = k \cdot s$ gilt im Bereich von 0 bis s_1 . Also, deduktiver Schluß: Der Zusammenhang gilt auch für $s > s_1$. Der logisch zwingende deduktive Schluß beruht auf einer nicht gesicherten Ausgangsaussage. Das Ergebnis des Schlusses muß experimentell geprüft werden. Es ist bekannt, daß diese Extrapolation, z.B. im Fließbereich des Metalldrahtes nicht mehr gilt.

Die Anwendung der Methode der deduktiven Ableitung ist an folgende, auch im Unterricht zu beachtende und zu realisierende Besonderheiten geknüpft:

- (1) Für das Vorliegen einer deduktiven Ableitung ist nicht der Allgemeinheitsgrad der Ausgangsaussagen im Verhältnis zum Allgemeinheitsgrad der erschlossenen Aussagen entscheidend. Einer deduktiven Ableitung liegt stets ein Schluß mit der Struktur $[(p \rightarrow q) \wedge p] \rightarrow q$ zugrunde (vgl. Beispiel e)).
- (2) Aus gesicherten Ausgangsaussagen erschlossene Aussagen bedürfen aus logischer Sicht keiner Prüfung in der Praxis, im Experiment usw. Aus didaktischer, erkenntnistheoretischer und weltanschaulicher Sicht empfiehlt sich eine solche Prüfung. Ein positives Prüfungsergebnis erhärtet für den Schüler die bereits feststehende Gültigkeit der Ausgangsaussage zusätzlich.

- (3) Aus Aussagen, die als wahr angenommen wurden (Hypothesen, Prognosen u. ä.) erschlossene Aussagen müssen unbedingt einer Prüfung unterzogen werden.
- (4) Der Lehrer muß sich der Tatsache bewußt sein, daß deduktive Ableitungen in Form von Folgerungen in jeder Unterrichtsstunde vom Schüler in großer Anzahl gefordert werden oder nachvollzogen werden müssen. Die Stellung dieser Methode im unterrichtlichen Erkenntnisprozeß wird bis heute nicht ausreichend erkannt. Das ist darin begründet, daß deduktive Ableitungen häufig nur im Zusammenhang mit mathematischen Deduktionen gesehen werden.
- (5) Der erfolgreiche Vollzug deduktiver Ableitungen ist wesentlich davon abhängig, wie verständlich für den Schüler die Ausgangsprämissen sind und wie groß die Anzahl der zu vollziehenden schrittweisen Ableitungen ist. Der Lehrer muß die auftretenden Schwierigkeiten durch eine übersichtliche Unterrichtsführung abbauen.

1.3. Die genetische Methode

Methode der Darstellung eines Erkenntnisgegenstandes in seiner historischen Entstehung oder seiner logisch-systematischen Entwicklung

Die Erkenntnisgegenstände des Physikunterrichts (Begriffe, Gesetze, technische Anwendungen usw.) können dem Schüler sowohl hinsichtlich ihrer historischen Entwicklung als auch hinsichtlich ihrer logisch-systematischen Struktur dargestellt werden. Man unterscheidet deshalb

- das historisch-entwickelnde Vorgehen und
- das logisch-systematische Vorgehen.

Beide Varianten können zur Darstellung der Entwicklung von Begriffen, Gesetzen, Theorien, technischen Anwendungen bzw. Vorrichtungen, Meßverfahren, der Einheiten physikalischer Basisgrößen, weltanschaulicher Einsichten, bestimmter Erkenntnismethoden usw. herangezogen werden. Die Abfolge der Darstellung beim historisch-entwickelnden Vorgehen ist durch die zeitliche Aufeinanderfolge gegeben. Im Unterricht erweist es sich aus Zeitgründen als erforderlich, die Darstellung auf ausgewählte

Entwicklungsetappen zu konzentrieren. Um- und Irrwege in der Entwicklung können ausgeschlossen aber auch bewußt betont werden, wenn die Kompliziertheit des wissenschaftlichen Erkenntnisprozesses den Schülern erlebbar gemacht werden soll.

Für das logisch-systematische Vorgehen können in Abhängigkeit vom darzustellenden Inhalt einige sich mehrfach wiederholende Teilschritte angegeben werden. Für die genetische Darstellung z.B. eines technischen Gerätes sind das:

1. Stellen und Erkennen des Problems

Dem Schüler muß mit diesem Schritt das Problemhafte erkennbar und verständlich gemacht werden.

2. Ideelle Vorwegnahme einer Lösungsmöglichkeit

Auf der Grundlage von erworbenen Kenntnissen und Fähigkeiten und durch entsprechende Strukturierung dieser Kenntnisse wird eine mögliche Lösung erarbeitet.

3. Realisieren der Lösungsmöglichkeit

Das kann durch Lösen einer Aufgabe, im Experiment, durch Untersuchungen an einem Modell usw. geschehen.

4. Beurteilen des Ergebnisses hinsichtlich der gestellten Aufgabe

Je nachdem, ob das Ergebnis bereits zu einer befriedigenden Lösung geführt hat oder nicht, schließt die Lösungshandlung ab oder wird fortgesetzt durch die Feststellung der Ursache, der Gründe usw. für das noch nicht befriedigende Ergebnis.

Beispiele:

a) historisch-entwickelndes Vorgehen

Klasse 7: "... sind Beispiele aus der Geschichte der Physik zu nutzen." /3; S. 4/

Unter Einbeziehung von Lichtbildern, Abbildungen aus Büchern, populärwissenschaftlicher Darstellungen (z.B. István Száva "Der Gigant von Syrakus" oder Karl Rexac "Abenteuer mit Archimedes") u.a. Anschauungsmittel wird den Schülern verdeutlicht, wie sich aus dem gesellschaftlichen Bedürfnis heraus, die menschliche Kraft zu vervielfachen, erste kraftumformende Einrichtungen entwickelten, welche Leistungen damit möglich wurden; wie der Mensch versuchte, sich den Umgang mit diesen Vorrichtungen zu erleichtern, ihren Wirkungsgrad zu erhöhen, sie für die verschiedensten Aufgabenstellungen technisch anzupassen, die Gesetzmäßigkeiten zu erkennen und wie er diese Probleme löste und schrittweise zu immer vollkommeneren Vorrichtungen gelangte.

b) logisch-systematisches Vorgehen

Klasse 6: „Aufbau und Strahlengang beim astronomischen oder KEPLERschen Fernrohr“ /4; S. 19/

Schritte**Überlegungen**

Problem	Ein sehr weit entfernter Gegenstand erscheint nur sehr klein, Einzelheiten sind kaum zu erkennen. Er ist vergrößert abzubilden.
Lösungsmöglichkeit	Abbildung durch eine Sammellinse auf einen Transparenzschirm, Gegenstand weit außerhalb der doppelten Brennweite, Bild entsteht in der doppelten Brennweite, wird also näher an das Auge herangebracht.
Realisierung	Strahlengang: Gegenstand G, Objektivlinse Ob ($f = + 500 \text{ mm}$), Transparenzschirm T, Auge A
Beurteilung	Bild näher herangebracht, reelles aber verkleinertes, umgekehrtes Bild
Ursache	Gegenstände außerhalb der doppelten Brennweite ergeben an einer Sammellinse umgekehrte, verkleinerte Bilder in der doppelten Brennweite
Problem	Vergrößerung noch nicht erreicht
Lösungsmöglichkeit	Betrachtung des Mattscheibenbildes durch eine Lupe
Realisierung	Strahlengang: Transparenzschirm T, Okularlinse Ok ($f = + 50 \text{ mm}$), Auge A
Beurteilung	Wenn Auge nahe an Okularlinse kann ein vergrößertes, umgekehrtes, virtuelles Bild wahrgenommen werden
Ursache	Lupe erzeugt virtuelle Bilder, bewirkt keine Umkehrung des Bildes
Problem	Umgekehrtes Bild
Lösungsmöglichkeit	Umkehrlinse in den Strahlengang einbauen
Realisierung	Strahlengang: Objektivlinse Ob, Umkehrlinse U ($f = + 100 \text{ mm}$), Okularlinse Ok (Terrestrisches Fernrohr)
Beurteilung	Aufrechtes vergrößertes Bild, noch lichtschwach
Ursache	Einfallendes Streulicht beeinträchtigt die Abbildung
Problem	Streulicht beseitigen

Wir brechen die Beschreibung des Vorgehens hier ab. Die Hel-
ligkeit könnte durch Einfügen einer Feldlinse ($f = 150 \text{ mm}$)
noch weiter gesteigert werden. Steht ein industriell gefer-
tigtes terrestrisches Fernrohr zur Verfügung, dann kann der
Aufbau verglichen und die Übereinstimmung des aufgebauten mit
dem industriell gefertigten Fernrohr gezeigt werden.

1.4. Die Black-Box-Methode

Methode zur Ermittlung der Funktion oder der Struktur
oder der Struktur und der Funktion von Systemen, die
auf Grund ihrer Besonderheiten der direkten Beobachtung
nicht zugänglich sind, durch Inputs und Outputs und der
zwischen ihnen bestehenden Beziehungen.

Eine Black-Box (Schwarzer Kasten) ist ein System, mit unbekann-
tem oder nur zum Teil bekanntem Aufbau, von dem durch experimen-
telle Einwirkung und gedankliche Durchdringung der Zusammenhang
zwischen Eingangsgrößen (Inputs, Reize, ...) und Ausgangsgrößen
(Outputs, Auswirkungen, Reaktionen, ...) zu ermitteln ist.

Das Erkenntnisziel kann darin bestehen

- festzustellen, wie das System als Ganzes auf bestimmte Ein-
wirkungen reagiert, wie es funktioniert oder
- zu versuchen, über die gezielte Veränderung der Inputs und
die Erfassung der Outputs mögliche qualitative oder quantita-
tive Aussagen über die Struktur des Systems zu gewinnen.

Die erste Aufgabenstellung liegt z.B. vor, wenn ein Laie ein
technisches Gerät bezüglich seiner Funktion „erkundet“. Er be-
obachtet, wie ein technisches Gerät beim Drehen bestimmter
Stellknöpfe reagiert. Zur sicheren Bedienung genügt die Kenntnis
dieser Verhaltensweisen des Systems. Über die im System verbor-
genen Bauelemente, deren Beziehungen zueinander usw. sind Kennt-
nisse nicht unbedingt erforderlich.

Die zweite Aufgabenstellung ist dann von Interesse, wenn ein
Gerät nicht mehr funktioniert, d.h. wenn der Fehler gefunden
werden soll, ohne daß das Gerät demontiert wird. So ist es dem
Fachmann z.B. möglich, aus dem Geräusch eines laufenden Motors
eventuelle Defekte herauszuhören. Der Fernsehfachmann kann aus
dem gestörten Bild auf mögliche Ursachen schließen. Der Pilot
kann über seine Kontrollgeräte und bestimmte bewußt hervorgeru-
fene Manöver die Funktionssicherheit seines Flugzeuges kontrol-
lieren.

Die große Verbreitung solcher Aufgabenstellungen in der Praxis erfordert, dieser Methode auch im Physikunterricht größere Aufmerksamkeit zu schenken. Der Physiklehrplan bietet dafür vor allem in den Stoffgebieten „Geometrische Optik“ Klasse 6 und „Elektrizitätslehre“ Klasse 8 aber auch in anderen Stoffgebieten gute Möglichkeiten.

Beispiel:

Aufdecken der Struktur einer elektrischen Black-Box

Klasse 8: „Unverzweigter und verzweigter Stromkreis“ /5; S. 63/

Auf dem Tafelschaltgerät wird eine Schaltung von drei, in ihren Kenndaten gleichen Glühlampen – wie in Abbildung 2 dargestellt – aufgebaut. Die Schaltung wird mit einem schwarzen Kartonstück so überdeckt, daß nur die beiden Anschlüsse A und B und die drei Glühlampen sichtbar sind. Der so vorliegende Zweipol wird als elektrisches System charakterisiert. Die Struktur des Systems ist zu ermitteln.

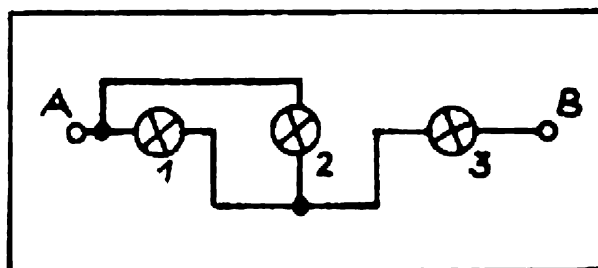
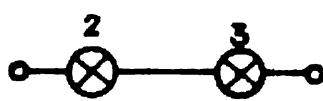


Abbildung 2

Input	Output	mögliche Erklärung des Verhaltens
1. Spannung an A... B anlegen	Alle Glühlampen leuchten, 1 und 2 schwächer als 3	geschlossener Stromkreis
2. Lampe 1 herausdrehen	Lampe 2 und 3 leuchten gleich hell, heller als 1 und 2 bei (1.), aber dunkler als 3 bei (1.)	Lampe 2 und 3 sind in Reihe geschaltet  Abbildung 3

3. Lampe 2 herausdrehen

Lampe 1 und 3 leuchten...

Lampe 1 und 3 in Reihe geschaltet

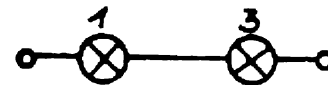


Abbildung 4

4. Lampe 3 herausdrehen

alle Lampen bleiben dunkel

Wegen (2.) und (3.) muß Lampe 1 parallel zur Lampe 2 und Lampe 1 und 2 mit Lampe 3 in Reihe geschaltet sein

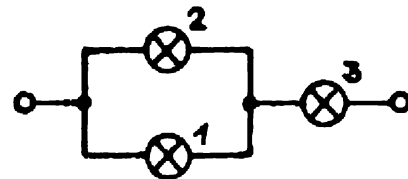


Abbildung 5

5. Überprüfung der Erklärung:

a) Strommesser vor Lampe 1/2 und hinter 3 schalten

Beide Strommesser zeigen gleiche Stromstärke an.

Reihenschaltung

b) Herausdrehen von Lampe 1 oder 2

Die Helligkeit von Lampe 2 bzw. 1 nimmt zu.

Parallelschaltung von Lampe 1 und 2

Aus dem Beispiel können einige Besonderheiten der Black-Box-Methode abgehoben werden:

- (1) Die Black-Box-Methode ist eine sowohl für die Gewinnung wissenschaftlicher Erkenntnisse als auch für die Lösung von Aufgaben der täglichen Lebenspraxis vielfach bewährte und in ihrem Ablauf den Schülern, wenn auch meist nicht bewußt, bereits geläufige Vorgehensweise.
- (2) Black-Box-Aufgaben können vorteilhaft zur Motivierung aber auch zur Festigung von Kenntnissen eingesetzt werden.
- (3) Unterrichtsmethodisch verwertbar ist die Problemhaftigkeit der Aufgabenstellungen, die Lebensverbundenheit der Aufgaben und die Nutzung der natürlichen „Neugier“, die mit der Vorgabe einer Black-Box verbunden ist. Der Schüler möchte wissen, was „hinter der Verdeckung“ ist bzw. was „in dem Kasten drin“ ist.

- (4) Die wesentlichen Erkenntnisschritte sind so oft zu wiederholen, bis die auf Grund der Folgerungen zu erwartenden Ergebnisse mit dem Verhalten der Black-Box übereinstimmen.
- (5) Black-Box-Aufgaben können mit den Mitteln der Aufbauphysik aus den vorhandenen Beständen der Lehrmittelsammlungen leicht aufgebaut werden.

2. Typische Erkenntniswege

Unterrichtsmethodisch bieten sich im wesentlichen zwei Möglichkeiten für den Lehrer, Erkenntnisse an die Schüler weiterzuvermitteln:

1. Der Lehrer übermittelt die fertigen Erkenntnisse, ohne den Schülern den Weg bewußt zu machen, wie sie gewonnen worden sind bzw. gewonnen werden können.
2. Der Lehrer erarbeitet mit den Schülern die Erkenntnisse und führt sie damit gleichzeitig auch in die Methoden und Verfahrensweisen naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung ein.

Beide methodischen Varianten haben für den Physikunterricht ihre Berechtigung und spezifische Bedeutung. Unter der Zielstellung, aktiv und bewußt handelnde, selbständig denkende und arbeitende Schülerpersönlichkeiten zu erziehen, gebührt der Variante der Erarbeitung von Erkenntnissen der Vorrang.

Für die unterrichtliche Gestaltung dieser komplexen Erkenntnisabläufe können ebenfalls wesentliche, in ihrer Abfolge bestimmte Teilhandlungen angegeben werden. Entsprechend unserem Vorgehen widerspiegeln die komplexen Erkenntnisabläufe die bereits beschriebenen Erkenntnistätigkeiten und Erkenntnismethoden. Diese Zusammenhänge sind für den Unterricht dann von Bedeutung, wenn der Lehrer dazu übergeht, den Schülern neben der Erkenntnis selbst auch den oder die Wege bewußt zu machen, auf dem sie gewonnen werden können.

2.1. Erkenntniswege, die von empirischen Befunden ausgehen

Wir empfehlen, die Kurzbezeichnung „empirischer Erkenntnisweg“ oder „Weg der empirischen Erkenntnis“ nicht zu verwenden, weil auch bei Erkenntniswegen, die von empirischen Befunden ausgehen, die Einheit von empirischer und theoretischer Ebene des Denkens gewährleistet ist.

Ausgehend von empirischen Befunden können, je nachdem, ob das Ziel der Erkenntnis in der Erkenntnis der Erscheinung oder darüberhinausgehend in der Erkenntnis des Wesens besteht, Erkenntnisse auf zwei Wegen gewonnen werden:

2.1.1. Die Gewinnung von Erkenntnissen durch direkte Beobachtung und empirische Verallgemeinerung

Die Gewinnung von Erkenntnissen durch direkte Beobachtung steht in der Entwicklung der Wissenschaft und steht auch im Unterricht in einer großen Zahl von Fällen am Anfang des Erkenntnisprozesses. Voraussetzung ist, daß dem Schüler die Möglichkeit gegeben wird, in direkten Kontakt mit dem Gegenstand der Erkenntnis treten zu können. Der direkten Beobachtung fällt die Rolle zu, Ausgangspunkt und zugleich Wahrheitskriterium der Erkenntnis zu sein. Ziel eines solchen Vorgehens ist es, die Erscheinung unter den für ihr Auftreten maßgebenden Bedingungen zu erfassen und durch Herausheben der wesentlichen Eigenschaften und Beziehungen und induktive Verallgemeinerung, das den untersuchten Sachverhalten Gemeinsame bzw. Unterschiedliche aufzudecken.

Beispiel:

Klasse 6: „Die gegenseitige Verdrängung der Körper“ /4; S. 9/

Im Demonstrationsexperiment, im Schüler- oder Hausexperiment, oder durch Aufgreifen von Erfahrungen werden die für die Erkenntnis erforderlichen empirischen Befunde durch direkte Beobachtung gewonnen. Gezeigt wird z.B., daß Luft (Gas) beim Einblasen in eine verschlossene mit Steigrohr versehene Flasche Wasser verdrängt (Flüssigkeit), im Hausexperiment hat der Schüler beobachtet, daß ein Stein (fester Körper) Wasser (eine Flüssigkeit) verdrängt, aus Erfahrung weiß der Schüler, daß ein Nagel (fester Körper), der in eine dünne Leiste eingeschlagen wird (fester Körper), diese oft spaltet (das Holz verdrängt). Alle diese Beobachtungen werden zunächst zu Teilaussagen (z.B. Feste Körper verdrängen Flüssigkeiten) und die Teilaussagen anschließend zur Gesamtaussage: „Physikalische Körper verdrängen einander“ verallgemeinert.

Die Erkenntnis bleibt auf der Stufe der empirischen Verallgemeinerung stehen. Die Frage danach, warum das so ist, bleibt dabei unbeantwortet. Wichtig ist, daß die Einzelerkenntnisse, die Teilerkenntnisse und die Gesamterkenntnis dem Schüler in ihrer Entwicklung deutlich gemacht werden und die Anforderungen beachtet werden, die an eine Beobachtung und an die induktive Verallgemeinerung geknüpft sind.

2.1.2. Die Gewinnung von Erkenntnissen durch direkte Beobachtung und theoretische Verallgemeinerung

Ziel der wissenschaftlichen Erkenntnis ist die Erkenntnis der den Erscheinungen zugrundeliegenden Gesetzmäßigkeiten, d.h. das Vordringen zu den das Naturgeschehen bestimmenden Invarianten. Dieses Ziel kann durch sinnliche Wahrnehmung allein nicht erreicht werden, es bedarf der Aufdeckung des Wesens der Erscheinungen mit Hilfe der theoretischen Verallgemeinerung, der theoretischen Erkenntnis. Erst die Aufdeckung der Gesetzmäßigkeiten ermöglicht es, die Erscheinungen zu erklären bzw. neue Erscheinungen vorauszusagen. Neben der direkten Beobachtung gewinnen nun vor allem Methoden der indirekten Erkenntnis, insbesondere des reduktiven und deduktiven Schließens an Bedeutung. Unabhängig vom konkreten Erkenntnisgegenstand lassen sich für die einzelnen Etappen allgemeine Aussagen bezüglich der Gestaltung des unterrichtlichen Erkenntnisprozesses treffen. Dabei finden sich wesentliche, der in Abbildung 1 (Seite 53) angeführten Erkenntnistätigkeiten wieder:

1. Beobachten, d.h. Gewinnen empirischer Befunde durch direkte Beobachtung, über Experimente, über Erfahrungen usw.
2. Beschreiben der Beobachtungen mit dem Ziel, die Beobachtung selbst und die Bedingungen, unter denen die Erscheinung auftrat, festzuhalten.
3. Verallgemeinern der Beobachtungsergebnisse durch Herausheben des Wesentlichen, des Gemeinsamen und Unterschiedlichen in den verschiedenen Erscheinungen.
4. Erklären der Beobachtungen
 - 4.1. mit Hilfe bereits bekannter Gesetze oder
 - 4.2. durch Angeben möglicher Erklärungen (Hypothesen).

Im Falle 4.1., d.h., daß die zur Erklärung erforderlichen Gesetze dem Schüler bekannt sind, ist mit der Erklärung der Erkenntnisprozeß abgeschlossen.

Im Falle 4.2. sind die Gesetze, die Bedingungen oder beides, die die Erscheinung erklären, noch nicht bekannt. Es werden Hypothesen, d.h. Aussagen formuliert, die die Beobachtung erklären könnten. Diese Aussagen können sich auf die fehlenden

Gesetze, Bedingungen oder beides beziehen. Der Erkenntnisprozeß wird dann weitergeführt, indem angenommen wird, daß die erklärenden Hypothesen richtig seien.

5. Ableiten von experimentell prüfbaren zwingenden Folgerungen aus den Hypothesen (↗ experimentelle Methode).
6. Prüfen der Folgerungen im Experiment.
7. Vergleichen der experimentellen Befunde mit den Folgerungen.
8. Schließen von der Gültigkeit/Ungültigkeit der Folgerungen auf die Gültigkeit/Ungültigkeit der Hypothesen.
9. Prüfen der Eignung der Hypothese zur Erklärung anderer Sachverhalte bzw. Erhärten der Gültigkeit an weiteren experimentellen Befunden oder direkt an der Praxis.

Erläuterungen:

Schritt 1:

Der ausreichenden Sicherung der Erfahrungsgrundlage muß im Unterricht künftig eine größere Beachtung geschenkt werden, da es sich gezeigt hat, daß selbst entscheidende Aussagen häufig allein auf der Grundlage einer einzigen Beobachtung oder zumindest einer sehr schmalen Erfahrungsgrundlage erarbeitet werden und auch die Anwendungsbreite der Erkenntnis dem Schüler häufig nur sehr einseitig dargestellt wird.

Schritt 2:

Es gelten die Forderungen, die an eine Beschreibung zu stellen sind, (↗ S. 27). Die Notwendigkeit einer Beschreibung sollte vor allem dadurch motiviert werden, daß sie dazu dient, die Bedingungen, unter denen eine Erscheinung auftritt, explizit zu formulieren und die wesentlichen von den unwesentlichen Bedingungen abzusondern. Als Kriterium dafür, ob eine Bedingung wesentlich ist, kann herangezogen werden, daß beim Fehlen dieser Bedingung die Erscheinung nicht auftritt.

Beispiel:

Für die Beobachtung, daß ein in Wasser getauchter Stab gebrochen erscheint, ist unwesentlich, aus welchem Material er besteht. Eine wesentliche Bedingung ist dagegen das Vorhandensein einer Grenzfläche zwischen zwei optisch verschiedenen Medien.

Schritt 3:

Mit diesem Schritt wird das verschiedenen Erscheinungen Gemeinsame bzw. Unterschiedliche abgehoben. Eine Verallgemeinerung ist nicht erforderlich, wenn es darum geht, eine Einzelbeobachtung zu erklären.

Schritt 4:

Dieser Schritt schließt sich entweder an Schritt 2 unmittelbar oder an Schritt 3 an. Unter Einbeziehung bereits erworbener Kenntnisse und der Kenntnis der Bedingungen (Schritt 2) unter denen die Erscheinung auftritt, ist eine Erklärung zu erbringen oder ein Erklärungsversuch zu unternehmen (Hypothese). Ein bestimmendes Kennzeichen einer Hypothese ist ihre erklärende Funktion. Dieses Merkmal wird im Unterricht zu wenig beachtet. Unüberlegt wird häufig jede noch nicht bestätigte Annahme als Hypothese bezeichnet.

Als Fragen, die auf eine Hypothese orientieren, kommen Formulierungen der Art in Betracht: Warum ist das so? Wie ist diese Beobachtung zu erklären? Welcher Zusammenhang besteht zwischen bestimmten Eigenschaften? usw. Wesentlich ist, daß eine befriedigende Erklärung nur vorliegt, wenn es gelingt, den Sachverhalt aus Gesetzen und den Bedingungen unter denen er auftritt bzw. unter denen die Gesetze gelten, abzuleiten. Welche Gesetze heranzuziehen sind, kann nicht allgemein bestimmt werden. Geeignet sind jedoch nur Gesetze, deren Bedingungen mit denen des Sachverhalts übereinstimmen. Eine wissenschaftlich befriedigende Erklärung ist nicht erbracht, wenn lediglich eine oder mehrere Ursachen angegeben werden (man spricht von vorwissenschaftlichen Erklärungen). Das Auffinden von Ursachen kann aber ein nützliches heuristisches Prinzip sein, um geeignete Gesetze auszuwählen.

Schritt 4.1.1

In diesem Falle sind dem Schüler die zur Erklärung erforderlichen Gesetze aus dem vorangehenden Unterricht bereits bekannt. Es geht darum, diese Kenntnisse bewußt für die Erklärung zu nutzen.

Beispiel:

Ein Schüler der Klasse 6 kann, nachdem ihm das Modell vom Teilchenaufbau der Stoffe bekannt ist, die Beobachtung, daß sich ein am Löffel verbleibender Rest eines abreißenden Sirupfadens zum Löffel hin zurückzieht, mit Hilfe der im Modell widergespiegelten Gesetzesaussagen und der vorliegenden Bedingungen, erklären (kategorische, theoretische oder sichere Erklärung genannt).

Schritt 4.2.:

Für diesen Schritt ist methodisch bedeutsam, daß der Lehrer die Erklärungsversuche der Schüler durch Fragen, sprachliche oder experimentelle Impulse, durch Hinweis auf analoge Erscheinungen und deren Erklärung usw. unterstützt, Begründungen für die abgegebenen Erklärungen fordert und entsprechend dem Charakter der Hypothese, eine mögliche Erklärung zu sein, auch Hypothesen zuläßt, ja geradezu provoziert, die sich bei der anschließenden Überprüfung als nicht zutreffend herausstellen. Das bedingt, daß er bereits bei der Planung auch die experimentellen Hilfsmittel mit bedenkt, die zur Überprüfung unterschiedlicher Hypothesen erforderlich sind.

Beispiel:

In Klasse 7 ist der unterschiedliche Auftrieb verschiedener Körper zu erklären. Der Lehrer fordert die Schüler auf, Hypothesen zu bilden. Erfahrungsgemäß erklären die Schüler den unterschiedlichen Auftrieb verschiedener Körper mit der Form des Körpers (Hypothese 1), mit dem Volumen des Körpers (Hypothese 2), mit dem Volumen der verdrängten Flüssigkeitsmenge (Hypothese 3), mit der Art der Flüssigkeit, in die der Körper taucht (Hypothese 4).

Schritt 5:

In bestimmten Fällen kann es möglich sein, daß sich die Hypothese direkt an der Praxis prüfen läßt. Im allgemeinen sind jedoch aus den Hypothesen zwingende Folgerungen abzuleiten. Diese Folgerungen sind in experimentelle Fragestellungen umzusetzen und die Experimente durchzuführen (vgl. experimentelle Methode in /2; S. 125/). Dieser Schritt stellt besonders hohe Anforderungen an das schöpferische Denken. Der Lehrer wird häufig helfend eingreifen müssen, wenn es den Schülern nicht gelingt, Folgerungen aus den Hypothesen abzuleiten oder eine experimentelle Überprüfbarkeit zu finden. Wenn der Lehrer jedoch beständig daran arbeitet, die Erfahrungsgrundlage der Schüler zu erweitern, gelingt es ihnen zunehmend besser, die mit diesem Schritt erforderlichen Anforderungen zu erfüllen.

Schritt 6 und Schritt 7:

Das Experiment wird aufgebaut und durchgeführt. Die Ergebnisse werden registriert (Protokoll) und mit den in den Folgerungen ausgedrückten Erwartungen verglichen.

Schritt 8:

Durch die methodische Gestaltung des Erkenntnisablaufs muß gesichert werden, daß der Schüler die Hypothese(n) und die Folgerung(n) klar auseinanderhält. Er muß erkennen, daß aus der Bestätigung (Nichtbestätigung) der Folgerung auf die Bestätigung (Nichtbestätigung) der Hypothese geschlossen wird. Es wird also nicht eigentlich die Hypothese, sondern die aus ihr gezogene Folgerung experimentell geprüft.

Schritt 9:

Wurde die Hypothese bestätigt, dann kann versucht werden, weitere Sachverhalte mit dieser Hypothese zu erklären. Im Falle vielfacher Bewährung der Hypothese kann diese zur Grundlage einer Theorie werden. Auch dann besteht die Möglichkeit, daß durch ein tieferes Eindringen in die Zusammenhänge, durch die Untersuchung weiterer Erscheinungen, die entwickelte Theorie durch eine den Tatsachen besser gerecht werdende ersetzt werden muß.

Beispiel:

Die Wärmestofftheorie wurde durch die kinetisch-statistische Wärmetheorie ersetzt.

Beispiel:

Klasse 9: „LENZsches Gesetz“ /5; S. 90/

Die Erarbeitung wird durch eine experimentelle Problemstellung eingeleitet. Vor den Schülern sind an vier Stativen vier gleichartige Federschwinger aufgebaut. Der schwingende Körper ist in allen Fällen ein aus der gleichen Anzahl von Manipermbüttchen zusammengesetzter Magnet. Er schwingt im Experiment a frei, im Experiment b in einer Pappröhre ($\varnothing$ ca. 5 cm), im Experiment c in einem Messing- oder Alurohr gleichen Durchmessers und im Experiment d in einer mit Klingeldraht umwickelten Pappröhre gleichen Durchmessers (Abb. 6).

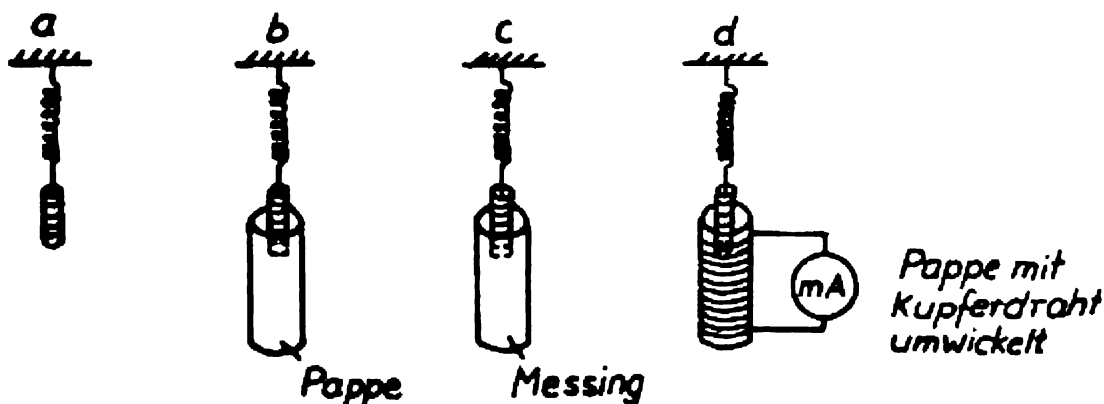


Abbildung 6: Aufbau der Experimente zur Erarbeitung des LENZschen Gesetzes

Schritt 1:

Zunächst werden nur die Experimente a bis c gezeigt. Experiment d ist für die Schüler noch nicht sichtbar. Die drei Magnete werden um den gleichen Betrag ausgelenkt.

Schritt 2:

Die Schüler erhalten den Auftrag, die Schwingungen zu beobachten, Unterschiede festzustellen und die Beobachtungen zu beschreiben. Die Beobachtungen ergeben, daß die Schwingung im Experiment c sehr schnell abklingt. Das Problem der Stunde lautet: Wie ist diese Beobachtung zu erklären?

Schritt 3:

Dieser Schritt entfällt, da nur eine Einzelbeobachtung vorliegt.

Schritt 4:

Der Lehrer fordert die Schüler auf, Hypothesen zu bilden. Folgende Hypothesen ergaben sich in einem Test in einer 9. Klasse:

1. Die Schwingung klingt ab, weil die Luft im Zylinder verdichtet wird und wie ein Polster wirkt, das dämpft.
2. Das Abklingen der Schwingung beruht auf Luftreibung.
3. Der schwingende Körper „reibt“ am Metallzylinder.
4. Die Schwingung klingt ab, weil durch den schwingenden Körper im Metallzylinder ein Strom induziert wird, dessen Magnetfeld die Schwingung dämpft.

Durch Vergleich der Schwingungen mit den Experimenten a und b können die Hypothesen 1, 2 und 3 leicht als unzutreffend zurückgewiesen werden.

Schritt 5:

Aus Hypothese 4 werden folgende experimentell prüfbareren Folgerungen abgeleitet:

Wenn Hypothese 4 richtig ist, dann müßte

- a) die Schwingung auch in einem mit Draht umwickelten Pappzylinder schnell abklingen (Experiment d, Leiterenden kurzgeschlossen)
- b) der induzierte Strom mit einem Strommeßgerät nachweisbar sein (Experiment d, Leiterenden an Meßgerät geführt).

Schritte 6 bis 8:

Beide Folgerungen können im Experiment bestätigt werden. Durch Impulse steuert der Lehrer die Erarbeitung bis zur Erkenntnis der Zusammenhänge: Der in den Kupferwicklungen durch den schwingenden Magneten induzierte Strom führt zum Aufbau eines Magnetfeldes. Da der Permanentmagnet in seiner Bewegung gehemmt wird, müssen sich gleichnamige Magnetpole gegenüberstehen, d.h., „der Induktionsstrom ist so gerichtet, daß er der Ursache seiner Entstehung entgegenwirkt“ (LENZsches Gesetz). Die Hypothese hat den Charakter eines Gesetzes angenommen.

2.2. Erkenntniswege, die von theoretischen Aussagen ausgehen

Auch hier empfiehlt es sich nicht, die Kurzbezeichnungen theoretischer Weg der Erkenntnisgewinnung oder theoretischer Erkenntnisweg zu benutzen (vgl. Anmerkung Seite 65).

Ausgangspunkt des Erkenntnisprozesses sind bei diesem Weg gesicherte oder zumindest als gesichert angenommene theoretische Aussagen. Aus derartigen Aussagen können über diesen Weg Folgerungen abgeleitet, Voraussagen getroffen, Extra- oder Interpolationen vorgenommen werden (vgl. Abbildung 1, Seite 53). Der Erkenntnisweg beginnt mit Schritt 5, der auf Seite 68 beschriebenen Ablaufs der Gewinnung einer Erkenntnis, ausgehend von empirischen Befunden. Er kann durch folgende Teilschritte beschrieben werden:

1. Bereitstellen der theoretischen Aussagen.
2. Feststellen des Wahrheitswertes dieser Aussagen, d.h., sind diese Aussagen gesichert oder werden sie als gesichert angenommen.
3. Deduktives Ableiten zwingender Folgerungen, die sich aus diesen Aussagen ergeben in Form von Voraussagen, Extra- oder Interpolationen.
4. Prüfen der Folgerungen durch direkte Beobachtung oder über experimentell prüfbare weitere Folgerungen, wenn von Aussagen ausgegangen wurde, deren Gültigkeit nur angenommen wurde.

5. Vergleich des Ergebnisses der Überprüfung mit der durch die Folgerung ausgedrückten Erwartung.

Die theoretische Ableitung kann von verbal formulierten oder mathematisch ausgedrückten Aussagen ausgehen. Sie kann über qualitative Schlüsse geführt werden oder auf numerischem, algebraischem oder grafischem Wege erfolgen. Den Schülern muß bewußt werden, daß eine befriedigende Ableitung nur dann vorliegt, wenn sie über eine lückenlose Kette zwingender Schlüsse erbracht wird. Das ist bei der Ableitung spezieller Aussagen aus allgemeinen Aussagen über mathematische Umformungen meist gewährleistet, muß in anderen Fällen aber jeweils Schritt für Schritt geprüft werden. Der Lehrplan bietet zahlreiche Möglichkeiten für den Einsatz dieses Erkenntnisweges. Einige Beispiele sind auf den Seiten 57 und 58 bereits dargestellt.

Zwei weitere Beispiele und ein komplexer Erkenntnisablauf sollen hier noch folgen.

Beispiele:

- a) Aus der Annahme, daß sich ein Zug gleichförmig bewegt und der Kenntnis, daß seine Geschwindigkeit $60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ beträgt, kann deduktiv (zwingend) abgeleitet werden, daß er ein 30 km entferntes Ziel in 30 min erreichen wird. Da von einer als gesichert angenommenen Aussage ausgegangen wird, muß geprüft werden, ob die Voraussetzung tatsächlich erfüllt ist. Eine Abweichung des Ergebnisses kann eventuell aus dem Nichterfülltsein dieser Annahme erklärt werden.
- b) Aus dem bekannten, gesicherten Brechungsgesetz kann in Klasse 6 von den Schülern der qualitative Strahlenverlauf an einem gleichseitigen Prisma auf grafischem Wege vorausgesagt werden (↗ Abbildung 7).



Abbildung 7

- c) Klasse 7: „Vorhersagen von Zugkräften am Flaschenzug“
/3; S. 11/

Im vorangehenden Unterricht wurden aus experimentellen Befunden allgemeine Aussagen über das Auftreten und die Größe von Kräften an der festen Rolle und an der losen Rolle gewonnen. Diese Gesetzmäßigkeiten werden am Anfang der Stunde in einer Wiederholung zur Stoffbereitstellung noch einmal von den Schülern schriftlich oder mündlich abgefragt.

Zur Problemstellung wird den Schülern ein Flaschenzug aus zwei festen und zwei losen Rollen gezeigt und die Aufgabe formuliert, zu ermitteln, wie groß die Belastung höchstens sein darf, daß diese Last von einem Arbeiter mit einer Zugkraft von 1000 N gehalten bzw. bewegt werden kann. Ein Experiment verbietet sich aus Gründen des Arbeitsschutzes und der Sicherheit des Arbeiters.

Schritt 1:

Man erkennt am Flaschenzug, daß feste und lose Rollen über Seile miteinander verbunden sind. Es liegt deshalb nahe, auf die Gesetze für die Hub- und Zugkräfte an der festen und an der losen Rolle zurückzugreifen.

- Durch eine feste Rolle wird nur die Kraftrichtung verändert.
Es gilt: $F_Z = F_H$
- Bei einer losen Rolle wird Kraft gespart, jedes der beiden Seilstücke nimmt die Hälfte der Hubkraft auf.
Es gilt: $F_Z = 1/2 F_H$

Schritt 2:

Die herangezogenen Gesetze sind gesicherte Aussagen.

Schritt 3:

Die gedankliche Analyse der Anordnung wird durch eine zeichnerische Zerlegung des Flaschenzuges in eine Kombination von losen und festen Rollen unterstützt.

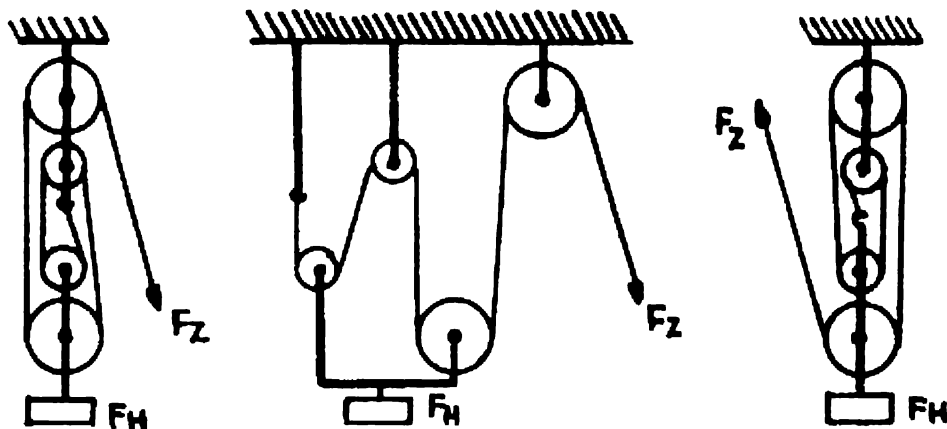


Abbildung 8, 9 und 10

Der Schüler erkennt vier belastete Seilstücke. Wie bei der losen Rolle wird gefolgert $F_Z = 1/4 F_H$ und: Für Flaschenzüge aus 6, 8, 10, ... losen Rollen ergibt sich auf Grund der Anzahl der belasteten Seilstücke

$$F_Z = \frac{1}{n} F_H$$

Schritt 4:

Das vorausgesagte Gesetz wird zunächst im Experiment geprüft. Dazu werden die Zugkräfte an Flaschenzügen mit 4, 6, 8, ... Rollen ermittelt. Die experimentellen Ergebnisse zeigen Abweichungen. Nach den Ursachen ist zu suchen. Die Schüler sind zu der Einsicht zu führen, daß die Bedingungen für die Gültigkeit der Gesetze an der festen und an der losen Rolle im realen Experiment nicht erfüllt werden können (keine Reibung der Rollen) bzw. nicht berücksichtigt wurden (Gewicht der losen Rollen selbst und der „Flasche“).

Es erweist sich als erforderlich, den Einfluß dieser Faktoren auf das Ergebnis zu diskutieren. Der Schüler begreift, daß der Einfluß des Gewichts der losen Rollen und der „Flasche“ rechnerisch leicht erfaßt werden kann:

$$F_Z = \frac{F_H + F_R}{n} \quad (F_R \dots \text{Gewicht der losen Rollen und der „Flasche“})$$

Er begreift ebenso, daß die Reibung durch geeignete Mittel herabgesetzt werden kann, letztlich aber nur abgeschätzt oder experimentell ermittelt werden kann.

Schritt 5:

Das gefundene Ergebnis ist zu überprüfen. Das kann durch Anwenden auf das gestellte Problem erfolgen.

Gesucht: F_Z Gegeben: $F_H = 1000 \text{ N}$
 $n = 4$ (Anzahl der belasteten Seilstücke)

Ansatz: $F_Z = \frac{1}{n} \cdot F_H$

Lösung: $F_Z = \frac{1}{4} \cdot 1000 \text{ N}$

$$F_Z = 250 \text{ N}$$

=====

Ergebnis: Die aufzuwendende Kraft wird etwas größer als 250 N sein müssen, um den angehängten Körper zu halten und noch etwas größer, um ihn nach oben zu bewegen.

Um den verbreiteten Irrtum zu korrigieren, daß n in der Gleichung für F_Z die Anzahl der Rollen bedeutet, sollte folgende Übungsaufgabe gestellt werden:
Wie groß ist F_Z für einen Flaschenzug, wie er in Abbildung 10 dargestellt ist?

Typische Situationen, die durch die fachliche und erkenntnis-
theoretisch-logische Struktur wesentlicher Erkenntnisgegen-
stände bestimmt sind

Wesentliche Erkenntnisgegenstände der Physik sind Begriffe und Aussagen. Begriffe und Aussagen sind die Grundelemente, in denen unser Wissen über die Realität gespeichert ist, sind die Grundelemente der Widerspiegelung der objektiven Realität im Bewußtsein. Ein Bereich der Realität wird umso besser beherrscht, je besser es gelingt, ihn in Begriffen und Aussagen zu erfassen. Begriffe und Aussagen sind u.a. durch folgende Merkmale gekennzeichnet:

Begriffe	Aussagen
...widerspiegeln die Dinge, Eigenschaften, Beziehungen (Relationen) der objektiven Realität.	...widerspiegeln Sachverhalte, d.h., daß gewissen Dingen gewisse Eigenschaften zukommen bzw. zwischen ihnen bestimmte Beziehungen bestehen.
Begriffen kann keine Wahrheit oder Falschheit zugesprochen werden; Begriffe sind adäquat, zweckmäßig, nützlich usw.	Aussagen, in denen eine bestimmte Beziehung widergespiegelt wird, die objektiv existiert, sind wahr, anderenfalls sind sie falsch.
Die sprachliche Existenzform des Begriffes ist das Wort.	Die sprachliche Existenzform der Aussage ist der Satz (Aussagesatz).

Aus der Bedeutsamkeit der Begriffe und Aussagen zur Widerspiegelung der objektiven Realität ergibt sich zwangsläufig ihre große Bedeutung für den Unterricht und die Notwendigkeit, Sicherheit bei der Führung des Prozesses der Herausbildung wissenschaftlicher Begriffe und der Gewinnung wissenschaftlicher Aussagen zu erwerben und Einblick zu gewinnen in die Invarianten, durch die diese Erkenntnisprozesse charakterisiert sind. Die Invarianten bilden das zuverlässige Gerüst für eine sachgemäße Gestaltung des Unterrichtsprozesses.

Die vorgegebene Struktur muß methodisch angereichert werden durch die Einbeziehung der didaktischen, lern- und entwicklungspsychologischen Anforderungen, die sich aus der konkreten Klassensituation ergeben, d.h., durch Maßnahmen und Entscheidungen, in denen die von Klasse zu Klasse unterschiedlichen Bedingungen (Variable) berücksichtigt werden.

1. Das Bilden physikalischer Begriffe

Begriff - gedankliche Widerspiegelung einer Klasse von Individuen oder von Klassen auf der Grundlage ihrer invarianten Merkmale, d.h. Eigenschaften oder Beziehungen.

Jede Wissenschaft bedient sich zur Widerspiegelung ihrer Erkenntnisse sehr vielfältiger, auf unterschiedliche Weise gewonnener Begriffe. Für eine erfolgreiche Führung des Begriffsbildungsprozesses ist eine Kenntnis wesentlicher Besonderheiten dieses Prozesses unerlässlich.

1.1. Die Beziehung zwischen Wort und Begriff

Zwischen Begriffen, als der gedanklichen Widerspiegelung, und Worten, als der sprachlichen Existenzform der Begriffe, besteht oft keine eindeutige Beziehung. Das wirkt sich nachteilig auf die gegenseitige Verständigung aus. Drei Problemfälle haben auch für den Physikunterricht Bedeutung und bedürfen unterschiedlicher methodischer Maßnahmen:

- a) Für denselben Begriff existieren mehrere unterschiedliche Worte (Synonymie)

Beispiel: Schwerkraft = Gravitationskraft

Diese Besonderheit wirkt sich im Unterricht dann hemmend aus, wenn dem Schüler die unterschiedlichen Worte für denselben Begriff nicht bekannt sind, der Lehrer das nicht beachtet und wahllos zwischen diesen Worten in seiner Sprechweise variiert. Oft verwendet der Schüler in seinen Antworten auch Worte, die nicht zutreffend sind, die er aber als Synonyme auffaßt und wo er sich, wenn er korrigiert wird, mit der Begründung „Ich habe es so gemeint“ verteidigt. Um derartige Mißverständnisse auszuschließen, sollte der Lehrer sehr diszipliniert mit den von ihm benutzten Worten umgehen und dafür sorgen, daß der Schüler mit einem bestimmten Begriff auch ein bestimmtes Wort verbindet.

b) Für verschiedene Begriffe existiert nur ein Wort (Homonymie).

Beispiel:

"Teilchen" als Wort zur Bezeichnung mikrophysikalischer Objekte (Atom, Molekül, Ion usw.) und zur Bezeichnung makrophysikalischer Objekte (Staubkörnchen, Fettkügelchen usw.).

Diese Mehrdeutigkeit erschwert eine eindeutige Verständigung.

• Meist ist nur aus dem Kontext, in dem das Wort steht, der Begriff, den es bezeichnet, zu erschließen. Die Fachsprache versucht, dieser Problematik oft durch Rückgriff auf Worte aus einer Fremdsprache zu begegnen. Ziel des Unterrichts muß es auch hier sein, eindeutige Zuordnungen zu erreichen. Welche Probleme sich daraus für den Erwerb wissenschaftlicher Einsichten ergeben können, zeigt das folgende Beispiel:

Der Schüler sieht unter dem Mikroskop, daß sich Fetttröpfchen unregelmäßig bewegen. Er schließt logisch zwingend, inhaltlich, durch synonyme Verwendung des Teilchenbegriffs für Fetttröpfchen und mikrophysikalische Teilchen, falsch:

Ich habe gesehen: Fetttröpfchen bewegen sich ungeordnet
Fetttröpfchen sind Teilchen

Also: Die Teilchen bewegen sich ungeordnet. In den Prämissen steht der Teilchenbegriff für makroskopisch beobachtbare Teilchen, in der Konklusion für mikrophysikalische Teilchen.

c) Es wird eine Wortverbindung benutzt, in der das Attribut nichts anderes ausdrückt als es im Substantiv bereits implizit enthalten ist (Tautologie) oder es wird eine Definition gebildet, in der der zu definierende Begriff durch sich selbst definiert wird (tautologische Definition). Tautologien führen zu Weitschweifigkeit der Rede ohne neue Informationen. Beispiele: ausdehnungsloser Punkt, weißes Sonnenlicht u.a. In bestimmten Zusammenhängen, z.B. dann, wenn es darum geht, ein bestimmtes Merkmal zu betonen, kann es aber durchaus berechtigt sein, mit Doppelbezeichnungen zu operieren. Beispiele: Träge bzw. schwere Masse, erklärende Hypothese u.a. Methodisch besondere Aufmerksamkeit bedürfen auch die tautologischen oder Zirkeldefinitionen. Sie treten häufig dann auf, wenn die den Begriff kennzeichnenden Merkmale noch nicht ausreichend scharf und deutlich bestimmt sind. Der Lehrer sollte darauf hinarbeiten, daß der Schüler nicht darauf zurückgreifen muß.

Beispiel: Ein elektrischer Leiter ist ein Leiter, der den elektrischen Strom leitet.

1.2. Die Beziehung zwischen Begriffen der Alltags- und der Fachsprache

Unter diesem Aspekt müssen bei der methodischen Gestaltung des Unterrichts drei Fälle unterschieden und methodisch unterschiedlich behandelt werden:

- a) Alltags- und Fachbegriffe sind inhaltsgleich, sie werden durch dasselbe Wort widergespiegelt

Dieser Fall ist methodisch am einfachsten zu realisieren. Der Lehrer kann auf den Begriffskenntnissen aus dem Alltag aufbauen und den Alltagsbegriff in das Begriffssystem des Faches übernehmen.

Beispiele: Schatten, Spiegel, Experiment, Länge, Zeit, schwer u.a.

- b) Alltags- und Fachbegriffe haben unterschiedliche Inhalte, sie werden aber durch ein gleiches Wort widergespiegelt

Das methodische Problem besteht darin, daß den Schülern zunächst der fachspezifische Inhalt im Unterschied zum Alltagsbegriff verdeutlicht wird. Durch eine überlegte Aufgabenauswahl muß der Schüler dann veranlaßt werden, mit dem fachspezifischen Inhalt des Begriffes zu operieren, um diesen Inhalt zu festigen und zu verinnerlichen. Die Praxis zeigt, daß der Schüler trotzdem den Alltagsbegriff nicht aufgibt, sondern je nach Anforderung, die die Aufgabe stellt, den Fachbegriff neben dem Alltagsbegriff benutzt. Davon muß der Lehrer bei seinen Überlegungen stets ausgehen. Er muß z.B. wissen, daß ein Schüler der Klasse 7 nach der Behandlung des Schwimmens wenigstens drei unterschiedliche Begriffe mit dem Wort „Schwimmen“ verbindet und diese nebeneinander benutzt.

- Schwimmen als ein Vorgang, als eine typische Art der Fortbewegung im Wasser
- Schwimmen als Zustand, der sich einstellt, wenn „der Körper leichter als Wasser ist“ (Alltagserfahrung) und „der Auftrieb, den der Körper erfährt, gleich dem Gewicht der verdrängten Flüssigkeit ist“ (wissenschaftlicher Begriff).

Ohne weitere Merkmale, die der Schüler mit diesen Begriffen noch verbindet, hier anzuführen, wird deutlich, daß sich der Lehrer auf diese Situation einstellen muß. Es dürfte eine Illusion sein, zu glauben, daß sich der Schüler letztlich von den beiden ersten Inhalten löst. Er wird auch weiterhin davon sprechen, daß er zum „Schwimmen“ geht, und von jedem verstanden werden. Wird er aufgefordert ein Boot zu bauen, dann wird er einen Werkstoff suchen, der „leichter als Wasser“ ist und erst, wenn er einen solchen nicht findet, wird er sich des wissenschaftlichen Begriffes besinnen. Das Ergebnis in allen drei Fällen wird ihn in der Überzeugung bestärken, richtig gehandelt zu haben. Diese besondere Situation darf den Lehrer jedoch nicht daran hindern, beständig an der Ausformung des wissenschaftlichen Begriffes zu arbeiten und die Schüler in entsprechende Anforderungssituationen zu versetzen.

Weitere Beispiele: Teilchen, Kraft, Arbeit, Wärme, undurchsichtig, flüssig, Modell, Feld usw.

- c) Der Begriff existiert nur als Fachbegriff mit definiertem Inhalt und wird durch ein der Alltagssprache fremdes Wort widergespiegelt

Dieser Fall ist im Unterschied zum vorangehenden methodisch relativ einfach zu lösen. Es kommt darauf an, daß die Begriffsmerkmale und der Begriffsumfang deutlich herausgearbeitet werden, und der Schüler über das Lösen von Aufgaben Gelegenheit erhält, sich den Begriff anzueignen. Dazu gehört, daß der Lehrer darauf drängen muß, die Fachsprache adäquat anzuwenden.

Beispiele:

Anstelle „schiefe Ebene“ richtig: „geneigte Ebene“;
anstelle „schwingende Masse“ richtig: „schwingender Körper mit der Masse“;
anstelle „Federwaage“ richtig: „Federkraftmesser“;
anstelle „Zollstock“ richtig: „Meterstab“ usw.

Fachbegriffe dieser Art sind z.B.: Atom, Laser, elektromagnetische Induktion, HERTZsche Wellen, MHD-Generator usw.

1.3. Die Beziehung zwischen Begriffsinhalt und Begriffsumfang

Begriffe werden bestimmt durch Angabe ihres Inhalts (Intension) und ihres Umfangs (Extension). Mängel in der Aneignung von Begriffen haben häufig ihre Ursache in der unzureichenden Kennzeichnung von Inhalt und Umfang. Folgende beiden Hauptfehler sind anzutreffen:

- Begriffsverengung: Der Umfang des Begriffes ist so gefaßt, daß Elemente, die zur Begriffsklasse gehören, nicht einbezogen werden

Beispiele: Arbeit nur als mechanische Arbeit, nur als Hub- oder Reibungsarbeit, nur für konstante Kraft, nur für den Fall, daß Kraft- und Verschiebungsrichtung übereinstimmen usw.

- Begriffserweiterung: Der Umfang des Begriffes ist so gefaßt, daß Elemente einbezogen werden, die hinsichtlich ihrer Merkmale durch den Begriff nicht widergespiegelt werden.

Beispiele: Arbeit als physikalischer Vorgang, geistige Belastung, physische Anstrengung, ökonomische Kategorie usw.
Feld als physikalischer Sachverhalt, Fußballfeld, Bewährungsfeld, abgegrenzter Bereich usw.

Aus didaktischen, aus lern- und entwicklungspsychologischen oder methodischen Gründen kann es sich als notwendig erweisen, zunächst einen zu engen oder zu weiten Begriff einzuführen. Probleme für das Begriffslernen ergeben sich dann, wenn versäumt wird, diesen engeren oder weiteren Umfang deutlich durch die Angabe der Bedingungen, unter denen er zutreffend ist, zu kennzeichnen.

1.4. Der Begriff als Einheit qualitativer und quantitativer Bestimmungen

Analysiert man die in der Physik verwendeten Begriffe, so stellt man fest, daß sie durch die Angabe qualitativer und quantitativer Merkmale bestimmt sind. Bei den verschiedenen Begriffen treten diese Merkmale mit unterschiedlichem Anteil auf. Unter den physikalischen Begriffen kommt jenen eine besondere Bedeutung zu, die eine qualitative und eine quantitative Aussage über eine meßbare physikalische Eigenschaft eines physikalischen Gegenstandes, Vorganges oder Zustandes treffen. Sie werden als „Physikalische Größen“ bezeichnet.

Innerhalb der Klasse der physikalischen Größen sind verschiedene Klassenbildungen vorgenommen worden. Für den Begriffsbildungsprozeß wichtig ist die eindeutige Zuordnung jeder physikalischen Größe entweder zur Klasse der Basisgrößen oder der abgeleiteten physikalischen Größen.

Der Begriffsbildungsprozeß verläuft über drei Stufen. Auf der qualitativen Stufe werden die den Begriff konstituierenden qualitativen Merkmale bestimmt. An diese Stufe schließen sich die halbquantitative und die quantitative Stufe an.

Die Bezeichnung der Stufen weist auf die Form hin, in der die Aussagen im Ergebnis der Erarbeitung vorliegen.

Eine andere Bezeichnungsweise, die mit den genannten Stufen nicht identisch ist, rückt die jeweils im Mittelpunkt stehende geistige Tätigkeit in den Vordergrund. Man spricht dann von einer klassifikatorischen, einer komparativen und einer metrischen Stufe.

Für die Erarbeitung physikalischer Begriffe läßt sich folgende allgemeine Struktur angeben:

Physikalische Begriffe

1. Qualitative Stufe

Das Ziel besteht in der Erfassung qualitativer begriffsbestimmender Merkmale. Das erfolgt über eine Analyse der zu charakterisierenden Sachverhalte bezüglich wesentlicher, ihnen gemeinsamer oder sie unterscheidender Merkmale und das Abheben dieser konstituierenden Merkmale.

2. Halbquantitative Stufe

Das Ziel besteht in der Erfassung des Ausprägungsgrades der begriffsbestimmenden Merkmale bei den verschiedenen Objekten einer Klasse. Das erfolgt im wesentlichen über einen Vergleich und das Herstellen einer Ordnungsrelation (größer, länger, optisch dichter, elektrisch besser leitend, ... oder gleichgroß, gleichweit, ...) oder der Ermittlung von Abhängigkeiten (der Form „Je ... umso ...“). Dazu sind objektive Vergleichsmöglichkeiten über geeignete Meßgeräte zu schaffen (z.B. Hilfsmittel wie Waagen, Uhren, Thermometer usw.). Auf dieser Stufe wird noch nicht bis zur Einführung von Einheiten vorgedrungen, die dann auch eine zahlenmäßige Bestimmung des Ausprägungsgrades ermöglichen.

3. Quantitative Stufe

Das Ziel besteht in der quantitativen Erfassung des Ausprägungsgrades der begriffsbestimmenden qualitativen Merkmale. Dazu ist eine Einheit einzuführen. Bei abgeleiteten physikalischen Größen wird die Einheit aus der Definitionsgleichung über eine Einheitengleichung gewonnen. Der Ausprägungsgrad kann nun auch zahlenmäßig angegeben werden.

Einheit der Masse: 1 Kilogramm (1 kg)

Einheit der Geschwindigkeit:

$$\text{Aus } v = \frac{s}{t} \text{ folgt } [v] = \frac{[s]}{[t]} \text{ folgt } [v] = \frac{m}{s}$$

Zu beachten ist, daß der Prozeß der Bildung physikalischer Begriffe im Physikunterricht nicht immer über alle drei Stufen geführt, sondern für bestimmte Begriffe auf der qualitativen bzw. der halbquantitativen Stufe abgebrochen wird.

Beispiele:

In Klasse 6 wird der Begriff „Schatten“ bis zur halbquantitativen Stufe, bis zur Feststellung „mehr oder weniger dunkler Schatten“, d.h., der Unterscheidung von „Kern- und Halbschatten“ geführt.

In Klasse 9 wird der Begriff „Stärke des Magnetfeldes (einer Spule)“ nur bezüglich der Abhängigkeiten zwischen der Stärke des Magnetfeldes einer stromdurchflossenen Spule konstanter Länge von der Stromstärke, der Windungszahl der Spule und von dem Stoff, der sich in der Spule befindet, erfaßt. Im weiteren wird dann zunächst nur mit diesem „nicht voll entwickelten Begriff“ gearbeitet. In Klasse 12 wird die magnetische Flußdichte als entsprechende physikalische Größe durch die Definitionsgleichung

$$B = \frac{F}{I \cdot l}$$

und die abgeleitete Einheit 1 Tesla (1 T) eingeführt und die physikalische Größe damit auf die Stufe der Definition angehoben.
/5; S. 89/

1.5. Wege zur Gewinnung der Definitionsgleichung für physikalische Größen

Physikalische Größen zeichnen sich durch eine besonders klare und scharfe Definition aus. Aus ihrer Bedeutsamkeit erklärt sich, daß die Wege zu ihrer Erarbeitung, insbesondere die erforderlichen Schritte auf der halbquantitativen Stufe und quantitativen Stufe, in der methodischen Theorie weitaus umfassender und präziser untersucht worden ist als das für die qualitative Stufe der Fall ist.

Basisgrößen werden definiert durch die Angabe einer Meßvorschrift und einer Einheit. Die Meßvorschrift besagt,

- wie man eine Größe zu messen hat,
- wann zwei Größen der gleichen Art gleich sind und
- wie man Vielfache und Bruchteile dieser Größe erhält.

Abgeleitete physikalische Größen werden durch eine Definitionsgleichung definiert. Definitionsgleichungen können auf unterschiedlichen Wegen gewonnen werden:

a) durch induktive Verallgemeinerung der Abhängigkeiten zwischen zwei oder mehr als zwei physikalischen Größen und der Aufdeckung der zwischen diesen Größen bestehenden Gesetzmäßigkeiten.

Beispiele:

Aus dem festgestellten gesetzmäßigen Zusammenhang $U \sim I$ wird der elektrische Widerstand als eine Eigenschaft eines elektrischen Leiters definiert

$$R = \frac{U}{I}$$

Ist die Eigenschaft „elektrischer Widerstand R “ definiert, dann gilt auch $R \sim 1/I$ für $U = \text{konstant}$ und $R \sim U$ für $I = \text{konstant}$.

Aus den festgestellten gesetzmäßigen Zusammenhängen

$\Delta l \sim \Delta T$ und $\Delta l \sim \Delta l_0$ wird der lineare Wärmeausdehnungskoeffizient α definiert

$$\alpha = \frac{1}{l_0 \cdot \Delta T}$$

b) durch deskriptive Festlegung. Hierbei sind drei Varianten zu unterscheiden. Die deskriptive Festlegung erfolgt

- auf Grund einer Diskussion von Beispielen (Plausibilitätsbetrachtungen). Es wird festgestellt, daß ein bestimmter Sachverhalt durch das Produkt aus bestimmten Größen zweckmäßig erfaßt werden kann. Das Produkt wird als neue physikalische Größe definiert.

Beispiel: Es erweist sich als zweckmäßig, das Produkt aus der an einem Körper angreifenden Kraft F und dem unter der Wirkung der Kraft zurückgelegten Weg s als Arbeit W zu definieren. Mit dieser neuen abgeleiteten physikalischen Größe kann die Bewegung oder Verformung eines Körpers unter der Wirkung einer Kraft (qualitative Bestimmung) erfaßt werden. Das Produkt widerspiegelt die Erfahrung, daß die mechanische Arbeit umso größer ist, je größer die angreifende Kraft und je länger der zurückgelegte Weg sind. Wichtig ist, die Gültigkeitsbedingungen dieser Definition anzugeben.

Weitere Beispiele sind die Definitionen des Drehmoments, des Impulses, der elektrischen Ladung.

- auf Grund von Analogiebetrachtungen zu anderen bereits erfaßten Sachverhalten

Beispiel: In Analogie zu den Definitionsgleichungen bestimmter Größen für die geradlinige Bewegung werden analoge Definitionsgleichungen für die Kreisbewegung gebildet

geradlinige Bewegung		Kreisbewegung
Bahngeschwindigkeit		Winkelgeschwindigkeit
$v = \frac{s}{t}$	$\longleftrightarrow$	$\omega = \frac{\phi}{t}$
Bahnbeschleunigung		Winkelbeschleunigung
$a = \frac{v}{t}$		$\alpha = \frac{\omega}{t}$

- indem die neue physikalische Größe als Verhältnis der Werte derselben Größe für zwei verschiedene Sachverhalte festgelegt wird

Beispiel: Definition des Wirkungsgrades

$$\eta = \frac{E_{\text{nutzbringend}}}{E_{\text{aufgewandt}}}$$

- c) durch theoretische (deduktive) Herleitung. Voraussetzung dafür sind bereits bekannte Zusammenhänge zwischen physikalischen Größen. So kann z.B. aus der Definitionsgleichung der mechanischen Leistung $P = \frac{W}{t}$ und der Festlegung, daß die elektrische Leistung ebenfalls als Quotient von elektrischer Arbeit und Zeit erfaßt werden soll, durch Verwendung der Gleichung für die elektrische Arbeit eine spezielle Gleichung für die elektrische Leistung abgeleitet werden:

Aus $P_{el} = \frac{W_{el}}{t}$ und mit $W_{el} = U \cdot I \cdot t$ folgt: $P_{el} = U \cdot I$.

Weitere Beispiele sind die Herleitung der Gleichungen für die potentielle und die kinetische Energie eines Körpers (S. 6)

1.6. Invarianten des Weges zur Erarbeitung physikalischer Größen

Der Prozeß der Erarbeitung physikalischer Größen kann in unterschiedlicher Weise durch seine erkenntnistheoretisch-logischen und didaktisch-methodischen Invarianten beschrieben werden.

1.6.1. LIEBERS /6; S. 59 bzw. 84/ geht bei der Ermittlung der Invarianten von den Erkenntnisschritten bei der Anwendung der Mathematik im Physikunterricht aus und spezifiziert diese Erkenntnisschritte für die Einführung und Definition physikalischer Basisgrößen und abgeleiteter physikalischer Größen. Aus den dafür angegebenen Schrittfolgen ist zu erkennen, daß die mathematische Analyse zwar die Leitidee zur Ermittlung der Invarianten ist, die daraus gezogenen Folgerungen aber weit darüber hinaus, bis hin zu konkreten didaktisch-methodischen Lösungen führen. Als Invarianten ergeben sich für die beiden Klassen physikalischer Größen nach LIEBERS:

Einführung und Definition	
physikalischer Basisgrößen	abgeleiteter physikalischer Größen
1. Wir beobachten und vergleichen in Natur und Technik	
2. Wir vereinfachen...	Wir vereinfachen und idealisieren ...
... die Erscheinungen und Vorgänge aus der Sicht der Physik	
3. Wir messen	Wir suchen die Definitionsgleichung zur zahlenmäßigen Angabe der physikalischen Größe
4. Wir fassen zusammen	
5. Wir verdeutlichen uns...	... den Inhalt der Gleichung an einigen einfachen Beispielen
... die Bedeutung der physikalischen Größe an einigen einfachen Beispielen	
6. Wir können neue Gesetze erkennen	Wir können erklären, voraussagen und neue Gesetze erkennen

Diese Hauptschritte werden durch Teilschritte weiter untersetzt. Für die Unterrichtsplanung und -gestaltung steht damit eine sichere Orientierungsgrundlage zur Verfügung, die insbesondere die folgenden methodischen Gesichtspunkte berücksichtigt

- die physikalischen Begriffe werden von einer umfassenden Erörterung ihrer qualitativen Merkmale ausgehend eingeführt
- der Zusammenhang zwischen realem Objekt, seiner physikalischen Idealisierung und mathematischen Modellierung wird deutlich herausgearbeitet und den Schülern durch die methodische Lösung der Entwicklung von Abstraktions- und Konkretisierungsreihen zugänglich gemacht /6/
- der Festigung wird besonderes Augenmerk geschenkt. Methodisch wird dem durch den Übergang von der mathematischen Modellierung zur Anwendung auf konkrete Sachverhalte entsprochen.

Eine ausführliche Darstellung der Teilschritte und viele Beispiele sind in /6/ zu finden. Das Studium ist dringend zu empfehlen.

1.6.2. Die Invarianten können auch aus der Sicht der zu durchlaufenden Stufen bei der Begriffsbildung dargestellt werden. Diese Darstellung wird vorwiegend von den erkenntnistheoretisch-logischen Erfordernissen bestimmt und ist durch eine höhere Abstraktionsebene gekennzeichnet. Herausgearbeitet werden die Hauptschritte auf den drei bereits erläuterten Stufen. Dem Lehrer wird ein größerer Spielraum bei der methodischen Ausformung der Invarianten zugestanden. Das damit beschriebene Vorgehen ist ebenfalls darauf ausgerichtet, den Begriffsinhalt aus der objektiven Realität heraus zu abstrahieren und die Erarbeitung der qualitativen Merkmale besonders ins Blickfeld des Lehrers zu rücken.

Schrittfolge zur Erarbeitung physikalischer Größen

1. Hinweise zur Gestaltung der qualitativen Stufe

- Den Ausgangspunkt der Erarbeitung bilden empirische Befunde (Wahrnehmungen, Vorstellungen).
- Die empirischen Befunde werden hinsichtlich der den Dingen, Eigenschaften oder Beziehungen gemeinsamen, wesentlichen Merkmale analysiert, wobei von individuellen und spezifischen Merkmalen abstrahiert wird.
- In einem Prozeß der Generalisierung werden die wesentlichen invarianten Merkmale gedanklich zusammengefügt und dem so geschaffenen Gebilde (Begriff) wird ein Wort zugeordnet.

- An weiteren Sachverhalten der objektiven Realität wird der Begriff angewendet.

Ein wesentliches Ziel dieser Stufe muß vor allem darin gesehen werden, den Schülern die Zweckmäßigkeit einer neuen Begriffsbildung zu motivieren. Die Praxis zeigt, daß diesem Aspekt im besondern und der qualitativen Bestimmung des Begriffs im allgemeinen bisher zu wenig Beachtung im Physikunterricht geschenkt wird. Durch eine voreilige Formalisierung werden leere Worte an die Stelle inhaltlich ausgebauter Begriffe gesetzt. Hierin ist eine Ursache für die noch bestehenden Mängel in der Anwendbarkeit physikalischer Begriffe zu sehen.

Inhaltliche Erfassung bedeutet, daß der Schüler weiß, welche Eigenschaft oder Beziehung durch den physikalischen Begriff erfaßt wird.

Beispiele: Der Begriff "Brechung" erfaßt die Eigenschaft, z.B. des Lichtes, beim Auftreffen auf die Grenzfläche eines optisch von der Umgebung verschiedenen Stoffes seine Richtung zu ändern. Der Begriff "elektrischer Widerstand" erfaßt die Eigenschaft elektrischer Leiter, den elektrischen Strom zu behindern.

Begriffe können in Abhängigkeit vom widerzuspiegelnden Sachverhalt auf drei methodologisch unterschiedlichen Wegen gewonnen werden

a) durch die bereits erwähnte Generalisierung

Durch Generalisierung wird der Begriffsinhalt aus einer Reihe übereinstimmender Feststellungen an konkreten Objekten abgehoben.

Beispiel: Aus den Beobachtungen beim Heben eines Ziegelsteines, dem Schieben oder Ziehen eines Wagens, der Verformung eines Balles usw. im Unterschied zum Halten einer Kugel am ausgestreckten Arm, dem Tragen einer Tasche usw. wird abgehoben: Es gibt Vorgänge, bei denen Körper durch Einwirken von Kräften gehoben, in Bewegung gehalten oder gesetzt oder verformt werden. An diesen Körpern wird Arbeit verrichtet.

b) durch Klassifizierung

Durch Klassifizierung wird der Begriffsumfang festgelegt.

Beispiel: Unterschiedliche Merkmale von Bewegungen werden abgehoben und zur Grundlage der Bildung der Begriffe "geradlinige Bewegung", "Kreisbewegung", "Schwingung" oder "gleichförmige Bewegung", "beschleunigte Bewegung", "verzögerte Bewegung" genommen.

Bestimmte physikalische Größen werden auf diesem Wege durch Verwendung kennzeichnender Attribute näher charakterisiert.

Beispiel: Reibungskraft, Gewichtskraft, Radialkraft als spezielle Vertreter der Größenart Kraft.

c) durch deskriptive Festlegung

Durch deskriptive Festlegung wird die Bedeutung eines Wortes bestimmt, ohne einen Begriffsbildungsprozeß im eigentlichen Sinne zu durchlaufen.

Beispiel: Den Schülern der Klasse 6 wird mitgeteilt, daß man das abweichende Verhalten des Wassers, bei Erwärmung von 0°C bis 4°C sein Volumen zu verringern, als „Anomalie“ bezeichnet.

In allen drei Fällen ist zu beachten, daß deutlich unterschieden werden muß zwischen der Definition (oft als Begriffs„erklärung“ bezeichnet) eines Begriffes und der Erklärung eines Sachverhalts, zu der der Begriff herangezogen wird. So liegt mit der Festlegung im Beispiel unter c) eine auf dem Niveau der Klasse 6 durchaus befriedigende Definition vor, der Sachverhalt selbst wird damit aber nicht erklärt. Diese Aufgabe kann vom Schüler der Klasse 6 nicht gelöst werden. Die Frage darf also nicht lauten: Erkläre die Anomalie des Wassers! sondern der Lehrer muß fragen: Was versteht man unter der Anomalie des Wassers? Um diesen Fehler zu vermeiden, empfiehlt es sich ganz allgemein, das Wort „Erkläre!“ im Zusammenhang mit der Bestimmung eines Begriffes nicht zu verwenden, sondern zu fragen: „Was ist unter ... zu verstehen?“ Wesentlich ist weiterhin, daß die Begriffe nicht auf abstrakt-verbaler Ebene, ohne Beziehung zum Konkret-Gegenständlichen oder allein an einem zufällig ausgewählten Objekt eingeführt werden. Insbesondere der unerfahrene Lehrer glaubt, daß mit der Nennung, dem Anschreiben und der wiederholten Verwendung eines Wortes dem Schüler auch der damit verbundene Begriff vertraut geworden ist. Aus der Lernpsychologie ist bekannt, daß Definitionsleistungen mit zu den anspruchsvollsten geistigen Tätigkeiten zu zählen sind.

2. Hinweise zur Gestaltung der halbquantitativen Stufe

Für die Erarbeitung physikalischer Begriffe wird nun die Frage nach dem Ausprägungsgrad der betreffenden Eigenschaft gestellt. Sofern es sich dabei um äußerlich wahrnehmbare Merkmale handelt,

ist dieser Vergleich oft durch bloße In-Augenscheinnahme möglich. Sinnestäuschungen weisen aber darauf hin, daß bei einem solchen Vergleich Vorsicht geboten ist. Unmöglich wird dieses Vorgehen, wenn es sich um den Vergleich äußerlich nicht wahrnehmbarer Merkmale oder um sehr geringe Unterschiede im Ausprägungsgrad handelt. Unter Verwendung geeigneter Hilfsmittel wird beim Vergleich festgestellt,

- daß das Merkmal a bei den Objekten $A, B, C, \dots$ usw. mit dem gleichen Ausprägungsgrad vorliegt;
- daß der Ausprägungsgrad des Merkmals a in der Relation $a_A < a_B < a_C \dots$ steht oder
- daß, falls ein Merkmal bei mehreren Objekten mit dem gleichen Ausprägungsgrad auftritt, für den Ausprägungsgrad des Merkmals a bei den Objekten A und B gilt:
 $a_A = n \cdot a_B \quad (n = 1, 2, 3, \dots).$

Die Bestimmung des Ausprägungsgrades läuft also letztlich darauf hinaus, eine Meßanordnung zu finden, die den Vergleich unterschiedlicher Ausprägungsgrade ermöglicht. Für die Basisgrößen bedeutet das, ein Meßgerät zu entwickeln.

Beispiel: Um verschiedene Objekte bezüglich des Ausprägungsgrades der Eigenschaft „schwer zu sein“ zu vergleichen, wurde mit der Erfindung der Waage der entscheidende Schritt getan. Damit war es möglich, unabhängig vom subjektiven Empfinden eine objektive Entscheidung zu treffen.

Für die abgeleiteten physikalischen Größen müssen Beziehungen zu anderen bereits meßbaren physikalischen Größen gesucht werden. Die wesentlichen Teilschritte auf der halbquantitativen Stufe lassen sich wie folgt zusammenfassen

- Vergleich verschiedener Sachverhalte bezüglich des Ausprägungsgrades des/der wesentlichen Merkmals(e) subjektiv durch direkten Vergleich oder objektiv über geeignete Meßgeräte oder über Zusammenhänge mit bereits meßbaren anderen physikalischen Größen
- Ordnen der Sachverhalte bezüglich der Relationen gleich, größer/kleiner, n -mal so groß.

Muß der Weg über die Ermittlung bestimmter Zusammenhänge gegangen werden, dann sind je nach der Anzahl der verknüpften Größen alle verschiedenen Abhängigkeiten aus der Analyse konkreter Sachverhalte zu ermitteln. Es ergeben sich Formulierungen folgender Art:

- Die Geschwindigkeit ist umso größer, je kürzer die Zeit ist, in der ein bestimmter Weg zurückgelegt wird.
- Die Geschwindigkeit ist umso größer, je länger der Weg ist, der in einer bestimmten Zeit zurückgelegt wird.

In Einzelfällen ist es gelungen, auch für abgeleitete physikalische Größen spezielle Meßgeräte zu entwickeln, die einen unmittelbaren Vergleich der Ausprägungsgrade ermöglichen, so daß der Weg über die Berechnung aus der Definitionsgleichung entfällt.

Beispiele: Direkte Geschwindigkeitsmessung mit dem Tachometer, Direkte Widerstandsmessung mit dem Widerstandsmesser.

3. Hinweise zur Gestaltung der quantitativen Stufe

Bei den Basisgrößen befriedigt noch nicht, daß mittels des Vergleichs nur Verhältnisse in den Ausprägungsgraden bestimmt werden, diese aber noch nicht gemessen werden können. Es fehlt eine Einheit. Bei den abgeleiteten physikalischen Größen sind nur Größenbeziehungen angebbar. Es fehlt eine Definitionsgleichung. Die Messung einer Basisgröße ist an folgende Bedingungen geknüpft. Es müssen bekannt sein

- das Meßobjekt (die Eigenschaft, die durch die physikalische Größe gemessen werden soll)
- eine Einheit (eine physikalische Größe mit der die zu messende Größe verglichen werden soll)
- eine Meßapparatur (Meßgeräte, einschließlich der Mittel zur Registrierung der Meßwerte)
- eine Meßanleitung (Regeln zur Benutzung der Meßgeräte und zur Durchführung der Messungen)
- das Meßergebnis (der beim Vergleichen von Meßobjekt und Einheit gewonnene Zahlenwert)

Aus dieser Aufzählung geht hervor, daß es zur Ermittlung des Ausprägungsgrades einer Basisgröße noch der Festlegung einer Einheit bedarf. Die Einheiten werden den Schülern gegeben und verdeutlicht, wie die Einheit realisiert wird.

Beispiel: Das Kilogramm ist die Masse eines bestimmten Platin-Iridium-Zylinders. (1889)

Das Meter ist die Länge der Strecke, die Licht im Vakuum während der Dauer von $\frac{1}{299\,792\,458}$ Sekunden durchläuft. (1983)

Die Erarbeitung der Definitionsgleichung für abgeleitete physikalische Größen wurde auf den Seiten 85 und 86 bereits erläutert. Sie verläuft in der von LIEBERS ab Schritt 3 (S. 87) beschriebenen Weise. Wir verzichten deshalb auf eine Wiederholung der Schrittfolge und beschränken uns auf einige Besonderheiten bestimmter Teilschritte.

Unter den methodischen Varianten kommt der Erarbeitung einer Definitionsgleichung durch induktive Verallgemeinerung besondere Bedeutung zu.

Beispiel:

- Ausgangspunkt der Überlegungen zur Erfassung der Eigenschaft elektrischer Leiter, den elektrischen Strom zu behindern, ist die Feststellung, daß bei gleicher Spannung durch unterschiedliche Leiter unterschiedliche Ströme fließen bzw. für gleiche Ströme unterschiedliche Spannungen erforderlich sind. Auf der halbquantitativen Stufe wird ermittelt, daß die elektrische Stromstärke umso geringer ist, je größer die Behinderung des elektrischen Stromes durch den Leiter (der elektrische Widerstand) ist und ebenso, daß mit wachsendem Widerstand die Spannung wachsen muß, wenn die gleiche Stromstärke erreicht werden soll. Die so vorbereiteten Abhängigkeiten sind im 1. Teilschritt der quantitativen Stufe genauer zu untersuchen.
- Es werden dazu Meßwertepaare zwischen den auf der halbquantitativen Stufe festgestellten, mit der gesuchten physikalischen Größe in Beziehung stehenden physikalischen Größen ermittelt

Drahtleiter 1

U_1	I_1
in V	in mA
1	50
2	100
3	150
4	200
5	250
.	.
.	.

Drahtleiter 2

U_2	I_2
in V	in mA
1	100
2	200
3	300
4	400
5	500
.	.
.	.

Glühlampe

U_3	I_3
in V	in mA
1	100
2	150
3	180
4	200
5	210
.	.
.	.

- Die Meßwertepaare werden grafisch dargestellt

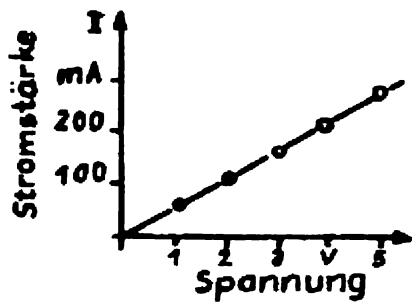


Abbildung 11

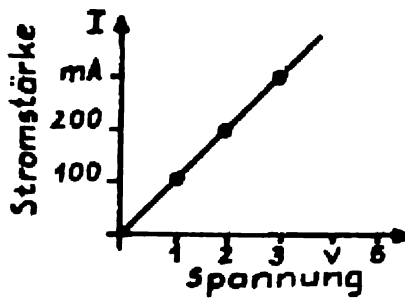


Abbildung 12

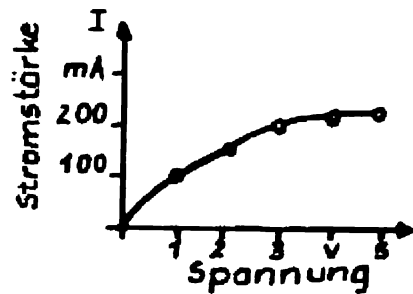


Abbildung 13

- Die Proportionalität zwischen den untersuchten Größen einschließlich der Gültigkeitsbedingungen wird formuliert

$$I \sim U, \text{ falls } \varphi = \text{konst. (1. Erfahrungsaussage)}$$

- Der unterschiedliche Verlauf der Kurven wird als Ausdruck des unterschiedlichen Ausprägungsgrades der in Frage stehenden Eigenschaft bei den verschiedenen untersuchten Objekten interpretiert

$$\frac{U_1}{I_1} = \text{konst.}_1; \quad \frac{U_2}{I_2} = \text{konst.}_2$$

Daraus folgt: $\frac{U}{I} = \text{konst. (2. Erfahrungsaussage)}$

- Die ermittelte Konstante wird mit der in Frage stehenden Eigenschaft identifiziert

Definitionsgleichung des elektrischen Widerstandes:

$$R = \frac{U}{I}$$

Meßverfahren: Messen von U und I, Bilden des Quotienten oder direkte Widerstandsmessung.

- Die Einheit wird ermittelt. Das erfolgt über eine Einheiten-gleichung

$$[R] = \frac{[U]}{[I]} = \frac{1 \text{ V}}{1 \text{ A}} = 1 \Omega$$

Für die Einheit wird eventuell ein neuer Name eingeführt.

Außer dem eben am Beispiel beschriebenen Weg, den Zusammenhang zwischen physikalischen Größen durch induktive Verallgemeinerung zu finden, müssen noch zwei weitere Möglichkeiten genannt werden:

- Beispiele aus der Praxis, die die Schüler kennen, werden diskutiert und auf Grund der vorhandenen Erfahrung wird eine Proportionalität zwischen zwei physikalischen Größen vermutet. Die Proportionalität wird formuliert (erarbeitet, mitgeteilt) und in der Praxis, im Experiment überprüft

Beispiel: $F \sim a$ (Klasse 9)

Die Überprüfung erfolgt analog dem Weg der Erarbeitung in der auf Seite 94 beschriebenen Variante. Die Überprüfung bestätigt im Falle dieses Beispiels die erwartete Proportionalität.

- Es wird herausgearbeitet, auf Grund welcher vorausgesetzter Bedingungen, welche Proportionalität gelten muß

Beispiel: Wird vorausgesetzt, daß eine Bewegung gleichförmig verlaufen soll, dann ist durch die Bedingung „gleichförmig“ die Proportionalität $s \sim t$ bestimmt.

An einigen gleichförmig verlaufenden Bewegungen (z.B. Luftblase im Steigrohr) wird geprüft, welcher Quotient: s/t oder t/s zur zahlenmäßigen Erfassung des Ausprägungsgrades der Eigenschaft am zweckmäßigsten ist.

An die Erarbeitung schließt sich die Anwendung der neuen Kenntnisse an. Dazu finden sich ausreichende Hinweise wiederum in /6/. Im Ergebnis der Einführung physikalischer Größen ist zu sichern, daß jeder Schüler zu jeder physikalischen Größe über folgende Kenntnisse verfügt:

- Name der physikalischen Größe
- inhaltliche Charakterisierung
- Definitionsgleichung
- Formelzeichen und Einheit
- Kurzzeichen der Einheit
- Meßgerät oder Meßvorschrift

2. Das Erarbeiten physikalischer Aussagen, insbesondere von Gesetzesaussagen

Aussage - logisches Gebilde, das einen Sachverhalt widerspiegelt.

Leistet eine Aussage eine richtige Widerspiegelung, d.h., wird darin eine bestimmte Beziehung festgestellt und existiert diese objektiv, dann heißt die Aussage wahr, anderenfalls falsch. So ist z.B. die Aussage

- a) „Ein stromdurchflossener elektrischer Leiter ist von einem Magnetfeld umgeben“ wahr

- b) „Optische Linsen, die in der Mitte dicker sind als am Rande
üben eine sammelnde Wirkung aus“ nur bedingt wahr und
- c) „Ein Körper schwimmt, wenn er leichter als Wasser ist“ falsch.

Alle drei Aussagen weisen die gleiche formale Struktur auf. Eine Beurteilung des Wahrheitswertes kann jedoch nur über eine Analyse des Inhaltes erfolgen.

2.1. Wichtige Formen physikalischer Aussagen

Aussagen treten im Physikunterricht u.a. in folgenden Formen auf:

- Feststellungsaussagen auf der Grundlage von Faktenverallgemeinerungen

Beispiel: Alle Körper, die aus einem Metall bestehen, sind elektrische Leiter.

- Relationsaussagen auf der Grundlage objektiver Vergleiche.

Beispiele: Das Wasser im Gefäß 1 hat dieselbe Temperatur wie das Wasser im Gefäß 2.

Glas ist optisch dichter als Luft.

Der spezifische elektrische Widerstand von Zink ist etwa dreimal so groß wie der von Kupfer.

- Gesetzesaussagen, die sich auf die Klasse aller möglichen Objekte, die bestimmten Bedingungen genügen, beziehen.

Gesetz - notwendiger, allgemeiner, wesentlicher Zusammenhang zwischen Dingen, Systemen der objektiven Realität, der jeweils bestimmten Bedingungen genügt und der sich, wenn diese Bedingungen gegeben sind, durch relative Beständigkeit und Wiederholbarkeit auszeichnet.

Beispiele: $I \sim U$, falls $\mathcal{R} = \text{konst.}$

Physikalische Körper verdrängen sich gegenseitig.

In verbundenen Gefäßen liegen die Oberflächen einer Flüssigkeit in einer waagerechten Ebene, falls die Flüssigkeit ruht und die Gefäße so weit sind, daß die Kapillarkräfte vernachlässigt werden können.

2.2. Einige Besonderheiten physikalischer Gesetzaussagen

- Feststellungs- und Relationsaussagen sind unerläßliche Voraussetzungen für die Gewinnung von Gesetzaussagen. Die physikalische Erkenntnis zielt auf Gesetzaussagen.

Gesetzaussagen erfassen das Invariante in den Erscheinungen.

Der Aufdeckung der Invarianten muß die Untersuchung der Erscheinungen vorangehen. Im Wesen zeigt sich das Allgemeine und Notwendige, das Beständige und unter den definierten Bedingungen Wiederholbare, das hinter den Erscheinungen Liegende, nicht unmittelbar und nicht allein sinnlich Erfäßbare. Die Erkenntnis des Wesens bedarf des abstrahierenden Denkens.

Auf Grund des ermittelten Zusammenhanges zwischen den Wirkungsbedingungen und dem Wesen und Inhalt eines Gesetzes gilt für jedes Objekt, daß, wenn es die Wirkungsbedingungen des Gesetzes erfüllt, es zur Klasse der dem Gesetz unterworfenen Objekte gehört.

Beispiele: Für alle kraftumformenden Einrichtungen gilt, sofern die Bedingung erfüllt ist, daß keine mechanische Reibung auftritt, die Goldene Regel der Mechanik.

Für alle Lichtausbreitungsvorgänge, bei denen das Licht auf eine Grenzfläche fällt, gilt, daß die Lichtausbreitung den Gesetzen der Reflexion, der Brechung und der Absorption folgt, wobei unter bestimmten definierten Bedingungen das eine oder das andere oder alle Gesetze gleichzeitig wirken.

Daraus ergibt sich: Ein Gesetz ist stets die Aussagenverbindung zwischen Gesetzesaussage und Bedingungsaussage. Nur in dieser Form genügt eine Aussage den Forderungen an ein physikalisches Gesetz. Das wird aus den gebräuchlichen Formulierungen meist nicht direkt ersichtlich oder überhaupt nicht beachtet.

- Physikalische Gesetze können in verbaler Form, allein auf qualitativer Grundlage aber auch in mathematischer Form als Einheit qualitativer und quantitativer Bestimmungen formuliert werden. Häufig wird nur die zuletzt genannte Form gesehen und die erste Form übersehen oder nicht richtig gewertet.

Beispiele: Licht wird beim Übergang von Luft in Wasser zum Lot hin gebrochen. Einfallender Strahl, gebrochener Strahl und Lot liegen in einer Ebene. (Klasse 6)

Je steiler der Lichteinfall beim Übergang von Luft in Wasser, umso kleiner der Brechungswinkel: $\beta = f(\alpha)$. Einfallender Strahl, gebrochener Strahl und Lot liegen in einer Ebene.

Für den Übergang des Lichtes von Luft in Wasser gilt:
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_1 \text{ (Luft/Vakuum)}}{n_2 \text{ (Wasser/Vakuum)}} = n \text{ (Luft/Wasser)}.$$

Einfallender Strahl, gebrochener Strahl und Lot liegen in einer Ebene. (Klasse 12)

- Zu beachten ist, daß sich physikalische Gesetze auf Einzel- oder Massenerscheinungen beziehen können. Man unterscheidet danach zwischen dynamischen Gesetzen (1) und statistischen Gesetzen (2).

Beispiele: (1) $s = \frac{g}{2} \cdot t^2$ (Weg-Zeit-Gesetz des freien Falles)

$$(2) N_t = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \quad (\text{Gesetz des radioaktiven Kernzerfalls})$$

- Physikalische Gesetze beschreiben Beziehungen zwischen
 - . gleichartigen physikalischen Größen

Beispiele: $\alpha = \alpha'$

$$F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2$$

- . zwei oder mehr unterschiedlichen physikalischen Größen

Beispiele: $m \sim V$; $R \sim \frac{1}{A}$; $R \sim \frac{1}{I}$

Sie können in Form von Gleichungen oder von Proportionalitäten geschrieben werden.

- Methodisch wichtig ist, daß ebenso wie bei den Begriffen, nicht jedes Gesetz im Unterricht bis zur Stufe der quantitativen Bestimmung erarbeitet wird. Das wurde oben am Beispiel der unterschiedlichen Formulierungen des Brechungsgesetzes gezeigt.
- Die Gewinnung von Gesetzesaussagen kann im Physikunterricht auf zwei grundsätzlich verschiedenen Wegen erfolgen
 - . ausgehend von empirischen Befunden (↗ Seite 65 ff.)
 - . ausgehend von theoretischen Aussagen (↗ Seite 73 ff.).
 Aus methodischen Gründen werden in bestimmten Fällen physikalische Gesetze dem Schüler auch gegeben und ihre Gültigkeit anschließend an der Praxis, im Experiment, an der Erfahrung bestätigt. Wir werden diesen Fall im weiteren nicht erörtern.

2.3. Invarianten der Erarbeitung physikalischer Gesetze

Gesetze können häufig auf unterschiedlichen Wegen gewonnen werden. So kann man das ARCHIMEDische Gesetz, ausgehend von theoretischen Aussagen aus dem Schweredruck, der auf einen Körper wirkt, aber auch von empirischen Befunden ausgehend, über die Feststellung gewinnen, daß der Auftrieb (scheinbarer Gewichtsverlust) genau so groß ist wie das Gewicht der verdrängten Flüssigkeit.

Welcher Weg gewählt wird, wird von den Zielen, den Voraussetzungen der Schüler und den vorhandenen Mitteln bestimmt. Verallgemeinert gilt: Grundgesetze (z.B. NEWTONsches Gesetz, OHMsches Gesetz) können nur von empirischen Befunden ausgehend gefunden werden. Für andere Gesetze bieten sich oft verschiedene Wege an.

Beispiel: Auf dem Niveau der Klasse 9 kann das Gesetz über den Widerstand im unverzweigten Stromkreis sowohl ausgehend von empirischen Befunden als auch ausgehend von theoretischen Aussagen gefunden werden. Unmöglich wird der erste Weg dagegen bei der Erarbeitung des Gesetzes über den Widerstand im verzweigten Stromkreis. Aus experimentellen Befunden, wie sie etwa in der folgenden Tabelle zusammengestellt sind, kann kein Schüler den zugrundeliegenden Zusammenhang erkennen und deshalb induktiv kaum erschließen. Hier muß der Weg ausgehend von theoretischen Aussagen gewählt werden.

R_1 in Ω	R_2 in Ω	R_{ges} in Ω
50	100	33
100	100	50
150	100	60
:	:	:
:	:	:

Hat der Lehrer das Gesetz über den Widerstand im unverzweigten Stromkreis ausgehend von empirischen Befunden erarbeiten lassen und versucht er, diesen Weg zunächst auch für das Gesetz über den Widerstand im verzweigten Stromkreis zu gehen, so schafft er, sobald die Tabelle vorliegt, für die Schüler eine echte Problemsituation und eine zwingende Motivation für die Suche nach einem anderen Erkenntnisweg. Dem Schüler wird das unterschiedliche Vorgehen, seine Notwendigkeit, unmittelbar einsichtig. Die Methodenwahl wird vom Unterrichtsgegenstand bestimmt und erscheint dem Schüler nicht willkürlich, vom Lehrer vorgegeben.

Übersehen werden darf auch nicht, daß über den Weg ausgehend von theoretischen Aussagen dem Schüler der Systemcharakter seines Wissens deutlicher wird als auf dem Weg über empirische Befunde. Geht man von empirischen Befunden aus, dann dominiert zunächst das Einzelne, und es ist nach Abschluß des Erkenntnisprozesses erforderlich, das neu erarbeitete Wissen in das bestehende Kenntnissystem einzuordnen.

Wie bei der Begriffsbildung können die Invarianten für die Erarbeitung von Gesetzen wieder von zwei unterschiedlichen Ausgangspositionen aus erarbeitet werden:

2.3.1. LIEBERS geht auch hier von der Anwendung der Mathematik im Physikunterricht aus und formuliert für die zwei (Seite 98) genannten Fälle in wesentlichen Schritten übereinstimmende Schrittfolgen, untersetzt diese durch Teilschritte und erläutert sein Vorgehen an instruktiven, in den Physikunterricht unmittelbar überführbaren Beispielen.

Wir verweisen bezüglich der Einzelheiten auf die bereits erwähnte Broschüre /6/ und beschränken uns auf eine Gegenüberstellung der Hauptschritte in den beiden wesentlichen Varianten:

Erarbeitung physikalischer Gesetze ausgehend von	
empirischen Befunden	theoretischen Aussagen
1. Wir beobachten und vergleichen in Natur und Technik	
2. Wir vereinfachen/idealisieren die Erscheinungen und Vorgänge aus der Sicht der Physik	
3. Wir messen und suchen ein physikalisches Gesetz in Form einer Gleichung oder eines Diagramms	Wir leiten aus gesichertem Wissen ein physikalisches Gesetz her
4. Wir fassen zusammen	
5. Wir verdeutlichen uns den Inhalt der Gleichung (bzw. der Kurve) an einigen einfachen Beispielen	
6. Wir können erklären und voraussagen	

/6; Seite 90 bzw. 113/

Auch hier verläuft der Erkenntnisweg wieder von der objektiven Realität (Wirklichkeit) über die Idealisierung, das physikalische Modell, das mathematische Modell (Gleichung oder Kurve), zur Anwendung in der Praxis. Damit wird der Weg vom Konkreten über das Abstrakte zum geistig durchdrungenen Konkreten durchlaufen und bildet die Praxis Ausgangspunkt, Ziel und Wahrheitskriterium der Erkenntnis.

2.3.2. Rückt man in den Mittelpunkt der Analyse die Stufen, über die ein Gesetz erarbeitet wird, dann wird deutlich, daß sich beim Weg der Gewinnung eines Gesetzes ausgehend von empirischen Befunden die gleichen Invarianten ergeben wie sie für die Variante der Gewinnung von Erkenntnissen durch direkte Beobachtung und theoretische Verallgemeinerung (↗ Seite 67) gefunden und bei der Darstellung des Vorgehens zur Erarbeitung einer abgeleiteten physikalischen Größe auf der Grundlage einer Proportionalität (S. 92) bezüglich der Stufe der Definition bereits ausgeführt wurden. Aufmerksam gemacht werden muß aber auf einige Akzentverschiebungen. Ging es auf der qualitativen Stufe der Begriffsbildung um die Abstraktion einer bestimmten Eigenschaft der betrachteten Objekte der objektiven Realität, so geht es auf der qualitativen Stufe der Gesetzeserarbeitung um das Auffinden möglicher Beziehungen zwischen bestimmten Eigenschaften. Ging es auf der halbquantitativen Stufe der Begriffsbildung um eine Möglichkeit zur Bestimmung des Ausprägungsgrades einer bestimmten Eigenschaft im Vergleich zum Ausprägungsgrad derselben Eigenschaft an anderen Objekten, so geht es bei der Gesetzeserarbeitung auf dieser Stufe um die Ermittlung von Abhängigkeiten zwischen bestimmten physikalischen Größen. Ging es auf der quantitativen Stufe bei der Begriffsbildung um die Gewinnung einer Meßvorschrift, so geht es bei der analogen Stufe der Gesetzeserarbeitung um die Ermittlung der Gesetzmäßigkeit des betrachteten Naturvorganges einschließlich der Bedingungen, unter denen er eintritt. Gefragt sind die hinreichenden und die notwendigen Bedingungen. Eine hinreichende Bedingung gibt an, wann eine Erscheinung überhaupt auftritt. Eine notwendige Bedingung ist eine Bedingung, bei deren Erfülltsein die Erscheinung bestimmt eintritt.

Beispiel: Notwendig für das Entstehen einer Induktionsspannung ist, daß sich das die Induktionsspule durchsetzende Magnetfeld zeitlich ändert. Hinreichend ist z.B. schon, daß sich ein Magnet und eine Spule in bestimmter Weise relativ zueinander bewegen.

An einem komplexen Beispiel soll ~~das~~^{das} Vorgehen bei der Erarbeitung eines Gesetzes ausgehend von empirischen Befunden abschließend noch einmal zusammengefaßt dargestellt werden.

Beispiel:

Klasse 9: Erarbeitung des NEWTONschen Grundgesetzes /5; S. 80/
(Die ausgewiesenen Teilschritte entsprechen der auf Seite (67/68) angegebenen Schrittfolge).

Qualitative Stufe

Schritt 1: Der Lehrer beginnt die Stunden frontal mit der Gegenüberstellung einiger Experimente, in denen unterschiedliche Bewegungsvorgänge ablaufen. Die Schüler erhalten die Aufgabe, schriftlich die folgenden Fragen zu beantworten: Um welche Bewegungen handelt es sich im Experiment A, B und C?

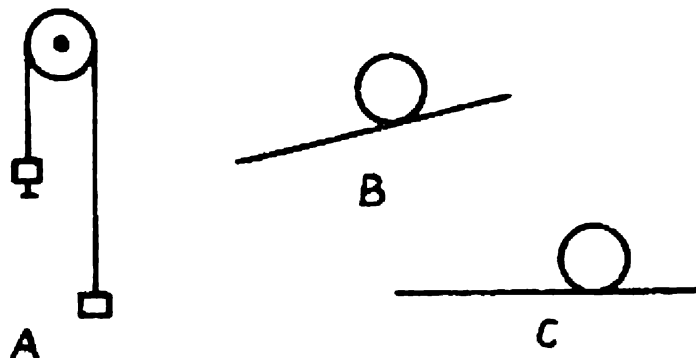


Abbildung 14

Was kann über die Geschwindigkeit und die Beschleunigung bei A, B und C ausgesagt werden? Oder mit höherem Anforderungsniveau: Wie sind die Unterschiede bei diesen Bewegungen zu erklären? Wie kommen die zu beobachtenden Unterschiede zustande?

Schritt 2: Die Antworten der Schüler auf die beiden ersten Fragen werden verglichen. Sie beschreiben die Beobachtungen.

Schritt 3: Entfällt, da nur Einzelaussagen vorliegen.

Schritt 4: Von den Schülern werden hypothetische Erklärungen gefordert. Es liegt nahe, die unterschiedlichen Beobachtungen auf die Abhängigkeit der Beschleunigung von der wirkenden Kraft zurückzuführen.

Schritt 5: Die Folgerung lautet: Wenn die Beschleunigung von der wirkenden Kraft abhängig ist, dann müßte eine größere Kraft zu einer größeren Beschleunigung führen. Als eine geeignete experimentelle Anordnung zur Prüfung der Folgerung bietet sich folgender Versuchsaufbau an:



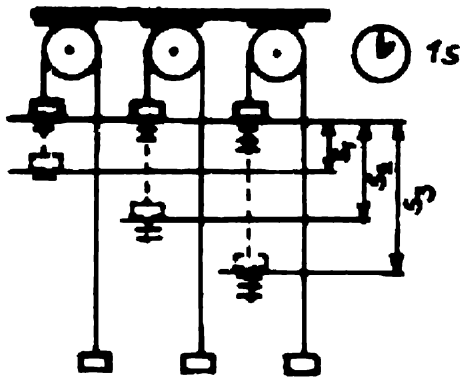


Abbildung 15

Versuchsaufbau zum Nachweis der Abhängigkeit der Beschleunigung von der wirkenden Kraft

Halbquantitative Stufe

Schritt 6: Im Experiment ergeben sich folgende Meßergebnisse (↗ siehe unten)

Schritt 7: Die grafische Darstellung zeigt, daß $F \sim a$. Diese Feststellung stimmt mit der in der Folgerung formulierten Erwartung überein.

Quantitative Stufe

Schritt 8: Aus der Bestätigung der Folgerung wird auf die Bestätigung der Hypothese geschlossen. Durch Ermittlung der Konstanten wird das Gesetz in seiner quantitativen Formulierung gefunden. Es gilt

$$F \sim a \quad \text{und} \quad \frac{F}{a} = \text{konst.} = m \quad \curvearrowright \quad F = m \cdot a$$

Schritt 9: An weiteren Experimenten oder direkt an der Praxis wird die Gültigkeit des Gesetzes geprüft und angewendet (↗ Abbildung 17, Kurve 2 und 3)

F in N	s in cm	t in s	$\frac{2 \cdot s}{t^2}$ in $\text{cm} \cdot \text{s}^{-2}$
0	0	0	-
0,02	10	1,0	20
0,04	20	1,0	40
0,06	30	1,0	60

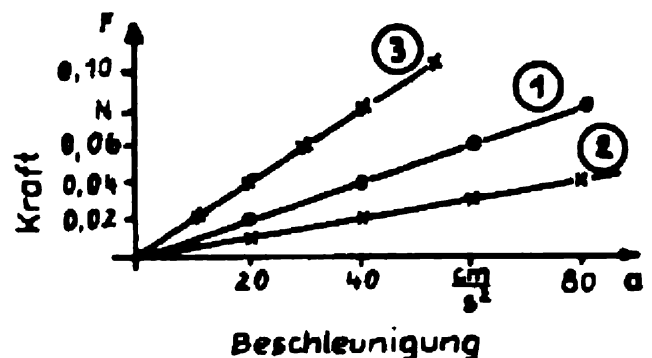


Abbildung 16

Meßwertetabelle zum Experiment Abb. 15

Abbildung 17

Grafische Darstellung der Meßwerte

Für die experimentelle Erarbeitung physikalischer Gesetze bieten sich häufig unterschiedliche experimentelle Anordnungen an. Zu bevorzugen sind solche, die

- eine gleichzeitige Erarbeitung von Gesetz und Bedingung ermöglichen (z.B. /7; Seite 69/70)
- ein achsenrichtiges Ergebnis liefern, d.h. wo die im Diagramm als unabhängige/abhängige Veränderliche aufgetragene Größe auch die im Experiment variierte/beeinflusste Größe ist. Z.B. Experiment mit Tropfflasche auf ebener Fahrbahn zur Ermittlung des Zusammenhanges von Weg und Zeit unter der Wirkung einer Kraft.

Eine rationelle und anschauliche Unterrichtsgestaltung wird erreicht durch den Einsatz von

- Parallelexperimenten (Abbildung 15, Seite 103)
- Experimenten mit direkter Aufzeichnung (z.B. Fallzylinder zur Aufzeichnung der Abhängigkeit von Weg und Zeit beim freien Fall)
- Freihandexperimenten
- Experimenten in getrennt-gemeinschaftlicher Arbeitsweise.

Der Weg der Erarbeitung von Gesetzen, ausgehend von theoretischen Aussagen, kann durch folgende Teilschritte gekennzeichnet werden:

Schritt 1: Bereitstellen gesicherter oder als gesichert angenommener Kenntnisse

Schritt 2: Deduktives Ableiten von Folgerungen

Schritt 3: Experimentelle Prüfung der Folgerungen

Bei der Wahl dieses Weges ist es wichtig, den Schülern deutlich zu sagen, welcher Zusammenhang gesucht wird und welche theoretischen Aussagen dafür herangezogen werden. Wird dies versäumt, dann bleiben dem Schüler die Zusammenhänge häufig verschlossen.

Beispiel:

Klasse 9: „Weg-Zeit-Gesetz der gleichmäßig beschleunigten Bewegung“ /5; S. 78/

Schritt 1: Aus dem Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm der gleichmäßig beschleunigten Bewegung wird in Analogie zur gleichförmigen Bewegung gefolgert, daß

$$s = \frac{1}{2} v \cdot t$$

ist.

Ausgehend von empirischen Befunden wird ermittelt, daß $v \sim t$.

Daraus wird die Beschleunigung

$$a = \frac{v}{t}$$

definiert. Damit sind die erforderlichen gesicherten bzw. als gesichert angenommenen Kenntnisse (Folgerung aus einer Analogie) bereitgestellt.

Schritt 2: Unter diesen Voraussetzungen kann nun weiter gefolgert werden:

- wenn $s = 1/2 v \cdot t$ und $v = a \cdot t$
- dann $s = 1/2 a \cdot t \cdot t = a/2 \cdot t^2$ (Weg-Zeit-Gesetz der gleichmäßig beschleunigten Bewegung)

Schritt 3: Die quadratische Abhängigkeit kann mit Hilfe eines rotierenden und gleichzeitig fallenden Zylinders, dessen Bahn beim freien Fall durch Aufspritzen von Farbe markiert wird, direkt nachgewiesen werden

Literatur:

- /1/ Fuhrmann, E.: Zur Problematik der Klassifizierung und Gestaltung typischer Situationen.
In: „Pädagogik“, Berlin, 2. Beiheft 1972
- /2/ Methodik des Physikunterrichts in der DDR und der UdSSR.
Ausgearbeitet von einem Autorenkollektiv.
Volk und Wissen Volkseigener Verlag Berlin und
Verlag Proswestschenije Moskau, 1978
- /3/ Lehrplan Physik. Klasse 7.
Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1983
- /4/ Lehrplan Physik. Klasse 6.
Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1982
- /5/ Lehrplan Physik. Klassen 6 bis 10.
Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1977
- /6/ Liebers, Kl.: Anwendung der Mathematik im Physikunterricht.
Beiträge zum Physikunterricht.
Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1983
- /7/ Physikalische Schulversuche. Siebenter Teil.
Herausgegeben von G. Sprockhoff. Verfaßt von Helmut Roth.
6. Auflage.
Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1979

Zur didaktisch-methodischen Gestaltung des Physikunterrichts

Vorbemerkungen aus pädagogisch-psychologischer Sicht

Es gehört zu den Prinzipien der sozialistischen Schule, alle Schüler gleichermaßen in das Unterrichtsgeschehen einzubeziehen und jeden in seiner Persönlichkeitsentwicklung maximal zu fördern. Die Lehrer bemühen sich gemeinsam, die Schüler gemäß den gestellten Zielen zu erziehen und sie zunehmend zur Selbsterziehung zu befähigen. Dabei ist sowohl die Individualität jedes einzelnen Schülers zu beachten als auch die Tatsache, daß jeder Schüler in das Klassenkollektiv eingegliedert ist, das mehr oder weniger klar geformt ist.

Ein wesentliches Kriterium für das Gelingen des genannten hohen Anspruchs ist das Lehrer-Schüler-Verhältnis in jeder Klasse und in jedem Fach, wobei sowohl das Verhältnis zwischen dem Lehrer und den einzelnen Schülern als auch zwischen dem Lehrer und dem Klassenkollektiv von Bedeutung sind. Es handelt sich um sehr komplexe soziale Beziehungen, für deren Förderung es zwar theoretische Hilfen gibt, wobei aber das persönliche Auftreten des Lehrers gegenüber seinen Schülern entscheidendes Gewicht besitzt. Wenn es den Fachlehrern gelingt, in einer Klasse günstige soziale Beziehungen dieser Art zu entwickeln, führt das zu einer prinzipiellen Bereitschaft der Schüler zur aktiven Mitarbeit in mehreren, vielleicht sogar in allen Fächern.

Was kann dazu beitragen, eine solche günstige Lernatmosphäre zu schaffen?

Sehr wichtig ist, daß sich der Lehrer ständig um das Vertrauen seiner Schüler bemüht. Sie müssen sich auf ihn verlassen können; sein Verhalten muß für die Schüler voraussehbar sein. Wichtig ist ebenfalls, angemessene Forderungen konsequent durchzusetzen. Dabei ist ein Eingehen auf die Schülerpersönlichkeit notwendig. Erfolgreiche Lehrer verstehen es, feinfühlig gewisse Differenzierungen in ihren Anforderungen und in ihren Urteilen vorzunehmen, die von den Schülern begrüßt und nicht als Ungerechtigkeiten empfunden werden.

Aber auch die „Kleinarbeit“ ist sehr bedeutsam. So sind die Kontakte zwischen Lehrer und Schüler durch Blicke, Mimik und Gestik, sowie durch die Sprache wichtige Hilfsmittel. Es ist nicht abwegig, daß Lehrer aus dieser Sicht einmal auf die Schauspieler blicken, wenn sie auf Bühne, Leinwand oder Bildschirm agieren.

Taktvolle, wohldosierte Hilfe des Lehrers bei Hemmungen in der Schülerantwort, Verständnis des Lehrers für Rückfragen der Schüler, die Art und Weise, wie er auf Rückfragen reagiert und nicht zuletzt alle Formen von Lob und Tadel sowie der Bewertung sind zu bedenken.

Ausführliche Untersuchungen über den Führungsstil erfolgreicher Lehrer sind in /1/, /2/ beschrieben. Junge Lehrer können sich hieraus viele Anregungen entnehmen.

Zur Gliederung des Physikunterrichts aus didaktischer Sicht

Der Physikunterricht ist ebenso wie der Unterricht der anderen Fächer ein gegliederter Prozeß, d.h. ein Prozeß, in dem deutlich einzelne zeitlich begrenzte Abschnitte erkennbar sind. Die Gliederung des Unterrichtsprozesses kann unter verschiedenen Aspekten erfolgen. Von besonderer Bedeutung ist die Gliederung unter sachlogischem Aspekt. Hierbei bestimmen der physikalische Inhalt sowie die Denk- und Arbeitsmethoden der Wissenschaft Physik (oft auch als Methoden der Erkenntnisgewinnung bezeichnet) die Unterrichtsstruktur (↪ Seite 52 bis 105).

Daneben wird aber auch eine Gliederung des Physikunterrichts unter didaktischem Aspekt wirksam. Das bedeutet, daß der Schüler für eine aktive Auseinandersetzung mit dem neuen Stoff motiviert wird, daß neue Kenntnisse und Tätigkeiten gefestigt und das Erreichen der Unterrichtsziele kontrolliert werden. Diesem Ziel dient die Gliederung des Unterrichts nach didaktischen Funktionen, die häufig wie folgt bezeichnet werden:

- Zielorientierung,
- Arbeit am neuen Stoff,
- Festigung,
- Kontrolle und Bewertung.

Damit wird jeweils die Hauptfunktion gekennzeichnet, die ein zeitlich begrenzter Unterrichtsabschnitt im Verlauf der Erkenntnis- und Aneignungsprozesse zu erfüllen hat.

In der Literatur weisen die Darlegungen zu den didaktischen Funktionen gewisse Unterschiede auf. So wird die Zielorientierung auch als Einführung bezeichnet. Übereinstimmung besteht darüber, daß die Schüler erfahren müssen, welcher Stoff behandelt werden soll (Zielangabe), daß sie für dieses Ziel motiviert werden und daß der Lehrer ein angemessenes Ausgangsniveau im Wissen und Können der Schüler sichert.

Die Festigung kann in einem weiten und in einem engen Sinne verstanden werden. Im ersten Fall werden Systematisierung und Anwendung einbezogen, im zweiten Fall als weitere didaktische Funktionen ausgewiesen. Solche Unterschiede sind nicht wesentlich. Entscheidend für den Erfolg des Unterrichts sind jedoch folgende zwei Gesichtspunkte:

- Es gibt keine feste Abfolge didaktischer Funktionen im Unterrichtsprozeß. Die Gliederung des Physikunterrichts nach didaktischen Funktionen ist sehr variabel und von den spezifischen Bedingungen der jeweiligen Klasse abhängig. Sie unterliegt in viel stärkerem Maße als die Planung der Inhalte der individuellen Entscheidung des Lehrers und kann keinesfalls durch zentrale Vorgaben (z.B. Unterrichtshilfen) festgelegt werden.
- Erfahrene Lehrer nutzen ein und denselben Unterrichtsabschnitt zur gleichzeitigen Erfüllung mehrerer didaktischer Funktionen. Eine solche multivalente Nutzung von Unterrichtsabschnitten führt zu rationeller Unterrichtsgestaltung. Beispiele dafür sind u.a. die Realisierung von Festigung und Sicherung des Ausgangsniveaus im Rahmen der Einführung oder die Einheit von Arbeit am neuen Stoff und Erstfestigung. Sehr oft ergeben sich auch im Verlauf von Übungsprozessen neue inhaltliche Informationen für die Schüler. Wir werden auf Möglichkeiten zur Realisierung solcher rationaler Formen noch mehrfach anhand von Beispielen hinweisen.

Die folgenden Ausführungen stellen Konkretisierungen und Erweiterungen des Abschnittes 3.2. (S. 117) im Lehrbuch METHODIK DES PHYSIKUNTERRICHTS IN DER DDR UND DER UDSSR /3/ dar.

Schwerpunkt der folgenden Ausführungen sind die Zielorientierung, insbesondere die Motivation der Schüler für die Mitarbeit im Unterricht, die Sicherung des Ausgangsniveaus der Schüler sowie die Festigung des erworbenen Wissens und Könnens der Schüler.

Zur Arbeit am neuen Stoff sind auch in den anderen Beiträgen dieses Lehrmaterials zahlreiche Hinweise enthalten.

Zur Kontrolle und Bewertung wird auf /3/ verwiesen.

1. Zielorientierung als Einheit von Zielangabe, Motivation und Sicherung des Ausgangsniveaus

Zur Zielangabe

Die Zielorientierung schließt ein, daß die Schüler zu Beginn einer Unterrichtsstunde darüber informiert werden, welcher Stoff behandelt werden soll. Der erfahrene Lehrer wird jedoch stets die Zielangabe mit der Motivation verbinden, da z.B. allein das Nennen einer physikalischen Größe oder eines Gesetzes für den Unterrichtsablauf wenig ergiebig ist.

Deshalb wird zunächst zu entscheiden sein, ob die Zielangabe ganz am Anfang der Stunde stehen oder sich aus dem Verlauf der ersten Unterrichtsminuten entwickeln soll. Rezepte hierzu gibt es nicht; in der Regel wird zu Beginn einer Stoffeinheit oder gar eines Stoffgebietes die Zielangabe den Ausgangspunkt bilden, während sie innerhalb einer Stoffeinheit häufig aus motivierenden Überlegungen abgeleitet wird.

So kann den Schülern am Beispiel elektronischer Geräte des Alltags deutlich gemacht werden, daß Möglichkeiten zur Gleichrichtung von Wechselspannungen zu schaffen sind. Daraus ergibt sich die Behandlung der Halbleiterdiode als Zielangabe.

Wichtigste Aufgabe des Lehrers ist in jedem Falle, die Schüler zu interessieren, zu motivieren. Dabei sind unterschiedliche Gesichtspunkte zu beachten.

Jeder Schüler einer Klasse, in der eine Unterrichtsstunde im Fach Physik bevorsteht, geht mit unterschiedlichen Erwartungen in diese Stunde. Viele Untersuchungen der letzten Jahre haben ergeben, daß diese Erwartungen nicht hoch sind. Im Gegenteil, viele Schüler fühlen sich im Fach Physik wenig angesprochen. Ist diese Abneigung zwangsläufig und sachbedingt?

Wenn das so wäre, müßten ähnliche Erscheinungen auch im Fach Mathematik auftreten, denn die Anforderungen an das Abstraktionsvermögen, an das logische Denken sind meist höher als im Physikunterricht, während die aufmerksamkeitsfördernden Experimente dort fast völlig fehlen. Aber der Mathematikunterricht steht bei den Schülern wesentlich höher im Kurs als der Physikunterricht. Es muß also an der Unterrichtsgestaltung liegen, wenn der Physikunterricht in dieser Hinsicht schlecht wegkommt.

Eine wichtige Ursache liegt zweifellos darin, daß viele Physiklehrer, vor allem junge Absolventen des Studiums, die Komplexität der Anforderungen an den Physiklehrer unterschätzen bzw. nicht bewältigen.

Im Physikunterricht sind Logik und Abstraktionsvermögen ebenso gefragt wie im Mathematikunterricht; aber sie reichen nicht aus. Es geht ständig darum, Beobachtungen, Messungen (also Erfahrungen) einerseits in Beziehung zu setzen zu Gedankengängen andererseits, wie sie der Mathematik entsprechen.

Erste Voraussetzung für den erfolgreichen Unterricht ist deshalb die sorgfältige inhaltliche Analyse der gegebenen Thematik mit ihrem Wechselspiel von Experiment und Theorie. Im allgemeinen ergeben sich dabei sehr leicht bestimmte Knotenpunkte der Gedankenführung, die geeignet sind, das Interesse der Schüler zu wecken bzw. zu fördern. Aber auch das spüren junge Lehrer nicht unbedingt von selbst, sie müssen danach gezielt suchen. Welche Ratschläge kann man ihnen geben?

Auf jeden Fall müssen die Bemühungen um die Motivierung der Schüler von deren Erfahrungswelt ausgehen, die im qualitativ-anschaulichen Bereich oft erstaunlich umfangreich ist, sich aber vor allem bei quantitativen Aussagen oft als erschreckend eng erweist.

Besonders wichtig und günstig ist es, wenn der zu behandelnde Stoff von den Schülern unmittelbar als interessant empfunden wird. Solche Situationen treten umso häufiger auf, je besser das Schüler-Lehrer-Verhältnis im eingangs genannten Sinne ist. Aber allein dadurch, also ganz ohne entsprechende inhaltliche Impulse des Lehrers, geschieht das kaum. Sehr erfolgversprechend ist in diesem Sinne der problemhaft gestaltete Unterricht, wobei sich

für die Motivation vor allem das Finden bzw. Aufdecken eines Widerspruchs als wirkungsvoll erweisen (➤ Seite 36 bis 51 und /3/).

Noch zu wenig werden die Möglichkeiten ausgeschöpft, die in dieser Hinsicht die Lehrbücher bieten. Hier sind am Beginn größerer Stoffabschnitte jeweils einleitende Abschnitte enthalten, meist durch Abbildungen unterstützt, die für die inhaltliche Motivation genutzt werden können.

Auch in den Unterrichtshilfen sind zu jeder Stunde Anregungen und Hinweise für die Motivation angegeben.

Jeder Lehrer sollte aber auch darum bemüht sein, eigene Ideen für die Motivation zu entwickeln. Dabei kann er davon ausgehen, daß der dafür zu nutzende Sachverhalt durchaus nicht im Mittelpunkt der angezielten Thematik stehen muß. Oft sind Randerscheinungen, überraschende Einzelheiten, scheinbare Paradoxa oder unerwartete Größenordnungen attraktiver als das eigentliche Thema. Gerade in diesem Zusammenhang spielt die fachliche Qualifikation des Lehrers eine entscheidende Rolle. Hier kommt es darauf an, daß sich der Lehrer nicht nur auf dem Anforderungsniveau des Unterrichts mit dem Inhalt der zu haltenden Stunden vertraut macht. Er muß sich auf der Grundlage seines Lehrerstudiums, seiner persönlichen Interessen und der ohnehin notwendigen Weiterbildung Unterlagen schaffen und ständig erweitern, aus denen er Ideen für wirkungsvolle Motivationen ableiten kann. Die folgenden Ausführungen sollen Anregungen für solche Überlegungen bieten. Die Formulierungen sind an den Lehrer gerichtet; nicht jede Einzelheit kann in den Unterricht übernommen werden.

In Klasse 6 wird der Geschwindigkeitsbegriff einschließlich der Durchschnittsgeschwindigkeit eingeführt. Hier bieten vor allem Sport und Verkehr reiche Anknüpfungsmöglichkeiten. Der Lehrer kann z.B. von der Auswertung eines aktuellen Lauf- oder Fahrwettbewerbs ausgehen, wobei in der Regel eine vorgegebene Strecke von den Wettbewerbsteilnehmern in unterschiedlichen Zeiten zurückgelegt wird. Diese Zeiten werden im Sportbericht veröffentlicht. Die Schüler kommen nicht in Verlegenheit, wenn der Lehrer sie zu Vergleichen auffordert zwischen Kurz- und Langstreckenläufern der Leichtathletik. Aber sie werden unsicher, wenn der Vergleich auf Schwimmen, Radfahren, Eisschnellaufen und weitere entsprechende Disziplinen ausgedehnt wird.

Entsprechendes gilt für die Einbeziehung von Verkehrsmitteln wie Fahrrad, Kraftfahrzeuge oder auch Boote (in wasserreicher Gegend). Daraus läßt sich die Notwendigkeit ableiten, eine allgemeine Aussage dahingehend zu finden, wie langsam bzw. schnell eine Bewegung verläuft.

In der Phase der Festigung sollte nicht darauf verzichtet werden, von den Schülern das Einprägen bestimmter, charakteristischer Zahlenwerte für Geschwindigkeiten typischer Vorgänge zu verlangen.

Wenn auch in Klasse 6 die ungleichförmige Bewegung noch im Hintergrund steht, kann man doch bereits hier die Frage aufwerfen: „Warum liegen die Weltrekordzeiten für die 4 x Hundertmeterstaffel stets niedriger als das Vierfache der Zeit für den 100 m - Rekord?“

Bei der Behandlung der Temperatur in Klasse 6 sollte nie darauf verzichtet werden, den berühmten Versuch mit den drei Waschschildern durchzuführen, der vor allem eine ausgezeichnete Motivation für den Physikunterricht insgesamt darstellt: Unsere Sinnesorgane können unter bestimmten Bedingungen getäuscht werden; es ist notwendig, sich über die Zuverlässigkeit von Beobachtungen Gedanken zu machen und danach zu streben, Beobachtungen durch Messungen zu ersetzen.

In Klasse 7 kann z.B. die Frage aus dem Alltagsleben vielseitig zur Motivation genutzt werden, wie ein schweres Möbelstück bewegt werden kann. Dabei steht das Anheben im Vordergrund, denn es ist z.B. notwendig, um Rundstäbe zur seitlichen Bewegung unterlegen zu können.

Wichtiges Hilfsmittel ist der Hebel. Es genügt jedoch nicht die Kenntnis des Hebelgesetzes, um den Schrank ohne Schaden für die Wohnung zu bewegen. Für den Drehpunkt des Hebels muß eine feste Unterlage vorhanden sein, die die Summe der Hebelkräfte aushält. Andernfalls wird der Fußboden beschädigt. Ein schmales Metallstück als Hebelunterlage führt mit Sicherheit zu solchen Schäden. Wer aber etwas von Druck und Druckkräften weiß, legt ein ausreichend breites Stück unter den Hebel und vermeidet den Schaden.

Außerordentlich vielfältige Möglichkeiten zur Motivation bieten energetische Betrachtungen. Besonders günstige Gelegenheiten ergeben sich am Ende der Klasse 8, wenn Arbeit, Leistung und Energie an Beispielen der Mechanik, der Thermodynamik und der Elektrizitätslehre in enger Verbindung mit der Praxis verglichen werden können. Dabei kann auch folgende Problematik in den Mittelpunkt gerückt werden:

Wieso muß Energie gespart werden, wenn sie nicht verlorengehen kann?

Es ist im Physikunterricht stärker als bisher herauszuarbeiten, daß die verschiedenen Energieformen für die Gesellschaft unterschiedlich nützlich sind. Bereits am Ende der Klasse 8 kann von den Schülern nachgerechnet werden, daß die elektrochemisch gebundene Energie einer voll geladenen Batterie eines PKW etwa gleich ist der thermischen Energie eines Eimers heißen Wassers. Die Erfahrung hat gezeigt, daß die Schüler sehr schnell erfassen, welcher große Unterschied zwischen den Anwendungsmöglichkeiten der beiden Energiespeicher besteht. Diese Erkenntnis darf jedoch nicht dazu führen, daß heißes Wasser bereits als energetisch wertlos eingestuft wird. Es ist herauszuarbeiten, welcher große gesellschaftliche Aufwand erforderlich ist, um z.B. die Warmwasserversorgung in den Neubaugebieten der Städte zu gewährleisten. Dem ist gegenüberzustellen, daß die thermische Energie des Wassers im Ausguß für die Gesellschaft verloren geht.

In diesem Zusammenhang kann auf den unterschiedlichen Energiebedarf der verschiedenen Haushaltsgeräte eingegangen werden. Während die Beleuchtung und der Betrieb von Rundfunk- und Fernsehgeräten nur relativ bescheidene Energieumsetzungen erfordert und auch die im Haushalt üblichen Elektromotoren keine großen Leistungen aufweisen, sind alle der Raumheizung dienenden Mittel sehr energieaufwendig. Vor allem hier lohnt es sich deshalb, Sparmaßnahmen zu suchen und zu realisieren. Es gibt im Physikunterricht zahlreiche Gelegenheiten, diesen Sachverhalt zu belegen und für die Motivation zu nutzen.

Inhaltlich ergiebig sind in dieser Richtung auch Fragen der Dynamik des Straßenverkehrs. Wenn sie auch erst in den Klassen 9 und 10 quantitativ und damit überzeugend behandelt werden können, sind doch bereits ab Klasse 6 bemerkenswerte Überlegungen möglich.

Es kann in allen Betrachtungen nur um verhältnismäßig grobe qualitative und halbquantitative Überlegungen und Folgerungen gehen. Aber auch dazu ist ein bestimmtes Faktenwissen des Physiklehrers erforderlich.

Es genügt, wenn Beispiele dieser Art im Sinne des Modells Massepunkt mit den Schülern diskutiert werden, ohne daß diese Einschränkung in jedem Falle in den Vordergrund gerückt wird.

Um sachkundige Diskussionen mit den Schülern führen zu können, muß der Lehrer ausreichend über technische Daten verfügen. Dazu gehören Angaben über die Masse des jeweiligen Fahrzeuges. Beauftragte Schüler können ohne Schwierigkeiten aus technischen Zeitschriften konkrete Angaben zusammentragen. Der Lehrer sollte sich merken, daß motorisierte Zweiradfahrzeuge Massen zwischen 75 kg und 300 kg aufweisen, Massen der PKW zwischen 800 und 1500 kg liegen und die der LKW mehrere Tonnen betragen.

Sehr leicht läßt sich aus Veröffentlichungen auch die Leistung der Motore ablesen. Gerade diese Angabe nutzt jedoch dem Physiklehrer unmittelbar nur wenig. Er benötigt vor allem Auskünfte über die beschleunigenden Kräfte, die der Motor auf das Fahrzeug überträgt.

Sie können durch folgende Überlegungen abgeschätzt werden:

Die vortreibende Kraft des Motors kann sowohl für die Beschleunigung als auch für das Überwinden von Steigungen genutzt werden. Aus elementaren dynamischen Überlegungen folgt, daß das maximale Steigungsvermögen eines Kraftfahrzeuges gleich ist dem maximalen Beschleunigungsvermögen in der horizontalen Ebene.

Anschaulich bedeutet das, daß ein schweres Fahrzeug einen starken Motor benötigt, um sowohl eine hohe Beschleunigung zu erreichen als auch eine starke Steigung zu bewältigen. Das gilt für alle Gänge des Wechselgetriebes.

Aus der Notwendigkeit eines flüssigen Verkehrsablaufs hat sich ökonomisch-technisch ergeben, daß die sehr verschiedenen Kraftfahrzeugtypen sich in ihrem Beschleunigungs- bzw. Steigungsvermögen weitgehend gleichen.

Somit kann z.B. das Steigungsvermögen der Fahrzeuge, das zahlenmäßig gut bekannt ist, für die Abschätzung fahrdynamischer Daten genutzt werden. Für die meisten Kraftfahrzeuge aller Typen gilt in grober Näherung:

Getriebestufe i:	1. Gang	2. Gang	3. Gang	4. Gang
maximale Steigung:				
$\mu_1 = \sin \alpha_1$	33%	20%	12%	6%

Dabei ist α der Steigungswinkel der Straße gegenüber der horizontalen Ebene.

Vorausgesetzt wird weiter, daß die Steigung bei maximalem Drehmoment des Motors und mit einer dementsprechenden Geschwindigkeit befahren wird.

Daraus ergibt sich als Abschätzung, daß die vortreibenden Kräfte maximal $F_1 = \mu_1 \cdot F_G$ und die in der Ebene erzielbaren Beschleunigungen $a_1 = \mu_1 \cdot g$ betragen können. Die auftretende Reibungskraft ist von der Geschwindigkeit nur wenig, dem Luftwiderstand aber stark abhängig, was bei Abänderung der Bedingungen zu berücksichtigen ist.

Mit diesen Informationen ausgerüstet, kann der Lehrer sehr viele praxisbezogene Bemerkungen im Unterricht formulieren und entsprechende Fragestellungen an die Schüler herantragen. Sie können auch auf die Haftreibung der Räder auf der Straße ausgedehnt werden, so daß Vergleiche zwischen maximalen Beschleunigungen bzw. Bremsverzögerungen bei wechselnden Straßenverhältnissen möglich sind. Die durch die Haftreibung wirkende Gesamtkraft auf das Fahrzeug ist stets kleiner als dessen Gewichtskraft; sie liegt je nach den Bedingungen um den Faktor 0,9 (trockene Betonstraße) bis 0,1 (Glatteis) niedriger. Regen setzt den Wert meist auf $< 0,5$ herab. Nicht zuletzt sollte dabei darauf hingewiesen werden, daß die Haftreibung der Reifen auf der Straße nicht nur die Antriebs- bzw. Bremskraft zu übertragen hat, sondern ebenso für die Seitenführungskraft sorgen muß. Es lassen sich leicht halbquantitative Abschätzungen vornehmen (in den Klassen 9 und 10), welche Haftreibungskräfte von einem Moped bei Kurvenfahrt aufzubringen sind, um die Schüler auf die großen Gefahren aufmerksam zu machen, die bei leichtsinniger Führung dieser Fahrzeuge gegeben sind.

Zusammenfassend wird festgestellt, daß es in jeder Unterrichtsstunde darauf ankommt, die Schüler sowohl sachlich als auch gefühlsmäßig anzusprechen. Die genannten Sachverhalte haben sich in diesem Sinne bereits bewährt und sollen als anregende Beispiele verstanden werden.

2. Zur Sicherung des Ausgangsniveaus

Diese Aufgabenstellung gehört zu den wichtigsten und schwierigsten der gesamten methodischen Bemühungen. Die Probleme ergeben sich aus der Uneinheitlichkeit der Voraussetzungen bei den einzelnen Schülern und aus der meist ungenügenden Kenntnis, die der Lehrer darüber besitzt. Wenn er auch pauschal die Schüler in Leistungsgruppen klassifiziert, weiß er doch nie genau, bei wem die für die weitere Arbeit notwendigen Kenntnisse vorhanden sind bzw. fehlen. Dabei ist dahingehend zu differenzieren, ob ein Gedankengang aus der zurückliegenden Stunde weitergeführt werden soll, oder ob früher behandelter Stoff, eventuell Jahre zurückliegend, benötigt wird.

Besondere Bedeutung kommt in diesem Zusammenhang den Wiederholungen und Übungen zu.

Viele junge Lehrer neigen dazu, die als notwendig erkannten Wiederholungen wie Neuerarbeitungen zu gestalten. Das ist wenig effektiv. Man muß davon ausgehen, daß die Schüler - wie es auch für die Werktätigen im Berufsleben gilt - das einmal erworbene Wissen bei längerem Nichtgebrauch nicht total vergessen, wenn es auch lückenhaft geworden und zum Teil verdrängt worden ist. Eine sofortige Reproduktion ist zwar nicht möglich, wohl aber eine weitgehend selbständige Reaktivierung durch geeignete Aufgabenstellungen. Diese müssen umso genauer sein, je jünger die Schüler sind.

Es ist nützlich, wenn sich der Lehrer langfristig Unterlagen schafft, worauf bei der Sicherung des Ausgangsniveaus in den einzelnen Stoffeinheiten besonders zu achten ist. Wichtige Beispiele sind die Kenntnis von Gleichungen oder von verbal formulierten Gesetzen, Verständnis der verwendeten Größen mit ihren Einheiten, Umstellen und Interpretieren von Gleichungen, insbesondere das Erfassen von Proportionalitäten. Letzteres steht häufig in engem Zusammenhang mit dem Anfertigen und Lesen von Diagrammen.

An einem anspruchsvollen Beispiel soll gezeigt werden, welche vorbereitenden Überlegungen notwendig sind:

Der Lehrer will im Stoffgebiet Mechanik der Klasse 9 das Weg-Zeit-Gesetz auf theoretischem Wege herleiten. Als Ansatz dient die Erkenntnis, daß die im v - t -Diagramm erscheinende Fläche ein Maß für den zurückgelegten Weg ist.

Für die Sicherung des Ausgangsniveaus ist es wesentlich, ob der Klasse eine so weitreichende Verwendung eines Diagramms bereits bekannt ist, z.B. aus der Berechnung einer Federspannarbeit (hier ist die Fläche ein Maß für die Arbeit). Wenn das der Fall ist, muß dieser Sachverhalt ausdrücklich wiederholt werden, z.B. durch einen Schüllervortrag. Wenn das nicht zutrifft, bildet das Gewinnen dieser Erkenntnis einen wichtigen Teil der Arbeit am neuen Stoff.

In beiden Fällen ist es unerläßlich, daß den Schülern die physikalischen Größen Weg, Zeit, Geschwindigkeit und Beschleunigung geläufig sind und gegeneinander klar abgegrenzt werden können. Außerdem müssen die Schüler die Gleichungen $s = v \cdot t$ und $v = a \cdot t$ nennen, interpretieren und umstellen können, wobei der unterschiedliche Gültigkeitsbereich klar erfaßt sein muß.

Bei anderen Stundenthemen kann es notwendig sein, daß die Schüler ein bestimmtes Modell reaktivieren. So wird das bereits in Klasse 6 eingeführte einfache Teilchenmodell an zahlreichen Stellen des weiteren Physikunterrichts genutzt und weiterentwickelt, wobei die Akzente z.B. in der Wärmelehre der Klasse 8 anders gesetzt sind als bei der Behandlung der elektrischen Leitungsvorgänge in Klasse 9. Die Einzelheiten gehen aus Lehrplan, Lehrbuch und Unterrichtshilfe hervor.

Zusammenfassend wird darauf aufmerksam gemacht, daß sich der Lehrer bei seinen dementsprechenden Kontrollmaßnahmen zu Beginn der Stunde nicht nur auf einzelne Schüler konzentrieren soll. Es hat sich bewährt, etwa jede zweite Physikstunde mit einer Kurzübung für alle Schüler zu beginnen und zur Wiederholung, Sicherung des Ausgangsniveaus, Festigung und Bewertung zu nutzen. Sie braucht nur wenige Minuten zu dauern und ist in schriftlicher Form am effektivsten.

Die Aufgabenstellung kann sehr verschiedenartig sein; der formale Aspekt spielt hier eine durchaus wichtige Rolle. So können solche Gleichungen oder Merksätze abgefragt werden, von denen die Schüler wissen, daß sie sich diese einprägen sollen. Sehr geeignet sind halboffene Tabellen oder Schemata, die zu vervollständigen sind, wie z.B. die folgende:

	physikalische Größe	Formelzeichen	Einheit
1.1.	el. Spannung	1.2.	1.3.
2.1.		2.2. I	2.3.
3.1.		3.2.	3.3. Ω

Weitere Beispiele sind im Abschnitt zur Festigung angegeben.

Der Lehrer kann sie als Folie vorbereiten und mit Hilfe des Poly-
lux projizieren. Die Schüler benötigen lediglich einen Zettel.

Die umfassendste Auswertung ergibt sich durch das Einsammeln al-
ler Zettel. Dieser Weg ist jedoch nicht ständig notwendig, da der
Aufwand auf die Dauer zu groß wird. So kann der Lehrer beim Ein-
sammeln sich mit Stichproben begnügen, einzelne Schüler nach Ab-
schluß der Kurzübung zum Vorlesen auffordern oder die Zettel zur
Einschätzung zwischen je zwei Schülern austauschen lassen.

Wichtig ist, alle Schüler dadurch zur Konzentration anzuhalten,
daß jeder mit einer genauen Kontrolle rechnen muß.

Auch wenn in einer Stunde nur ein oder zwei Schüler kontrolliert
werden, darf die Klasse nicht unbeteiligt bleiben. Jeder Schüler
muß mit Zusatzfragen rechnen. Der Lehrer braucht sich z.B. nicht
zu scheuen, richtige Formulierungen eines leistungsstarken Schü-
lers von anderen, schwächeren Schülern wiederholen zu lassen, wo-
bei mangelndes Verständnis einzelner Schüler aufgedeckt werden
kann. Außerdem sollten bestimmte, für die betreffende Stunde
wichtige Grundlagen, z.B. eine Gleichung, den Schülern durch ge-
eignete Mittel ständig bewußt gehalten werden. So kann eine sol-
che Gleichung im Tafelbild besonders herausgehoben oder durch
mehrfaches Auflegen einer Folie im Verlauf der Stunde akzentuiert
werden.

3. Arbeit am neuen Stoff

Die Arbeit am neuen Stoff ist die zentrale didaktische Funktion.
In Unterrichtsabschnitten, die vorwiegend diese Funktion besitzen,
ist der Erkenntniszuwachs pro Zeit besonders groß. Trotz ihrer
zentralen Stellung bleibt jedoch die Arbeit am neuen Stoff ohne
vorausgehende und nachfolgende Unterrichtsabschnitte mit anderen
didaktischen Funktionen wenig effektiv.

Ergebnisse sowjetischer Psychologen, besonders Arbeiten von DAWYDOW /4/ u.a., sowie praktische Erfahrungen führten zu der Empfehlung, daß die Arbeit am neuen Stoff durch ein relativ rasches Vordringen zu allgemeingültigen Aussagen gekennzeichnet sein soll. Damit wird für das Aufsteigen zum höheren, theoretisch durchdrungenen Konkreten Zeit gewonnen. Bei letzterem ist die Gewinnung neuer konkreter Aussagen eng mit der Festigung der allgemeinen Aussagen verbunden. Wir haben hier ein Beispiel für die multivalente Nutzung eines Unterrichtsabschnittes vor uns.

Die METHODIK DES PHYSIKUNTERRICHTS IN DER DDR UND DER UDSSR /3; S. 150/ verweist zu Recht auf die außerordentliche Komplexität des Unterrichtsprozesses gerade bei der Arbeit am neuen Stoff. Für eine Entscheidung des Lehrers über die Gestaltung eines Unterrichtsabschnittes mit dieser Funktion haben vor allem folgende Aspekte Bedeutung:

- Welches Kenntniselement soll vermittelt und angeeignet werden?
Die Klassifizierung des anzueignenden Kenntniselements bestimmt in starkem Maße die Zuordnung der zweckmäßigsten Denk- und Arbeitsmethoden sowie der entsprechenden Erkenntnistätigkeiten (S. 27). Wir erläutern diesen Zusammenhang an einer Reihe von Beispielen:

- Es soll die Abhängigkeit des elektrischen Widerstandes von der Länge, der Querschnittsfläche und dem Stoff des Leiters behandelt werden. Das zu erarbeitende Gesetz kann entweder halbquantitativ oder quantitativ formuliert werden. Im ersten Fall kann eine Teilerkenntnis wie folgt lauten: „Je länger ein Leiter bei sonst gleichen Eigenschaften ist, desto größer ist auch sein elektrischer Widerstand.“ Während für die Querschnittsfläche eine analoge Formulierung gefunden werden kann, läßt sich hinsichtlich des Stoffes des Leiters nur feststellen, daß er ebenfalls den elektrischen Widerstand beeinflusst. Eine quantitative Teilerkenntnis könnte z.B. lauten: „Der elektrische Widerstand eines Leiters ist bei konstanten übrigen Bedingungen der Leiterlänge proportional.“ Wir haben es also mit zwei unterschiedlichen Zielen und Anspruchsniveaus zu tun. Daraus folgen unterschiedliche Denk- und Arbeitsmethoden sowie Erkenntnistätigkeiten. So genügt z.B. für das halbquantitativ zu erarbeitende Gesetz das Beob-

achten und verbale Beschreiben des unterschiedlichen Leuchtens einer Lampe bei veränderlicher Leiterlänge. Aus den beobachteten Erscheinungen sind Folgerungen auf die Stromstärke und schließlich auf den elektrischen Widerstand zu ziehen. Durch induktives Verallgemeinern wird das Gesetz verbal formuliert. Auch bei diesem halbquantitativen Weg kann nach der Erklärung der Erscheinungen gesucht werden, wobei hier die Modellvorstellung vom metallischen Leiter oder eine Analogie zur Wasserströmung in kurzen bzw. langen dünnen Rohren herangezogen werden.

Die quantitative Erarbeitung des Gesetzes beginnt ebenfalls mit dem Beobachten, in das jedoch bereits das Messen physikalischer Größen einbezogen wird. Auch das Beschreiben gewinnt neue Züge, weil die verbale Beschreibung ergänzt wird durch Tabellen, Diagramme und die Aufstellung von Proportionalitätsbeziehungen. Dieser quantitative Weg wird in der Regel mit der Formulierung des Gesetzes als Gleichung abgeschlossen, die kurz und exakt alle wesentlichen Teilerkenntnisse enthält.

Die genannten Erkenntnistätigkeiten können je nach Wahl des Lehrers entweder in die Methode der induktiven Verallgemeinerung oder in die experimentelle Methode eingebaut werden (→ S. 54). Welche der beiden Methoden für die Arbeit am neuen Stoff gewählt wird, hängt in erster Linie von dem Niveau der Kenntnisse und des Könnens der Klasse ab. Der Einsatz der experimentellen Methode erfordert die vorherige Aufstellung einer Hypothese auf der Grundlage von Erfahrung oder einer Modellvorstellung vom Leitungsvorgang im metallischen Leiter und ist daher anspruchsvoller als die induktive Verallgemeinerung.

- Es soll die Beschleunigung in Klasse 9 behandelt werden. Sie wird zunächst als qualitativ beschriebener Begriff eingeführt, der einen physikalischen Prozeß kennzeichnet. Die dazu notwendigen Erkenntnistätigkeiten sind wiederum das Beobachten entsprechender Experimente, das verbale und halbquantitative Beschreiben und das Bilden eines Begriffs durch Verallgemeinerung wesentlicher Merkmale des Prozesses „Beschleunigung“.

Beschleunigung ist aber auch eine abgeleitete physikalische Größe. In diesem Falle muß nach quantitativer Beobachtung und Beschreibung von beschleunigten Bewegungen das Ableiten einer physikalischen Größe aus experimentellen Daten als bedeutsame Erkenntnismethode gewählt werden.

• Weitere typische Kenntniselemente sind:

Begriffe, die physikalische Objekte zum Inhalt haben (z.B. elektrisches Feld, Stromkreis, Spannungsquelle usw.);
physikalische Grundgrößen und ihre Einheiten (z.B. Weg, Zeit, Temperatur) bzw. Größen, die aus didaktisch-methodischen Gründen wie Grundgrößen eingeführt werden (z.B. elektrische Spannung);

technische Anwendungen physikalischer Prozesse und Gesetzmäßigkeiten (z.B. Verbrennungsmotoren, elektrische Temperaturmessung, Generator, Transformator usw.). Bei diesen Kenntniselementen müssen die Schüler entweder die zu erkennenden Objekte und Prozesse analysieren oder konstruieren (synthetisieren), ablaufende Prozesse voraussagen oder erklären.

- Welche Kenntnisse und notwendigen Fähigkeiten können für die Arbeit am neuen Stoff vorausgesetzt werden?

Wie die o.g. Beispiele zeigen, hängt von der Beantwortung dieser Frage sowohl die Wahl der Erkenntnismethoden und Erkenntnistätigkeiten als auch die Wahl der zweckmäßigen methodischen Grundform ab. Schließlich ergeben sich aus der Antwort auf diese Frage die notwendigen Maßnahmen zur Sicherung des Ausgangsniveaus, auf die bereits eingegangen wurde.

- Welche methodische Grundform eignet sich für die Arbeit am neuen Stoff?

Wir unterscheiden:

- Methoden der Darbietung (Lehrervortrag, Demonstrationen)
- Methoden der gemeinsamen Arbeit durch Lehrer und Schüler (Unterrichtsgespräch)
- Methoden der selbständigen Schülerarbeit.

Einzelheiten dazu können ausführlich in der METHODIK DES PHYSIKUNTERRICHTS IN DER DDR UND DER UDSSR /3; S. 147 - 155/ nachgelesen werden.

- Die Wahl der methodischen Grundform bestimmt besonders das Verhältnis von Führung durch den Lehrer und selbständiger Tätigkeit der Schüler. Die Entscheidung des Lehrers für eine der Grundformen kann durch folgende Faustregel erleichtert werden:

Fordere von deinen Schülern soviel Selbständigkeit wie möglich und sichere soviel pädagogische Führung wie nötig, um sicher und rasch zu allgemeingültigen Ergebnissen zu gelangen!

- Auf welcher Ebene der Erkenntnistätigkeit soll der Erkenntnisprozeß beginnen bzw. weitergeführt werden?

Dieser Frage wird gegenwärtig in der Schulpraxis noch zu wenig Aufmerksamkeit gewidmet. Nach LOMPSCHER /5; S. 52/ unterscheiden wir folgende Ebenen der Erkenntnistätigkeit:

- . Ebene der praktisch-gegenständlichen Handlungen,
- . Ebene der unmittelbaren Anschauung,
- . Ebene der mittelbaren Anschauung (d.h. der bildhaft-anschaulichen Vorstellungen),
- . Ebene der sprachlich- begrifflichen Erkenntnis.

Erfahrene Lehrer entscheiden sorgfältig in Abhängigkeit von den Unterrichtszielen, vom Anforderungsniveau der geistigen Tätigkeiten und vom Leistungsstand der Schüler, auf welchem Niveau geistige Tätigkeiten eingeleitet werden können und welche Übergänge zwischen den Ebenen der Erkenntnistätigkeit im Unterrichtsprozeß vollzogen werden sollen. Gerade bei der Wahl der Ebene der Erkenntnistätigkeit ist eine Differenzierung je nach individuellem Fähigkeitsniveau möglich und notwendig, um alle Schüler zum Erreichen der Lehrplanziele zu führen.

Wir werden an einem Unterrichtsbeispiel die genannten Fragen und ihre Beantwortung noch ausführlich erläutern.

Die Praxis zeigt, daß trotz sorgfältiger Überlegungen zur Gestaltung der Arbeit am neuen Stoff bei einer Reihe von Schülern Lernschwierigkeiten auftreten. Diese haben sehr unterschiedliche Ursachen. Die wichtigsten sind:

- Mängel im Ausgangsniveau des Könnens der Schüler,
- zu hoch angesetzte Ebene der Erkenntnistätigkeit oder unzureichende Herstellung von Verbindungen (Übergängen) zwischen den einzelnen Ebenen,
- individuell unterschiedliches Tempo der Informationsverarbeitung,
- Mängel in Aufmerksamkeit und Konzentration der Schüler,
- Mängel in der Einstellung zum Fach, zum Lehrer, falsche Lerngewohnheiten und verfestigte Verhaltensweisen.

Der Vermeidung bzw. dem Abbau von Lernschwierigkeiten dienen folgende Maßnahmen:

- Sicherung des notwendigen Ausgangsniveaus durch Festigung des Könnens und bei der Einführung in die Arbeit am neuen Stoff. (Daran wird erneut die Bedeutung des Zusammenwirkens verschiedener didaktischer Funktionen deutlich).
- Dem Ausgangsniveau angepaßte, gegebenenfalls differenzierte Wahl der Ebenen der Erkenntnistätigkeit; Sicherung der Erkenntnistätigkeit auf mehreren, miteinander verbundenen Ebenen. Beispielsweise sind bei der Behandlung der elektromagnetischen Induktion in der Regel Tätigkeiten auf der Ebene der unmittelbaren Anschauung, der mittelbaren Anschauung und der begrifflich-sprachlichen Tätigkeit eng miteinander verbunden. Spule und Dauermagnet sind in einer Zeichnung gegeben und können unmittelbar anschaulich wahrgenommen werden. Auch das Feldlinienbild wird zeichnerisch dargestellt. Die dynamische Veränderung der gegenseitigen Lage von Spule und magnetischem Feld wird dagegen in der Regel nicht veranschaulicht. Der Schüler muß sie sich vorstellen; er vollzieht also die geistige Tätigkeit auf der Ebene der mittelbaren Anschauung. Das führt bereits bei einigen leistungsschwächeren Schülern zu Erkenntnisschwierigkeiten. Für diese muß auch die dynamische Veränderung des Magnetfeldes unmittelbar anschaulich gemacht werden.
- Ergänzung auditiver Informationen durch visuelle (z.B. Tafelbild). Damit wird der Nachteil der Kurzzeitigkeit auditiver Informationsvermittlung überwunden. Das zeitliche Nacheinander in der Informationsübermittlung wird in ein räumliches Nebeneinander aufgelöst. Der Schüler erhält die Möglichkeit, die gleiche Information entsprechend seinem individuellen Verarbeitungstempo wiederholt aufzunehmen und Lücken, die durch kurzzeitige Unaufmerksamkeit entstanden waren, wieder auszugleichen.
- Sinnvoller Wechsel zwischen rezeptiver, reproduktiver und konstruktiver geistiger Schülertätigkeit bewirkt neben einer Aktivierung der Tätigkeit auch das Bewußtwerden von Lücken im Können und ist Voraussetzung zu deren Beseitigung.

- Nicht alle Lernschwierigkeiten lassen sich durch die didaktisch-methodische Gestaltung des Unterrichts beseitigen. Darüber hinaus beeinflussen das ständige Bemühen des einheitlich handelnden Lehrerkollektivs, seine Zusammenarbeit mit Pionier- und Jugendorganisation sowie mit dem Elternhaus die Einstellungen und Verhaltensweisen der Schüler und damit den Lernerfolg auch im Physikunterricht. Methodische Maßnahmen müssen deshalb stets in übergeordnete Maßnahmesysteme, in das gesamte „pädagogische Regime“ der Schule eingeordnet werden.

Zur Erläuterung der Anforderungen, die an die Arbeit am neuen Stoff gestellt werden müssen, analysieren wir einen Unterrichtsabschnitt zur Bildung des Begriffs „Kraft“ in Klasse 6.

Das in diesem Beispiel zu erwerbende Sachwissen läßt sich in folgenden Sätzen zusammenfassen: „Wenn eine Kraft auf einen Körper einwirkt, dann führt das zur Form- oder Bewegungsänderung des Körpers. Bewegungsänderungen können als Geschwindigkeits- oder Richtungsänderung auftreten. Eine Kraft wirkt stets zwischen zwei Körpern.“

Bei dem anzueignenden Kenntniselement handelt es sich offensichtlich um einen Begriff mit qualitativ definierten Begriffsmerkmalen. Derartige generalisierende Begriffsbildungen verlaufen nach einer logisch bestimmten Schrittfolge:

- 1) Vielfältige Beobachtung konkreter Beispiele von Form- und Bewegungsänderungen (unmittelbare Anschauung) oder Reproduktion entsprechender Vorstellungen im Gespräch, durch Lehrervortrag oder dergleichen (mittelbare Anschauung):

Ein Fahrzeug wird in Bewegung gesetzt, ein rollendes Fahrzeug wird abgebremst, eine Plastilinakugel wird unter dem Einfluß eines aufgelegten Körpers verformt, eine andere Kugel wird mit der Hand verformt, eine Feder wird durch einen angehängten Körper bzw. mit der Hand verformt, eine Kugel setzt sich auf geneigter Rinne in Bewegung, eine andere wird auf waagerechter Rinne angeschoben, eine Kugel wird beim Aufwärtsrollen auf geneigter Rinne abgebremst und anschließend abwärts beschleunigt, ein senkrecht nach unten fallender Wasserstrahl wird unter dem Einfluß eines elektrisch geladenen Körpers aus seiner Richtung abgelenkt, ein Manipermmagnet wird unter dem Einfluß eines Magneten in Bewegung gesetzt bzw. abgebremst, ein Manipermmagnet rollt zunächst geradlinig an einem anderen Magneten vorbei und wird dann aus seiner geraden Bahn abgelenkt usw.

Wenn die Schüler die entsprechenden Experimente nicht nur beobachten, sondern selbst ausführen, wird auch die Ebene der praktisch-gegenständlichen Handlungen einbezogen.

2) Feststellen gemeinsamer Merkmale

Es liegt in allen Beispielen eine Form- oder Bewegungsänderung vor. Bei den Bewegungsänderungen kann man zwischen Geschwindigkeits- und Richtungsänderungen unterscheiden. Gegenwärtig ist unter den Physiklehrern noch weit verbreitet, in solchen Fällen die angestrebte Erkenntnis im Unterrichtsgespräch finden zu lassen. Sie bemühen sich, die Erkenntnisse durch Verallgemeinerung aus den Schülern „herauszufragen“. Dieses Verfahren ist sehr zeitaufwendig, führt lange Zeit nicht zum Erfolg, weil den Schülern das Erkenntnisziel verborgen bleibt und sie gleichsam gezwungen sind, die berühmte „Stecknadel im Heuhaufen zu finden“. Erreicht dann das Gespräch doch sein Ziel, dann sind am Ergebnis in der Regel nur wenige Schüler beteiligt. Unsere eingangs gestellten Forderungen nach raschem Vordringen zu allgemeingültigen Aussagen und zu hoher Schüleraktivität sind auf diese Weise nicht erfüllbar. Es empfiehlt sich daher, die allgemeinen Merkmale für das Wirken einer Kraft nicht vom Schüler selbständig finden zu lassen, sondern sie mitzuteilen und in die Kopfzeile einer Tabelle gemäß Abbildung 1 einzutragen.

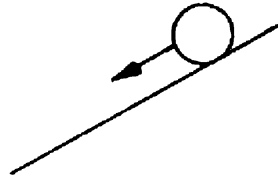
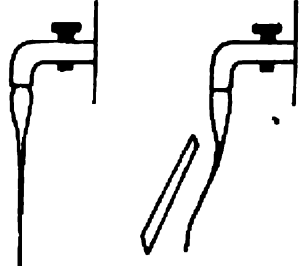
<i>Formänderung</i>	<i>Bewegungsänderung</i>	
	<i>Geschwindigkeit</i>	<i>Richtung</i>
		

Abbildung 1

Die selbständige Tätigkeit der Schüler besteht im Klassifizieren der beobachteten Experimente nach den vorgegebenen Merkmalen. Die geistige Handlung des Klassifizierens ist hierbei eng an die gegenständliche Handlung des Zeichnens und Einordnens in eine Spalte gebunden. Damit wird eine Ebene der Erkenntnistätigkeit gewählt, die erfahrungsgemäß eine sichere Ausführung gewährleistet.

3) Hervorheben der klassenbildenden Merkmale

Im vorangehenden Abschnitt fand im Laufe der selbständigen Tätigkeit der Schüler eine spontane Klassifikation der Experimente statt. Diese geistige Tätigkeit wurde durch unmittelbare Beobachtungen unterstützt. Jetzt kommt es darauf an, durch Verallgemeinerung und Erhöhung der Ebene der Tätigkeit (vorwiegend begrifflich-sprachliche Tätigkeit) die gemeinsamen Merkmale bewußt zu machen. Ein Übergang kann in der Weise erfolgen, daß vom Schüler eine Begründung für die Einordnung des Experiments in eine bestimmte Spalte verlangt wird.: „Die Bewegung einer Kugel auf einer geneigten Rinne erfolgt mit zunehmender Geschwindigkeit. Es liegt eine Bewegungsänderung vor.“ Oder: „Ein Wasserstrahl wird in der Nähe eines geriebenen Plaststabes abgelenkt. Es ändert sich die Richtung der Bewegung. Also liegt eine Bewegungsänderung vor.“ Neben den Merkmalen, die für die Klassifizierung benutzt wurden, ist noch ein weiteres Merkmal wichtig, das auf dieser Stufe durch begrifflich-sprachliche Tätigkeit herausgearbeitet werden muß:

Wenn ein Körper eine Form- oder Bewegungsänderung erfährt, dann geschieht das unter dem Einfluß eines anderen physikalischen Körpers. Mit dieser Erkenntnis wird eine spätere Einsicht in den Charakter einer Kraft als Wechselwirkungsgröße propädeutisch vorbereitet, ohne den Begriff „Wechselwirkungsgröße“ einzuführen oder auch nur zu nennen. Die Schülertätigkeit besteht darin, diese einwirkenden Körper für alle Beispiele zu suchen und zu benennen: Die Erde wirkt auf die Kugel und setzt sie in Bewegung. Der Plaststab wirkt auf den Wasserstrahl und lenkt ihn ab ...

An diesem letztgenannten Beispiel wollen wir deutlich machen, daß sich der Lehrer nicht zu scheuen braucht, Kräfte in die Betrachtungen einzubeziehen, deren Wesen wie im Falle elektrostatischer oder magnetischer Kräfte erst später behandelt werden kann. Propädeutik dieser Art macht den Unterricht vielseitiger und interessanter und unterstützt eine spätere Systembildung. Außerdem demonstriert das Beispiel die Einheit von Arbeit am neuen Stoff und erster Festigung.

Das Hervorheben der klassenbildenden Merkmale erreicht seinen Höhepunkt mit der Formulierung einer allgemeinen Aussage und einer abschließenden Definition:

„Einwirkungen, die Form- oder Bewegungsänderungen einer Körpers hervorrufen, heißen **K r ä f t e** .“

4. Festigung

Ein einmaliges Durchlaufen eines Erkenntnisprozesses führt in der Regel noch nicht zu sicheren und dauerhaften Kenntnissen. Ebenso führt die einmalige Ausführung einer Tätigkeit oder eines Tätigkeitselements (Handlung) noch nicht zur dauerhaften Beherrschung dieser Tätigkeit oder Handlung. Sichere Kenntnisse und sichere Beherrschung von Tätigkeiten erfordern ein vielseitiges System von Maßnahmen, die sich unter dem Begriff „Festigung“ zusammenfassen lassen.

Wegen der Vielgestaltigkeit der pädagogischen Maßnahmen zum Festigen haben sich in der Didaktik eine Reihe von Artbegriffen des Festigens herausgebildet, die in der Literatur nicht ganz einheitlich systematisiert werden. Wir unterscheiden die Wiederholung, die Übung, die Systematisierung und die Anwendung. (Vgl. damit die Arten der Festigung bei KLINGBERG /6/, LIIMETS/NAUMANN /7/, METHODIK DES PHYSIKUNTERRICHTS IN DER DDR UND DER UDSSR /3/ und bei WILKE in diesem Lehrmaterial, S. 182 ff.)

Die **W i e d e r h o l u n g** beruht auf der Tatsache, daß Gedächtnisinhalte erst nach mehrfacher Rezeption und Reproduktion sicher behalten und auch nach längerer Zeit noch reproduziert werden können. Auch nach dem Einprägen in das Langzeitgedächtnis sind Gedächtnisinhalte dem Vergessen unterworfen. Deshalb ist es notwendig, neben mehrfacher Wiederholung des Wesentlichen unmittel-

telbar nach der Erstaneignung oder sogar zusammen mit der Erstaneignung auch für Wiederholungen in längeren Zeitintervallen zu sorgen.

Die **Ü b u n g** ist eng mit der Anwendung verknüpft. Viele Lehrer planen deshalb Unterrichtsabschnitte mit der kombinierten Funktion "Anwendung und Übung". Der Begriff "Übung" umfaßt auch den Prozeß der Ausbildung automatisierter Handlungsbestandteile (Fertigkeiten) und muß zu diesem Zweck die Ausbildung formaler Handlungen einschließen.

Bei der **A n w e n d u n g** des neuen Stoffs wird die Einheit von Konkretem und Abstraktem besonders betont. In der geistigen Tätigkeit der Schüler wird ein Aufstieg vom Abstrakten zum höheren, theoretisch durchdrungenen Konkreten vollzogen. Psychologische Untersuchungen von DAWYDOW und anderen weisen nach, daß selbständige geistige Schülertätigkeit in dieser Phase des Erkenntnisprozesses besonders effektiv ist und bei der Planung des Unterrichts deshalb beachtet werden sollte.

Wie bei der Arbeit am neuen Stoff ist auch bei der **S y s t e m a - t i s i e r u n g** die Einheit des Konkreten und Abstrakten zu beachten. Das bedeutet, daß in Zusammenfassungen und Systematisierungen (z.B. in materialisierter Form im Tafelbild oder in Hefteinträgen der Schüler) nicht nur die verallgemeinerten und abstrakten Ergebnisse des Erkenntnisprozesses stehen dürfen, sondern daß die abstrakten Aussagen stets auch durch Beispiele konkretisiert werden müssen.

Von einigen Autoren wird als weitere Variante der Festigung zusätzlich noch die **Z u s a m m e n f a s s u n g** angeführt. Sie bewirkt eine Konzentration des Einzuprägenden auf das Wesentliche. Sie begünstigt das Einprägen durch mehrere Effekte:

- Aktive geistige Auseinandersetzung mit dem Stoff im Prozeß des Zusammenfassens,
- Reduzierung der zu speichernden Information und damit Entlastung des Gedächtnisses,
- Systembildung durch Herstellen wesentlicher Zusammenhänge zwischen den zu speichernden Aussagen,
- Wertung des neuen Stoffs durch Hervorheben des Wesentlichen.

Das wichtigste Mittel, die didaktische Funktion der Festigung in allen ihren Arten zu realisieren, ist die Aufgabe (↗ dazu Seite 139 bis 157). Sie stellt ein didaktische Mittel zur Überwindung uneffektiver Unterrichtsverläufe dar, wenn sie richtig eingesetzt wird. Wir verstehen den Begriff „Aufgabe“ in einem *w e i t e n* Sinne als Aufforderung an den Schüler, ein bestimmtes Ziel durch selbständige oder angeleitete Arbeit zu erreichen. Aufgaben können sowohl schematische als auch schöpferische Tätigkeiten der Schüler auslösen. In der Literatur wird der Begriff „Aufgabe“ manchmal auch in einem engeren Sinne nur als Auslöser für schematische, nichtschöpferische Tätigkeiten verstanden und dem Begriff „Problem“ gegenübergestellt, der als Auslöser für schöpferische Tätigkeiten gilt.

Um die Fülle möglicher Aufgaben zu ordnen, wurden zahlreiche Versuche zu ihrer Systematisierung unternommen. Die wichtigsten Einteilungsaspekte sind:

- die didaktische Funktion, in der die Aufgabe eingesetzt werden soll,
- die wesentlichen Tätigkeiten, die durch die Aufgabe ausgelöst werden.

Wir betrachten zunächst Aufgaben zur Wiederholung, Zusammenfassung, Systematisierung, Anwendung und Übung. D.h., wir untersuchen die Aufgaben unter dem Einteilungsgesichtspunkt ihrer didaktischen Funktion.

Für Aufgaben zur Wiederholung gilt prinzipiell, daß sie auf die Verwirklichung der Einheit von Konkretem und Abstraktem in der geistigen Tätigkeit orientieren sollen. Mit Aufgaben zur Wiederholung wird eine mehrfache Rezeption und Reproduktion des Unterrichtsstoffes mit dem Ziel des Einprägens angestrebt.

Beispiele für Wiederholungsaufgaben: „Nenne Bewegungsarten und gib Beispiele dazu an!“

„Nenne die Merkmale dieser Bewegungsarten!“

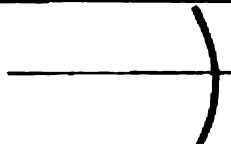
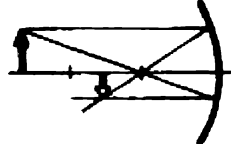
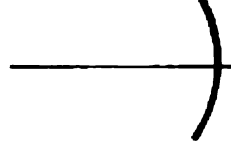
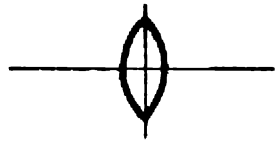
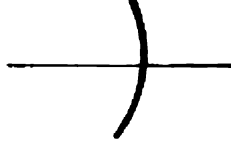
„Gib an, unter welchen Bedingungen die genannten Bewegungen zustande kommen!“

Bei der Wiederholung können speziell Maßnahmen zum Einprägen ergriffen werden. Beispielsweise wird die vollständige Reproduktion der Merkmale der Bewegungsarten erleichtert, wenn der Lehrer die

Worte „Bahnform - Geschwindigkeit - Beschleunigung“ an die Tafel schreibt und damit die wichtigsten Gesichtspunkte für die Ordnung der Merkmale vorgibt. Durch eine solche Strukturbildung ist das Einprägen effektiver als bei einer umstrukturierten Merkmalsmenge. Bei folgenden Wiederholungen können die drei ordnenden Hinweise durch Kreidepunkte an der Tafel ersetzt werden. Nach mehrfacher Wiederholung sind solche äußeren Hilfen nicht mehr erforderlich.

Die Wiederholung kann jedoch nicht nur durch speziell dafür gestellte Aufgaben erfolgen, sondern auch als immanente Wiederholung bei allen anderen Aufgabentypen wirksam werden.

Aufgaben zur Zusammenfassung und Systematisierung haben das Ziel, die Selbständigkeit der Schüler bei der Realisierung dieser didaktischen Funktionen zu erhöhen. Als Beispiele führen wir je eine Aufgabe zur Systematisierung der Bildentstehung an optischen Linsen und gekrümmten Spiegeln an (Abb. 2). In diesen Beispielen erfolgt eine Führung der geistigen Schülertätigkeit durch Ausfüllen einzelner Felder als Muster und das Freilassen anderer Felder für die selbständige Tätigkeit. Eine höhere Stufe der Selbständigkeit wird erreicht, wenn lediglich die Gliederungsaspekte für Zusammenfassung und Systematisierung vorgegeben werden. Die höchste Stufe verzichtet auch auf solche Vorgaben und verlangt das selbständige Zusammenfassen und Systematisieren des Unterrichtsstoffes.

	Ort des Gegenstandes	Ort des Bildes	Art des Bildes	Lage des Bildes	Größe des Bildes	Geometrische Darstellung
	Außerhalb der doppelten Brennweite $s > 2f$				Verkleinert	
		In der doppelten Brennweite $s' = 2f$				
	Zwischen einfacher und doppelter Brennweite $2f > s > f$					
			Virtuell			

Systematisierung:

Bildentstehung an Sammellinsen und Hohlspiegeln

Abbildung 2

Für den Einsatz von Aufgaben im Physikunterricht, insbesondere zur Realisierung der didaktischen Funktion „Festigung“, gelten einige beachtenswerte Regeln:

1. Aufgaben eignen sich zum Einsatz für alle didaktischen Funktionen des Physikunterrichts und können die Realisierung aller Funktionen durch Erhöhung der Schüleraktivität fördern.
2. Aufgaben sollen das gesamte Spektrum wesentlicher Inhalte und Tätigkeiten abdecken, die im Zielsystem einer Stoffeinheit enthalten sind.
3. Im Laufe der Bearbeitung von Aufgaben und Aufgabenfolgen entwickeln sich das Können und die Fähigkeiten der Schüler weiter. Es sind deshalb bestimmte gesetzmäßige Entwicklungstendenzen geistiger Handlungen bei der Konstruktion von Aufgaben und Aufgabenfolgen zu beachten.
4. In Abhängigkeit von der Art der Tätigkeit und dem erreichten Fähigkeitsniveau können Aufgabenlösprozesse in unterschiedlichen Organisationsformen ablaufen. Wir unterscheiden

- Einzelarbeit,
- Arbeit in kleinen Schülergruppen (2 bis 3 Schüler),
- frontale, durch den Lehrer geführte Arbeit.

Es empfiehlt sich neben dem Wechsel der Tätigkeitsart auch ein Wechsel der Organisationsform, um die Vorteile aller Formen auszuschöpfen und keine Monotonie in der didaktischen Gestaltung von Festigungsprozessen aufkommen zu lassen.

5. Für den Erfolg von Aufgabenlöseprozessen ist es wichtig, die Schüler über die Richtigkeit oder Falschheit von Zwischen- und Endergebnissen zu informieren, ihnen Hinweise auf die Art der begangenen Fehler zu geben und sie gegebenenfalls durch Hilfen zum richtigen Ergebnis zu führen. Solche Reaktionen des Lehrers auf die Ergebnisse der Schülertätigkeit, die wiederum neue, differenzierte Schülertätigkeiten auslösen sollen, werden oft mit dem Begriff „Rückkopplung“ bezeichnet.

Erfolgreiche Handlungsverläufe werden bekräftigt und wirken motivierend für die weitere Tätigkeit. Aber auch Fehler (Mißerfolge) können die Aktivität der Schüler stimulieren, wenn der Lehrer gleichzeitig die optimistische Überzeugung vermittelt, daß sie überwunden werden können.

Im folgenden werden wir einige dieser Regeln näher erläutern. Die Forderung nach Berücksichtigung des gesamten Spektrums wesentlicher Inhalte und Tätigkeiten wird gegenwärtig durch die verfügbaren Aufgabenstellungen, Lehrbücher und Unterrichtshilfen noch unvollständig erfüllt.

Ein Beispiel für die Konstruktion eines Aufgabensystems, das Tätigkeiten und Festigungsarten möglichst vollständig abdeckt, entwickeln wir für die Stoffeinheit „Ohmsches Gesetz - elektrischer Widerstand“:

- | | |
|--|---|
| 1. Erläutere den Zusammenhang zwischen Spannung und Stromstärke in einem metallischen Leiterstück! | Wiederholung auf begrifflich-abstrakter Ebene |
| 2. Zeichne eine Schaltskizze zur Bestätigung des Ohmschen Gesetzes! | Wiederholung, verbunden mit Anwendung der Spannungs- und Strommessung. Die innere, geistige Tätigkeit äußert sich in der materiellen Tätigkeit des Zeichnens. |

3. Baue die Schaltung auf!

Wiederholung und Übung.
Der Übungsanteil besteht in der Festigung der Schalthandlungen auf der Grundlage einer Skizze, die allmählich bis zur Fertigkeit weiterentwickelt werden. Einheit innerer, geistiger Tätigkeit (besonders Analyse der Schaltskizze) mit gegenständlichen Handlungen.

4. Miß Spannung und Stromstärke am gegebenen Leiterstück, trage die Ergebnisse in eine Tabelle ein und stelle sie grafisch dar!

Vorwiegend Übung des Meßprozesses, des Ablesens und Bestimmens von Stromstärke- und Spannungswerten, des Anlegens von Tabelle und Diagramm. Beitrag zur Fertigkeitsentwicklung. Wiederholungsanteil durch erneute Verallgemeinerung der Meßergebnisse.

5. Gib mögliche Fehlerquellen für Deine Meßergebnisse an!

Wiederholung reproduktiver geistiger Tätigkeit (Nennen bekannter Fehlerquellen wie Ablesefehler, Fehler durch gleichzeitige Spannungs- und Strommessung, Klassifizierung als persönliche und Gerätefehler...), verbunden mit Verallgemeinerung neuer Erfahrungen (z.B. Fehler beim Wechsel des Meßbereichs während der Messung).

6. Gib aus einem gegebenen I-U-Diagramm Wertepaare für Spannung und Stromstärke an und weise die Proportionalität der beiden Größen nach!

Übung im Ablesen von Wertepaaren (Beitrag zur Fertigkeitsentwicklung), Wiederholung von Verfahren zur Prüfung auf Proportionalität (Diagramm ist eine ansteigende Gerade, Quotient ist konstant).

7. Leite aus der Definitionsgleichung der Größe "Widerstand" deren Einheit her!

Wiederholung reproduktiver geistiger Tätigkeit (Definitionsgleichung). Zuordnen von Einheiten zu den Größen der Definitionsgleichung mit Übungsanteil (Einsetzen der Einheiten).

8. Ergänze die Tabelle!

Ω	$k\Omega$	$M\Omega$
	1000	1
	1	
1		
50		
	0,3	
		0,004
600		

Übung im Umrechnen von Einheiten
(Beitrag zur Fertigkeit-
entwicklung)

9. An einem gegebenen Leiterstück wird die Spannung verdoppelt (verdreifacht, verzehnfacht ...). Wie ändert sich die Stromstärke?

Durch Verlängerung eines Leiterstücks wird sein Widerstand verdoppelt (verdreifacht, verfünffacht ...).

Wie ändert sich dabei die Stromstärke (bei konstanter Spannung)?

Es soll die Stromstärke in einem gegebenen Leiter halbiert (gedrittelt, verdoppelt ...) werden. Wie kann man das erreichen?

Übung, Festigung der Einheit konkreter Beispiele mit den abstrakten mathematischen und verbalen Formulierungen des Ohmschen Gesetzes.

10. Was kann man tun, um die Helligkeit einer Glühlampe in einem Stromkreis zu verringern?

Anwendung in einer einfachen Problemaufgabe

11. Ein Leiterstück hat einen Widerstand von 12Ω . Welche Stromstärke ist zu erwarten bei einer Spannung von 6 V (3 V, 12 V ...)?
Welche Spannung muß man anlegen, um einen Strom von 0,25 A (2 A, 0,125 A, 3 A ...) zu erreichen?

Übung (wie Aufg. 9)

Eine Taschenlampenbatterie liefert eine Spannung von 4,5 V.
Bei welchem Widerstand ist eine Stromstärke von 1 A (2 A, 0,5 A ...) zu erwarten?

12. Welchen Widerstand hat eine Glühlampe von 100 W Leistung bei einer Spannung von 220 V?

Anwendung und Übung (Bestimmen einer physikalischen Größe aus 2 Ausgangsgleichungen), immanente Wiederholung (Definitionsgleichung der elektrischen Leistung).

13. Ergänze die Tabelle:

Anwendung und Übung (wie Aufg. 12), verbunden mit Gewinnen neuer Kenntnisse über technisch bedeutsame physikalische Größen.

	U	I	P	R
Glühlampe	220V			815Ω
Glühlampe	4,5V	0,02A		
Tauchsieder	220V		500W	
Kochplatte		4,5 A	1000W	
Fernseher. „Colortron“	220V		98W	
Kofferradio „Stern Elite“	9V		1,5W	
Bremsleuchte „Wartburg“	12V	1,75A		
Anlasser „Wartburg“	12V			0,2Ω

Ordne die Geräte

- nach wachsendem Widerstand
- nach wachsender Stromstärke
- nach wachsender Leistung!

Vergleiche!

14. Erkläre die Erscheinungen des Widerstandes und der Wärmeentwicklung in einem Leiterstück mit Hilfe der Modellvorstellung von der Bewegung der Leitungselektronen im Metallgitter!

Wiederholung (Leitungsvorgang) und Übung (Tätigkeit des Erklärens) auf der Ebene sprachlicher Handlungen mit mittelbarer Anschauung (Vorstellung). Unmittelbare Anschauung (Modellvorgabe) oder gegenständliche Handlungen am Modell unterstützen die geistigen und sprachlichen Handlungen.

15. Werte die wissenschaftliche Leistung Georg Simon Ohms unter Berücksichtigung der historischen Bedingungen in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts!

Aufgabe zur Verbindung der Festigung physikalischer Kenntnisse mit weltanschaulichem Werten.

16. Schätze die Bedeutung des Ohmschen Gesetzes für die Lösung technischer Aufgaben an selbstgewählten Beispielen ein!

Wie Aufg. 15!

Beim Einsatz von Aufgaben sind bestimmte gesetzmäßige Entwicklungstendenzen geistiger Handlungen zu beachten. Da die Entwicklung der Schüler unterschiedlich schnell und mit unterschiedlicher Qualität verläuft, ergibt sich daraus die Forderung nach möglichst differenzierter Aufgabenstellung entsprechend dem erreichten Fähigkeitsniveau.

- Die erste der zu beachtenden Entwicklungstendenzen ist die Tendenz zu stufenweisem Übergang von materiellen oder materialisierten Handlungen zu geistigen Handlungen. Wir beachten diese Entwicklungstendenz durch eine Auswahl der Ebene der Erkenntnistätigkeit, die dem Fähigkeitsniveau der Schüler entspricht. Die vorangegangenen Beispiele illustrieren diese Forderung ausreichend.
- Eine zweite Entwicklungstendenz geistiger Handlungen der Schüler betrifft den Übergang von der äußeren Steuerung der Handlungen (durch den Lehrer oder durch schriftliche Vorgaben) zur inneren (selbständigen) Steuerung auf der Grundlage verinnerlichter Handlungsmodelle.

Die Dialektik von Führung und Selbständigkeit der Schülertätigkeit schließt eine Tendenz zur Selbständigkeit ein. Mußten z.B. bei der Einführung des Kraftbegriffs die ersten Entscheidungen

noch vorgeführt werden, so können bei den folgenden Aufgaben die Hilfen des Lehrers allmählich abgebaut werden. Zusammen mit der Aneignung der Sachkenntnisse über den Kraftbegriff wird auch das Vorgehen verinnerlicht, das zu seiner Anwendung notwendig ist.

- Die dritte Entwicklungstendenz ist wiederum eng mit der vorgenannten verknüpft: Die Tendenz zur Verallgemeinerung der Handlungen. Indem gleichartige Handlungen im Festigungsprozeß auf immer neue Sachverhalte angewendet werden, tritt eine Verallgemeinerung ein. Das Erklären, Voraussagen, Klassifizieren, das induktive Verallgemeinern und die experimentelle Methode können zunehmend selbständig auf immer neue Sachverhalte angewendet werden. Gleichzeitig ist der Prozeß der Verallgemeinerung von Handlungen aber auch mit einer gegenläufigen Tendenz zur Differenzierung verbunden. Wir verstehen darunter die Fähigkeit, das Grundmodell einer Handlung entsprechend gegebenen spezifischen Bedingungen einer Aufgabe zu variieren.
- Die vierte Entwicklungstendenz, die den Übergang von entfalteten Handlungen zu verkürzten Handlungen beinhaltet, ist die Voraussetzung, um zunehmend kompliziertere Aufgaben lösen zu können. Mußten beispielsweise die Merkmale für das Vorhandensein einer Kraft bei der Arbeit am neuen Stoff noch einzeln geprüft werden, um dann eine Entscheidung zu treffen, so reduziert sich die Handlung im Laufe der Übung zu einer simultanen, weitgehend automatisierten Operation: Bei jeder Beobachtung einer Form- oder Bewegungsänderung wird „automatisch“ auf das Vorhandensein einer Kraft geschlossen.

Literatur:

- /1/ WECK, H. u.a.: Erzieherisch besonders wirksame Lehrer - was machen sie anders?
In: „Pädagogik“, Berlin, 35 (1980), 9; S. 672 - 686
- /2/ WECK, H. u.a.: Erhöhung der geistigen Aktivität aller Schüler - Erfahrungen erfolgreicher Lehrer.
In: „Pädagogik“, Berlin, 37 (1982) 4; S. 277 - 288
- /3/ Methodik des Physikunterrichts in der DDR und der UdSSR.
Volk und Wissen Volkseigener Verlag Berlin und Verlag
Proswestschenije Moskau 1978

- /4/ DAWYDOW, W.: Arten der Verallgemeinerung im Unterricht.
Volk und Wissen Volkseigener Verlag Berlin 1977.
- /5/ LOMPSCHER, J.: Theoretische und experimentelle Untersuchungen zur Entwicklung geistiger Fähigkeiten.
Volk und Wissen Volkseigener Verlag Berlin 1972.
- /6/ KLINGBERG, L.: Einführung in die Allgemeine Didaktik.
Vorlesungen.
Volk und Wissen Volkseigener Verlag Berlin 1978.
- /7/ LIIMETS, H.; NAUMANN, W.: Didaktik.
Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1982.

Gestaltung und Einsatz physikalischer Aufgaben

1. Einleitung und Begriffsbestimmung

Physikalischen Aufgaben kommt eine große Bedeutung im Unterricht zu. Sie können in allen didaktischen Funktionen eine wertvolle Hilfe sein, umfassen eine große Zahl von Schülertätigkeiten, ermöglichen eine differenzierte Unterrichtsgestaltung, lassen sich an vielen Stellen des Weges der Erkenntnisgewinnung und in allen Stoffgebieten einsetzen.

In Anlehnung an Kossakowski definieren wir /1/: „Die Aufgabe im didaktischen Sinne ist eine Forderung des Lehrers an den Schüler, vom Lehrplan determinierte Bildungs- und Erziehungsziele, die durch die Interpretation des Lehrplanes als Ergebnis bestimmt werden, mittels zielstrebigter Lernhandlungen zu erreichen.“ Damit ist die Steuerungsfunktion von Aufgaben im pädagogischen Prozeß angesprochen, eine große Bedeutung hat selbstverständlich auch ihre Kontrollfunktion.

Der Gegenstand der Aufgabe entstammt dem im Lehrplan festgelegten Unterrichtsstoff im Sinne des erweiterten Stoffbegriffes und entspricht damit seinen Bildungs- und Erziehungszielen. Zum gleichen Einzelgegenstand können Aufgaben mit unterschiedlichem Inhalt, mit unterschiedlicher Struktur und mit unterschiedlichem Anforderungsniveau gestaltet werden. /18/

Der Inhalt einer Aufgabe ist durch die Art und Anzahl ihrer elementaren informativen, normativen und interrogativen Bestandteile gegeben; auch Resultatelemente können in die Aufgabe einbezogen sein.

Die Struktur der Aufgabe wird von den Relationen zwischen den elementaren Bestandteilen bestimmt.

2. Klassifizierung von Aufgaben

Es geht an dieser Stelle nicht um eine strenge Klassifizierung im wissenschaftlichen Sinne. Es sollen vielmehr verschiedene Aspekte betrachtet werden, die für die Unterscheidung von Aufgaben im Unterricht und für ihren differenzierten Einsatz von Bedeutung sind. Sicher lassen sich noch weitere Aspekte angeben, und die hier benutzten überschneiden sich auch teilweise.

Selbstverständlich und allgemein bekannt ist die Tatsache, daß sich Aufgaben mit verschiedenem Gegenstand innerhalb eines Stoffgebietes bzw. verschiedener Stoffgebiete unterscheiden lassen.

Eine große Bedeutung haben dabei stoffgebietsübergreifende bzw. fachübergreifende Aufgaben.

Beispiel für eine stoffgebietsübergreifende Aufgabe (vgl. auch /2/):

Ein Tauchsieder hat einen Widerstand von 160 Ohm und wird mit einer Spannung von 220 V betrieben. Wie lange dauert das Erwärmen von 1/4 l Wasser von 15 °C bis zum Sieden?

2.1. Aufgaben mit verschiedenem Anforderungsniveau

Wir verwenden den Begriff „Anforderungsniveau“ als Maß für die Höhe der Anforderungen, die eine Aufgabe an den Schüler stellt, aber nicht absolut, sondern verglichen mit dem Lehrplan der jeweiligen Klassenstufe. Damit ist das Anforderungsniveau ein objektiv gegebenes Maß, das durch die Aufgabe und die Lehrplanforderungen bestimmt ist. Den häufig benutzten Begriff „Schwierigkeitsgrad“ verstehen wir als subjektive Größe, die von der einzelnen Schülerpersönlichkeit abhängt und daher nur schwer faßbar ist. So kann die Angabe eines Schaltbildes als informatives Element in einer Aufgabe für manche Schüler eine Hilfe sein, die Aufgabe wird subjektiv als „weniger schwierig“ empfunden, während andere Schüler das Schaltbild als hemmend empfinden, die Aufgabe wird „schwieriger“.

Obwohl das Anforderungsniveau objektiv gegeben ist, ist es z.Zt. nicht möglich, vorgegebene Aufgaben eindeutig nach steigendem Anforderungsniveau zu ordnen. Im folgenden werden einige Faktoren angegeben, von denen das Anforderungsniveau abhängt und deren Beachtung für den Lehrer eine wertvolle Hilfe bei der Auswahl von Aufgaben ist:

- Bereich der Physik, den die Aufgabe zum Gegenstand hat in Relation zum Stand der Lehrplanerfüllung
- Einbeziehung stoffgebiet- bzw. fachübergreifender Aspekte
- Forderung nach „Wertung“ von Sachverhalten
- Verhältnis algorithmierter zu schöpferischen Tätigkeiten beim Lösen der Aufgabe (vgl. Abschnitt 3.1.)
- Erforderlicher mathematischer Aufwand (einzusetzende mathematische Mittel; Kombinationen mehrerer Gleichungen u.a.)

- Komplexität der Aufgabe (auch die Berücksichtigung von nur implizit gegebenen informativen Elementen, Erkennen überflüssiger Elemente)
- Anforderungen an die Formulierung des Ergebnisses
Entsprechend dem verschiedenen Niveau der durch diese Faktoren gestellten Forderungen, das sehr unterschiedlich sein kann, läßt sich zu jeder Aufgabe eine „Anforderungsstruktur“ angeben. Das Anforderungsniveau bzw. die Anforderungsstruktur ist den Forderungen des Lehrplanes und der konkreten Klassensituation entsprechend zu wählen.
Zur Förderung besonders begabter Schüler ist im Sinne eines differenzierten Unterrichts für diese Schüler ein Einsatz von Aufgaben mit erhöhtem Anforderungsniveau zu empfehlen.
Jeder Lehrer sollte entsprechende Aufgaben bereit haben.

Wir geben ein Beispiel für Klasse 8:

Auf der Skala eines Drehspulmeßgerätes sind zunächst nur Anfang und Ende des Meßbereiches durch je einen Strich markiert. Wie mußt du vorgehen, um das Gerät

- 1 als Strommesser bis 1 A,
- 2 als Spannungsmesser bis 10 V,
- 3 zur Widerstandsmessung verwenden zu können?

Anmerkung: Im Experiment wurde bei Endausschlag des Zeigers eine Spannung von 100 mV zwischen den Anschlüssen des Gerätes gemessen; der Strom, der das Gerät gleichzeitig durchfloß, betrug 500 μ A.

2.2. Schülertätigkeiten beim Lösen von Aufgaben

Ausgehend von der Forderung nach allseitiger Entwicklung der Fähigkeiten unserer Schüler, die nur durch entsprechende Tätigkeiten möglich ist, wird in /3/ eine Einteilung der Aufgaben nach den für das Lösen vorwiegend erforderlichen geistigen und manuellen Tätigkeiten in folgende Aufgabentypen vorgenommen:

- Mathematisch-rechnerische Aufgaben
- Grafisch-zeichnerische Aufgaben
- Experimentelle Aufgaben
- Beobachtungs- und Erkundungsaufgaben
- Qualitative Denkaufgaben.

Diese Einteilung hat sich bewährt, insbesondere hilft sie dem Lehrer, einseitige Bevorzugungen bestimmter Aufgabentypen zu vermeiden.

Für einige Typen geben wir Beispiele an:

- Mathematisch-rechnerische Aufgabe (/4/; Nr. 4.1.):

Der Korb eines Fahrstuhles mit einer Masse von 600 kg bewegt sich beim Heben im Verlauf der ersten 4 s gleichmäßig beschleunigt und legt dabei einen Weg von 8 m zurück. Dann bewegt sich der Korb gleichförmig weiter.

Berechnen Sie die Zugkräfte, die in jeder der beiden Bewegungsphasen auf das Seil wirken! (Reibungswiderstände bleiben unberücksichtigt)

- Grafisch-zeichnerische Aufgabe (/4/; Nr. 29.1 und 44.1)
(Klasse 10 bzw. 6):

- Im folgenden Diagramm ist der Zusammenhang zwischen der Masse des Elementes $^{210}_{83}\text{Bi}$ und seiner Zerfallszeit graphisch dargestellt:

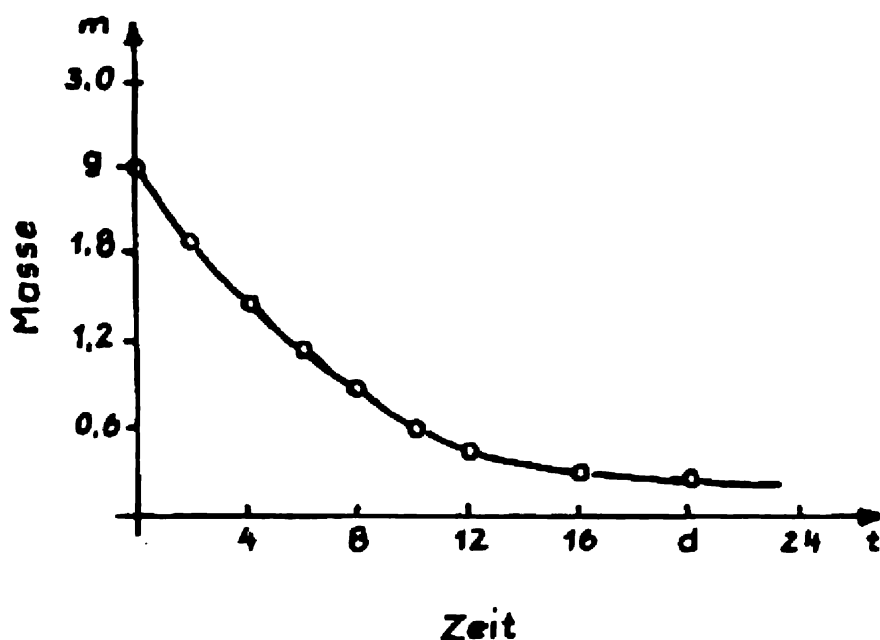


Abbildung 1

Bestimmen Sie die noch vorhandene Masse nach 5 Tagen und nach 10 Tagen!

Konstruieren Sie von einem 12 mm großen Gegenstand, der sich 35 mm vor einer Sammellinse mit der Brennweite 25 mm befindet, das Bild!

- Qualitative Denkaufgabe (/4/; Nr. 45.2):

Blaues Licht tritt in der angegebenen Weise in einen schwarzen Kasten ein und wieder aus. Zwei Möglichkeiten für den Strahlen-
gang im Inneren sind bildlich dargestellt. Wie kann durch einma-
lige Veränderung der Richtung des einfallenden Lichtstrahls ent-
schieden werden, ob sich im Innern ein Spiegel oder ein Prisma
befindet?



Abbildung 2

Analysen haben gezeigt, daß qualitative Aufgaben noch nicht die
ihrer Bedeutung angemessene Anwendung im Unterricht finden.
Deutlich wird, daß jedem Aufgabentyp noch sehr unterschiedliche
Aufgaben zuzuordnen sind, vgl. etwa die beiden Beispiele für
grafisch-zeichnerische Aufgaben, oder die Vielfalt der grafischen
Aufgaben /27/. Eine feinere Unterteilung ist aber hier nicht
sinnvoll.

Eine grobere, aber höchst bedeutsame Unterteilung in formale und
Anwendungsaufgaben findet man in /29/ (S. 150 f). Beide Arten
haben ihren Platz im Erkenntnisprozeß des Schülers, insbesondere
dürfen formale Aufgaben nicht abgewertet werden. Sie sind dadurch
gekennzeichnet, daß sie weder bei der Praxis beginnen noch bei
ihr enden. Im Gegensatz dazu beziehen Anwendungsaufgaben unter-
schiedliche Ebenen der Abstraktion ein. Sie ermöglichen insbeson-
dere auch die Erweiterung auf technische, ökonomische u.a. Dis-
kussionen und können damit in hohem Maße erziehungswirksam sein.

Schließlich muß beachtet werden, daß durch vorheriges Bearbeiten
ähnlicher Aufgaben jede Aufgabe zur rein reproduktiven Aufgabe
werden kann. Über den Grad der Selbständigkeit wird an dieser
Stelle nichts gesagt, er hängt insbesondere vom didaktisch-metho-
dischen Vorgehen und vom vorhergehenden Unterricht ab.

2.3. Inhalt und Struktur der Aufgaben

Meist wird eine umfangreichere Aufgabe heute sehr gegliedert formuliert, wie etwa im folgenden Beispiel (/5/; Aufgabe 6):

Elektrizitätslehre

6.1. Elektrische Leitungsvorgänge

6.1.1. Nennen Sie die allgemeinen Voraussetzungen, die für alle elektrischen Leitungsvorgänge erfüllt sein müssen!

6.1.2. Das Vakuum ist ein Isolator. Unter bestimmten Bedingungen kann eine elektrische Leitung im Vakuum erreicht werden. Erläutern Sie das Zustandekommen des Leitungsvorganges in einer Röhrendiode!

6.1.3. Nennen Sie ein weiteres Bauelement, in dem der Leitungsvorgang im Vakuum genutzt wird!

6.2. Halbleiter

Es soll der Zusammenhang zwischen der Temperatur und dem Widerstand eines Halbleiters bei einer konstanten Spannung von 4 V untersucht werden.

Bei einem entsprechenden Experiment wurden folgende Meßwerte aufgenommen:

ϑ in $^{\circ}\text{C}$	20	30	40	50	60
I in mA	1,0	1,6	2,2	3,6	5,6

6.2.1. Skizzieren Sie hierfür eine Experimentieranordnung! Beschriften Sie die Skizze! Gehen Sie davon aus, daß die Spannungsquelle eine konstante Spannung hat!

6.2.2. Wie verändert sich die Stromstärke bei steigender Temperatur?
Welche Schlußfolgerungen können Sie daraus für den Widerstand des Halbleiters bei steigender Temperatur ziehen?

6.2.3. Erklären Sie die Zunahme der Eigenleitung eines Halbleiters bei Temperaturerhöhung!

6.3. Gleich- und Wechselstromkreis

6.3.1. In einem Haushalt beträgt die Netzspannung 220 V. Ein Stromkreis ist mit einer Sicherung für 10 A gesichert. An diesem Stromkreis sind bereits eine Glühlampe (75 W) und ein Grillgerät (1 250 W) angeschlossen. Es besteht die Absicht, noch ein Bügeleisen (450 W) anzuschließen. Ist bei gleichzeitigem Betrieb dieser Geräte ein Unterbrechen des Stromkreises durch die Sicherung zu erwarten? Begründen Sie Ihre Antwort!

6.3.2. In einem Stromkreis sind ein Kondensator und ein Strommesser in Reihe geschaltet. Wird eine Gleichspannung angelegt, geht der Zeiger des Strommessers nach kurzzeitigem Ausschlag auf Null zurück. Wird eine Wechselspannung angelegt, zeigt der Strommesser einen konstanten Meßwert an. Begründen Sie diesen Unterschied!

Möglich wäre auch eine allgemeine Formulierung, die nur das Thema angibt, etwa „Leitungsvorgang in Halbleitern und im Vakuum und ihre Anwendung.“ Hier sind im Gegensatz zur obigen Formulierung weder informative noch interrogative oder normative Elemente explizit gegeben, der Schüler ist lediglich aufgefordert, über die angegebene Thematik zu schreiben, wobei die Zeitvorgabe (hier 75 Minuten) den Umfang determiniert. Vom Schüler ist selbst festzulegen, welche Probleme er als wesentlich ansieht, wie er seine Arbeit gliedert u. a. m. Das gibt die Möglichkeit, auch diese Fähigkeiten einer Kontrolle zu unterziehen. Ein Nachteil ist, daß die Vergleichbarkeit der Lösungen bei verschiedenen Schülern geringer wird, da den Schülern ein sehr großer Spielraum belassen wird.

Aufgaben mit festgelegtem Gegenstand lassen sich variieren durch Angabe unterschiedlicher interrogativer bzw. normativer Elemente. Damit lassen sich einerseits unterschiedliche Schülertätigkeiten, andererseits verschiedene Anforderungsniveaus erzielen. Das soll an einem Beispiel erläutert werden (/4/; Nr. 1.4):

Eine 48 cm lange Stange ist in der Mitte drehbar gelagert, in 12 cm Entfernung vom Drehpunkt wirkt eine Kraft von 1 N. Welche Kraft muß auf der anderen Seite am Ende der Stange angreifen, damit der Hebel im Gleichgewicht ist? Fertigen Sie zur Vorüberlegung eine Skizze an!

Die Aufgabe enthält das interrogative Element „Welche Kraft ...?“ und zusätzlich als Hilfe, das (entbehrliche) normative Element „Fertigen Sie ... eine Skizze an!“ Durch das letztgenannte Element wird eine rechnerische Lösung der Aufgabe nahegelegt. An sich ist das interrogative Element unbestimmt, es läßt sowohl eine rechnerische als auch eine experimentelle (in vielen Fällen auch eine grafisch-zeichnerische) Lösung zu. Gleiche Bedeutung hätte das normative Element „Ermitteln Sie die Kraft, die am anderen Ende ...!“ Eindeutig bestimmt wäre die geforderte Schülertätigkeit durch normative Elemente der Art „Berechnen Sie ...!“ „Ermitteln Sie durch Rechnung (Zeichnung) ...!“ (vgl. dazu auch /6/).

Die sich durch geeignete Formulierung ergebende Möglichkeit, vom Schüler selbst den (optimalen) Weg zur Lösung einer gestellten Aufgabe zu suchen, stellt einen wertvollen Aspekt der Praxisbeziehung in physikalischen Aufgaben dar (vgl. /7/).

Auch mit der Wahl der informativen Elemente ergeben sich wertvolle Variationsmöglichkeiten (vgl. /7/). So sind in der folgenden Aufgabe (/4/; Nr. 16.3) die informativen Elemente unvollständig:

Es soll ein technischer Widerstand durch Aufwickeln von Draht aus Nickolin auf einen Keramikkörper hergestellt werden. Der Draht hat einen Durchmesser von 0,25 mm. Wie lang muß der Draht sein, damit sein elektrischer Widerstand 200 Ohm beträgt?

Es fehlt hier die Angabe des spezifischen Widerstandes, sie muß dem Tafelwerk entnommen werden. Wertvoll ist an dieser Art Aufgaben, daß sie die Schüler zur Arbeit mit dem Tafelwerk erziehen. Die Aufgabe enthält aber auch überflüssige Elemente („Keramikkörper“), die beim Lösen unberücksichtigt bleiben. Erhöht würde die diesbezügliche Anforderung durch eine Formulierung „... Keramikkörper von 180 mm Länge und 30 mm Durchmesser ...“. Das ist durchaus praxisanah, denn auch bei technischen Problemen ist zunächst oft nicht klar, welche Faktoren bedeutsam sind (vgl. dazu auch /29/; S. 150 ff.).

Schließlich können Aufgaben neben den genannten Elementen auch Resultatelemente enthalten, die entweder richtig oder falsch sind. Zunehmende Bedeutung gewinnen insbesondere Aufgaben mit gebundener Beantwortung („Antwort-Wahl-Methode“, vgl. dazu /8/, /9/, /10/, /11/). Sie sollten im Unterricht stärkere Anwendung finden. Auf die unterschiedlichen, wertvollen Möglichkeiten ihres Einsatzes in vielfältigen Unterrichtssituationen kann hier nicht eingegangen werden. Es sei lediglich zur Erläuterung ein Beispiel angegeben (vgl. /11/):

Gegeben ist ein geladener Plattenkondensator. Welche der folgenden Aussagen ist richtig?

- a) Zwischen den Platten existiert ein konstantes, homogenes elektrisches Feld.
- b) Zwischen den Platten existiert ein konstantes, inhomogenes magnetisches Feld.
- c) Zwischen den Platten existiert ein veränderliches, homogenes Magnetfeld.
- d) Zwischen den Platten existiert ein konstantes, inhomogenes elektrisches Feld.

3. Lösen von Aufgaben

3.1. Schülertätigkeiten

Ein entscheidender Faktor beim Aufgabenlösen sind die dazu erforderlichen Schülertätigkeiten. Ihre Zahl ist groß, sie können explizit als normative Elemente vorgegeben sein, sie können sich auch aus den für die Lösung notwendigen Schritten ergeben.

Eine Aufzählung auch nur annähernd aller auftretenden Tätigkeiten ist hier nicht möglich. Wesentlich ist bei jeder Aufgabenstellung die genaue Festlegung der geforderten Tätigkeiten /12/. Einige Beispiele sollen die Vielfalt der Möglichkeiten erläutern:

- Berichten Sie über das Leben des Galileo Galilei!
Richtige Formulierung, dagegen:
Berichte über Vorgänge, die Du beim Hausexperiment beobachtet hast!
Falsch, da wiederholbarer Vorgang.
- Beschreiben Sie die physikalische Wirkung der Frühbeetfenster als „Wärmefalle“ (vgl. auch /13/).
Falsch, wenn als Lösung die Ableitung der Erscheinung aus den ihr zugrundeliegenden Gesetzen erwartet wird. Es müßte dann „Erklären“ gefordert werden.
- Erklären Sie die Merkmale der Welle und der Schwingung!
(vgl. auch /13/).
Falsch, diese Merkmale können nur genannt oder erläutert werden.

Man beachte schließlich die unterschiedlichen Forderungen, die durch folgende Formulierungen gestellt werden (beide sind richtig und sinnvoll!):

- Beschreibe die Arbeitsweise eines Dieselmotors!
- Erkläre die Arbeitsweise eines Dieselmotors!

Es wird deutlich, daß man die normativen Elemente in der Aufgabenstellung dem in der Lösung Geforderten anpassen muß, dann aber auch konsequent darauf zu achten hat, daß der Schüler auch genau die geforderte Tätigkeit ausführt.

Nicht berührt wurde bisher die Tatsache, daß alle genannten Tätigkeiten vom Schüler mit sehr unterschiedlichem Selbständigkeitsgrad ausgeführt werden können, daß sie schematisch sein oder in unterschiedlichem Maße schöpferische Komponenten enthalten können. Wir schließen uns der Auffassung von L. N. Landa /14/ an: „Eine Aufgabe kann als schöpferisch bezeichnet werden, wenn kein Algorithmus vorhanden ist oder dem Lösenden ein Algorithmus für die Lösung unbekannt ist.“

Mit dem zweiten Teil dieser Definition wird die Festlegung relativiert. Viele Aufgaben können zunächst für den Schüler schöpferisch (problemhaft) sein, aber später, wenn sie ihm bekannt sind, wenn er das Suchfeld für die Lösungselemente genau kennt und er diese beherrscht, ist die Aufgabe nicht mehr schöpferisch. So ist die folgende Aufgabe, wenn sie nicht reproduktiv gelöst werden kann, in hohem Maße schöpferisch (/4/; Nr. 39.1):

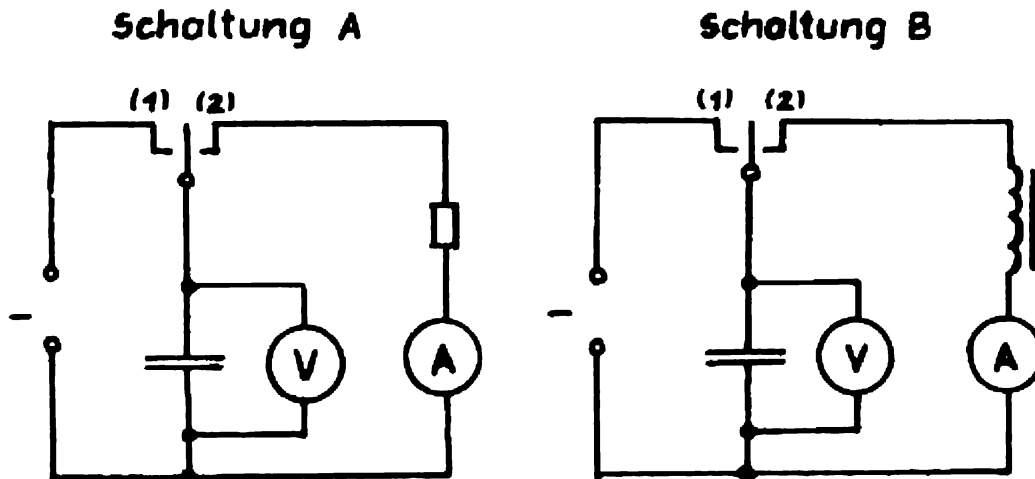


Abbildung 3

In beiden Schaltungen wird der Schalter zunächst in Stellung 1, anschließend in Stellung 2 gebracht. Beschreiben Sie den zu erwartenden Zeigerausschlag der Meßgeräte! Erläutern Sie die Vorgänge in den Schaltungen!

Wir berühren damit das Verhältnis von heuristischem und algorithmischem Aufgabenlösen. Beide haben ihren Platz im Physikunterricht, kein Gesichtspunkt darf vernachlässigt werden. Zwischen beiden Grenzfällen gibt es fließende Übergänge, je stärker das Aufgabenlösen algorithmisiert wird, desto größer ist die Lösungsgarantie, während die selbständig-schöpferische geistige Tätigkeit abnimmt.

Zum Einsatz heuristischer Elemente (vgl. /15/), über Beziehungen zwischen Aufgabenlösen und schöpferischer Tätigkeit /16/.

Wir weisen noch darauf hin, daß wir nicht „Aufgabe“ und „Problem“ einander gegenüber stellen, sondern wir verwenden den Begriff „Aufgabe“ entsprechend der eingangs gegebenen Definition im

didaktischen Sinne. Eine Aufgabe kann Probleme enthalten oder auch nicht, sie kann schließlich auch als Ganzes ein Problem darstellen.

3.2. Methodologie des Löseens physikalischer Aufgaben

Es gibt in der Literatur verschiedene Vorschriften bzw. Hinweise zum Lösen von Aufgaben, insbesondere von mathematisch-rechnerischen Aufgaben. Sie unterscheiden sich im Grundsätzlichen kaum. Wir geben hier die Hinweise wieder, die im Vorwort der Aufgabensammlung Physik, Kl. 10 /4/ dem Schüler gegeben werden (vgl. auch /29/; S. 156 f.):

1. Verstehen der Aufgabe

Worum geht es in dieser Aufgabe? Was wird gefordert? (Beschreibung, Erklärung, Aufzählung, Berechnung bestimmter Größen, persönliche Stellungnahme ...) Beachten Sie, daß eine Aufgabe auch mehrere unterschiedliche Aufforderungen enthalten kann. Seinen Niederschlag findet der erste Schritt etwa in einer Skizze oder im Herausschreiben der gegebenen und gesuchten Größen. Achten Sie dabei auf eindeutige Kennzeichnung der Größen (d.h., wenn in einer Aufgabe mehrere Massen vorkommen, sind diese mit m_1 , m_2 , ... zu bezeichnen)!

2. Aufstellen des Lösungsplanes

Wie kommt man zur Lösung? Welche Größengleichungen können verwendet werden und wie sind sie umzustellen? Wie kann ein Sachverhalt erklärt werden, d.h., auf welche anderen Fakten muß er zurückgeführt werden? Wie kann der Sachverhalt experimentell untersucht werden?

Bei der Auswahl der benötigten Größengleichungen aus der Zahlentafel überlegen Sie, für welchen Sachverhalt eine Größengleichung gilt.

3. Durchführung der Lösung und Niederschrift

Führen Sie das Experiment durch; setzen Sie die gegebenen Größen in die entsprechende Größengleichung ein (zu den Größen gehören auch die Einheiten!) usw. Beachten Sie bei der Niederschrift, daß das Ergebnis nicht nur physikalisch, sondern auch sprachlich einwandfrei formuliert ist. Wählen Sie die Darstellungsform, die am Übersichtlichsten und aussagekräftigsten ist. Das kann z.B. ein Satz, ein Schema, eine Tabelle, eine Skizze sein.

4. Kontrolle des Ergebnisses

Wurde die Aufgabe richtig gelöst? Wurde wirklich das getan, was in der Aufgabenstellung gefordert war? (Wenn gefordert wird „Nennen Sie drei Beispiele ...“, dann ist eine Erklärung fehl am Platze!) Ist das Ergebnis physikalisch sinnvoll? Sind die Einheiten richtig? In manchen Fällen ist eine Probe möglich.

Das konsequente Abarbeiten dieser manchmal auch in anderer Form gegebenen (/15/, /17/) Schritte ist von großer Bedeutung für das erfolgreiche Lösen von Aufgaben. Diese Angaben sind für den Schüler bestimmt, in vorliegender Form für Schüler der Klasse 10. Er muß die erforderlichen Schritte kennen und bewußt gehen, in den unteren Klassen selbstverständlich in vereinfachter Form. Oft sind Mißerfolge beim Lösen von Aufgaben nicht auf fehlendes Wissen und Können zurückzuführen, sondern auf das Überspringen bestimmter Schritte. Das zeigen Analysen von Schülerarbeiten. Insbesondere wird die erste Etappe sehr oft nicht voll realisiert, es wird keine gründliche Analyse der Aufgabe vorgenommen. Man glaubt, die Aufgabe verstanden zu haben, und geht oft übereilt zum dritten Schritt. Bei der Lösung mathematisch-rechnerischer Aufgaben wird dann sehr oft eine Größengleichung dem Tafelwerk entnommen, die die in der Aufgabe enthaltenen Größen enthält, ohne zu überlegen, ob die Gleichung im vorliegenden Fall gilt.

Bewegungen

Beispiel (/4/; Nr. 2):

Bergleute fahren mit Förderkörben in den Schacht ein. Die Untersuchung der geradlinigen Bewegung eines Förderkorbes beim Anfahren ergab folgende Meßwerte:

Nr. der Messung	t in s	s in m
1	0	0
2	0,2	0,1
3	0,4	0,4
4	0,6	0,9
5	0,8	1,6

1. Untersuchen Sie, welche Proportionalität gilt
 $s \sim t$ oder $s \sim t^2$!
 Geben Sie an, welche Bewegungsart vorliegt, und begründen Sie Ihre Aussage!
2. Berechnen Sie die Endgeschwindigkeiten für die Zeit von 0,2 s; 0,4 s; 0,6 s und 0,8 s nach dem Anfahren! Tragen Sie die Ergebnisse in eine Wertetabelle für die Zeit und die Geschwindigkeit ein!
3. Zeichnen Sie das Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm, und benutzen Sie es zur Bestätigung der unter 1. ermittelten Bewegungsart!

Häufig wird zur Lösung der Teilaufgabe 2 die in diesem Fall unzutreffende Gleichung $v = \frac{s}{t}$ benutzt, obwohl die meisten Schüler bei gründlichem Überlegen durchaus in der Lage wären, die richtige Gleichung zu finden. Daraus resultiert als wesentliche Führungsaufgabe für den Lehrer, die Schüler zur gründlichen, sorgfältigen Analyse von Aufgaben zu erziehen, zur Einsicht, daß nicht nur ein schnell gefundenes Ergebnis bedeutsam ist. Auch der vierten der angegebenen Etappen für das Lösen von Aufgaben ist erhöhte Aufmerksamkeit zu schenken. Für andere Aufgabentypen ist das Herangehen an die Lösung der Aufgabe entsprechend zu variieren. Für qualitative Aufgaben werden folgende Schritte (/29/; S. 161) vorgeschlagen:

1. Nennen des physikalischen Gesetzes, das für den physikalischen Vorgang gilt,
2. Nennen der konkreten physikalischen Bedingungen des Sachverhaltes,
3. Logisches bzw. mathematisches Ableiten einer Schlußfolgerung aus dem Gesetz und aus den Bedingungen.

Beispiel:

Nebestehende Schaltung enthält drei gleiche Glühlampen (↗ auch Seite 63/64)

- a) Gib an, welche Glühlampe am hellsten leuchtet (Begründung!)
- b) Erläutere und begründe die Änderung der Helligkeit der Lampen (1) und (3), wenn Lampe (2) aus der Fassung entfernt wird!

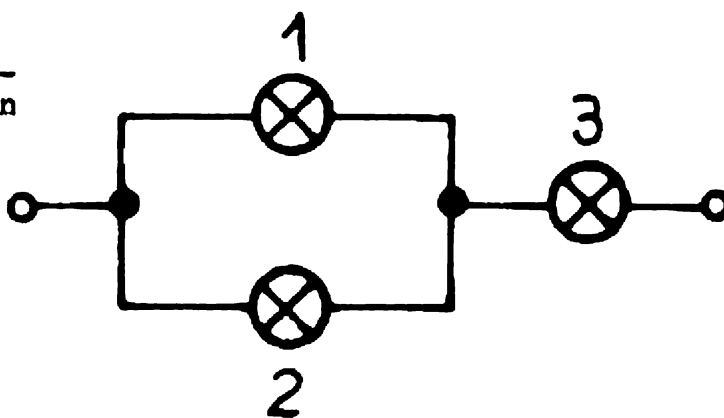


Abbildung 4

Die Lösung erfolgt entsprechend obiger Schrittfolge in verkürzter Form. Hier wird die große Bedeutung der qualitativen Lösung deutlich, diese Aufgabe kann ja auch rechnerisch bearbeitet werden.

- (1) Die Gesamtstromstärke im verzweigten Stromkreis ist gleich der Summe der Teilstromstärken. Die Helligkeit einer Lampe ist um so größer, je größer die Stromstärke ist.
Im unverzweigten Stromkreis ist die Stromstärke konstant.
Bei Reihenschaltung von Widerständen ist der Gesamtwiderstand gleich der Summe der Einzelwiderstände, bei Parallelschaltung zwei gleicher Widerstände ist der Gesamtwiderstand kleiner (halb so groß) als ein Einzelwiderstand.

- (2) Im Fall (a) fließt in (1) und (2) die Hälfte des Stromes von (3), im Falle (b) fließt in (1) und (3) der gleiche Strom.
Im Fall (b) ist der Widerstand größer als in (a).
- (3) a) Lampen (1) und (2) haben die gleiche Helligkeit, Lampe (3) leuchtet heller
- b) Lampen (1) und (3) leuchten gleich hell, (2) etwas dunkler, (1) etwas heller als im Falle (a).

4. Methodik des Einsatzes von Aufgaben

4.1. Organisation des Einsatzes

Physikalische Aufgaben können, wenn man die äußere Seite der Tätigkeit global betrachtet, schriftlich, mündlich oder experimentell gelöst werden. Werden sie zur Leistungskontrolle eingesetzt, dann ergeben sich folgende Formen:

- Klassenarbeit (schriftlich, meist eine Unterrichtsstunde)
- Kurzarbeit (schriftlich etwa 10 bis 15 Minuten)
- mündliche Kontrollen
- Kontrolle experimenteller Tätigkeiten.

Einige dieser Formen werden im Abschnitt 5 näher betrachtet.

Es wurde schon darauf hingewiesen, daß Aufgaben in jeder didaktischen Funktion, in jeder Unterrichtssituation eingesetzt werden können. Unter dem speziellen Aspekt des Einsatzes von Aufgaben werden folgende typische Situationen besonders wesentlich /18/ (es sind dies nicht die bekannten didaktischen Funktionen):

- Problemstellung
- Gewinnung neuer Kenntnisse
- Hypothesenbildung
- Festigung durch Wiederholung
- Systematisierung
- Anwendung

Leider überwiegen in Aufgabensammlungen und auch im Unterricht häufig Aufgaben, die im wesentlichen der Wiederholung und Anwendung dienen können. Eine Vielzahl von Aufgaben für alle genannten Situationen enthält die Aufgabensammlung „Physik“ für Klasse 10 /4/.

Wesentlich für den Einsatz einer Aufgabe in einer bestimmten Unterrichtssituation ist auch die didaktisch-methodische Gestaltung des Einsatzes, wie folgendes Beispiel zeigt:

Aufbau der Stoffe aus Teilchen

Füllen Sie in ein Glasgefäß etwas Limonadensirup! Geben Sie anschließend Wasser in der Weise hinzu, daß zwischen Wasser und Sirup eine deutliche Grenzschicht entsteht (erschütterungsfrei aufstellen!)

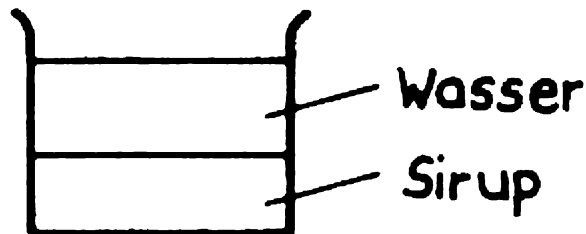


Abbildung 5

1. Beobachten Sie an mehreren aufeinanderfolgenden Tagen die Grenzschicht zwischen Wasser und Sirup! Beschreiben Sie Ihre Beobachtung! Wie bezeichnet man den Vorgang, der sich im Glasgefäß abgespielt hat?
2. Deuten Sie das Ergebnis mit Hilfe des Modells vom Aufbau der Stoffe aus Teilchen!
3. Was würden Sie feststellen, wenn das Experiment bei höherer Temperatur durchgeführt wird?

Diese Aufgabe, insbesondere Teilaufgabe 3., ist recht gut zur Arbeit mit Hypothesen geeignet (man beachte, daß das Teilchenmodell an dieser Stelle für den Schüler noch weitgehend hypothetischen Charakter hat.) Wenn man diese Aufgabe aber einsetzt, nachdem die Diffusion in allen Einzelheiten im Unterricht behandelt wurde, kann diese Aufgabe nur noch der Wiederholung dienen. Außerdem geht dann der Problemcharakter verloren, die Aufgabenlösung kann nur reproduktiv erfolgen.

4.2. Inhaltliche Probleme

Der Einsatz physikalischer Aufgaben im Unterricht setzt klare Vorstellungen über die damit angestrebten Ziele voraus. In welchem Maße diese Ziele wirklich erreicht werden, hängt neben der Organisation des Einsatzes von Aufgaben wesentlich von deren In-

halt ab, beide Aspekte lassen sich nicht voneinander trennen. In Ergänzung zu schon dargestellten Gesichtspunkten (insbesondere im Abschnitt 2) sollen hier einige weitere hervorgehoben werden. Neben der Realisierung didaktischer Funktionen in bestimmten Unterrichtssituationen ist es wesentlich, die Aufgabenstellung und die damit angezielten Schülertätigkeiten an den individuellen Erkenntnisprozeß des Schülers anzupassen, gezielt bestimmte Teilprozesse anzusprechen (und evtl. zu kontrollieren).

So ist die in 4.1. vorgestellte Aufgabe geeignet, die Einordnung neu gewonnener Kenntnisse in ein theoretisches System zu fördern und zu kontrollieren (vgl. /19/). Insbesondere sind qualitative Aufgaben häufig geeignet, den Abstraktionsprozeß (Herstellung von Verbindungen zwischen verschiedenen Abstraktionsstufen) zu unterstützen. Wertvoll ist für die optimale Realisierung von Bildungs- und Erziehungszielen häufig der Einsatz von Aufgabensystemen in Form von „Aufgabenketten“. Das wird am Beispiel des Festigens gezeigt (vgl. /20/, dort sind auch Aufgabenvorschläge angegeben).

Wird die Verbindung verschiedener Ebenen im Erkenntnisprozeß nicht genügend beachtet, dann werden physikalische Aufgaben entweder einseitig reproduktiv oder sie führen zum formalen Ausführen bestimmter Tätigkeiten. Insbesondere kann ein einseitiger Einsatz mathematisch-rechnerischer Aufgaben sehr schnell zum Formalismus führen, weil hier nur die theoretische Ebene des Erkenntnisprozesses aktiviert wird, ohne daß möglicherweise das theoretische Denken der Schüler weit genug entwickelt ist (/21/, /29/).

5. Schlußbemerkungen

Bezüglich der Einsatzmöglichkeiten physikalischer Aufgaben zur Leistungskontrolle und -bewertung verweisen wir auf das Kapitel 3.5. der „Methodik des Physikunterrichts in der DDR und der UdSSR“ /28/. Über spezielle Probleme informieren folgende Beiträge

- schriftliche Leistungskontrolle (/22/, /23/)
- mündliche Leistungskontrolle (/24/, /28/)
- mündliche Abschlußprüfung (/25/)
- differenzierte Bewertung von Schülerleistungen (/26/)
- Kontrolle und Bewertung experimenteller Schülertätigkeiten (/30/, /31/)

Literatur:

- / 1/ „Leistungsermittlung und Leistungsbewertung in der sozialistischen Schule“ (Anhang),
Wiss. Beiträge der FSU Jena, 1977
- / 2/ Physik, Lehrbuch für die Klasse 8.
Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1972
- / 3/ Schollmeyer, G.: Zur Intensivierung des Physikunterrichts durch das Lösen physikalischer Aufgaben.
In: „Physik in der Schule“, Berlin, 9 (1971) 6, S. 275
- / 4/ APW der DDR: Aufgabensammlung Physik, Klasse 10.
Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1978
- / 5/ Schriftliche Abschlußprüfung, Fach Physik (Kl. 10),
Schuljahr 1981/82
- / 6/ Dennler, W.: Zur Arbeit mit der Aufgabensammlung Physik, Klasse 10.
In: „Physik in der Schule“, Berlin, 16 (1978), H. 9,
S. 382 - 387
- / 7/ Dennler, W.: Zum Einsatz praxisbezogener Aufgaben im Physikunterricht.
In: „Wiss. Zeitschrift d. FSU Jena“, Math.-Nat. Reihe, 28 (1979) 6, S. 991
- / 8/ Schmidt, W.: Einige Gedanken zur Gestaltung und zum Einsatz von Aufgaben nach der Antwort-Wahl-Methode im Physikunterricht der Allgemeinbildenden Polytechnischen Oberschule.
In: „Wiss. Zeitschrift d. FSU Jena“, Ges.-Sprachwiss. Reihe, 23 (1974) 5, S. 718
- / 9/ Raabe, B.: Zum Einsatz von Aufgaben mit gebundener Beantwortung.
In: „Physik in der Schule“, Berlin, 14 (1976) 6,
S. 236 - 244
- / 10/ Penner, D. J.: Zur Erarbeitung und zum Einsatz von Aufgaben mit gebundener Beantwortung.
In: „Physik in der Schule“, Berlin, 15 (1977) 1/2,
S. 54 - 57
- / 11/ Senf, G.: Beispiele für Aufgaben mit gebundener Beantwortung.
In: „Physik in der Schule“, Berlin, 15 (1977) 1/2,
S. 57 - 63
- / 12/ Stauche, H.; Günther, R.: Zum Inhalt ausgewählter geistiger Schülertätigkeiten.
In: „Physik in der Schule“, Berlin, 14 (1976) 12,
S. 522 - 524 und S. 533 - 536
- / 13/ Physik, Lehrbuch für die Klasse 10,
Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1972

- /14/ Landa, L. N.: Das Verhältnis zwischen heuristischen und algorithmischen Prozessen und einige Probleme ihrer Herausbildung durch den Unterricht.
In: „Physik in der Schule“, Berlin, 5 (1967) 12, S. 515 und 6 (1968) 1, S. 30
- /15/ Huster, S.: Gedanken zum Einsatz heuristischer Elemente beim Lösen physikalischer Textaufgaben.
In: „Physik in der Schule“, Berlin, 16 (1978) 7/8, S. 317 - 324
- /16/ Lechner, H.; Jablko, L.: Zum Erkennen und Lösen physikalischer Probleme.
In: „Physik in der Schule“, Berlin, 16 (1978) 10, S. 418 - 425
- /17/ Schollmeyer, G.: Das Lösen physikalischer Aufgaben - ein Mittel zur weiteren Verbesserung des Unterrichts.
In: „Physik in der Schule“, Berlin, 13 (1975) 1, S. 32 - 38
- /18/ Jupe, K.: Struktur und Funktion von Aufgaben im Physikunterricht.
In: „Aktuelle Probleme der Methodik des Physikunterrichts“, Wiss. Beiträge d. FSU Jena, 1976, S. 101 - 110
- /19/ Jupe, K.: Der Einsatz physikalischer Aufgaben zur Kontrolle des Erkenntnisprozesses.
In: „Physik in der Schule“, Berlin, 14 (1976) 7/8, S. 305 - 308
- /20/ Huster, S.: Festigen im Physikunterricht durch Einsatz von Aufgabenketten.
In: „Physik in der Schule“, Berlin, 15 (1977) 3, S. 111 - 116
- /21/ Liebers, K.: Zu einigen Problemen der Anwendung der Mathematik im Physikunterricht.
In: „Physik in der Schule“, Berlin, 16 (1978) 10, S. 413 - 417
- Liebers, K.: Zur Rolle der Mathematik im Physikunterricht.
In: „Physik in der Schule“, Berlin, 16 (1978) 11, S. 459 - 466
- Liebers, K.: Zur Gestaltung des Erkenntnisprozesses der Schüler bei der Anwendung der Mathematik im Physikunterricht.
In: „Physik in der Schule“, Berlin, 16 (1978) 12, S. 518 - 523
- /22/ Graumann, L.: Zur Ermittlung des Wissens und Könnens mit Folgen schriftlicher Leistungskontrollen.
In: „Physik in der Schule“, Berlin, 14 (1976) 1/2, S. 50-59 und 3, S. 122 - 124
- /23/ Jupe, K.: Die Wichtung von Teilhandlungen der Schüler beim Lösen von Aufgaben.
In: „Physik in der Schule“, Berlin, 13 (1975) 2, S. 70 und S. 75 - 78

- /24/ Grundlagen der Methodik des Physikunterrichts.
Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1968
- /25/ Raabe, B.; Schilling, D.; Weiß, P.: Zur mündlichen
Abschlußprüfung.
In: „Physik in der Schule“, Berlin, 17 (1979) 1/2,
S. 48 - 53
- /26/ Simon, L.: Kontrollkarten - eine Hilfe zur Speicherung von
Leistungsdaten und zur Führung des Unterrichts.
In: „Physik in der Schule“, Berlin, 16 (1978) 10,
S. 430 - 437
- Simon, L.: Über die Möglichkeit der Bewertung schriftlicher
Schülerleistungen im Physikunterricht.
In: „Physik in der Schule“, Berlin, 17 (1979) 3,
S. 90 - 96
- /27/ Schmidt, W.: Zur Arbeit mit Diagrammen im Physikunterricht.
In: „Physik in der Schule“, Berlin, 20 (1982) 5,
S. 196 - 198 und S. 203 - 205
- /28/ Methodik des Physikunterrichts in der DDR und der UdSSR.
Volk und Wissen Volkseigener Verlag Berlin und Verlag
Proswestschenije Moskau, 1978
- /29/ Liebers, K.: Anwendung der Mathematik im Physikunterricht.
Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1983
- /30/ Raabe, B.: Zu einigen Problemen der Ermittlung und Bewer-
tung experimenteller Schülerleistungen in den Klassen 9
bis 12.
In: „Physik in der Schule“, Berlin, 12 (1974) 7/8,
S. 313 - 319
- Raabe, B.: Zur Ermittlung und Bewertung der Schülerleistun-
gen bei experimenteller Arbeit in den Klassen 6 bis 8.
In: „Physik in der Schule“, Berlin, 13 (1975) 2, S. 79 - 84
- Raabe, B.: Weitere Möglichkeiten zur Ermittlung und Bewer-
tung experimenteller Schülerleistungen.
In: „Physik in der Schule“, Berlin, 13 (1975) 9,
S. 399 - 405
- /31/ Hoffmann, K.-J.: Zur Kontrolle und Bewertung experimentel-
ler Schülerleistungen.
In: „Physik in der Schule“, Berlin, 18 (1980) 5,
S. 205 - 215

Audiovisuelle Unterrichtsmittel im Physikunterricht

1. Übersicht über Unterrichtsmittel und ihre Aufgaben und Funktionen

Unterrichtsmittel der sozialistischen Schule sind die materiell-gegenständlichen pädagogischen Mittel, die notwendige Voraussetzungen für das Erreichen kommunistischer Erziehungsziele darstellen und unter Führung des Lehrers von ihm und/oder dem Schüler in den pädagogischen Prozeß gemeinsam mit den anderen dafür zur Verfügung stehenden Mitteln (Methoden, Organisationsformen des Unterrichts, Sprache, Mimik, Gestik u.a.) integriert werden. /1/

Die Hauptfunktion aller Unterrichtsmittel besteht darin, den Lehrer bei der Realisierung der Bildungs- und Erziehungsziele in seiner pädagogischen Tätigkeit und den Schüler im Aneignungsprozeß zu unterstützen. Die Unterrichtsmittel helfen, diesen Aneignungsprozeß rationell und effektiv zu gestalten. Entsprechend der Dialektik des pädagogischen Prozesses, die sich in der Einheit von Vermittlungs- und Aneignungsprozeß zeigt, haben alle Unterrichtsmittel eine Doppelfunktion zu erfüllen, d.h. bestimmte Funktionen im Vermittlungsprozeß des Lehrers und bestimmte Funktionen im Aneignungsprozeß der Schüler.

Entsprechend dem im Unterricht ablaufenden Geschehen kann man 6 typische Funktionen der Unterrichtsmittel unterscheiden: /2/

- Motivierungs- und Stimulierungsfunktion
- Informations- und Erkenntnisfunktion
- Fähigkeitsausbildende Funktion
- Emotionale Funktion
- Steuerungsfunktion
- Rationalisierungsfunktion

So wie der Unterricht einen komplexen Charakter besitzt, können auch die Unterrichtsmittel i.a. komplex gleichzeitig mehrere typische Funktionen erfüllen. Die Wirksamkeit der Unterrichtsmittel ist bei der Gestaltung der Unterrichtsmittel vorgedacht. Man spricht in diesem Sinne auch von den potentiellen Funktionen, über die das jeweilige Unterrichtsmittel verfügt. Die im konkreten Unterrichtsprozeß wirksam werdenden potentiellen Funktionen des Unterrichtsmittels werden auch als aktuelle Funktion bezeichnet. Über die aktuellen Funktionen entscheidet also zum einen das Unterrichtsmittel selbst und zum anderen die Planung und Realisierung des Einsatzes des Unterrichtsmittels.

Bei der Planung des Einsatzes der Unterrichtsmittel muß folgende Frage beantwortet werden:

Für welche der zur Verfügung stehenden Unterrichtsmittel entscheidet man sich, um bestimmte fachliche Teilziele zu erreichen, um bestimmte erkenntnistheoretische Schritte, typische Situationen oder Erkenntnismethoden zu gestalten, um ausgewählte didaktische Funktionen zu erfüllen und um Schülertätigkeiten auszulösen und zu führen?

Nach dieser Entscheidung sollte man jedem ausgewählten Unterrichtsmittel folgende Angaben zuordnen können:

- Ziel des Einsatzes (Bildungs- und Erziehungsziele)
- Stellung im unterrichtlichen Erkenntnisweg, in der typischen Situation oder in der gewählten Methode
- zu erfüllende didaktische Funktion
- notwendige Lehrertätigkeiten
- mit dem Einsatz angestrebte Schülertätigkeiten
- Überlegungen zum kombinierten Einsatz mit weiteren Unterrichtsmitteln

Kernstück des Physikunterrichts bildet der Einsatz der Experimentiergeräte, das ist Wesensmerkmal dieses Faches. Dieser Fakt bleibt unberührt, auch wenn die Bedeutung der audiovisuellen Unterrichtsmittel in den letzten Jahren sprunghaft angestiegen ist. Zum Einsatz der Experimentiergeräte liegt zahlreiche Literatur vor (z.B. die 11 Bände der „Physikalischen Schulversuche“ /3/), auch in den Studienmaterialien wird an verschiedenen Stellen dieses Thema behandelt. Im weiteren soll hier deshalb speziell auf den Einsatz der audiovisuellen Unterrichtsmittel eingegangen werden. Prinzipiell sind dazu dieselben Überlegungen notwendig, die bereits allgemein zum Einsatz eines Unterrichtsmittels angestellt wurden.

Als audiovisuelle Unterrichtsmittel werden diejenigen Unterrichtsmittel bezeichnet, die im pädagogischen Prozeß mit Hilfe von Geräten der technischen Grundausstattung präsentiert werden und deren Informationsgehalte über den optischen und/oder akustischen Analysator erschlossen wird.

Audiovisuelle Unterrichtsmittel erfüllen im Abstraktionsprozeß die Aufgabe der mittelbaren Widerspiegelung der Wirklichkeit durch das gesprochene Wort (auditive Unterrichtsmittel) bzw. durch das Zeichen, Symbol, die Skizze, die Schrift usw. (visuelle Unterrichtsmittel) in bildhafter Darstellung.

Sie können Modelle und Theorien veranschaulichen. Die audiovisuellen Unterrichtsmittel helfen dem Schüler, zum Wesen einer Erscheinung vorzudringen.

Andererseits müssen audiovisuelle Unterrichtsmittel in der ersten Stufe des Erkenntnisprozesses, der sinnlichen Erkenntnis, und in der Phase der Anwendung beim Aufsteigen vom Abstrakten zum Konkreten auf höherer Stufe originale Objekte und Sachverhalte sowie Experimente durch bildhafte Darstellungen ersetzen, wenn diese aus Gründen des Umfanges, der Gefährdung usw. nicht dem Schüler im Unterricht gezeigt werden können. Häufig ergänzen auf dieser Stufe des Erkenntnisprozesses audiovisuelle Unterrichtsmittel den Einsatz von Experimenten. Die audiovisuellen Unterrichtsmittel übernehmen die Aufgabe der unmittelbaren Veranschaulichung der realen Wirklichkeit durch die Nach- bzw. Abbildung, sie „holen die Praxis in den Unterrichtsraum“.

2. Zum Einsatz ausgewählter audiovisueller Unterrichtsmittel

2.1. Der komplexe Unterrichtsmittel-Einsatz in einer Unterrichtseinheit

Im folgenden wird am Beispiel der Unterrichtseinheit „Silizium-halbleiterdiode“ Klasse 9 eine Variante des kombinierten (komplexen) Einsatzes audiovisueller Unterrichtsmittel beschrieben. Es sei betont, daß dieses Beispiel nur als Anregung zu verstehen ist, weitere kombinierte Unterrichtsmittel-Einsatzvarianten sind in Abhängigkeit von der konkreten Klassensituation zu erproben. Für die ausgearbeitete Variante benötigt man die Zeit von 3 Unterrichtsstunden.

Ziele und Inhalt der Unterrichtseinheit sind dem Lehrplan /4/, die zur Verfügung stehenden Unterrichtsmittel dem Gesamtausstattungsplan /5/ und Informationen über Fernseh- und Rundfunksendungen der Fachzeitschrift „Physik in der Schule“ zu entnehmen.

Ein Taschenrechner, eine Quarzuhr und ein Transistor-Rundfunkempfänger, alle im Batteriebetrieb, werden eingangs der ersten Stunde der Unterrichtseinheit als Unterrichtsmittel in Form von Originalen eingesetzt, um zu demonstrieren, daß die meisten elektronischen Geräte mit Gleichstrom betrieben werden. Dennoch können Netzteile mit Transformatoren verwendet werden, die die Stromversorgung übernehmen. Bei den Schülern entsteht die Frage, wie der Wechselstrom des Netzteils in einen Gleichstrom verwandelt wird. Die eingesetzten Originale erfüllen dominierend eine Motivierungs- und Stimulierungsfunktion.

Diese wird durch ein Demonstrationsexperiment, mit dem die Gleichrichterwirkung einer Röhrendiode und einer Halbleiterdiode gezeigt wird mittels Oszillografenbild, noch verstärkt, wobei hier aber auch bereits die Informations- und Erkenntnisfunktion realisiert wird. Die Röhrendiode wird als historisches Bauelement und die Halbleiterdiode als modernes Bauelement zur Gleichrichtung eines Wechselstroms vorgestellt. Beide werden als Originale gezeigt. Der Aufbau der Bauelemente wird mitgeteilt, dazu wird eine selbstgefertigte Folie eingesetzt. Die entscheidende Problemstellung für die ganze Unterrichtseinheit, wie eine Halbleiterdiode physikalisch wirkt (Erklärungsproblem), wird von den Schülern erfaßt. Das ist das entscheidende Ziel des Einsatzes der Unterrichtsmittel in dieser Phase. Bisher wurde mit allen eingesetzten Unterrichtsmitteln die empirische Basis der Erkenntnisgewinnung geschaffen, im weiteren erfolgt der Übergang zur theoretischen Ebene des Erkenntnisprozesses. Anknüpfend an den mitgeteilten Aufbau einer Halbleiterdiode werden zur Reaktivierung der Kenntnisse über die Eigenleitung sowie die p- und n-Leitung die Kassettenfilme KP 24, 22 und 23 eingesetzt, die Vorstellungen der Schüler dazu werden vertieft. Die Leitungsvorgänge werden modellmäßig in Trickdarstellung dynamisch veranschaulicht, wobei die Elektronenleitung bei der Eigenleitung und die Löcherleitung bei der p-Leitung fachlich nicht exakt dargestellt ist. Die Fehler des Films sollten diskutiert werden mit den Schülern.

Nach dem Sehen der Filme müssen 2 Schüler auf der linken und rechten Hälfte der Klapptafel das Atomgittermodell für einen p-Halbleiter und einen n-Halbleiter mittels Applikationen darstellen und die Störstellenleitung beschreiben und erklären. Die Schülerleistungen werden mit den Darstellungen auf einer Projektionsfolie verglichen und eventuell bewertet. Alle jetzt kombiniert eingesetzten Unterrichtsmittel erfüllen dominierend die fähigkeitsausbildende Funktion. Sie beinhalten vereinfachte Standbilder der Kassettenfilme, um das Modell für den Leitungsvorgang quasistatisch zu veranschaulichen. Der Leitungsvorgang kann in der bildhaften Darstellung in einzelne Schritte zerlegt werden.

Im Anschluß an die Reaktivierungsphase wird im Mittelfeld der Tafel unter der Überschrift „Die Halbleiterdiode“ der prinzipielle Aufbau einer Halbleiterdiode als Zusammensetzung eines p- und n-Gebietes skizziert. Dabei werden nur noch die freibeweglichen Elektronen und die Löcher gezeichnet als weitere Vereinfachung des Modells. Als Hausaufgabe kann formuliert werden, daß die Schüler Voraussagen treffen sollen, was beim Anlegen einer Gleichspannung in Abhängigkeit von der Polung passieren wird.

Damit ist in dieser ersten Stunde der Schritt vom Konkreten zum Abstrakten, veranschaulicht durch modellhafte Darstellungen im Film, auf Folien und an der Tafel endgültig abgeschlossen. Insgesamt wurde durch den Einsatz der Unterrichtsmittel erreicht, daß die Schüler den Aufbau der Halbleiterdiode und die Gleichrichterwirkung kennengelernt haben und daß die Kenntnisse über Leitungsvorgänge reaktiviert wurden, um die Gleichrichterwirkung erklären zu können.

Die zweite Stunde beginnt mit der Besprechung der Hausaufgaben. Die Voraussagen der Schüler werden im Mittelfeld der Tafel (der Lehrer hat das Tafelbild der letzten Stunde im Mittelteil nochmals vor Stundenbeginn angezeichnet) in 2 Skizzen veranschaulicht. Die Voraussagen werden in einem Experiment, in dem die Sperr- und Durchlaßrichtung demonstriert werden, überprüft und bestätigt. Kernstück der Voraussagen ist, daß in der einen Polung die wanderungsfähigen Ladungsträger in die Grenzschicht hineingedrückt und in der anderen Polung aus der Grenzschicht herausgezogen werden. Damit ist das Wissen erarbeitet, um die Gleichrichterwirkung erklären zu können. Zur Unterstützung dieser Schülertätigkeit kann eine Projektionsfolie aufgelegt werden.

Im weiteren Stundenverlauf wird mitgeteilt, daß eine Kennlinie das Bauelement näher charakterisiert. Die Kennlinie einer Halbleiterdiode wird in einem Schülerexperiment aufgenommen. Fähigkeitsausbildende und Steuerungsfunktionen können durch den Einsatz des Lehrbuches und einer selbstgefertigten Projektionsfolie erfüllt werden. Das Lehrbuch gibt dem Schüler eine Aufgabe und eine Handlungsvorschrift für die Aufnahme der Kennlinie. Die Ergebnisse des Experiments können mit der Darstellung einer Kennlinie im Lehrbuch oder auf einer Folie verglichen werden. Zum Abschluß der zweiten Stunde kann ausschnittsweise ein Mitschnitt der Rundfunksendung (1. Sendung der Reihe Mikroelektronik) eingespielt werden, der die Schüler über die hohen technologischen Anforderungen bei der Herstellung von Halbleiterbauelementen informiert.

In dieser 2. Unterrichtsstunde wird der Weg vom Abstrakten zurück zum Konkreten auf höherem Niveau vollzogen. Der Erkenntnisprozeß endet mit der Anwendung in der Praxis. In der zweiten Stunde wurde durch den Einsatz der Unterrichtsmittel erreicht, daß die Wirkungsweise und der Kennlinienverlauf der Halbleiterdiode erklärt werden können.

In der ersten Hälfte der dritten Stunde wird die Fernsehsendung „Halbleiterbauelemente“ eingesetzt. Sie behandelt die Anwendung von Halbleiterbauelementen, die Eigen- und Störstellenleitung, Aufbau und Funktion der Halbleiterdiode, die Gleichrichtung, die Herstellung von Halbleiterbauelementen sowie Aufbau, Funktion und Einsatz von Transistoren und gibt einen Ausblick auf die Mikroelektronik. Die Sendung dient mit Ausnahme der Darstellungen zum Transistor, die auf die nächsten 2 Stunden orientieren, der Wiederholung und Festigung, wobei hier besonders die Anschaulichkeit bei der Erklärung der Wirkungsweise der Diode, die erzieherische Wirksamkeit und die Praxisbezogenheit herauszustellen sind als Vorzüge des Fernsehens (bzw. auch des Films). In gewissen Teilen wird die methodische Variante des historisch-entwickelnden Vorgehens angewandt. Vor der Sendung erhalten die Schüler konkrete, vielleicht sogar differenzierte Aufgabenstellungen. Nach der Sendung werden die Aufgaben abgearbeitet, die Schülerleistungen können bewertet werden (vgl. Abschnitt 3.2). Das Stundenende bilden Demonstrationsexperimente mit einfachen Gleichrichterschaltungen (Zweiweggleichrichtung u.a.), die Strombilder werden auf dem Oszillografen demonstriert, die Schaltungen besprochen. Die Fernsehsendung erfüllt mehr oder weniger stark alle Funktionen eines Unterrichtsmittels.

2.2. Bemerkungen zum Einsatz der verschiedenen audiovisuellen Unterrichtsmittel

Zum Einsatz des Films allgemein im Unterricht werden im Zusammenhang mit den Ausführungen zum Einsatz des Unterrichtsfernsehens im Abschnitt 3 Hinweise gegeben. Es muß zwischen den zwei Hauptarten von Unterrichtsfilmen unterschieden werden - dem Komplexfilm und dem Fragmentfilm. Im Fragmentfilm werden kurze in sich abgeschlossene, sehr begrenzte Sachverhalte dargestellt. Er wirkt fast ausschließlich rational, ist aber recht vielseitig in jeder Phase einer Unterrichtseinheit bzw. Unterrichtsstunde einsetzbar. Der praktisch-technische Aufwand ist gering, da die Fragmentfilme als Kassettenfilmschleifen gefertigt werden und mittels Kassetten-Projektionsgerät vorgeführt werden. Die Kassettenfilme sind besonders geeignet, ablaufende Prozesse (auch zeitlich gedehnt oder gerafft) in Real- oder Trickdarstellung zu demonstrieren, ohne Schwierigkeiten wegen der Schleifenfertigung auch mehrmals. Standbilder aus diesem Prozeß sollten als Dia oder Folie eingesetzt werden.

Projektionsfolien sind visuelle Unterrichtsmittel, die sich besonders eignen zur Darstellung und Führung von Handlungsabläufen, zur Darstellung statischer Zustände eines physikalischen Sachverhaltes als Skizze oder als Modell und zur Darstellung von Übersichten usw. Sollen mittels Projektionsfolie dynamische Prozesse dargestellt werden, so können eigentlich nur jeweils zwei Zustände und ihre Veränderung demonstriert werden z.B. durch Überdecken einer weiteren Folie oder durch Einklappen weiterer Folien. Die Klappfolien eignen sich auch, um Schülertätigkeiten zunächst auszulösen (z.B. Ausfüllen von Übersichten und Tabellen oder Lösen von Aufgaben) und dann schrittweise durch Einklappen von Hilfen für den Schüler oder der Ergebnisse der Schülertätigkeiten diese zu führen und zu kontrollieren. Die Projektion mittels Polylux ist völlig unproblematisch. Bei Selbsterstellung sollte der Lehrer „Überladungen“ und zu viel Text vermeiden. Er sollte die Folie auch nicht als Ersatz des Tafelbildes ansehen, da eine Folie stets für den Schüler vorgefertigt ist und nicht als Ergebnis gemeinsamer Erkenntnis im Unterricht „wächst“. Eine stufenweise Abdeckung kann nur eine Teillösung sein.

Das Tafelbild darf durch die Vielzahl visueller Unterrichtsmittel nicht verdrängt werden, es muß mit diesen stets kombiniert eingesetzt werden. Das Tafelbild muß zum Abbild des Stundenverlaufs werden, es sollte die wichtigsten erkenntnistheoretischen und didaktischen Schritte enthalten und im Unterricht vorwiegend als Ergebnis von Schülertätigkeiten entstehen, auch wenn der Lehrer schreibt und zeichnet.

Die Einheit von Denken und schriftlichen Aufzeichnungen wird dem Schüler zunehmend bewußt. Der Inhalt des Tafelbildes sollte das Gerüst für die Schüleraufzeichnungen bilden. Bei der Gestaltung des Tafelbildes im Wechselverhältnis von Inhalt und Form wirkt der Lehrer sehr stark erzieherisch auf den Schüler im Sinne eines Vorbildes. Das Tafelbild ist zur Hervorhebung des Wesentlichen einer Stunde besonders geeignet.

Dias, Dia-Ton-Reihen, Dia-Reihen und Dia-Filme sind geeignet, um Abbilder der Wirklichkeit als unmittelbare Veranschaulichung der Realität in den Unterrichtsraum zu holen. Des weiteren können physikalische Sachverhalte als Einzelzustände oder als Folge von Zuständen real-abbildend oder/und abstrakt demonstriert werden. Besondere Potenzen der Dias sind zu sehen in der Lebensverbundenheit ihrer Darstellungen und in der Erziehungswirksamkeit bei historischen Betrachtungen. Dia-Ton-Reihen haben eine große emotionale Wirkung, sie sollten insgesamt oder gekürzt in bestimmten didaktischen Funktionen eingesetzt werden. Einzelne Dias einer Dia-Ton-Reihe (ohne Ton) bzw. einer Dia-Reihe können aber auch über mehrere didaktische und erkenntnistheoretische Funktionen einer Unterrichtseinheit hinweg verteilt werden. Sie könnten in Verbindung mit Filmen u.a. audiovisuellen Unterrichtsmitteln eingesetzt werden, sie können aber auch zur Unterstützung der einzelnen Phasen eines Demonstrations- oder Schülerexperimentes verwendet werden. Sollen mittels Dias Prozesse dargestellt werden, so kommt es besonders auf den Vergleich zweier aufeinanderfolgender Dias an. Ein Vor- und Zurückschieben der Dias ist oft zweckmäßig.

Der Vorteil der Dia-Projektionen gegenüber dem Film besteht unter anderem auch darin, daß das Tempo des Vorgehens vom Lehrer in Abhängigkeit von der Klassensituation geregelt werden kann.

3. Das Unterrichtsfernsehen als spezifisches Unterrichtsmittel

Seit 1976 werden regelmäßig Unterrichtsfernsehsendungen für die Klasse 9, Physik, und seit 1982 für die Klasse 10, Physik, vom Bildungsfernsehen der DDR ausgestrahlt. Damit wurde ein neues audiovisuelles Unterrichtsmittel mit massenkommunikativem Charakter wirksam, das wesentliche Gemeinsamkeiten mit dem Tonfilm besitzt. Gegenüber dem Film (und anderen Unterrichtsmitteln) zeichnet es sich vor allem durch folgende Vorteile aus:

- größere Aktualität
- geringere Vorbereitungszeit für den Einsatz
- geringerer ökonomischer Aufwand bei Herstellung und Wiedergabe.

Die Aufgabe der nächsten Jahre besteht darin, das neue Unterrichtsmittel Fernsehen voll für den Physikunterricht zu erschließen. Durch periodische Überarbeitungen der Sendungen schafft das Fernsehen der DDR dafür gute Voraussetzungen. Seine Bemühungen sind dabei darauf gerichtet, die kommunistische Bildung und Erziehung zu unterstützen: die Weltanschauung der Arbeiterklasse unter dem Gesichtspunkt der Einheit von Wissenschaft, Technik und sozialistischer Ideologie offensiv zu propagieren, die Schüler zu intensivem Lernen und schöpferischem Denken anzuregen und durch die Gestaltung der Sendungen zur politischen, fachlichen und didaktisch-methodischen Qualifizierung der Lehrer beizutragen.

Wenn man die Potenzen und Perspektiven des Unterrichtsfernsehens einschätzen will, muß man von der Stellung des Fernsehens im Unterricht ausgehen. Hierin unterscheiden sich die Auffassungen bürgerlicher und sozialistischer Pädagogen zum Teil beträchtlich. In kapitalistischen Ländern wird immer noch die These vertreten, daß das Fernsehen den Lehrer weitgehend ersetzen kann. Wir betrachten demgegenüber das Fernsehen als ein besonders wirksames Unterrichtsmittel, das es dem Lehrer ermöglicht, einen hochwertigen und effektiven Unterricht zu gestalten. Die Aufgabe des Lehrers besteht darin, die Fernsehsendungen organisch in den Unterrichtsprozeß einzuordnen und zielgerichtet zur Bildung und Erziehung sozialistischer Schülerpersönlichkeiten zu nutzen. Dazu muß der Lehrer die großen Potenzen dieses Unterrichtsmittels kennen.

3.1. Vorzüge des Fernsehens

Erzeugen des Eindrucks, „dabei zu sein“

Die große Wirkung des Fernsehens wird zu einem erheblichen Teil durch den „Dabeiseinseffekt“ verursacht. Bild und Ton sprechen dieselben Sinnesorgane der Schüler an, mit denen sie auch beim eigenen Erleben die meisten Informationen aufnehmen. Dadurch wird der Fernsehempfang zu einem fast vollwertigen Erlebnis.

Dieser Anwesenheitseffekt verleiht den Informationen große Glaubwürdigkeit. Damit ist das Fernsehen nicht nur in der Lage, Kenntnisse zu vermitteln; es kann auch - aus dem Erlebnis heraus - einen Beitrag zur Herausbildung wichtiger Einsichten leisten. Durch die Möglichkeit, die Schüler stark emotional anzusprechen, können die Sendungen Begeisterung für die Physik wecken, bestimmte Interessen herausbilden helfen und der Berufsmotivation dienen. Der Eindruck des unmittelbaren Erlebens tritt sowohl bei nachgestalteten Szenen auf, wie etwa der Entdeckung der elektromagnetischen Induktion, bei Filmaufzeichnungen, etwa zum ersten bemannten Raumflug Juri Gagarins, bei Reportagen, z.B. von der Umsetzung technischer Neuerungen, als auch bei der Durchführung physikalischer Experimente im Studio.

Überwindung der räumlichen Grenzen des Fachunterrichtsraumes

Das Fernsehen ist in der Lage, die relativ begrenzten Möglichkeiten der unmittelbaren Demonstration und Untersuchung physikalischer Erscheinungen und ihrer technischen Anwendungen im Physikraum beliebig zu erweitern. Das Fernsehen kann gewissermaßen die Welt ins Klassenzimmer holen. Das betrifft nicht nur Erscheinungen der Natur, wie Ebbe und Flut oder Wirbelstürme, und Anwendungen in der Technik, wie Wasser- und Sonnenkraftwerke; das Fernsehen kann die Schüler sowohl in mikroskopische Bereiche, z.B. bei den Strukturuntersuchungen mit dem Elektronenmikroskop, als auch in kosmische Bereiche, z.B. im Zusammenhang mit der Bewegung von Planeten und Monden führen. Dabei sind auch extreme Bedingungen, wie sie im Innern eines Kernreaktors herrschen, kein Hemmnis.

Fernsehen als Großlupe

Das Fernsehen ermöglicht die Durchführung von Experimenten, die im Unterricht eine individuelle Beobachtung erfordern (Brownsche Bewegung, Lichtblitze im Spinhthariskop). Dadurch wird eine gleichzeitige Beobachtung, Beschreibung und Erklärung für alle Schüler möglich. Weiterhin sind Experimente, deren Durchführung im Unterricht zu gesundheitlichen Schäden der Schüler führen könnte, möglich (Eigenschaften der Röntgenstrahlung, Diffusion von Bromdampf und Luft).

Darüber hinaus bietet das Fernsehen gegenüber der direkten Durchführung der Experimente im Physikunterricht bezüglich der Sichtbarkeit Vorzüge. Es hat die Möglichkeit, alle Objekte auf dem Bildschirm in der optimalen Vergrößerung oder Verkleinerung zu zeigen. Dadurch können vor allem kleine, aber oft mehr wesentliche Teile des experimentellen Aufbaus (z.B. elektronische Bauelemente) formatfüllend ins Bild gesetzt werden.

Ein weiterer Vorzug des Fernsehens besteht darin, daß lichtschwache Erscheinungen, wie Interferenzbilder, ohne Abdunkelung des Raumes demonstrierbar werden.

Überwindung zeitlicher Grenzen

Das Fernsehen kann die Schüler in vergangene Zeiten und in die Zukunft versetzen. Für den Physikunterricht hat dabei besonders die Nachgestaltung historischer Ereignisse Bedeutung. Die Schüler können in den Fernsehsendungen „miterleben“, wie grundlegende Erkenntnisse gewonnen wurden, die nachhaltigen Einfluß auf das physikalische Weltbild haben, und erhalten dabei einen anschaulichen Einblick in die gesellschaftlichen Bedingungen und die Stellung der Wissenschaftler in zurückliegenden Zeiten; sie lernen die Arbeitsbedingungen, die Arbeitsgewohnheiten und das Verhalten der Forscher kennen.

Das Fernsehen kann den zeitlichen Ablauf von Prozessen raffen und dehnen. Schnell ablaufende Vorgänge, wie beim Fall, beim Stoß und bei turbulenten Strömungen kann es beliebig langsam ablaufen lassen. Im Extremfall kann sogar zeitlicher Stillstand erreicht werden. Sehr langsam ablaufende Prozesse, wie Diffusionsvorgänge in Gasen und Flüssigkeiten, das Wachstum von Kristallen usw. können zeitlich gerafft dargestellt werden.

Durch die Dehnung des zeitlichen Ablaufs werden wichtige Details sichtbar, durch die Raffung tritt das Wesentliche Überzeugend hervor.

Einsatz von Trick

Das Fernsehen besitzt vielfältige Möglichkeiten des Tricks. Mit dem Trick kann Wesentliches hervorgehoben werden (Einblenden von Pfeilen, Schrift, Umrahmungen u.ä.), es können Einblendungen oder Überblendungen von Schaltskizzen, Meßwerten, Diagrammen u.ä. vorgenommen werden. Schließlich ist der Trick im Sinne des Trickfilms zu nennen, durch den vor allem die modellmäßige Nachbildung von Prozessen erfolgt. Der Trickfilm ist besonders dann bedeutungsvoll, wenn sich das Realobjekt dem direkten Zugang durch unsere Sinnesorgane entzieht. In diesen Fällen kommt ihm sowohl eine große erkenntnistheoretische als auch didaktisch-methodische Bedeutung zu.

Der Trick kommt erst im Zusammenwirken der vielfältigen Möglichkeiten voll zum Tragen. So können gleichzeitig oder kurzzeitig aufeinanderfolgend der Ablauf eines Naturvorganges, eines technischen Prozesses, eines Labor- und eines Modellexperiments mit nachfolgender Trickfilmdarstellung erfolgen, z.B. beim elektrischen Leitungsvorgang. Es ist möglich, Versuchsablauf, Wertetabelle und grafische Darstellung gleichzeitig ins Bild zu setzen.

Simultane Interpretation

Neben der gleichzeitigen Übermittlung von Bild und Originalton kann eine zusätzliche Interpretation erfolgen. Diese ergänzt Bild und Ton im Informationsgehalt. Das geschieht durch Kommentieren des Dargestellten. Der Kommentar richtet die Aufmerksamkeit der Schüler auf das im jeweiligen Zusammenhang interessierende Wesentliche. Die dargestellten Objekte, Erscheinungen und Prozesse werden in ihren optischen und akustischen Einwirkungen auf die Schüler durch den Kommentar verstärkt, die emotionale Wirkung wird erhöht.

Zur Interpretation gehören auch Auswahl und Montage von Bild und Ton. Fernsehbild und -ton stellen nicht schlechthin ein Abbild der Realität dar. Sie sind auf das Wesentliche gerichtet. Sie sind Ausdruck des Klassenstandpunktes des Regisseurs.

Neben den überzeugenden Vorzügen des Fernsehens dürfen auch seine Grenzen und Nachteile nicht unbeachtet bleiben. Innen muß der Lehrer bei der Vorbereitung und Auswertung des Sendungseinsatzes besondere Aufmerksamkeit schenken. Folgende seien hervorgehoben:

- Das Fernsehen verfügt nur über eine Kommunikationsrichtung. Es kann nur zum Schüler sprechen, nicht mit ihm. Es bestehen keine Möglichkeiten der Rückkopplung und der Unterbrechung der Sendungen.
- Die Sendung ist immer auf einen besonderen Schüler zugeschnitten, der ein bestimmtes Wissen und Können, bestimmte Eigenschaften, Interessen usw. besitzt, eine Art „Modell-Schüler“.
- Das Fernsehen vermittelt zwar ein weitgehend getreues Abbild der objektiven Realität, Fernsehbild und -ton sind aber eben nur ein Abbild, nicht die Wirklichkeit selbst. (Es sollte deshalb nur in begründeten Ausnahmefällen das Demonstrationsexperiment ersetzen).
- Bei der zentralen Ausstrahlung sind den Einsatzmöglichkeiten zeitliche Grenzen gesetzt, Aufzeichnungsmöglichkeiten gibt es z.Z. an den Schulen nur für Sendungen des Rundfunks.
- Der gegenwärtige Schwarz-Weiß-Empfang und die Abmessungen des Bildschirms können die Wirkung auf die Schüler einschränken.

3.2. Einsatz der Fernsehsendungen im Unterricht

Die didaktischen Funktionen der Sendungen sind durch die jeweilige Gestaltung mehr oder weniger eindeutig vorherbestimmt. Die Sendungen wurden geschaffen zur

- Einführung in bestimmte Stoffgebiete
- Erarbeitung wichtiger gesetzmäßiger Zusammenhänge
- Zusammenfassung, Systematisierung und
- Anwendung der gewonnenen Erkenntnisse in der Praxis.

Jede Sendung wird nur dann optimal wirksam, wenn sie in der vorgesehenen Weise Einsatz findet. Der Charakter der beiden ersten Sendungsarten fordert es, eine genaue zeitliche Einordnung vorzunehmen. Demgegenüber kann bei Sendungen zur Systematisierung und Anwendung eine gewisse zeitliche Verschiebung vertretbar sein.

Um die jeweilige Sendung voll nutzen zu können, ist zunächst eine

umfassende Information über den Inhalt und die Gestaltung notwendig. Die Sendezeiten werden jährlich in einem Sendeprogrammplan (jede Schule erhält ein Exemplar für den Stundenplaner), in der DLZ halbjährig, in der Zeitschrift „Physik in der Schule“ im Heft 7/8 /6/ und in der Wochenzeitschrift „FF Dabei“ veröffentlicht. Jede Sendung wird zur Information der Lehrer zweimal nachmittags ausgestrahlt. Ca. 14 Tage später kann sie mindestens siebenmal an verschiedenen Tagen (innerhalb von zwei aufeinanderfolgenden Wochen) für die unterrichtliche Nutzung empfangen werden.

Die wichtigste Form der Lehreranleitung zur Arbeit mit den einzelnen Sendungen sind die „Methodischen Anleitungen“, von denen jeder Schule ein Exemplar zur Verfügung steht. /7/, /8/

Ein erfolgreicher Einsatz ist nur möglich, wenn die Schüler auf den Empfang der Sendungen vorbereitet werden. In den vorangegangenen Unterrichtsstunden muß das für das Verständnis der Sendungen erforderliche Wissen und Können abgesichert werden. Dem Empfang sollte eine Zielorientierung der Schüler vorausgehen (Schüler in eine positive Erwartungshaltung versetzen, Neugierde erwecken, um geistige Aktivität auszulösen).

Den Schülern sollten Rezeptionshilfen gegeben werden, die sich am Wesentlichen der Sendung bzw. des Lehrplans orientieren. Bewährt haben sich Fragen und Aufgaben (nicht mehr als 4), Tafelübersichten, Arbeitsblätter, Tabellen und auch Lückentexte.

Eine weitere Form der Rezeptionshilfe können Impulse sein, die der Lehrer während des Sendungsempfangs gibt, z.B. das Hinweisen auf ein vorbereitetes Tafelbild, das Zeigen auf ein bereitgestelltes Unterrichtsmittel, das Aufmerksammachen auf besonders Wesentliches durch Gestik, Mimik u.a.m. Er hat dabei die Möglichkeit, die Zielpunkte dieser Impulse genau zu bestimmen. Besonders wenn die Informationsdichte der Sendung sehr groß ist, unterstützen sie die für die Schüler erforderliche Selektion. Es ist stets zu beachten, daß diese Hinweise sehr kurz sein müssen.

Von besonderer Bedeutung ist die Auswertung des Sendungseinsatzes mit den Schülern. Sie kann direkt an die Rezeption anschließen und in der gleichen Stunde beendet werden. Sie kann aber auch in die Hausaufgabenphase einbezogen werden oder nachfolgende Unterrichtsstunden betreffen. In dieser Phase werden die Erkenntnisse

gefestigt und systematisiert, z.T. auch erst den Schülern voll bewußt gemacht.

Auf folgende Erfahrungen bei der Auswertung der Sendungen soll hingewiesen werden:

- Die Schüler benötigen im Anschluß an die Sendungsrezeption eine kurze Pause, in der sie das Gesehene und Gehörte durchdenken und Fragen zur Sendung stellen können.
- Die Auswertung sollte sich an den gestellten Aufgaben orientieren und den Schülern die Möglichkeit bieten, sich mit den in der Sendung aufgeworfenen Problemen aktiv auseinanderzusetzen.
- Die Auswertung muß einen Überblick ermöglichen, inwieweit der Sendungsinhalt von den Schülern verstanden wurde. Dazu sind Maßnahmen zu planen.

3.3. Überblick über ausgestrahlte Fernsehsendungen

Zur Zeit werden folgende Fernsehsendungen für das Fach Physik ausgestrahlt:

Klasse 9

1. Beschreibung mechanischer Bewegungen
2. Das Newtonsche Grundgesetz
3. Künstliche Erdsatelliten
4. Die elektromagnetische Induktion
5. Das allgemeine Modell der elektrischen Leitungsvorgänge
6. Halbleiterbauelemente

Klasse 10

1. Schwingungen
2. Hertzsche Wellen - Eigenschaften und Nutzung
3. Elektromagnetische Wellen im Dienste der Medizin
4. Energiebilanzen

Die Dauer einer Sendung beträgt etwa 20 min.

Literatur:

- /1/ Unterrichtsmittel-Information 2, 1983, S. 7; APW/Institut für Unterrichtsmittel
- /2/ Unterrichtsmittel-Information 4, 1980, S. 102 ff., APW/Institut für Unterrichtsmittel
- /3/ Physikalische Schulversuche, Band 1 - 11, Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1974 ff.

- /4/ Lehrplan Physik, Klassen 6 - 10,
Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1974
(Neue überarbeitete Auflage für Klasse 9 beachten, voraus-
sichtlich 1987)
- /5/ Gesamtausstattungsplan für Unterrichtsmittel der POS,
Klassen 1 bis 10,
Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1980, S. 18 - 51
- /6/ Antol, W.: Information über Schulfunk- und Schulfernsehen-
dungen.
In: „Physik in der Schule“, Berlin, jeweils Heft 7/8, 1982
Seite 335 ff., 1983, Seite 321 ff. (und folgende Jahre be-
achten)
- /7/ Antol, W.; Wilke, H.-J.: Unterrichtsfernsehen Physik,
Klasse 9.
Zentralinstitut für Schulfunk und Schulfernsehen, Potsdam,
1983
- /8/ Antol, W.; Wilke, H.-J.: Unterrichtsfernsehen Physik,
Klasse 10.
Zentralinstitut für Schulfunk und Schulfernsehen, Potsdam,
1984

Das Experiment im Physikunterricht

1. Zur erkenntnistheoretischen Bedeutung des physikalischen Experiments

1.1. Das Wesen des Experiments

"Das Experiment ist ein Verfahren, in dem durch bewußte systematische Einwirkung auf Prozesse der objektiven Realität und durch theoretische Analyse der Bedingungen, unter denen diese Einwirkungen erfolgen, sowie der Resultate des Einwirkens neue Erkenntnisse gewonnen ... werden können" ...

"Das Experiment als Mittel der Erkenntnisgewinnung ist zugleich eine spezifische Form der Praxis. Als solche tritt es als Wahrheitskriterium auf" /1/.

Darüber hinaus ermöglicht es das Experiment, die gewonnenen Erkenntnisse in die Praxis zu überführen und auf diese Weise Natur und Gesellschaft bewußt umzugestalten.

Im Unterricht kommt dem Experiment weiterhin eine große didaktisch-methodische Bedeutung zu. Aus dieser Sicht ist es außerdem ein Verfahren, das es ermöglicht, den Schülern die erforderlichen Kenntnisse und Erkenntnisse überzeugend zu vermitteln. Schließlich ist es ein wesentliches Mittel der Persönlichkeitsentwicklung der Schüler.

1.2. Naturbeobachtung und Experiment

Die Beobachtung ist eine Methode der Erkenntnisgewinnung, die in einer zielgerichteten sinnlichen Wahrnehmung des Beobachtungsobjektes besteht. Das Objekt der Beobachtung wird in der Regel planmäßig ausgewählt, das tätige Subjekt tritt bewußt dem zu erkennenden Objekt gegenüber /1/. (Vgl. auch S. 27)

Der wesentliche Unterschied zwischen Beobachtung und Experiment besteht in folgendem: Bei der Beobachtung werden die Gegenstände, Erscheinungen und Prozesse unverändert wahrgenommen. Es wird nicht auf die Beobachtungsobjekte eingewirkt. Demgegenüber erfolgt beim Experiment ein bewußter Eingriff des Experimentators in die zu untersuchenden Phänomene.

Daraus resultieren wesentliche Vorzüge des Experiments gegenüber der Naturbeobachtung: Das Experiment ermöglicht es,

- die zu untersuchenden Objekte in der notwendigen Weise zu isolieren. Dadurch lassen sich störende Einflüsse weitgehend ausschalten, und es werden Vereinfachungen der Untersuchung möglich. Dabei sind die Bedingungen, unter denen eine Erscheinung auftritt bzw. ein Vorgang abläuft, bekannt;
- solche Phänomene zu untersuchen, die in der Natur gar nicht oder nicht in reiner Form auftreten;
- die Untersuchung durch Verlangsamung oder Beschleunigung des Prozeßablaufs zu vereinfachen. Während des Experiments ist es möglich, auf den Vorgang Einfluß zu nehmen. Die experimentellen Bedingungen und Parameter lassen sich in weiten Grenzen verändern;
- Erscheinungen zu einer beliebigen Zeit und praktisch an einem beliebigen Ort zu erzeugen, die Prozesse beliebig auszulösen und wiederholt ablaufen zu lassen /2/.

Der Ablauf des zu untersuchenden Vorganges wird in der Natur maßgeblich von einer größeren Anzahl von Gesetzen bestimmt. Seine genaue Widerspiegelung in dieser komplexen Form ist weder mit den in der Schule zur Verfügung stehenden Hilfsmitteln möglich noch wünschenswert. Es interessiert die elementare gesetzmäßige Beziehung zwischen den physikalischen Größen. Aus diesem Grunde wird bei der Planung des Experiments der im jeweiligen Zusammenhang störende Einfluß ausgeschaltet oder so weit wie möglich zurückgedrängt. Die bewußte Isolation des Wesentlichen des Naturvorganges führt in vielen Fällen zu sehr einfachen und übersichtlichen experimentellen Anordnungen.

Diese allgemeinen Aussagen sollen am Beispiel des freien Falls erläutert werden.

Fallbewegungen haben die Menschen schon in weit zurückliegenden Zeiten bewußt zur Kenntnis genommen. Als mögliche Erscheinung sei an das Fallen von Blättern und Früchten von den Bäumen erinnert. Beim Fallen von Blättern wird das gleichzeitige Wirken mehrerer Gesetze besonders augenscheinlich. Außerlich deutet bereits die Tatsache darauf hin, daß von Blatt zu Blatt andere Bewegungsabläufe auftreten. Sie werden vor allem durch die Form der Blätter und den Wind bedingt. Damit wird der Bewegungsablauf nicht in erster Linie von den Gesetzen des freien Falls bestimmt, sondern es dominieren die Einflüsse von Luftwiderstand, dynamischem Auf-

trieb und Luftströmungen (laminar und turbulent). Letztere prägen den Vorgang so stark, daß die Beobachtung nicht zu den Gesetzen des freien Falls führen kann. Der Vergleich mit dem Fall von Früchten, die oftmals eine größere Dichte und kleinere Oberfläche als die Blätter besitzen, führte zu der allgemein verbreiteten Ansicht, daß „schwere“ Körper schneller fallen als „leichtere“.

Gegen dieses Vorurteil mußte G. Galilei besonders stark ankämpfen. Er erkannte, daß die Beobachtung allein nicht geeignet ist, um das „Fall“problem zu lösen. Deshalb entwickelte Galilei das Experiment als zweckmäßigeres und zielgerichteteres Mittel der Erkenntnisgewinnung. Der fallende Körper, der den störenden Einflüssen der ihn umgebenden Luft weitgehend entzogen war (erreicht durch Verwendung eines Körpers großer Dichte und kleiner Oberfläche), erwies sich nun jedoch in der Bewegung als zu schnell. Deshalb bemühte sich Galilei um eine „Verlangsamung“ der Fallbewegung, ohne daß sich der Charakter der Bewegung verändern durfte. Er fand sie durch Verlagerung des Bewegungsablaufs auf die geneigte Ebene. Ausgehend von den bei dieser Anordnung mit den damaligen Meßmöglichkeiten einfach zu bestätigenden gesetzmäßigen Zusammenhängen, war dann über Untersuchungen bei immer größerer Neigung der Schluß auf die Gesetze des freien Falls möglich.

1.3. Experiment und Erkenntnisgewinnung

Die Rolle, die das Experiment in der jeweiligen Phase der Erkenntnisgewinnung spielt, hängt in starkem Maße von dem Wissen ab, das schon über das Objekt bzw. den Vorgang existiert. Bei den allerersten Untersuchungen eines Objektes bzw. Vorganges wird es in der Regel noch gar nicht möglich sein, Untersuchungen durchzuführen, die bezüglich Planung, Vorbereitung, Durchführung und Auswertung den Anforderungen an ein Experiment gerecht werden. In der Regel dominiert in dieser Phase das bloße Probieren. Den Schülern ist dieses Vorgehen, das als Methode von Versuch und Irrtum bezeichnet wird, gut bekannt. Beim Spielen haben sie es oft geübt und bis in die Zeit des ersten Physikunterrichts erfolgreich genutzt. Oft haben sie sich auf diese Weise ihre Hobbybereiche erschlossen. Im Physikunterricht besitzt diese Methode jedoch keine nennenswerte Bedeutung /3; S. 120/121/.

In solchen Fällen, in denen die Vorkenntnisse der Schüler nicht ausreichen, bietet der Fachunterricht Möglichkeiten, den Aneignungsprozeß der Schüler im erforderlichen Maße zu garantieren

(Lehrervortrag, unterstützt durch audiovisuelle Unterrichtsmit-
tel, selbständige Arbeit der Schüler mit dem Buch u.a.). Dabei
durchlaufen die Schüler in der Regel einen stark verkürzten Er-
kenntnisprozeß, der jedoch im Sinne der Effektivierung vertret-
bar ist. Dadurch werden die notwendigen Voraussetzungen geschaf-
fen, um zielgerichtet Experimente planen, vorbereiten, durchfüh-
ren und auswerten zu können.

Um die gewünschten Informationen in unverfälschter Form zu erhal-
ten, ist es notwendig, das Experiment im Sinne einer möglichst
präzise gestellten „Frage“ an die Natur einzusetzen. Die Beant-
wortung dieser „Frage“ muß in einer solchen Situation allein dem
Experiment vorbehalten bleiben. Die Qualität der „Antwort“ hängt
in entscheidendem Maße von der Art der Fragestellung ab. Deshalb
muß der Planung und Vorbereitung des Experiments eine besondere
Aufmerksamkeit geschenkt werden.

1.3.1. Das Experiment als unmittelbare Quelle der Erkenntnis

Der Einsatz des Experiments als unmittelbare Quelle der Erkenntnis stellt eine typische Situation des Physikunterrichts dar. An
sehr vielen Stellen konzentriert sich die Gewinnung neuer Kennt-
nisse und Erkenntnisse auf die Planung, Vorbereitung, Durchfüh-
rung und Auswertung solcher Experimente. Als Bestandteil des em-
pirischen Weges der Erkenntnisgewinnung dienen diese Experimente
vor allem in den Klassen 6 bis 8 dem unmittelbaren, tieferen Ein-
dringen in die Zusammenhänge der objektiven Realität und stellen
oftmals die Höhepunkte des Physikunterrichts dar. Mit ihnen wird
die Einführung physikalischer Größen vorbereitet, und es werden
Voraussetzungen für das Verständnis funktionaler Zusammenhänge
geschaffen. Auf diese Weise werden die Grundlagen für die Durch-
führung anspruchsvollerer, oftmals quantitativer Experimente ge-
schaffen. Diese setzen in der Regel ein größeres Sach- und Metho-
denwissen voraus.

Hinweise zur Planung und Strategie der Versuchsdurchführung (Kon-
stanthalten bestimmter Parameter u.ä.) werden in /4/ gegeben.

1.3.2. Das Experiment als Kriterium der Wahrheit

Eine weitere Einsatzmöglichkeit des Experiments besteht im Physikunterricht in der Überprüfung von Hypothesen und Prognosen auf ihre Richtigkeit. Diesem Verfahren wurde vor allem im letzten Jahrzehnt verstärkt Aufmerksamkeit geschenkt. Viele Lehrer bemühen und bemühen sich, die experimentelle Methode der Hypothesen- bzw. Prognosenüberprüfung möglichst umfassend im Physikunterricht zu nutzen. Dabei darf die Gefahr nicht übersehen werden, die erkenntnistheoretische Bedeutung des Experiments nur einseitig zu sehen. Außerdem kann die starke Konzentration auf die Bestätigung von Hypothesen und Prognosen noch zu einem weiteren Nachteil führen: Viele wichtige Informationen, die aus dem Experiment resultieren, treten in den Hintergrund oder bleiben oft ungenutzt. Im Vordergrund der Untersuchungen steht die Hypothese oder Prognose. In der Regel beinhaltet sie nur eine qualitative oder halbquantitative Aussage, da die Vorkenntnisse der Schüler keine quantitative Formulierung zulassen. Der weiteren Auswertung wird dann oft nicht die genügende Aufmerksamkeit geschenkt, und es kommen die Potenzen des Experiments nicht optimal zum Tragen (siehe Abschnitte 2.1.3. und 2.2.5.)

Unter welchen Bedingungen ist der Einsatz der experimentellen Methode sinnvoll und notwendig? Wenn das Experiment als elementare Quelle der Erkenntnis im oben beschriebenen Sinne zur Gewinnung erster Informationen eingesetzt wird, so ist die Formulierung von Hypothesen oder Prognosen im Sinne von begründeten Vermutungen nicht möglich bzw. vertretbar. Sie würden infolge der mangelnden Vorkenntnisse mehr oder weniger spekulativen Charakter tragen. Der Schüler muß wie der forschende Wissenschaftler der objektiven Realität unvoreingenommen gegenüber treten, sonst besteht die Gefahr einer nicht objektiven Bewertung der experimentellen Ergebnisse sowie einer vorschnellen Verallgemeinerung.

Erst dann, wenn bereits relativ umfassende Kenntnisse über einen bestimmten Teilbereich vorliegen, sind die Voraussetzungen für das Formulieren von Hypothesen bzw. Prognosen gegeben. Unter diesen Bedingungen ist der Einsatz der experimentellen Methode zur Hypothesen- bzw. Prognosenüberprüfung möglich. (Die Schrittfolge der experimentellen Methode ist in /3/ dargestellt.)

Die unzweckmäßige Formulierung „experimentelle Methode“ hat jedoch leider z.T. zu dem Irrtum geführt, daß sie als Sammelbegriff für alle Verfahren verstanden wurde, bei denen auf der Grundlage des physikalischen Experiments Erkenntnisse gewonnen werden. Die Forderung nach der Formulierung einer Prognose bzw. Hypothese beim Anwenden der experimentellen Methode wurde dann vereinzelt so verstanden, daß jedem Experiment eine Vermutung über dessen Ausgang vorangestellt werden sollte. Gerade aber das ist, wie oben dargestellt, nicht vertretbar.

Selbstverständlich kommt der Hypothesen- bzw. Prognosenbildung und der Bestätigung bzw. Widerlegung von Prognosen und Hypothesen auch aus didaktisch-methodischer Sicht (Aktivierung der Schüler) eine Bedeutung zu (siehe Abschnitt 2.1.3.).

1.3.3. Das Experiment als Verbindung zur Praxis

Das Experiment tritt im Physikunterricht in erkenntnistheoretischer Sicht nicht nur als unmittelbare Quelle der Erkenntnis und als Kriterium der Wahrheit, sondern auch als Verbindung zur Praxis auf. Es ist schließlich auch Bestandteil weiterer spezifischer Methoden der Erkenntnisgewinnung. Von besonderer Bedeutung sind dabei die Modell- und die Black-Box-Methode, die in /3; S. 127 bis 128 und 121/ beschrieben sind (↗ auch Seite 62).

2. Didaktisch-methodische Bedeutung des Experiments

2.1. Didaktische Funktionen des Experiments

Das Experiment ist sowohl ein Verfahren der Erkenntnisgewinnung als auch ein Mittel der Anwendung der gewonnenen Erkenntnisse sowie ein Verfahren zur überzeugenden Vermittlung von Kenntnissen. Aus diesem Grunde ist die erkenntnistheoretische Bedeutung des Experiments eng mit der didaktisch-methodischen verknüpft. Diese große Bedeutung findet auch darin ihren Ausdruck, daß das physikalische Experiment in allen Phasen des Unterrichtsprozesses Einsatz finden kann. Es kann alle didaktischen Funktionen erfüllen, bzw. es kann einen wesentlichen Anteil an der Realisierung dieser Funktionen haben.

Der Haupteinsatzbereich des physikalischen Experiments liegt gegenwärtig im Physikunterricht der DDR in der Phase der Arbeit am neuen Stoff. Demgegenüber trägt es zur Realisierung der übrigen didaktischen Funktionen in einem zu geringen Maße bei. Das Bemühen muß deshalb darauf gerichtet sein, die großen Vorzüge, die der Einsatz des Experimentes in den übrigen Phasen des Unterrichts besitzt, durch umfassende Nutzung zu erschließen. Dabei wirkt sich positiv aus, daß der Zeitaufwand für den Einsatz des Experiments in der Regel in allen Phasen niedriger ist als in der Phase der Arbeit am neuen Stoff. Bestimmend sind dafür sowohl der Charakter dieser Arten des Experiments, die Anforderungen an das Experiment, die Form seiner Durchführung sowie die Vorkenntnisse der Schüler.

2.1.1. Sicherung des Ausgangsniveaus

In der Phase der Sicherung des Ausgangsniveaus hat das Experiment im wesentlichen die Aufgabe, das beim Schüler im Prinzip vorhandene Wissen bereitzustellen. Dazu genügt es in der Regel, die Experimente in qualitativer oder halbquantitativer Form einzusetzen, um bei den Schülern die notwendigen Assoziationen hervorzurufen. Es bedarf nur wenig komplizierter experimenteller Anordnungen und somit geringen Zeitaufwandes für die Vorbereitung des Experiments bzw. die Durchführung.

In dieser Phase ist auch die vereinfachte Nachbildung von Naturvorgängen oder technischen Prozessen möglich, die den Schülern im Prinzip bekannt sind. Infolge mangelnden Interesses, fehlender Motivation oder noch nicht ausreichend entwickelten Beobachtungsvermögens haben viele Schüler die betreffenden Erscheinungen zwar wahrgenommen, aber nicht beobachtet. Einfache Experimente zu den Naturvorgängen oder technischen Prozessen können bewirken, daß alle Schüler ausgehend von gleichen Beobachtungsergebnissen die im Unterricht folgenden Untersuchungen durchführen können. Durch den Einsatz weiterer Unterrichtsmittel (Dias, Kassettenfilme, Schaltpläne, Stellungsskizzen, grafische Darstellungen) kann ebenfalls dazu beigetragen werden, daß die Schüler anwendungsbe-reite Vorkenntnisse besitzen.

2.1.2. Zielorientierung

In der Phase der Zielorientierung finden in der Regel apparativ wenig aufwendige und für die Schüler gut überschaubare Versuchsanordnungen Einsatz. In der Phase kommt dem physikalischen Freihandexperiment eine große Bedeutung zu. Dadurch ist der experimentelle Aufwand gering. Die einfachen Versuchsanordnungen sind schnell zusammengestellt, die Beschreibung des Versuchsaufbaus und die Hinweise zur Versuchsdurchführung nehmen nur wenig Zeit in Anspruch.

2.1.3. Erarbeitung des neuen Stoffes

Auf den Einsatz des Experimentes bei der Erarbeitung des neuen Stoffes wurde bereits unter 1.3.1. eingegangen. In dieser Phase kommt neben den Demonstrationsexperimenten den Schülerexperimenten eine große Bedeutung zu. Durch die Möglichkeit, die Untersuchungen von verschiedenen Schülergruppen parallel an mehreren, sich mehr oder weniger stark voneinander unterscheidenden Objekten vornehmen zu lassen, wird der Untersuchungsbereich vergrößert.

Bei der Erarbeitung des neuen Stoffes werden oft die Gewinnung von Erkenntnissen ausgehend von empirischen Befunden mit nachfolgender induktiver Verallgemeinerung und die experimentelle Methode der Hypothesen- bzw. Prognosenüberprüfung miteinander verknüpft. Als Beispiel für ein solches Vorgehen sei die Erarbeitung des Ohmschen Gesetzes angeführt.

Die Schüler besitzen bereits aus dem täglichen Leben Erfahrungen, die auf den gesetzmäßigen Zusammenhang von elektrischer Spannung und Stromstärke hindeuten (allmähliches Nachlassen der Helligkeit einer Taschenlampe beim Altern der "Batterie", Hellerwerden der dynamobetriebenen Fahrradbeleuchtung beim Erhöhen der Fahrgeschwindigkeit, Absinken der Leistung elektrischer Geräte (Glühlampe, Elektromotoren) bei starken Belastungen bzw. Überlastungen des elektrischen Energienetzes oder bei kurzzeitigen Störungen (Gewitter)). Durch qualitative oder halbquantitative Experimente kann der Lehrer diese Vorkenntnisse vertiefen (Betreiben einer Glühlampe mit unterschiedlichen Spannungen; allmähliches Erhöhen der Betriebsspannung einer Glühlampe bis zur Nennspannung). Die Schüler besitzen dann ausreichende Kenntnisse, um eine begründete Vermutung etwa in folgender Form formulieren zu können:

"Zwischen elektrischer Spannung und elektrischer Stromstärke besteht ein gesetzmäßiger Zusammenhang. Je größer die Spannung ist, um so größer ist auch die Stromstärke".

Davon ausgehend wird ein Experiment geplant, vorbereitet, durchgeführt und ausgewertet. Das Ziel dieses Experimentes besteht zu-

nächst in der Bestätigung der Vermutung. Mit dem Experiment werden aber gleichzeitig ausreichende empirische Daten gewonnen, deren Auswertung zur quantitativen Formulierung des Ohmschen Gesetzes führt und die Definition der physikalischen Größe Widerstand ermöglicht. Deshalb bleibt man im Unterricht nicht bei der Bestätigung der Vermutung stehen, sondern führt die Auswertung des Experiments bis zur Formulierung des Ohmschen Gesetzes und der Definition des elektrischen Widerstandes weiter.

Ein solches Vorgehen ist aus didaktisch-methodischer Sicht empfehlenswert und aus erkenntnistheoretischer Sicht vertretbar. Im Zusammenhang mit dem Formulieren von Vermutungen kann eine starke Aktivierung der Schüler erfolgen. Die Schüler müssen ausgehend von ihren Kenntnissen Schlüsse auf einen möglichen allgemeinen Zusammenhang ziehen. Dabei sollten verschiedene Formulierungen angeregt und diskutiert werden. Zu weitgehende Aussagen (wie solche, die bereits die Proportionalität beinhalten) sollten als unbegründete Spekulationen zurückgewiesen werden.

Dieses Vorgehen initiiert eine geistige Auseinandersetzung mit dem Lehrstoff, zwingt die Schüler, sich zu begründbaren Positionen zu bekennen und weckt die natürliche Neugier bezüglich des Ausgangs des Experimentes. Sie stehen dadurch dem physikalischen Experiment in all seinen Phasen noch aufgeschlossener gegenüber. Als weiteres Beispiel für den kombinierten Einsatz von empirischem Erkenntnisweg und experimenteller Methode der Hypothesen- bzw. Prognosenüberprüfung sei die Erarbeitung des Newtonschen Grundgesetzes genannt.

Die Vorzüge dieses Vorgehens liegen in erster Linie auf didaktisch-methodischer Ebene. Es ist nicht sinnvoll, ein solches Vorgehen zum Anlaß zu nehmen, um methodologische Betrachtungen anzustellen. Das Abheben bestimmter Methoden bzw. Wege der Erkenntnisgewinnung sollte an markanten Beispielen erfolgen. Für das Herausarbeiten der Schrittfolge der experimentellen Methode der Hypothesen- bzw. Prognosenüberprüfung wurde bereits auf das Erarbeiten der Gesetze des freien Falls verwiesen. Ausgehend von der gleichmäßig beschleunigten Bewegung liegen hier umfangreiche qualitative und quantitative Erkenntnisse vor, die die Formulierung einer anspruchsvollen Prognose ermöglichen. Das Experiment führt dann zur vollen Bestätigung der Prognose. Lediglich die Vorhersage, daß die Fallbeschleunigung größer als die größte Beschleunigung auf der geneigten Ebene ist, wird quantifiziert.

Als typische Beispiele für den Einsatz des Experiments als unmittelbare Quelle der Erkenntnis seien die Untersuchung des Magnetfeldes um stromdurchflossene Leiter und die Grundexperimente zur elektromagnetischen Induktion genannt.

2.1.4. Festigung durch Üben und Wiederholung

Für die Phase der Festigung durch Üben und Wiederholen gilt sinngemäß das im Zusammenhang mit der Sicherung des Ausgangsniveaus Formulierte. Selbst bei der Wiederholung eines messenden Experiments genügt es in den meisten Fällen, die funktionalen Zusammenhänge den Schülern dadurch noch einmal vor Augen zu führen, daß man sich mit einem „Kurzdurchlauf“ begnügt, in dem für die Schüler sichtbar wird, daß z.B. die lineare Vergrößerung einer physikalischen Größe mit der Zeit die proportionale Änderung einer zweiten Größe nach sich zieht. Zur Festigung und Vertiefung des erworbenen Wissens ist es aber darüber hinaus empfehlenswert, mit experimentellen Anordnungen zu arbeiten, die sich - zumindest in der Art der gewählten Geräte - möglichst aber auch in ihrer Anordnung von denen unterscheiden, die bei der Erarbeitung des betreffenden Stoffes Einsatz fanden. Die Variationsmöglichkeiten sind dabei je nach dem Untersuchungsgegenstand verschieden und können - begonnen bei der Einstellung anderer Meßwerte, über eine andere Anordnung der benutzten Geräte, die Verwendung anderer Geräte - bis hin zu einer andersartigen Durchführung des Experiments reichen.

Der Einsatz von Experimenten auch in dieser Phase trägt dazu bei, daß kein formales Reproduzieren von Begriffen und Gesetzen erfolgt, sondern daß den Schülern erneut die Bereiche der Natur und Technik ins Bewußtsein gerufen werden, in denen sie von Bedeutung sind. Dadurch bleibt das Wissen der Schüler in notwendigem Maße an gegenständliche Vorstellungen gebunden, wodurch z.B. gewisse Aussagen über den Gültigkeitsbereich bestimmter Gesetze möglich werden. Gleichzeitig wird durch die Verwendung verschiedenartiger experimenteller Anordnungen dazu beigetragen, daß die Kenntnisse der Schüler nicht einseitig nur an eine bestimmte Anordnung gebunden sind. Erst durch den Einsatz mehrerer Experimente tritt das verschiedenen Anordnungen bzw. Prozeßabläufen gemeinsame deutlich hervor.

Variationsmöglichkeiten ergeben sich weiterhin durch die Verknüpfung von Teilexperimenten. So sind durch schrittweises Verändern der experimentellen Anordnungen längere Versuchsfolgen möglich, in die gegebenenfalls sogar mehrere der vorangehend untersuchten gesetzmäßigen Zusammenhänge einfließen und die deshalb erst in der Phase der Wiederholung und Vertiefung optimalen Einsatz finden können.

Als Beispiel sei eine Experimentierfolge zu elektromotorischem Prinzip, elektromagnetischer Induktion und Lenz'schem Gesetz mit dem Generator-Motor-Modell genannt. Der experimentelle Aufbau erfolgt nach der Schaltskizze in Abb. 1. Bei allen Teilexperimenten liegt an den Feldspulen die gleiche Spannung.

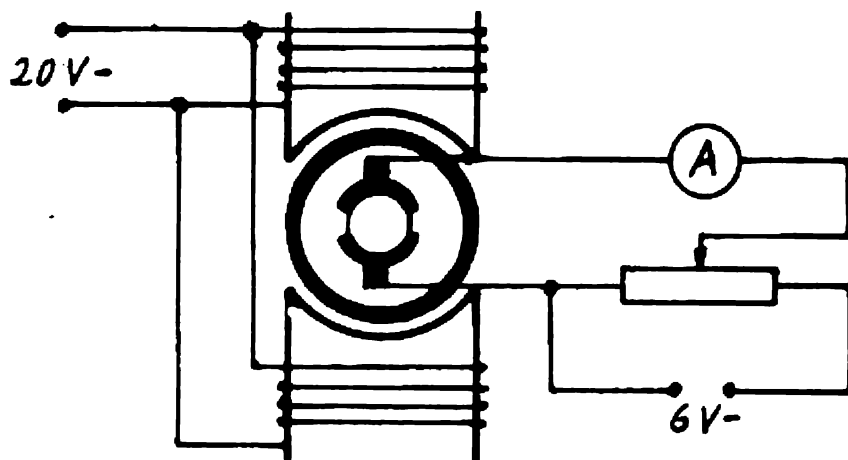


Abbildung 1

1. TE: An den Kollektor des Motors wird eine Spannung angelegt. Es fließt ein Ankerstrom. Der Anker dreht sich.
2. TE: Die Spannung am Kollektor wird allmählich vergrößert. Die Ankerstromstärke steigt. Der Anker dreht sich schneller.
3. TE: Die Drehzahl des Ankers wird durch Abbremsen verringert. Die Ankerstromstärke nimmt zu.
4. TE: Die Spannung am Kollektor wird auf 0 eingestellt. Der Anker wird von Hand in gleichem Drehsinn in Rotation versetzt. Es fließt ein Ankerstrom in entgegengesetzter Richtung.
5. TE: Die Drehzahl wird vergrößert. Die Ankerstromstärke nimmt zu.
6. TE: Wie 1. TE
7. TE: Die Drehzahl des Ankers wird von Hand vergrößert. Die Ankerstromstärke nimmt ab.
8. TE: Die Drehzahl des Ankers wird von Hand weiter erhöht. Die Ankerstromstärke sinkt bis auf 0 ab.

9. TE: Die Drehzahl des Ankers wird noch weiter vergrößert.
Es fließt ein Ankerstrom in entgegengesetzter Richtung.
(vgl. /5; S. 95/96/).

Eine große Bedeutung kommt im Rahmen der Festigung den Praktikumsexperimenten zu. Hierfür wurden spezielle Praktikumsgeräte entwickelt, die sich von den Demonstrations- und Schülerübungsgeräten unterscheiden. Während alle Schülerübungsgeräte Aufbausätze sind, sind die Praktikumsgeräte kompliziertere Geräte. Dadurch ist der Aufwand beim Aufbauen der experimentellen Anordnungen geringer. Die Praktikumsgeräte ermöglichen es, die gleichen Erscheinungen und Prozesse mittels anderer Anordnungen zu untersuchen.

2.1.5. Systematisierung

In der Phase der Systematisierung besitzt das Vergleichen mehrerer gleichartiger und unterschiedlicher Experimente eine besondere Bedeutung. Das Vergleichen wird dadurch möglich, daß man neue experimentelle Varianten den vorangehend verwendeten Anordnungen und Versuchsabläufen gegenüberstellt. Optimal ist ein gleichzeitiger Aufbau mehrerer Experimente und deren gleichzeitige oder kurzzeitig aufeinanderfolgende Durchführung. Dabei muß die Möglichkeit hervorgehoben werden, Parallelexperimente durchzuführen (siehe Abschnitt 4.2.). Da das Erinnerungsvermögen der Schüler in der Regel nicht ausreicht, um einen sachkundigen Vergleich mehrerer Objekte, Erscheinungen oder Prozesse, die im Unterricht nacheinander behandelt worden sind, vorzunehmen, sind die Parallelexperimente ein wesentliches Mittel, um die erforderliche Systematisierung in der gewünschten Qualität durchzuführen.

2.1.6. Anwendung der gewonnenen Kenntnisse und Erkenntnisse

Festigen und Systematisieren stehen im engen Zusammenhang mit der praktischen Anwendung der gewonnenen Kenntnisse und Erkenntnisse. Hier ist der Einsatzbereich zahlreicher Experimente, die diese Bedeutung deutlich erkennen lassen (z.B. Funktionsmodell eines Verbrennungsmotors, Hochstromtransformator, Wirbelstromdämpfung).

Die Phase der Anwendung ermöglicht im Zusammenhang mit physikalischen Experimenten die enge Verknüpfung von Wissen und Können. Die Schüler sollen die in den Experimenten beobachteten Effekte erklären und die gewonnenen Meßergebnisse auswerten. Sie müssen in die Lage versetzt werden, experimentelle Anordnungen zu planen, auszubauen, die erwarteten Effekte vorherzusagen und diese Aussagen zu überprüfen. Hierbei kommt besonders solchen Anordnungen eine Bedeutung zu, die im Prinzip den gleichen Aufbau wie technische Geräte besitzen oder bei denen technisch bedeutsame Prozesse ablaufen. Die genannten Schülertätigkeiten sind sowohl im Zusammenhang mit Demonstrations- als auch mit Schüler- und Praktikumsexperimenten anzustreben und zu realisieren.

2.1.7. Kontrolle und Bewertung

In niederen Klassenstufen und bei komplizierten Zusammenhängen ist es möglich, das Experiment in der Phase der Kontrolle und Bewertung in der gleichen Form zu verwenden, wie es bei der Erarbeitung Einsatz fand. In der Regel ist es jedoch wünschenswert, die Schüler mit einem andersartigen experimentellen Aufbau oder Ablauf zu konfrontieren. Ihre Aufgabe besteht dann vor allem in der Vorhersage des erwarteten Versuchsablaufs, in der Deutung und Auswertung der gewonnenen Meßergebnisse. Damit ist es möglich, das Anforderungsniveau beliebig zu variieren.

Der experimentelle Aufbau bzw. Ablauf kann für die Schüler auch eine Hilfe und Unterstützung bei der Lösung der gestellten Aufgabe darstellen. Andererseits ist es aber auch möglich, daß die Schüler ihr anwendungsbereites Wissen und Können nachweisen müssen, indem sie experimentelle Anordnungen projektieren, aufbauen, Experimente durchführen und auswerten sowie experimentelle Ergebnisse deuten.

Die Art und Weise des Einsatzes des Experiments in der Phase der Kontrolle und Bewertung kann vom bloßen Vorstellen des experimentellen Aufbaus über die qualitative bis zur quantitativen Durchführung reichen. Dabei muß vor allem in der Phase der Gewinnung und Auswertung der Meßwerte neben dem Sach- auch das erforderliche Methodenwissen vom Schüler unter Beweis gestellt werden. Darüber hinaus gibt es vielfältige Möglichkeiten, die Schüler selbst in die experimentellen Phasen einzubeziehen.

Bereits in der Auswahl der erforderlichen experimentellen Mittel, aber erst recht in ihrer sachkundigen Anordnung, der planmäßigen Durchführung und Auswertung der Experimente können die Schüler ihr Wissen und Können nachweisen. Dabei ist es ebenfalls möglich, gleichzeitig mehrere Schüler an gleichartigen oder verschiedenen Versuchsaufbauten zu beschäftigen.

In den Prozeß der Kontrolle und Bewertung können jedoch auch solche Schüler einbezogen werden, die nicht mit den Experimentiergeräten arbeiten. Ihnen kann die Aufgabe gestellt werden, die von ihren Mitschülern vorgeführten Experimente zu deuten bzw. die gewonnenen Ergebnisse schriftlich auszuwerten.

Die hier aufgezeigte Vielfalt der Einsatzmöglichkeiten des Experiments in den verschiedenen Phasen des Unterrichtsprozesses ist noch nicht vollständig. Sie erfährt u.a. dadurch eine weitere Bereicherung, daß in allen Phasen neben Lehrer- und Schülerdemonstrationsexperimenten auch die Durchführung von Schüler- und Praktikumsexperimenten sinnvoll und notwendig ist. Darauf wurde bereits verwiesen. Bezüglich der Bedeutung der Schüler- und Praktikumsexperimente gelten sinngemäß die für die Demonstrationsexperimente getroffenen Aussagen.

Daß der Aneignungsprozeß der Schüler dabei gewisse Unterschiede gegenüber dem Erkenntnisprozeß in der Wissenschaft aufweist, ist nicht von vordergründiger Bedeutung. Diese liegen vor allem in der Wirkung der steuernden Funktion des Lehrers. Es ist auch für die Schüler ohne Bedeutung, daß die von ihnen zu gewinnenden Erkenntnisse im Prinzip bis ins Detail schon bekannt sind, daß sie lediglich den Prozeß der gesellschaftlichen Erkenntnisgewinnung in verkürzter Form individuell nachvollziehen.

2.2. Weitere Funktionen des Experiments im Physikunterricht

2.2.1. Erhöhung der Aktivität der Schüler

Wie bereits an einigen Stellen hervorgehoben wurde, ist das Experiment in allen Phasen des Unterrichts dazu geeignet, die Aktivität der Schüler zu erhöhen. Hierbei ist zunächst die Beteiligung der Schüler an der Planung, Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der Experimente zu nennen.

Eine besondere Rolle spielt dabei das manuelle Tätigwerden der Schüler bei der Vorbereitung und Durchführung der Experimente. Das trifft nicht nur für die Schüler- und Praktikumsexperimente zu, auch bei Demonstrationsexperimenten sollten die Schüler in möglichst starkem Maße in die Gestaltung des experimentellen Aufbaus und die Durchführung des Experiments einbezogen werden. Weiterhin wirkt das Experiment durch seine visuellen Komponenten entweder unmittelbar oder über die mittels Meßinstrumenten verfolgbaren Prozeßabläufe aktivierend. Schließlich werden die Schüler vom Neuen angesprochen, das bereits in den Geräten oder in den Erscheinungen und Prozessen zutage tritt oder sich im Ergebnis zeigt.

In der Arbeit mit dem Experiment wird es möglich, das Erkenntnisinteresse und den natürlichen Forscherdrang der Schüler zu wecken. Dieser Drang des Menschen bestimmt wesentlich die Motive seines Handelns. Er ist in der individuellen oder kollektiven Arbeit mit dem Experiment im Physikunterricht in besonders starkem Maße wirksam. Erkenntnisinteresse und Forscherdrang lassen sich durch geeignete Vorbetrachtungen zu dem Experiment steigern, die bis zur Formulierung von begründbaren Vermutungen geführt werden können. Dann sehen die Schüler dem Experiment mit der Erwartung entgegen, daß ihre Hypothese bzw. Prognose bestätigt wird.

2.2.2. Schaffung von Bewährungssituationen

Mit dem Experiment ist es möglich, für die Schüler echte Bewährungssituationen zu schaffen. Das trifft insbesondere für Schüler- und Praktikumsexperimente zu. Hier lösen die Schüler die gestellten Aufgaben unter selbständiger Anwendung großer Teile ihres Wissens und Könnens. Dabei sind die Anforderungen bei Praktikumsexperimenten, insbesondere bei den Einzelexperimenten in der Abiturstufe, besonders hoch. Großes Interesse zeigen die Schüler bei Black-Box-Experimenten. Die hiermit geschaffene Bewährungssituation kann zu einem echten Erfolgserlebnis führen, wenn der Schüler beim anschließenden Öffnen des Black-Box die von ihm prognostizierte Struktur tatsächlich wiederfindet.

2.2.3. Veranschaulichung von Sachverhalten

Weiterhin trägt das Demonstrationsexperiment auch zur Veranschaulichung und Illustration der untersuchten Objekte und Zusammenhänge bei. Diesem Fakt muß insbesondere in den unteren Klassen Aufmerksamkeit geschenkt werden. Dort ist das Wissen der Schüler noch stark an gegenständliche Vorstellungen gebunden. Wenngleich auch einerseits besonders der Abstraktionsprozeß gefördert werden muß, so ist es andererseits erforderlich, den altersspezifischen Besonderheiten durch anschauliche Aufbereitung der Bildungsinhalte Rechnung zu tragen. Dazu leistet das Experiment mit seinen statischen und dynamischen Elementen einen großen Beitrag. In der Anschaulichkeit liegt auch ein wesentlicher Grund dafür, daß in der Regel zu den deduktiv erschlossenen Aussagen ein Experiment durchgeführt wird. Da oft von wahren Ausgangsaussagen ausgegangen wird, ist die erschlossene Aussage ebenfalls wahr, und es bedarf dann eigentlich keiner experimentellen Bestätigung.

Eine besondere Rolle spielt die Veranschaulichung bei den Modellexperimenten. Sie werden vor allem in solchen Bereichen der Physik durchgeführt, in denen der zu untersuchende Gegenstand weitgehend der direkten Wahrnehmung durch unsere Sinnesorgane nicht zugänglich ist. Als Beispiel seien hierfür Modellexperimente zum Aufbau der Stoffe aus Teilchen mit dem Luftkissentisch genannt.

2.2.4. Didaktische Vereinfachung

Die Modellexperimente lassen ein weiteres Moment der Experimente im Physikunterricht besonders deutlich werden: die didaktische Vereinfachung. Wie im Abschnitt 1.2. charakterisiert wurde, werden die im jeweiligen Zusammenhang wesentlichen Prozeßabläufe möglichst getrennt von allen unwesentlichen untersucht. Diese Tatsache ist nicht nur aus erkenntnistheoretischer Sicht bedeutungsvoll, sondern auch aus didaktischer. Die Prozesse sind einfacher als die Vorgänge in der Natur, sie sind besser beobachtbar und einprägsamer.

2.2.5. Kennzeichnen von Strukturen des Lehrstoffes

Die physikalischen Experimente können auch einen wesentlichen Beitrag zur Herausarbeitung der Strukturen des Lehrstoffes leisten. Hierzu tragen bereits die auch im Physikunterricht weitgehend wirksame klassische Einteilung der Physik in Mechanik, Wärme, Elektrik usw. und die fachlichen Leitlinien der Erkenntnisgewinnung bei (S. 6). Weiterhin sind analoge Erscheinungen in verschiedenen Teilgebieten der Physik, wie z.B. die Resonanz, zu nennen. Bei der Herausarbeitung dieser Strukturen kommt den physikalischen Experimenten eine fundamentale Bedeutung zu: denn die Gemeinsamkeiten und Analogien sowie die markanten Unterschiede werden vor allem durch den zielgerichteten Vergleich der experimentellen Anordnungen, Abläufe und Ergebnisse deutlich.

Darüber hinaus besitzen aber auch die physikalischen Experimente selbst eine Struktur, und zwar nicht nur bezüglich ihrer erkenntnistheoretischen Funktion im Unterricht oder ihres didaktischen Einsatzes. Sie unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Entwicklung eines wissenschaftlichen Weltbildes. Aus der Fülle der Experimente ragen einige heraus, die sogenannten Grundexperimente, die von entscheidender Bedeutung für die Entwicklung der physikalischen Theorien waren und damit gewissermaßen die Fundamente für das Gedankengebäude der modernen Physik darstellen. Aus dieser Differenzierung ergeben sich wesentliche Möglichkeiten zur Systematisierung des Wissens der Schüler. Nachfolgend sind einige Grundexperimente, die für den Physikunterricht wichtig sind, zusammengestellt.

Beispiele für Grundexperimente

Experimente zum Newtonschen Grundgesetz
zur Brownschen Bewegung
zum Magnetfeld bewegter elektrischer Ladungen
zum Induktionsgesetz
zum äußeren lichtelektrischen Effekt
zu den Elektronenstößen von Franck und Hertz
zur Interferenz des Lichtes
zu den Linienspektren
zu den elektromagnetischen Wellen
zur Röntgenstrahlung
zur Elektronenbeugung
zum natürlichen radioaktiven Zerfall
zur Rutherford'schen Kernumwandlung
zur Paarzerstrahlung.

Die besondere Bedeutung einiger Grundexperimente besteht darin, daß deren umfassende Auswertung zu weitreichenden Informationen führt. Sie gehen z.T. wesentlich über das in der Regel unmittelbar interessierende Anliegen hinaus und betreffen mehrere verschiedenartige Zusammenhänge. Im Unterricht wurde bisher, bedingt durch die Anlage, vor allem aber durch die Auswertung der Experimente, nur die eine oder andere Beziehung in den Vordergrund gerückt. Die übrigen Informationen blieben ungenutzt. Als Beispiele für derartige Schlüsselexperimente seien das Experiment Laues zur Beugung von Röntgenstrahlen an einem Kristallgitter, die Experimente zum äußeren lichtelektrischen Effekt, zur Brownschen Bewegung und das Elektronenstoßexperiment von Franck und Hertz genannt.

Die bewußte Differenzierung zwischen den Experimenten wirkt sich in mehrerlei Hinsicht förderlich auf den Physikunterricht aus:

- Sie liefert einen wesentlichen Beitrag zur Herausarbeitung der Strukturen des Lehrstoffes und trägt damit zur Herausbildung eines systemhaften Wissens der Schüler bei.
- Sie festigt das grundlegende Wissen der Schüler und die Überzeugung von der Materialität und Erkennbarkeit der Welt.
- Sie führt zu einem besseren Einblick der Schüler in die Geschichte der Physik.

Weiterhin bietet die Differenzierung zwischen den Experimenten günstige Voraussetzungen für eine erkenntnisprozeßgerechte Gestaltung des Physikunterrichts.

3. Bedeutung des Experiments für die Persönlichkeitsentwicklung der Schüler

Der Einsatz von Experimenten im Physikunterricht leistet einen großen Beitrag zur Persönlichkeitsentwicklung. Mittels der Experimente erwerben die Schüler einen erheblichen Teil ihres Sach- und Methodenwissens. Es zeichnet sich durch wesentliche Qualitätsmerkmale wie Exaktheit, Anwendbarkeit und Dauerhaftigkeit aus. Ästhetisch ansprechende und übersichtlich aufgebaute experimentelle Anordnungen mit überzeugenden Effekten hinterlassen bei den Schülern dauerhafte Eindrücke.

Dadurch steht das Wissen der Schüler in engem Bezug zu den durchgeführten Experimenten. Es prägen sich gleichzeitig gewisse Informationen über den Gültigkeitsbereich der Gesetze ein. Die Schüler wissen, in welchen Bereichen und unter welchen konkreten Bedingungen bestimmte Effekte auftreten und Gesetze wirken.

In den Schüler- und Praktikumsexperimenten sowie bei ihrer Mitwirkung bei der Durchführung der Demonstrationsexperimente eignen sich die Schüler Können und Fertigkeiten im Experimentieren im allgemeinen und im Beobachten, Messen und Protokollieren im besonderen an. Mit dem Planen, Vorbereiten, Durchführen und Auswerten der Experimente wird ein Beitrag zur Fähigkeitsentwicklung der Schüler geleistet.

Beim Experimentieren werden den Schülern Gewohnheiten anezogen, die vom sorgfältigen Arbeiten und vom sorgsamem Umgang mit den Geräten über planmäßiges und schrittweises Vorgehen entsprechend den Vorgaben bis hin zur kritischen Einschätzung der gewonnenen Ergebnisse reichen. Diese Gewohnheiten sind wichtige Voraussetzung für die Berufsausbildung der Schüler und ihr späteres Verhalten am Arbeitsplatz.

Schüler- und Praktikumsexperimente erfordern die selbständige Arbeit der Schüler im Kollektiv. Hierbei erfolgt eine starke gegenseitige erzieherische Einflußnahme. Sie trägt wesentlich zur Entwicklung kollektiver Verhaltensnormen bei. Das gemeinsame Bemühen um die Lösung der gestellten Aufgaben hat vieles mit dem Arbeitsprozeß im späteren Berufsleben der Schüler gemein.

Im Zusammenhang mit dem selbständigen Wissenserwerb beim Experimentieren, insbesondere bei der individuellen und selbsttätigen Auseinandersetzung mit der objektiven Realität beim Schülerexperiment erwerben die Schüler wichtige Einsichten und Überzeugungen. Dabei nehmen die Tatsachen der Materialität und Erkennbarkeit der Welt einen besonderen Stellenwert ein, da die Schüler bei jedem Experimentierprozeß mit ihnen konfrontiert werden.

Da das physikalische Experiment Bestandteil mehrerer wichtiger Verfahren der Erkenntnisgewinnung ist, erfolgt im Zusammenhang mit dem Experimentieren die bewußte Anwendung wichtiger Arbeitsverfahren der Physik. Da auch diese eine Bedeutung besitzen, die

Über die Physik hinausreicht, werden auch hier wesentliche Voraussetzungen für die spätere Arbeit der Schüler geschaffen.

Schließlich sei darauf hingewiesen, daß das Experimentieren eine Phase selbständigen Wissenserwerbs darstellt, die den Schüler allseitig fordert. Stehen die Schüler der Lösung dieser Aufgaben aufgeschlossen gegenüber, so werden sie auch das vorgesehene Ziel erreichen. Unter diesen Bedingungen wird das Experimentieren zu einem echten Erfolgserlebnis.

4. Zur methodisch-technischen Gestaltung von Demonstrations- experimenten

4.1. Anforderungen an ein Demonstrationsexperiment

Der erfolgreiche Einsatz des Experiments im Physikunterricht erfordert eine sorgfältige, physikalisch und methodisch durchdachte Vorbereitung, Durchführung und Auswertung. Hierzu werden in /5/ wertvolle Hinweise gegeben. Aber die großen Potenzen des physikalischen Demonstrationsexperiments kommen nur dann voll zum Tragen, wenn der experimentelle Aufbau und das Vertrautmachen der Schüler mit diesem bestimmten Anforderungen genügen. Die wichtigsten sind in den folgenden sieben Grundregeln für das Experimentieren zusammengefaßt:

1. Zu jedem Experiment gehört eine Skizze. /6/. Durch dieses grafische Mittel wird das Wesentliche des experimentellen Aufbaus bzw. der experimentellen Durchführung deutlich markiert. In den meisten Fällen wird es sich um eine Stellungsskizze handeln, die die Anordnung der wichtigsten Teile schematisch darstellt, im Bereich Elektrik oft um eine Schaltskizze.
2. Jedes Experiment muß vom Lehrer vor der Unterrichtsstunde durchprobiert werden /6/. Dadurch wird garantiert, daß alle benötigten Geräte bereitgestellt und funktionstüchtig sind und das Experiment bezüglich Sichtbarkeit und anderen Aspekten den Anforderungen genügt.

3. Jede experimentelle Anordnung sollte vor den Augen der Schüler zusammengestellt oder - wenn das nicht möglich ist - ausgiebig analysiert werden. Unbekannte Geräte sind, soweit es für das Verständnis der Schüler erforderlich ist, den Schülern eingehend zu beschreiben bzw. zu erklären.
4. Jede experimentelle Anordnung muß so aufgebaut werden, daß sie übersichtlich ist und alle wesentlichen Teile gut sichtbar sind. Wesentliches muß sich im Vordergrund befinden, zusammengehörende Geräte sollten dicht beieinander aufgestellt werden. Die Sichtbarkeit kann durch eine stufenförmige oder vertikale Anordnung der Geräte verbessert werden.
5. Skizze und experimentelle Anordnung müssen so weit wie möglich übereinstimmen. Geräte, die sich in der Skizze rechts bzw. oben befinden, müssen auch in der experimentellen Anordnung dort aufgestellt werden. Werden bei Schaltskizzen die Teilstromkreise verschiedenfarbig dargestellt, so sollten auch im experimentellen Aufbau Verbindungsdrähte dieser Farben Verwendung finden.
6. Das Experiment muß eindeutig, für die Schüler verständliche Ergebnisse liefern /6/. Diese Forderung läßt sich durch Auswahl geeigneter Experimente und günstiger Parameter erfüllen.
7. Jede experimentelle Anordnung ist auf mögliche Gefahrenquellen zu prüfen /6/. Dabei ist die Gesundheits-, Arbeits- und Brandschutzordnung zu befolgen /7/.

4.2. Kombination von Experimenten

In vielen Fällen erweist es sich als zweckmäßig oder notwendig, daß einzelne Experimente nicht nur ein einziges Mal durchgeführt werden. Gründe hierfür können Kontrollmessungen, veränderte experimentelle Bedingungen u.a. sein. Von Experiment zu Experiment kann aber auch eine Weiterentwicklung erfolgen, so daß eine Experimentierfolge (siehe Abschnitt 2.1.4.) entsteht. So kann z.B. ein Rundfunkempfänger schrittweise entwickelt werden. Dabei ist es möglich, auf dem Oszillografenschirm Verstärkung und Demodulation zu verfolgen. Solche Experimentierfolgen sind sehr gut geeignet, das Vorgehen vom Einfachen zum Komplizierten zu unterstützen.

Von besonderer Bedeutung ist das gleichzeitige oder das kurzzeitig aufeinanderfolgende Durchführen mehrerer nebeneinander aufgebauter Experimente. Man nennt diese Parallelexperimente. Mit ihnen ist es möglich, das sonst übliche zeitliche Nacheinander in ein räumliches Nebeneinander zu verwandeln.

Als Vorzüge sind besonders zu nennen: die höhere Effektivität des Unterrichts, die größere Aktivität der Schüler und die stärkere Differenzierung bei der Aneignung des Wissens durch die Schüler. Die Durchführung der Parallelexperimente ermöglicht es, in einer kürzeren Zeit eine größere Anzahl von Informationen zu gewinnen. Die Schüler können gleichzeitig mehrere Versuchabläufe beobachten und sind ständig angehalten, diese miteinander zu vergleichen. Dadurch heben sich Gemeinsamkeiten und Unterschiede stärker voneinander ab. Das ist z.B. für die Herausbildung von Begriffsmerkmalen von besonderer Bedeutung.

In diesen Fällen tritt eine Vereinfachung der Versuchsdurchführung und eine Erleichterung der Auswertung auf. So ist es gegebenenfalls möglich, auf Messungen zu verzichten, da unmittelbare Vergleiche naheliegen.

Verwendet man z.B. mehrere gleichartige Schraubenfedern, die nebeneinander aufgehängt sind, und belastet sie mit Wägestücken, deren Masse von Feder zu Feder um den gleichen Betrag zunimmt, so erkennt man bei gleichem Abstand der Federn voneinander unmittelbar die Proportionalität zwischen Kraft und Auslenkung, ohne eine Messung durchführen zu müssen (Abb. 2).

In analoger Weise lassen sich Ausdehnungen von verschiedenen Flüssigkeiten bei Temperaturerhöhung demonstrieren und miteinander vergleichen, wenn sich diese in gleichartigen Gefäßen mit Steigrohren befinden, die in einem gemeinsamen Wasserbad stehen usw. /8/.

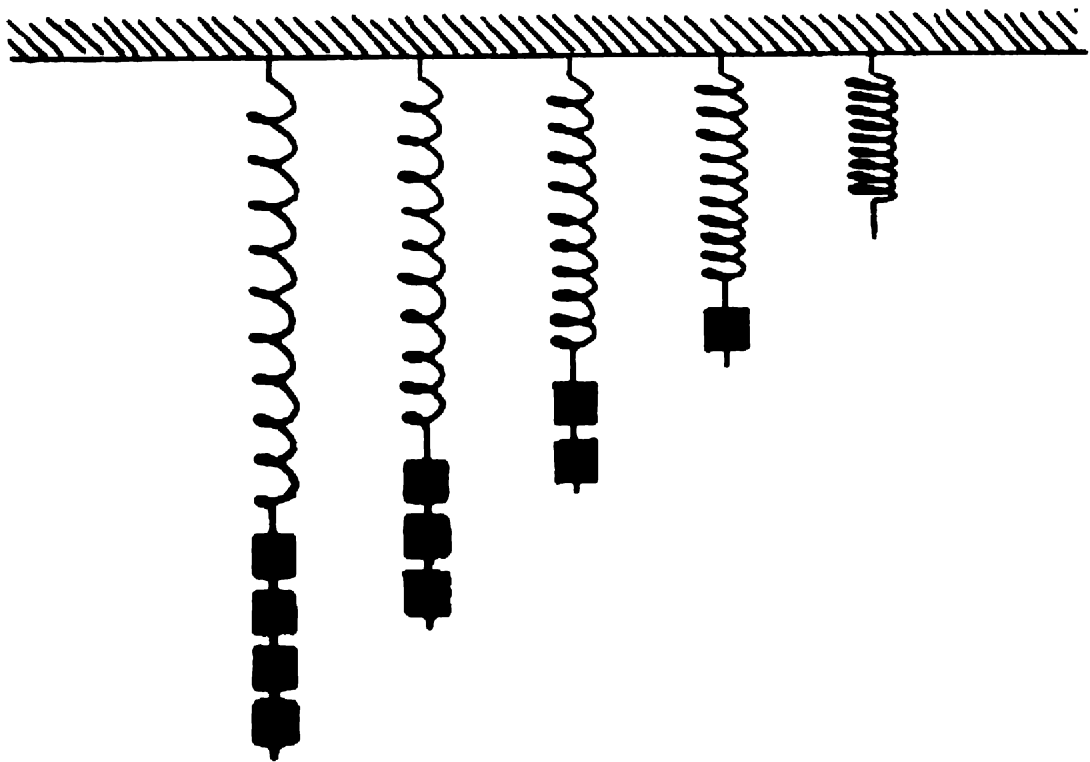


Abb. 2

Diese Potenzen kommen besonders bei zeitraubenden Experimenten zum Tragen. Deshalb ist der Einsatz von Parallelexperimenten vor allem in der Phase der Arbeit am neuen Stoff und der Festigung durch Üben und Wiederholen erstrebenswert. Außerdem wird dadurch die gleichzeitige manuelle und geistige Beschäftigung mehrerer Schüler vor der Klasse möglich.

Literatur:

- /1/ Klaus, G./Buhr, M. (Herausgeber): Philosophisches Wörterbuch. VEB Bibliographisches Institut. Leipzig 1976
- /2/ Kondakow, N. I.: Wörterbuch der Logik. Herausgeber E. Albrecht und G. Asser. VEB Bibliographisches Institut, 1. Auflage, Leipzig 1978
- /3/ Methodik des Physikunterrichts in der DDR und der UdSSR. Volk und Wissen Volkseigener Verlag Berlin und Verlag Proswestscheniye Moskau 1978
- /4/ Hänsel, H.; Neumann, W.: Studienbücherei, Physik für Lehrer. Teil I: Massenpunkt, Systeme von Massenpunkten. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1972

- /5/ Unterrichtshilfen Physik Klasse 12.
Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1983
- /6/ Haspas, K.: Methodik des Physikunterrichts.
Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1970
- /7/ Anweisung Nr. 2/84 zum Gesundheits- und Arbeitsschutz sowie
Brandschutz im naturwissenschaftlichen Unterricht und in der
außerunterrichtlichen Arbeit auf dem Gebiet der Naturwissen-
schaften vom 1. Februar 1984
- /8/ Physik. Lehrbuch für Klasse 6.
Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1983