

**Skript zur Vorlesung**

# **Einführung in die Fachdidaktik Physik (HS)**

**(Sommersemester 2010)**

Dieses Geheft enthält in kompakter Form die wesentlichen Inhalte, wie sie in der Vorlesung „Einführung in die Fachdidaktik Physik (HS)“ vorgestellt werden.

Es ist zum Gebrauch neben der Vorlesung gedacht und erhebt nicht den Anspruch, „in sich selbst verständlich“ oder vollständig zu sein.

S. Hilger

Dieses Skript liegt in einer jeweils aktualisierten Form im Internet vor:

<http://www.ku-eichstaett.de/Fakultaeten/MGF/Didaktiken/dphys/Lehre.de>

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Denkanstöße</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Begründung von Physik in der Schule</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Die Erkenntnis von Natur — durch die Physik</b>	<b>8</b>
3.1	Physik und Erziehung . . . . .	9
<b>4</b>	<b>Zum Begriff des Lernziels</b>	<b>11</b>
4.1	Wahl der grammatischen Form . . . . .	11
4.2	Funktionen von Lernzielen . . . . .	11
4.3	Differenzierung bzgl. des Allgemeingheitsgrads . . . . .	12
4.4	Differenzierung bzgl. des Grades der Operationalisierung . . . . .	13
4.5	Klassifizierungen bzgl. verschiedener Dimensionen des menschlichen Verhaltens . . . . .	13
4.6	Die Lernzielmatrix . . . . .	14
<b>5</b>	<b>Aufbereitung physikalischer Inhalte</b>	<b>15</b>
5.1	Elementarisierung von Inhalten . . . . .	15
5.1.1	Definition . . . . .	15
5.1.2	Typen der Elementarisierung . . . . .	15
5.1.3	Verwandte didaktische Begriffsbildungen . . . . .	19
5.1.4	Weitere Beispiele . . . . .	20
5.2	Analogien — Modelle . . . . .	21
5.2.1	Klassifikation von Modellen . . . . .	22
5.3	Fehlvorstellungen . . . . .	25
5.3.1	Grundsätzliches . . . . .	25
5.3.2	Beispiele . . . . .	27
5.4	Unterrichtsprinzipien . . . . .	30
5.4.1	Anschauung . . . . .	30
5.4.2	Bruner'sche Repräsentationsebenen . . . . .	31
5.4.3	Handlungsorientierung . . . . .	32
5.4.4	Lebensnähe . . . . .	32
5.4.5	Kleinschrittigkeit . . . . .	32
5.4.6	Wissenschaftsorientierung . . . . .	33
5.4.7	Schülerorientierung . . . . .	33
5.4.8	Aktualität . . . . .	33
<b>6</b>	<b>Die Planungsebenen im Unterrichtsentwurf</b>	<b>34</b>
<b>7</b>	<b>Artikulationsschemata</b>	<b>35</b>
7.1	Herbart: Die Formalstufen . . . . .	35
7.2	Heinrich Roth (1963): Die Lernstufen . . . . .	36

7.3	Grob-Phasen gemäß [DHK81] . . . . .	37
7.4	H.F. Bauer: Experimentalunterricht . . . . .	37
7.5	Kerschensteiner (1914) . . . . .	37
7.6	Plöger (1983): Forschender Physikunterricht . . . . .	38
7.7	Motivation . . . . .	39
7.8	Einstiege . . . . .	40
7.9	Vermutung, Hypothese . . . . .	41
<b>8</b>	<b>Unterrichtsverfahren</b>	<b>42</b>
8.1	Das genetische Unterrichtsverfahren . . . . .	42
8.2	Forschender Unterricht . . . . .	44
8.2.1	Georg Kerschensteiner . . . . .	44
8.2.2	Kerngedanken seines pädagogischen Programms . . . . .	44
8.2.3	Die Idee des forschenden Unterrichts . . . . .	44
8.3	Nacherfindender Unterricht . . . . .	45
8.4	Historisierender Unterricht . . . . .	45
8.5	Induktiv–deduktives Verfahren . . . . .	45
8.5.1	Das induktive Verfahren . . . . .	45
8.5.2	Das deduktive Verfahren . . . . .	46
8.6	Sinnvoll übernehmender Unterricht . . . . .	47
<b>9</b>	<b>Handlungs- oder Aktionsformen</b>	<b>48</b>
9.1	Vortrag . . . . .	48
9.2	Lehrgespräch . . . . .	48
<b>10</b>	<b>Sozialformen</b>	<b>49</b>
10.1	Arbeit im Klassenverband . . . . .	49
10.2	Arbeit in Kleingruppen . . . . .	49
10.3	Partnerarbeit . . . . .	50
10.4	Einzelarbeit . . . . .	50
<b>11</b>	<b>Organisationsformen</b>	<b>51</b>
11.1	Klass- und Fachlehrerprinzip . . . . .	51
11.2	Zeitstruktur des Unterrichts . . . . .	51
11.3	Außerschulische Lernorte . . . . .	52
11.4	Projekt — projektorientierter Unterricht . . . . .	53
11.4.1	Merkmale eines Projekts . . . . .	53
11.4.2	Zeitliche Phasung eines Projekts . . . . .	54
11.4.3	Grenzen und Probleme bei der Umsetzung . . . . .	54
11.4.4	Abmilderung: Der projektorientierte Unterricht . . . . .	54
11.4.5	Mögliche physikalisch orientierte Projektthemen . . . . .	55
11.4.6	Beispiel: Projekt Fahrrad . . . . .	56

11.5	Lernen an Stationen . . . . .	57
11.6	Fachübergreifender Unterricht . . . . .	60
11.6.1	Begriffe — Alternativen . . . . .	60
11.6.2	Wissenschaftstheoretische Aspekte . . . . .	60
11.6.3	Unterrichtsprinzipien . . . . .	60
11.6.4	Lerntheoretische Aspekte . . . . .	61
11.6.5	Organisatorische Aspekte . . . . .	61
11.6.6	Grundhaltung der Physik und Physikdidaktik . . . . .	61
11.6.7	Mögliche Leitmotive . . . . .	61
11.6.8	Mögliche Themenbereiche . . . . .	62
<b>12</b>	<b>Experimentieren im Physikunterricht</b>	<b>63</b>
12.1	Das Experiment als physikalisch– erkenntnistheoretische Methode . . . . .	63
12.1.1	Kennzeichen von Experimenten . . . . .	63
12.2	Das Experiment als unterrichtlich–lerntheoretische Methode . . . . .	64
12.3	Klassifikation von Unterrichtsexperimenten . . . . .	64
12.3.1	Erkenntnistheoretische Funktion . . . . .	64
12.3.2	Zeitliche Einordnung in einer Unterrichtseinheit . . . . .	65
12.3.3	Intensität und Art der Auswertung . . . . .	65
12.3.4	Art der Repräsentation . . . . .	65
12.3.5	Experimentierort . . . . .	65
12.3.6	Experimentator . . . . .	65
12.3.7	Schülerexperimente in Gruppenarbeit . . . . .	66
12.4	Allgemeine Hinweise . . . . .	67
12.5	Freihandexperimente . . . . .	68
12.5.1	Andere Gesichtspunkte . . . . .	69
12.5.2	Sind das Freihandexperimente? . . . . .	69
12.5.3	Logistik . . . . .	70
12.5.4	Nachteile . . . . .	70
<b>13</b>	<b>Medien im Unterricht</b>	<b>71</b>
13.1	Begriffsbildung . . . . .	71
13.1.1	Ziele beim Einsatz von Medien . . . . .	71
13.1.2	Überblick über audiovisuelle (AV–) Medien . . . . .	71
13.1.3	Die Wandtafel . . . . .	72
13.1.4	Der Tageslichtprojektor (TLP OHP) . . . . .	74
13.2	Rechnereinsatz — speziell im Physikunterricht . . . . .	76
13.2.1	Der Rechner als AV–Medium . . . . .	76
13.2.2	Der Rechner als TOPIC . . . . .	76
13.2.3	Der Rechner als „Lernender“ (TUTEE) . . . . .	77
13.2.4	Der Rechner als Werkzeug/Hilfsmittel (TOOL) . . . . .	77

13.2.5	Der Rechner als Lehrender (TUTOR) . . . . .	77
13.2.6	Der Rechner als Hilfsmittel im Lehrer-Beruf . . . . .	78
13.2.7	Einsatz in der Schulverwaltung . . . . .	78
13.2.8	Messwert-Erfassung bei physikalischen Experimenten . . . . .	78
13.3	Schriftliche Medien — für die Hand der Schüler . . . . .	80
13.3.1	Das Schulbuch . . . . .	80
13.3.2	Arbeitsblätter und -hefte . . . . .	80
13.3.3	Das Schülerheft . . . . .	80
<b>14</b>	<b>Das Profil der Hauptschule</b>	<b>81</b>
14.1	Fachübergreifender Unterricht im Hinblick auf Physik . . . . .	81
14.1.1	Unterrichtsprinzipien und -grundsätze, Merkmale . . . . .	82
14.1.2	Äußere Form des Lehrplans . . . . .	82
<b>15</b>	<b>Literatur zur Physik und Didaktik</b>	<b>84</b>
15.0.3	Zeitschriften . . . . .	84
15.0.4	Physik inhaltlich, Niveau Sekundarstufe I . . . . .	84
15.0.5	Physik inhaltlich, Niveau Sekundarstufe II . . . . .	84
15.0.6	Astronomie, Niveau Sekundarstufe II . . . . .	84
15.0.7	Physik inhaltlich, Niveau Grundstudium . . . . .	84
15.0.8	Fachdidaktik Physik . . . . .	84
15.0.9	Erziehungswissenschaften . . . . .	84
15.0.10	Experimente — Unterhaltsame Physik . . . . .	84
15.0.11	Schulbücher Hauptschule . . . . .	84

# 1 Denkanstöße

- Warum sollen Menschen (SchülerInnen) Physik erlernen?
- Kann man „Physik unterrichten“ lernen?
- Können Jungen Physik besser verstehen bzw. lernen?
- Warum sollen im Physikunterricht Experimente durchgeführt werden?
- Warum ist Physik das — mit Abstand — unbeliebteste Schulfach?
- Ist Physikdidaktik eine Wissenschaft?
- Warum geht von großen Denkleistungen gerade der Physik eine fast unvergleichliche Faszination aus?
- Kann man Physik nur mit Hilfe von Mathematik verstehen?
- Ist die Wissenschaft Physik Fluch oder Segen für die Menschheit?
- Ist ein Lehrplan für das Unterrichten notwendig?
- Sind angesichts von ComputerBeamern noch andere Medien sinnvoll?

## 2 Begründung von Physik in der Schule

Wie kann Physikunterricht gerechtfertigt (= legitimiert) werden?  
Ist es sinnvoll, Physik in der Schule zu unterrichten?

Unter welchen Gesichtspunkten ist diese Frage zu beantworten?

- Aus der Sicht des Kindes?
- Aus der Sicht der Erziehenden?
- Aus der Sicht der Gesellschaft?
- Aus der Sicht der Wirtschaft?

### 1. Kulturelle Identität

- (a) Lange Tradition einer Kultur in Europa, in Deutschland.
- (b) Spezifisch naturwissenschaftliche Sichtweise:
  - Naturwissenschaftliche Methode (Falsifikation von Hypothesen).
  - Empirik (Experiment),
  - Mathematisierung,
  - Rationales Argumentieren,
  - Exaktheit,
- (c) Entmythologisierung:
  - „Die heilende Strahlkraft der Steine“
  - Astronomie und Astrologie,
  - Die teuflischen Handy-Strahlen.
- (d) Verantwortung für die Welt:
  - Gestaltung der technischen Zivilisation
  - Umwelterziehung:
    - Kann ich anstelle einer Haushalts(Trocken-)Batterie auch ein Netzgerät verwenden?
- (e) Attribuierungen von Physik:
  - Physik ist nicht nur die Technik-Hybris: Atombomben, Kraftwerke, Anonyme Apparat-Medizin,
  - Ehrfurcht vor den Theorien der theoretisch-abstrakten Physik.

### 2. Lebensbewältigung

- (a) Handwerklich-technische Fertigkeiten, Berufsbildung
- (b) Genaues Beobachten.
  - In welcher Reihenfolge treten (welche) Farben im Regenbogen auf? In welcher Richtung ist der Bogen zu sehen?
- (c) Sprachliche Beschreibung:
  - Stimmige Ausdrucksweisen: Der Strom fließt, es liegt ein Spannung an,
  - Bereicherung des Wortschatzes: El. Spannung, Druck, Temperatur, Verdampfen, Verdunsten, . . .
  - Vertrautheit mit Einheiten.
- (d) Sicherheitsbewusstsein:
  - Der Föhn in der Badewanne,
  - Der Fotoapparat im Schwimmbad,
  - Der Stuhl an der Wand,

### 3. Im Hinblick auf die Schule: Physik als „Methode“

- Farbe im Unterricht
- Spielerische Elemente,
- Handlungsorientierung,
- Soziale Lernziele: Gruppenexperiment,
- Möglichkeit zum Fachübergreif:
  - Mathematik: Größenrechnen,
  - Verkehrserziehung: Geschwindigkeit, Kräfte, Fliehkräfte, Bremswege.

### 4. Weitere Gesichtspunkte:

- Ästhetik,
- Mädchen und Physik
- Entwicklung

## 3 Die Erkenntnis von Natur — durch die Physik

**Jeder** Mensch beobachtet unbefangen, unbewusst seine (Um-)Welt, die Natur, den Lebensalltag, die technische Zivilisation. Er nimmt — mit Hilfe der Sinnesorgane — Phänomene wahr.

Übung: Notieren Sie möglichst viele Phänomene, die ein Schulkind wahrnimmt / kennt / mitvollzieht!

Ein „Mensch mit physikalischer Zuneigung“ bemüht sich,

- diese Phänomene zu sammeln, zu erfassen,
- Zusammenhänge zwischen diesen Phänomenen herzustellen,
- gemeinsame Erklärungen (Ursachen, Gesetze) für verschiedene Phänomene aufzufinden,
- die Erklärungen zu ordnen, zu systematisieren und
- sie in exakter Form unter Benutzung rational-logischer Kategorien des menschlichen Geistes, oft in mathematischer Sprache, darzustellen.

Es entstehen dabei physikalische

- Begriffe (Abstand, Zeit, Energie, Kraft, Drehimpuls)
- Modelle (el. Strom, Atommodell, Teilchenmodell)
- Teilgebiete (Mechanik, Optik, Elektrizitätslehre, Optik, Atomphysik)
- Theorien (Newton'sche Mechanik, Maxwell'sche Elektrodynamik, Quantenmechanik, QED, GUT,...),

Da sich die Phänomene bei unbefangener Beobachtung teilweise sehr uneinheitlich, komplex, unerklärlich darstellen, stellt der Physiker im Experiment gezielte Fragen an die Welt (Natur), er achtet dabei auf

- Beseitigung störender Einflüsse (Reibung, Erschütterungen, Wärmeverlust,...)
- Nachvollziehbarkeit (mit anderen Apparaturen, an beliebig anderem Ort, von anderen Personen)
- Wiederholbarkeit (zu beliebiger Zeit)

- Quantitative Erfassung (Messprozess)
- Genaue Dokumentation.

Es resultiert ein Wechselspiel aus

- Experimentalphysik (empirische Methode) und
- Theoretischer Physik (induktive und axiomatisch–deduktive Schlussfolgerungen).

Dieses Wechselspiel besteht in einer Abfolge von

- Hypothesenbildung: Man gelangt zu Vermutungen über die Wirklichkeit durch intuitives — deduktives Schließen auf der Grundlage schon bekannter Erkenntnisse.
- Verifikation an Beispielen bzw. Falsifikation
- Deutung innerhalb bestehender Theorien
- oder Erweiterung der bestehenden Theorien

### 3.1 Physik und Erziehung

In welcher Form und mit welcher Intensität können Schulkinder an diesem Prozess teilnehmen?

Prinzipiell stehen sie einem Physiker nicht nach: Sie nehmen Phänomene wahr und entwickeln ihre eigenen Erklärungsmodelle. Sie bedienen sich dabei ihrer eigenen

- entwicklungspsychologisch–altersgemäßen und
- durch Lernen aus der Umwelt und sozialem Milieu

erworbenen Begriffswelt und Denkmuster.

Physik in der Schule soll nicht verstanden werden

- als ein lediglich im Niveau herabgesetzter Wissensfundus,
- sondern als Prozeß, an dem grundsätzlich jeder Mensch und jedes Kind teilnehmen kann.

Das Streben nach physikalischer Erkenntnis ist Bestandteil der menschlichen Natur.

Die Aufgabe der „Physik in der Schule“ ist es, dieses Bestreben geeignet zu begleiten und zu verfeinern. Dabei ist wichtig:

- Kenntnis, wie Kinder „Physik vollziehen“,
- Kenntnis, wie Physiker „Physik vollziehen“,
- Kenntnis, wie der „Physik–Prozess des Physikers“ an den „Physik–Prozess im Kind“ angekoppelt werden kann.

Einige Grundthesen zur Physik im Unterricht:

1. Der Mensch in allen Facetten seiner Gesamtpersönlichkeit steht im Mittelpunkt jeden Unterrichts. So sind die Ehrfurcht vor dem Leben, die Achtung der Menschenrechte und das Bemühen um eine Menschen–Bildung ständig neu zu verwirklichende Prinzipien in jeder Begegnung von Lehrer und Schüler. (Albert Schweitzer, Tausch/Tausch: Humanistische Persönlichkeitspsychologie)

2. Die Physik umgibt heute eine Aura des Technizismus (vgl. das Negativ-Image infolge der Kernkraft- und Atombombendiskussion. . .). Physik ist aber auch — wenn nicht: vor allem — eine Kulturleistung der Menschheit. (Vgl. die Hochachtung vor Nobelpreisträgern)
3. Physik als Wissen um Fakten und Methoden ist unverzichtbar in der Bewältigung des Lebens in unserer Gesellschaft (Industrie und Technik). Gleichwohl ist Physik nur ein Bestandteil unseres Lebens.
4. Charisma und Wissen um Didaktik sind zwei wesentliche Bestimmungsstücke des Lehrerverhaltens.
5. Beuys: Jeder Mensch ist ein Künstler. Wagenschein (sinngemäß): Jeder Mensch ist ein Physiker: Aufgabe des Lehrers ist es, den Prozeß der Physik im Schüler zu wecken und zu stimulieren.

## 4 Zum Begriff des Lernziels

Im Physik- und Chemieunterricht sollen die Schüler jene Wissens-, Denk-, und Handlungsschemata erlernen, die sie für eine selbstgesteuerte, flexible Bewältigung und Gestaltung ihrer gegenwärtigen und zukünftigen Lebenssituation brauchen können.

Jedes planmäßige Handeln erfordert eine Zielsetzung: So hat sich in der lerntheoretisch orientierten Unterrichtsforschung im Laufe der Zeit der Gedanke der Zielformulierung durchgesetzt.

Der Begriff **Lernziel** deutet dabei auf ein Endverhalten der Schüler hin. Es geht zunächst weniger um die Art oder die Methodik des Lernprozesses.

Ein Weg kann klarer ausgewählt und leichter beschriftet werden, wenn das Ziel bekannt ist.

- Lernziele bilden für den Lehrenden den entscheidenden Rahmen für die Unterrichtsplanung und -umsetzung.
- In Lernzielen werden die Erwartungen einer Gesellschaft (einschließlich Wirtschaft, Verbände, Kirchen, Hochschulen) an die Institution „Schule“ formuliert.
- Traditionen, neue Entwicklungen, Weltanschauungen oder Ideologien schlagen sich in den Lernzielen nieder. Beispiele: NewMaths, Umweltbewegung, Europa.
- Sie spiegeln deshalb den ständigen gesellschaftlichen Wechselprozeß aus Bewahrung und Veränderung wieder.
- Im Begriff „Lernziel“ begegnen sich zwei grundlegende Dimensionen von Unterricht:
  - Auftrag zur Bildung der Persönlichkeit (Anthropologische oder personale Dimension)
  - Vermittlung fach(wissenschaft)licher Inhalte (Sachliche oder inhaltliche Dimension)

Lernziele erfahren vielerlei Klassifizierungen, die in einer Diskussion über Lernziele bzw. in einer auf Lernzielen gründenden Unterrichtsarbeit hilfreich sind.

### 4.1 Wahl der grammatischen Form

- **Aussagesätze** Der Schüler kennt das Ohm'sche Gesetz.
- **Soll-Sätze** Der Schüler soll mit den Grundgrößen der Elektrizitätslehre vertraut sein.
- **Substantive** Fähigkeit, die Begriffe „Kraft“ und „Arbeit“ zu unterscheiden.

Ausführliche Sätze bergen die Gefahr der ständigen Wiederholung und Inflation der gleichen Formulierungen („soll kennen“).

Kurzsätze reduzieren menschliches Verhalten auf technisch anmutende Begriffsformeln.

### 4.2 Funktionen von Lernzielen

- Lernziele unterstützen das Bestreben, Inhalte deutlicher im Hinblick auf Rahmenbedingungen (Lernen, Unterricht, gesellschaftlich, Umwelt, . . .) im Unterricht umzusetzen.

Beispiel Der Inhalt „Energieerhaltungssatz“ erfährt eine Ausgestaltung durch das Lernziel:

Die Schüler sollen Einsicht in die Bedeutung des Energieerhaltungssatzes für technische, wirtschaftliche und ökologische Prozesse gewinnen.

- Lernziele ermöglichen eine kritisch-systematische Reflexion über den Unterricht: Die Gretchenfrage lautet

Wurden die gesteckten Lernziele erreicht?

und nicht

Wurde der Stoff ausreichend behandelt?

- Lernziele bilden eine solide Basis für die Evaluation von Unterricht.
- Lernziele stellen in den Mittelpunkt den Lernprozeß der Schüler und nicht die Fachinhalte (Lerninhalte) oder die Unterrichtsmethodik (Lehrziele).
- Lernziele stellen ein Instrument für die Diskussion über schulische Erziehung und Unterricht bereit und bilden daher eine Möglichkeit zur Verständigung von Lehrern, Schülern, Eltern, Didaktikern, Bildungspolitikern (Beispiel: Weltanschaulicher Unterricht, Sexualkunde).
- Der normative Charakter von Lernzielen ermöglicht es, den gesellschaftlichen Konsens über die Schule in den Unterricht zu transportieren.

Lehrpläne (in Bayern) werden vom Kultusministerium verordnet, und im Amtsblatt veröffentlicht. In der Zeitschrift „schule & wir“ (jeweils Heft 3/September) erscheint eine Liste der jeweils gültigen Lehrplan-Fassungen für alle Fächer und Schularten. Sie sind auch im Internet (Zugang über [www.schule.bayern.de](http://www.schule.bayern.de)) abrufbar.

### 4.3 Differenzierung bzgl. des Allgemeinheitsgrads

Die zeitliche Tragweite korrespondiert im allgemeinen mit dem Allgemeinheitsgrad.

Hier liegt das Modell des (früheren) curricularen Lehrplans (CuLP) in Bayern zugrunde. Die Begriffe sind aber auch heute noch anzutreffen.

Die zeitliche Tragweite für die einzelnen Ebenen ist nicht genau anzugeben. So gibt es unterschiedliche Auffassungen darüber, ob Feinziele innerhalb einer Unterrichtsstunde oder innerhalb einer Unterrichtsphase anzustreben sind.

1. Leitziele: Umfassen des obersten Bereichs der pädagogischen Aufgaben und Absichten. Sie leiten sich direkt aus dem Bildungs- und Erziehungsauftrag der Verfassung an die Schule ab. (Vgl. Bayerische Verfassung Art. 131, Bayerisches Erziehungs- und Unterrichtsgesetz Art 1/2)

Beispiele: Studierfähigkeit, Berufsfähigkeit, Allgemeinbildung, Bewältigung der Lebenswelt, gesellschaftliche Verantwortung.

2. Richtziele sind genauere teilweise fachspezifische Ausformulierungen der Leitziele.

Beispiele:

Einblick in die Arbeits- und Denkweisen der Physik

Fertigkeiten im Umgang mit physikalischen Verfahren in Handwerk und Technik.

Überblick über physikalische Phänomene und die ihnen innewohnenden Gesetzmäßigkeiten.

3. Grobziele beschreiben eindeutig, aber nicht im Detail, die angestrebten Lernergebnisse innerhalb eines Faches.

Beispiele:

Verständnis für den Begriff der „Arbeit“.

Kenntnis der grundlegenden Begriffe der Bewegungslehre.

Fertigkeit im Umgang mit dem Lötkolben.

Einblick in die Funktionsweise eines Generators.

Freude beim Experimentieren mit elektronischen Bauteilen.

4. Feinziele: (Unterrichtsziele, Teilziele) Sie differenzieren den Unterricht in kleinste Einzelziele.

Beispiele

Fähigkeit den Widerstand eines Bauelements zu berechnen.

Kenntnis der Knotenregel.

Fertigkeit, die Durchschnittsgeschwindigkeit bei einer Radtour zu bestimmen.

#### 4.4 Differenzierung bzgl. des Grades der Operationalisierung

Hier liegt das Zielebenenmodell (ZEM) nach Eigenmann und Strittmacher (1972) zugrunde.

1. Leitideen: Bezugsrahmen für Lernziele.
2. Dispositionsziele: Erkennen, Bereitsein, Fähigsein, Durchschauen, Verstehen
3. Operationalisierte (Verwirklichte) Lernziele: Auf Endverhalten abhebende Lernziele werden dahingehend modifiziert, dass das erwünschte Verhalten des Schülers nach außen beobachtbar (erfaßbar, meßbar) wird. OLZs bedürfen einer ausführlichen Beschreibung und sollen keine Interpretationsspielraum mehr zulassen. Bedingungen an OLZe (nach Mager und Gagne):
  - (a) Benennung des Endverhaltens, das direkt beobachtbar sein muß (Psychologisch steckt dahinter: Der Behaviorismus)
  - (b) Eindeutige Bezeichnung des Gegenstandes, auf den sich Lernziel bezieht
  - (c) Beschreibung der Rahmenbedingungen, Voraussetzungen, Hilfsmittel (z.B. Formelsammlung, Taschenrechner).
  - (d) Angabe eines Beurteilungsmaßstabes für das als ausreichend geltende Verhalten.

So sind beispielsweise die Lernzielverben aus der Lernzielmatrix ersetzt durch

schreiben, auswendig aufsagen, identifizieren, unterscheiden, vergleichen, Aufgabe lösen, benennen, . . .

Beispiel:

Der Schüler soll Aufbau und Wirkungsprinzipien eines Elektromotors verstehen.

Operationalisiert: Der Schüler soll das Modell eines Elektromotors aufbauen können, seine wichtigsten Teile benennen und ihre Funktion erklären können.

Noch weiter (hat schon die Form einer Lernzielkontrolle)

Der Schüler soll das Leybold-Modell eines Elektromotors innerhalb von 10 Minuten aufbauen und verschalten können, er soll weiter die Begriffe „Stator, Rotor, Kommutator“ im Modell zuordnen können und die Funktion jedes dieser Bauteile in zwei Sätzen beschreiben können, (wobei zwei Fehler erlaubt sind).

Der Sinn wird schon fast konterkariert. Nachteile: Atomisiertes Wissen und Faktenwissen wird stark betont. Bildung wird auf die Erlernung einer Sammlung von Verhaltensweisen reduziert.

#### 4.5 Klassifizierungen bzgl. verschiedener Dimensionen des menschlichen Verhaltens

Lernziele lassen sich nach verschiedenen Dimensionen des Gesamtspektrums menschlicher Verhaltensweisen einordnen. Die darauf aufbauenden Klassifizierungen heißen Taxonomien (Einordnung, vgl. z.B. Biologie)

Sehr bekannt ist die Bloom'sche Taxonomie:

1. Kognitive Lernziele: Denken, Wahrnehmung, Gedächtnisbereich, intellektuelle Fähigkeiten

Weitere Unterteilung:

- (a) Konzeptziele ( $\rightarrow$  Gedächtnis): Erwerb von reproduzierbarem Wissen
- (b) Prozeßziele ( $\rightarrow$  Denken und Urteilen): Methoden, Strategien, Arbeitsweisen, Umstrukturierung, Problemlösen.

## 2. Affektive Lernziele: Interessen, Einstellungen, Gefühle, Werturteile

Beispiele: Bewunderung des Farbenspiels eines Regenbogens,  
Freude über das Funktionieren eines selbstgebauten Elektromotors,  
Sich ein Urteil über die Notwendigkeit und Gefährlichkeit der Castor-Transporte bilden können.

## 3. Psychomotorische Lernziele: Motorische (Körperbewegungs-)Fertigkeiten

Beispiele: Fingerfertigkeit beim Einfädeln eines Fadens,  
Zeichnen einer Versuchsanordnung,  
Lösen einer Schraube,  
Justieren einer elektrischen Klingel,  
Beherrschung des Lötens,  
(M) Umgang mit Zirkel und Lineal.

Physik: Alle drei Bereichen werden (in — je nach Schulart — unterschiedlicher Gewichtung) betroffen: In Gymnasien liegt der Schwerpunkt im kognitiven Bereich, in der Hauptschule ist der psychomotorische Bereich stärker betont.

Eine absolute Trennung in diese drei Kategorien ist unnatürlich und unsinnig. Die einzelnen Kategorien überlagern sich und bedingen einander.

Kritisch anzumerken wäre hier, dass soziale Lernziele wie Kooperationsfähigkeit, Kommunikationsfähigkeit fehlen.

## 4.6 Die Lernzielmatrix

In Bayern verbreitet und angewandt ist die sogenannte „Lernzielmatrix“:

Didaktische Schwerpunkte	WISSEN Kenntnisse	KÖNNEN Handlungen	ERKENNEN Probleme	WERTEN Einstellungen
Anforderungsstufen	<p><b>Einblick</b> (in Ausschnitte eines Wissensgebietes) } beschreibt eine erste Begegnung mit einem Wissensgebiet</p> <p><b>Überblick</b> (über den Zusammenhang wichtiger Teile)</p> <p><b>Kenntnis</b> verlangt stärkere Differenzierung der Inhalte und Betonung der Zusammenhänge.</p> <p><b>Vertrautheit</b> bedeutet sicheres und selbstständiges Verfügen über möglichst viele Teilinformationen und Zusammenhänge</p>	<p><b>Fähigkeit</b> bezeichnet allgemein das Können, das ein Handeln nach Regeln ermöglicht.</p> <p><b>Fertigkeit</b> verlangt eingeschliffenes, fast müheloses Können</p> <p><b>Beherrschung</b> bedeutet sicheres und selbstständiges Verfügen über die eingeübten Handlungsweisen</p>	<p><b>Bewußtsein</b> bedeutet: Die Problemlage wird in ihren wichtigen Aspekten erfaßt</p> <p><b>Einsicht</b> bedeutet: Eine Lösung des Problems wird erfaßt bzw. ausgearbeitet</p> <p><b>Verständnis</b> bedeutet: Eine Lösung des Problems wird überprüft und ggf. anerkannt</p>	<p>(ohne Anforderungsstufen)</p> <p>Offenheit, Neigung, Interesse, Bereitschaft...</p>

Aus: Lehrplan für Physik für die Jahrgangsstufe 11/Gymnasien, 15.5.1985.

## 5 Aufbereitung physikalischer Inhalte

### 5.1 Elementarisierung von Inhalten

#### 5.1.1 Definition

Elementarisierung (oder: Didaktische Reduktion) ist die Transformation von Inhalten

von fachwissenschaftlichen Niveau auf das Verständnissniveau von Schülern

einer bestimmten Entwicklungsstufe.

Hinweise zu dieser Definition:

- *Gültigkeit* Bei der Elementarisierung darf keine Verfälschung oder Verkehrung des Inhalts auftreten. Je nach Inhalt kann sich aber herausstellen, dass Elementarisierung eine Gratwanderung zwischen „elementar“ und „falsch“ darstellt und man sich hier „für das kleinere Übel“ entscheiden muss.
- *Thematisierung* Der Lehrer muss sich der Tatsache der Elementarisierung bewußt sein und ihr Wesen genau durchschauen.
- *Transparenz* Gegebenenfalls muß auf die Tatsache der Elementarisierung hingewiesen werden.
- *Entwicklungsfähigkeit* Die elementarisierte Struktur muß erweiterungsfähig sein. Der Schüler muß bei einer Rücknahme der Elementarisierung nicht neu- oder umdenken müssen und sie im Nachhinein nachvollziehen können. („Im Laufe des Lebens bzw. des lebenslangen Lernens wird die Elementarisierung rückwärts durchlaufen“)
- *Die Entwicklungsstufe* korrespondiert in gewisser Weise mit dem Alter, der Jahrgangsstufe, der Schulart, der Vorerfahrung und der kulturellen Umgebung der Schüler.

Auch in der LPO wird dieser Prozeß innerhalb der „inhaltlichen Prüfungsanforderungen“ erwähnt

- (LPO I, §40 (2) 3.b):  
Fähigkeit, mit Hilfe von fachwissenschaftlichen und fachdidaktischen Kriterien und Grundlagen Unterricht zu planen und zu beurteilen.  
  
dazu gehören:  
aa) Auswahl, Identifikation, Elementarisierung und Anordnung von Lehrinhalten,
- (LPO I, §42(2) 1.b):  
aa) Fähigkeit, Theorieprobleme der Fachwissenschaften, fachwissenschaftliche Methoden und Forschungsergebnisse auf Lern- und Bildungsvorgänge der Hauptschule zu beziehen.

Insgesamt ist Elementarisierung ein integraler Bestandteil des wissenschaftlichen Prozesses an sich: Fachliche Theorien, Modelle, Gesetze sind unabdingbar bis zu einem gewissen Grad elementarisiert.

#### 5.1.2 Typen der Elementarisierung

Dies sind Überlegungen, die der Physikdidaktiker W. Jung, Frankfurt, Anfang der Siebziger Jahre entwickelt hat: Er unterscheidet — orientiert an sachbezogenen Kategorien — die Typen der Elementarisierung wie in der folgenden Liste aufgeführt. Die Liste gibt Anregungen wieder. Im konkreten Beispiel ist eine Einordnung bezüglich der Typen unter Umständen schwierig oder mehrdeutig. Bei einigen Typen kann man sich nicht des Eindrucks erwehren, dass sie eigentlich nicht mehr den Kern der anfangs gegebenen Definition treffen.

1. *Reduktion vom Quantitativen auf das Qualitative* Dies bedeutet im wesentlichen ein Zurückfahren des Grades der Mathematisierung.

Die verschiedenen Stufen dieses Typs der Elementarisierung beschreiben wir jetzt allgemein für ein physikalisches Gesetz, das einen Zusammenhang zwischen zwei Größen  $G_1$  und  $G_2$  beinhaltet und erläutern dies konkret am Beispiel des Gesetzes über den Zusammenhang von el. Stromstärke (Größe  $G_1$ ) und elektrischem Feld (Größe  $G_2$ ).

- (a) Ausgangspunkt ist die wissenschaftlich–allumfassende Formulierung, wie sie vielleicht ein auf dem relevanten Gebiet spezialisierter Physiker zugrundelegt.
- Sie benutzt tieferliegende Begriffsbildungen der Analysis wie Grenzwerte, Integrale oder Ableitungen.
  - Sie berücksichtigt raum–zeitliche Abhängigkeiten. Physikalische Größen treten in Gestalt von Funktionen oder Feldern auf, meist wird diese Abhängigkeit in den Formeln nicht mitgeführt, sondern nur stillschweigend vorausgesetzt.
  - Sie berücksichtigt Richtungs- oder allgemeinere Transformationsabhängigkeiten (Vektoren, Tensoren).
  - Der Kontext wird genau angegeben (Meßvorschriften, Gültigkeitsbereiche, Zuordnung zu klassischer, relativistischer oder Quanten-Physik).

Das Beispiel–Gesetz lautet in einer diesen Gesichtspunkten genügenden Fassung:  $*J = *dF$ . Dabei ist  $*$  der sogenannte Hodge–Operator.

- (b) Das Gesetz erhält eine wissenschaftliche Formulierung, die nicht mehr alle Anwendungs–Konstellationen, wohl aber die physikalisch–prinzipielle Information, erfaßt. Dies trifft in etwa das Niveau eines allgemein ausgebildeten Physikers. Beispiel–Gesetz:  $j = \sigma \cdot E$ .
- (c) Das Gesetz wird nach wie vor formelmäßig exakt, bei möglichster Unterdrückung eines aufwändigen mathematischen Begriffsapparats, formuliert. Dies entspricht dem Niveau eines Studenten im Grundstudium oder Schülers der Sekundarstufe II (Kollegstufe). Beispiel–Gesetz:  $I = \frac{1}{R(U)} \cdot U$  bzw.  $U = R(U) \cdot I$ .
- (d) Wenn möglich, wird der Tatbestand der direkten Proportionalität zum Ausdruck gebracht. Dies ist in der Physik der Sekundarstufe I (Mittelstufe des Gymnasiums, der Realschule oder gelegentlich in der Hauptschule) allgemein üblich. In diesem Fall wird das Beispiel–Gesetz als Ohm’sches Gesetz bezeichnet.

- Quantitative Erfassung des konstanten Proportionalitätsfaktors:  $\frac{U}{I} = R$  oder  $I = \frac{1}{R} \cdot U$ .
- Formelmäßige Erfassung der direkten Proportionalität  $\frac{U}{I} = \text{const}$  oder gleichwertig  $\frac{I}{U} = \text{const}$ . Mit einem besonderen Relationssymbol wird dies als  $I \sim U$  geschrieben.
- Graphische Darstellung in einem Koordinatensystem ( $U$ – $I$ –Diagramm mit  $U$  als Abszisse (Rechtswertachse) und  $I$  als Ordinate (Hochwertachse). Es ergibt sich eine Ursprungs–(Halb-)Gerade mit dem Proportionalitätsfaktor (Reziproker Widerstand = Leitfähigkeit) als Steigung.
- Verbale Formulierung:

Bei Ver–2,3,...,n–fachung der Spannung  $U$  tritt eine Ver–2,3,...,n–fachung der el. Stromstärke  $I$  ein.

Andere Beispiele aus der (HS–)Physik für direkte Proportionalitäten sind:

- Hooke’sches Gesetz für Schraubenfedern: Dehnungslänge und Kraft,
- Zusammenhang von Wegstrecke und Zeitspanne bei konstanter Geschwindigkeit,
- Zusammenhang zwischen innerer Energie (zugeführter Wärme) und Temperaturerhöhung: Spezifische Wärmekapazität,
- verschiedene Formen der Allgemeine–Gas–Gleichung.

Verwandte andere Zusammenhänge sind die der indirekten, der quadratischen, der quadratisch–reziproken Proportionalität oder der des logarithmischen Zusammenhangs.

- (e) Die Formulierung als Je–desto–Gesetz (halb-quantitativ) spiegelt eine Verwandtschaft der Ordnungsrelationen in den beiden Größen wieder. Es ist die in der Hauptschule allgemein anzutreffende Elementarisierungsstufe. Im Beispiel:

Wird die an einem Widerstand anliegende Spannung immer weiter erhöht, so wächst auch die Stärke des durch ihn hindurchfließenden el. Stromes.

(ohne Erwähnung des Wortpaares Je–desto) oder knapper als Merkformel:

Je  $\begin{cases} \text{größer} \\ \text{kleiner} \end{cases}$  die Spannung  $U$ , desto  $\begin{cases} \text{größer} \\ \text{kleiner} \end{cases}$  ist die el. Stromstärke  $I$ .

Hier sollte im konkreten Fall auf eine ansprechende, grammatikalisch richtige Formulierung in vollständigen Halbsätzen und die treffende Auswahl der Adjektive für die Komparativbildung geachtet werden.

Vorsicht: Eine Je–desto–Formulierung suggeriert eine direkte Proportionalität, obwohl vielleicht tatsächlich nur ein allgemeinerer nichtlinearer Zusammenhang vorliegt.

- (f) Wenn–dann–Gesetz: Hier wird nur noch das Vorliegen eines kausalen Zusammenhangs dokumentiert: Wenn man die Spannung  $U$  (Ursache) verändert, so ändert sich auch die el. Stromstärke  $I$  (Wirkung).

So heißt es auch im aktuellen Lehrplan (HS Bayern Jgst. 8/3): „Die Spannung als Ursache für Stromfluß begreifen“.

- (g) Formulierung als vorkausalen Sachverhalt: Beispielgesetz: Hält man die Anschlußdrähte einer Glühlampe an die Batterie, so leuchtet die Lampe.

2. *Idealisierung* Dies ist im wesentlichen eine Vernachlässigung von „Störungen“ oder von Kontexten, die in der Realität vorhanden, für das Verständnis aber nicht zwingend notwendig sind.

Idealisierung ist als eine wesentliche Erkenntismethode der Physik selbst Lerninhalt. So ist beispielsweise die durch die Vernachlässigung von Reibung gegebene Idealisierung beim Trägheitssatz wohl eher der Bestandteil eines Lernziels als eine gelungene Elementarisierung.

Beispiele: Vernachlässigung ...

- der Reibung oder des Luft„widerstands“,
- des Auftriebs in Luft (vgl. Kleiderbügelwaage zum Nachweis des Gewichts von Luft),
- des Eigengewichts von Geräteteilen (Rollen beim Flaschenzug, Feder beim Kraftmesser, Flüssigkeit bei hydraulischer Presse, ...) ( $\rightarrow$  Ideale Kraftwandler),
- des Innenwiderstands von Meßgeräten und damit des Spannungsabfalls an ihnen oder des Stromflusses in ihnen,
- Innenwiderstand von Stromquellen (Unproblematisch bei Netzgeräten, problematisch bei Haushaltsbatterien),
- der Belastung eines Potentiometers,
- von Linsenfehlern ( $\rightarrow$  Ideale Linse),
- der Dispersion des Lichts,
- des Wärmeaustauschs eines Kalorimetergefäßes ( $\rightarrow$  Ideal isolierend),
- Energie- bzw. Leistungsverlusten bei Energiewandlern ( $\rightarrow$  Idealer Transformator),
- des Wellencharakters des Lichts: Dies führt auf die geometrische Optik,
- von Auswirkungen tieferliegender physikalischer Theorien, beispielsweise von relativistischen oder Quanten-Effekten,
- der Richtungsabhängigkeit der Lorentzkraft: Es wird nur der Fall „Bewegung  $\perp$  Magnetfeld“ betrachtet,
- der Masse eines (beschleunigenden) Zuggewichtsstücks (beispielsweise bei der Erarbeitung des 2. Newton’schen Gesetzes).

### 3. Rückgriff auf historische Entwicklungsstufen

Beispiele: Frühere Festlegungen von physikalischen Einheiten (Urmeter, Sonnentag, Lichtgeschwindigkeit, Kelvin).

Die grundsätzlich vorhandene Möglichkeit, akustische Signale in elektrische Signale umzuwandeln, lässt sich einfacher anhand des Kohlekörnermikrofons als anhand von Kondensator- oder Spulenmikrofonen aufzeigen.

Atommodelle: Thomson — Rutherford (→ Hauptschule) — Bohr — Quantenmechanik.

### 4. Generalisierung Allgemeingültige Aussagen sind „einfacher“ als spezielle Aussagen!

Beispiele:

- Alle Metalle leiten den elektrischen Strom.
- Alle festen und flüssigen Körper dehnen sich bei Erwärmung aus.  
Beachte die Gegenbeispiele: Wasser (Anomalie im Temperaturbereich  $0\text{ °C} \dots 4\text{ °C}$ ), Quecksilber, Bismut, Gummi.
- Alle Metalle haben bei einer erhöhten Temperatur einen höheren spezifischen Widerstand (Aber beachte die Halbleiter).
- Die vielen Einzeltheorien zur Beugung an optischen Hindernissen (Einzelspalt, Doppelspalt, Mehrfachspalt, Gitter, Lochblende,...) lassen sich in einer einzigen Theorie (mit dem mathematischen Konzept der Fouriertransformation im Hintergrund) zusammenführen.

Letztlich ist Generalisierung eine der wesentlichen Triebkräfte für den physikalischen Erkenntnisprozess: Einzelkonzepte zur Deutung von Teilaspekten der Welt werden zu umfassenderen Gesamtkonzepten vereint, die diese Aspekte als Spezialfälle miteinfassen. In dieser Hinsicht bringt es die Generalisierung mit sich, dass zwar die Aussagen immer einfacher und „schöner“ werden, die zugrundeliegenden mathematischen Rahmenkonzepte aber aufwendiger und komplexer.

Beispiele:

- Die Newton'schen Gleichungen bilden die Grundlage der gesamten Mechanik.
  - Die Maxwell'schen Gleichungen enthalten alle Gesetzmäßigkeiten der klassischen Theorie des Elektromagnetismus und der Wellenoptik.
  - Die vier Hauptsätze der Wärmelehre enthalten das Gesamtsystem der (phänomenologischen) Thermodynamik.
  - Die Grand Unified Theory (GUT) drückt das (in weiten Teilen) erfolgreiche Bestreben aus, die vier physikalischen Grundkräfte als Ausgestaltung einer einzigen „Urkraft“ zu deuten. (Stichwort: Weltformel).
  - Die Gesetze über das ideale Gas von Gay-Lussac, Boyle-Marriotte und Amontons können zu der einen Allgemeinen-Gas-Gleichung generalisiert werden.
  - Goldene Regel der Mechanik.
  - Energieerhaltungssatz.
5. *Partikularisierung* Nur ein Teilaspekt der Sachstruktur wird beleuchtet. Ein physikalisches Konzept wird nur innerhalb eines Teilgebiets der Physik betrachtet.

Beispiele: Statischer Kraftbegriff (Ursache von Verformungen) statt dynamischer Kraftbegriff (Bewegungsänderung).

Energie wird nur in der Mechanik behandelt.

Vgl. auch weiter unten: Aspektierung.

### 6. Reduktion einer begrifflichen Differenzierung

Beispiele:

- Masse — Gewichtskraft (in GS),
- Masse — Stoffmenge,
- Begriff der Wärme:
  - Schule: nicht substanzlich aber mengig,
  - Wissenschaft: Gegensatz zu Arbeit,
  - „Wärme steigt nach oben“,
- ferromagnetisch — magnetisch,
- Zentripetalkraft — Zentrifugalkraft,
- Celsius — Kelvin,
- Glühlampe — Glühbirne.

Hochproblematisch ist eine Verschleierung des Unterschieds von:

- Wärme(menge) — Temperatur,
- Stromstärke — Spannung, (vgl. das oft verwendete Wort: Stromspannung),
- Kraft — Arbeit/Energie — Leistung,
- Geschwindigkeit — Beschleunigung.

Gegebenenfalls sollte nur der eine jeweils zutreffende Begriff tatsächlich gebraucht werden.

#### 7. Reduktion auf das Elementare oder Prinzipielle

- Anstelle eines Generatormodells wird eine Leiterschleife oder -schaukel eingesetzt.
- Superpositionsprinzip: Anstelle der allgemeinen dreidimensionalen Situation wird die eindimensionale Situation betrachtet (z.B. in der Mechanik).

### 5.1.3 Verwandte didaktische Begriffsbildungen

Schülerbezogene Kategorien:

1. *Animistische Sprechweise* Bilder aus der belebten Welt werden auf die unbelebte Welt übertragen.

Beispiele:

- Elektronen zwängen sich durch den Draht.
- Zink entreißt dem Kohlenstoff ein O-Atom.
- Das Teeglas gewöhnt sich an die Temperatur.
- Bei C-H-Verbindungen: „Eltern und ihre Kinder“.

2. *Antropomorphierung (Vermenschlichung)* Der Schüler setzt sich selbst körperlich oder gedanklich in die Situation hinein.

Beispiele:

- Bewegungsspiele zur Modellierung astronomischer Bewegungsabläufe.
- Dann steigen die Regentröpfchen immer höher und rücken immer näher zusammen, weil sie frieren.
- Ladungsmännlein wandern im Kreis und geben in Eimerchen mitgebrachte Energie ab.

Häufig findet man Anthropomorphierung zur Darstellung von Vorgängen im menschlichen Körper. Bekannt sind eher kabarettistische Umsetzungen durch Otto oder Woody Allan.

3. *Reduktion durch Aspektierung* Beispiele:

- Ein Regenbogen wird lediglich nach Form, Sonnenstand, Reihenfolge der Farben beschrieben und nicht erklärt.

- Der abstrakte Energiebegriff wird lediglich in seinen äußerlich erfahrbaren Aspekten (Bindung an Materie, Energieträger) eingeführt.
- Der Spannungsbegriff wird lediglich als eine (zunächst nicht hinterfragbare) Kenngröße von Stromquellen erfahren.

#### 4. Veränderung des (raumzeitlichen) Koordinatensystems des Betrachters

- Grundschule: Die Sonne geht im Osten auf und im Westen unter.
- Nachempfinden der Weltalter-Zeitskalen durch das „Eintagesweltmodell“,
- Nachempfinden der astronomischen Längenskalen durch Einführung eines Maßstabes (Erde ist Stecknadelkopf, Sonne ist Apfel, ...)

#### 5.1.4 Weitere Beispiele

- Hebelgesetz: Hier kann eine Elementarisierung auf verschiedensten inhaltlichen Ebenen durchgeführt werden:
  - Zahl der angreifenden Kräfte,
  - zweiarmiger – einarmiger Hebel,
  - Winkel zwischen Kraftlinie und Kraftarm,
  - eben oder räumliche Situation,
  - Schwerer Hebel,
  - Realisierung des Hebelkörpers (Stange, Scheibe, beliebig, bzgl. Sichtbarkeit des Kraftarms.)
- Auftrieb,
- Begriff der Beschleunigung.
- Abhängigkeiten der Pendelfrequenz (vgl. [Joe76, S. 56, Piaget/Inhelder-Versuch]).
- Brechung,
- Spezifischer Widerstand,
- Induktionsgesetz: Vgl. STX, H97/3.

## 5.2 Analogien — Modelle

Jede Aufgabe, die ich löste, wurde zu einer Regel, die später zur Lösung anderer Aufgaben diente. René Descartes (31.3.1596 – 11.2.1650)

Analogien sind meine zuverlässigsten Lehrmeisterinnen — vertraut mit allen Geheimnissen der Natur. Johannes Kepler (1571 – 1630)

**Definition** (selbst gemacht, mathematisch orientiert) Weisen zwei verschiedene (evtl. fachfremde) Inhalte gleiche Strukturen auf, so spricht man von einer *Analogie* in diesen Inhalten.

Ist der eine Inhalt (A) gegenüber dem anderen Inhalt (B)

- lebensnäher,
- anschaulicher (den Sinnen unmittelbar zugänglich),
- elementarer (vgl. Begriff der Elementarisierung),
- besser verstanden oder erforscht, oder
- stärker (alltags-)präsent,
- in der Präsentation sicherer, kostengünstiger oder schneller,

so stellt Inhalt (A) ein *Modell* für den Inhalt (B) dar.

Auch erkenntnistheoretisch: Unser Denken bzw. Wissen über Physik beinhaltet lediglich Modelle der Wirklichkeit, niemals die Wirklichkeit selbst.

Lerntheoretisch: Analogien sind ein wesentlicher „Mechanismus“ für Vernetzung eines Denksystems. (→ Ausubel: Sinnvoll übernehmender Unterricht).

### Beispiele für Analogien

Mechanische Schwingungen	—	Elektromagnetische Schwingungen
Reflexion von Lichtstrahlen an Grenzflächen	—	Reflexion von Körpern an Wänden (Billard, Eishockey)
Röhrentechnik (B Vakuumdiode)	—	Halbleitertechnik (HL-Diode)
Fortbewegung (Translation)	—	Drehbewegung (Rotation)
Planetensystem	—	Bohr'sches Atom
Schwingende Saite	—	Quantenmechanisches Atom
Hysterese bei magnetischen Stoffen (B weich – hart)	—	Hysterese bei Dehnung (Verformung) von Stoffen (B weich – hart)
Reihen- und Parallelschaltung von Schraubenfedern	—	Reihen- und Parallelschaltung von Widerständen
	—	Reihen- und Parallelschaltung von Kondensatoren
Elektrische Größen	—	Magnetische Größen (vgl. Tabelle in [Stö98])
Phasenübergang	—	Auf/Absteigen einer Kugel im Galileithermometer
Sammellinse	—	Hohlspiegel
Zerstreuungslinse	—	Wölbspiegel
Gesetz über radioaktiven Zerfall	—	Barometrische Höhenformel
	—	Turbidimetrie (Trübungsmessung in Suspensionen)
Beugung von Licht	—	Beugung von Wasserwellen

Prominent sind die Analogien in den Transportphänomenen

Name	Diffusion	Wärmeleitung	El. Leitung	Strömung einer Flüssigkeit
Gesetz von ...	Fick	Fourier	Ohm	Navier–Stokes
Transportiert wird ...	chem. Stoff	Innere Energie	El. Ladung	Mech. Impuls

Klassisches Beispiel einer im Unterricht instrumentalisierten Analogie ist die zwischen

Elektrischem Stromkreis und Wasserstromkreis

(Siehe Vorlesung: Elektrizität–Magnetismus).

### 5.2.1 Klassifikation von Modellen

Zielsetzungen:

- Physik als Wissenschaft arbeitet immer mit Modellen.
- Erkenntnis schlechthin: Hypothesen, Bestätigung,...
- Mit Hilfe von Modellen kann eine Elementarisierung durchgeführt werden.
- Veranschaulichung.

Ganz allgemein müssen Modelle ...

- sachgerecht sein (Die „Ladungsmännlein“ sind ungeeignet).
- schülergerecht sein (Das quantenmechanische Atommodell ist für die SI zu abstrakt).

Modelle können nach verschiedenen Gesichtspunkten klassifiziert werden.

Klassifizierung nach der Lern- oder Erkenntnisabsicht.

- Analogmodelle: Eine Analogie wird hergestellt.
  - Ameisenhaufen für Brown'sche Molekularbewegung.
- Ähnlichkeitsmodelle: Maßstäbliche Verkleinerung bzw. Vergrößerung,
  - Flugzeug,
  - kleiner Motor,
  - Globus.
- Funktionsmodelle: Aufbauprinzipien können herausgestellt werden, dynamische Abläufe verlangsamt werden.
  - Elektromaschinen,
  - Otto–Motor,
  - Dampfmaschine,
  - Zentralheizungsmodell,
  - Tellurium (Mechanisches Modell des Erde–Mond–Sonnensystems),
  - Hydraulische Presse.
  - Transformatormodell: Punktschweißen, Induktionsofen.
- Strukturmodelle: Darstellung von Strukturen von Gegenstandsbereichen:

- Teilchenmodell,
- Gittermodell,
- Molekülmodelle, Kalottenmodelle für Moleküle.
- Theoretische Modelle:
  - Atommodelle von Thomson, Rutherford, Bohr, Quantenmechanik.
  - Kosmologische Modelle (Friedmann Universe, steady state,...).
- Black-Box-Modell: Ein physikalischer Inhalt, insbesondere ein physikalisches Gerät oder Messgerät, wird nur in seinen äußeren Eigenschaften und Funktionen, nur als Phänomen, erfasst. Die inneren Eigenschaften oder Wirkzusammenhänge sind nicht oder nur sekundär relevant, sie bleiben in der „Black Box“ verborgen.

Beispiele:

- Im Alltag: Mikrowellenherd, Kaffeemaschine, Auto.
- Die „Steckdose“ wird einfach als Spannungsquelle erkannt und genutzt. Die Tatsache, dass das Netz der öffentlichen Stromversorgung mit all seinen Komponenten als Grundlage notwendig ist, bleibt im Hintergrund.
- Elektrische, elektronische Messgeräte für Größen aller Art. (el. Größen, Temperatur,...).
- Messverstärker, Operationsverstärker,
- Computer
- Hall-Sonde

Der Lehrer(in) sollte auch die innere Struktur der „Black-Box“ kennen.

Klassifizierung nach der Realisierung:

- Gegenständliche Modelle oder Modelle im engeren Sinne sind Apparaturen, die einen technischen Zusammenhang durch prinzipielle Hervorhebungen und Weglassungen **statisch** verdeutlichen.
  - Motormodell (in der Fahrschule),
  - Lichtleiter-Modell,
  - Zentralheizungsmodell der (klassischen) Schulphysik,
  - Kraftwerksmodelle,
  - Chemie: Kalottenmodelle von Molekülen. Sie waren entscheidend hilfreich bei der Aufklärung der DNA-Struktur durch Watson und Crick (Lesenswert: James Watson, Die Doppel-Helix, rororo-Sachbuch 6803, 1973.)
  - Schaumstoffmodell für den Bitmetallstreifen.
- Ein Vorgang oder eine physikalische Größe werden auf **dynamische** Weise verdeutlicht (Dynamische Modelle).
  - Elektromaschinenmodelle (Elektromotor, Generator),
  - Rüttelapparat für die Maxwell'sche Geschwindigkeitsverteilung,
  - Bürstenmodell für Haft- und Gleitreibung,
  - Bierschaummodell für den radioaktiven Zerfall,
  - Kette aus Dominosteinen für Kettenreaktion (Vorsicht im Zusammenhang mit Kernspaltung, die Analogie ist fast zu einfach),
  - „Gummiband-Modell“ der elektromagnetischen Wechselwirkungen (nicht so glücklich),
  - Kernspaltungs-Kettenreaktion: Mausefallen und Tischtennisbälle.
- Modellexperimente
  - Überlandleitung,
  - UND, ODER Schaltung,
  - Verstärkerschaltung,
  - Schweißgerät, Induktionsofen.

- Ikonische Modelle: Vereinfachungen zur (mathematischen) Beschreibung von Phänomenen (Idealisierung, Modellannahme)
  - Lichtstrahl,
  - Massenpunkt,
  - Modell des idealen bzw. realen Gases,
  - Ebenes Modell eines Halbleiterkristalls.
- Symbolische Modelle:
  - Schaltsymbole und Schaltbilder,
  - Mathematisch abstrakte Modelle: Größen, Begriffe, Formeln.
- Reine Denkmodelle, Anschauliche Vorstellungen von etwas Unanschaulichem:
  - Atommodell,
  - Elektron als Kügelchen,
  - Tröpfchen- oder Schalenmodell des Atomkerns,
  - Urnenmodell für die mathematische Kombinatorik.

## 5.3 Fehlvorstellungen

### 5.3.1 Grundsätzliches

**Definition** *Fehlvorstellungen* über physikalische Inhalte sind Vorstellungen, die den allgemein anerkannten und stimmigen Vorstellungen der Physiker widersprechen oder zumindest von diesen abweichen.

Es gibt ein Netz von verwandten Begriffen, die unterschiedliche Intentionen beinhalten:

- Von einem ganzen *Fehlkonzept* kann man sprechen, wenn eine Fehlvorstellung nicht nur einer schnell-intuitiven Einschätzung, sondern einem „stabilen, weil erfolgreichen“ persönlichen Theoriesystem entspringt, das eine größere Gruppe von Phänomenen vermeintlich richtig deutet.
- Im Begriff *Präkonzept* ist der frühzeitige Erwerb in einem außerphysikalischen Kontext betont.
- Der Begriff *Alltagskonzept* unterstreicht, dass sich Fehlvorstellungen aufgrund von Beobachtungen oder Informationen aus dem Alltagsleben zustandekommen.
- Es gibt Tendenzen, die Vorsilbe „Fehl-“ zu vermeiden, da sie zu stark eine Art Vorab-Aburteilung beinhaltet.

Für die Aufarbeitung von Fehlvorstellungen sind verschiedene Kontexte zu beachten:

- Alterszuordnung,
- historische Bedeutung.

### Mögliche Ursachen

- Früher gelernte Fehlinformation:
  - Kindergarten- oder Grundschulalter: Animistische Vorstellungen,
  - Soziale Umgebung: Freundesgruppe, Familie,
  - Schule,
  - Massenmedien,
  - Literatur, bildliche Darstellungen, Comics.
- Zu wenig Beobachtungs-Erfahrungen (Die Abhängigkeit der Farbe eines Gegenstandes vom einstrahlten Licht, Trägheitssatz).
- Zu schnell gefertigte Eigendeutung (Erklärung der Jahreszeiten mit Elliptizität der Erdbahn).
- Stark wirkende Alltagsvorstellungen (Trägheitssatz).
- Interferenz von Inhalten:
  - Ein Lineal erscheint beim Eintauchen in Wasser nach unten geknickt: Interferenz mit der Brechung eines Lichtstrahls.
  - Die direkte Proportionalität wird selbstverständlich auch nicht proportionalen Sachverhalten zugrundegelegt.
  - Aluminium ist nicht elektrisch leitfähig (richtig: nicht ferromagnetisch).
- Begriffsunklarheit: ein Lichtstrahl ist sichtbar, Wachs brennt, Wasser ist nicht elektrisch leitfähig, . . .
- Kontextunklarheit: Ein Lichtstrahl ist (un-)sichtbar (Streuung), ein Körper fällt mit konstanter Geschwindigkeit (Luftreibung).
- Fehlende Einsicht in Modellcharakter (Idealisierung) einer physikalischen Theorie.

- Unschärfe Sprache: Wärme steigt nach oben, die Leistung überwindet einen Widerstand.
- Unklare Begriffe wegen Mehrfachbedeutung oder unterschiedlicher Bedeutung in Alltags- und Fachsprache: Strom, Kraft, Arbeit, Leistung, Spannung, Widerstand, Energie.

Zum Teil haben Fehlvorstellungen Parallelen in der Geschichte der Physik (Aristoteles: „Bewegung braucht Kraft“). Sie sind daher Beispiele für eine Analogie zwischen historischer und individueller Genese von Physik. Die Parallelität bedeutet nicht notwendig, dass ein früherer Erkenntnisstand bis heute durchschlägt.

**Stabilität** Fehlvorstellungen erweisen sich meist als sehr stabil, da sie beispielsweise

- frühzeitig,
- durch unmittelbare Erfahrung eines Phänomens,
- durch Übernahme aus der direkten sozialen Umgebung,
- verbunden mit einem einfachen Erklärungsmodell
- positive Affekte bei einem AHA-Erlebnis

erlernt werden.

Die „Begegnung“ von Fehlvorstellungen mit den physikalisch akzeptierten Konzepten erfolgt im Unterricht oft

- als positive Darstellung der Physik ohne Einbeziehung der Fehlvorstellungen,
- durch direkte Konfrontation
- bei mangelnder Gründlichkeit aufgrund fehlender Zeit (Lehrplan, Studententafeln, . . .),
- mit einer Tendenz zur Aufzwingung.

Erfahrungsgemäß ist dieses Vorgehen wenig erfolgversprechend. Es gilt, Fehlvorstellungen im Unterricht vorsichtig zu thematisieren und aufzuarbeiten.

### Möglichkeiten zur Behebung

- Es muss ein Lernen ohne Angst gewährleistet sein.
- Offenheit, einführendes Verstehen des Lehrenden, Gesprächsführung behutsam, nicht dogmatisch-dozierend oder gar frontal-ablehnend.
- Ein gediegener Unterricht, der in Bezug auf Inhalte und Methodik von vornherein das Aufkommen bzw. die Beibehaltung von Fehlvorstellungen verhindert.
- Selbstverständliche Wahrnehmung vielfältiger Unterrichtsprinzipien (siehe dort).
- Bereicherung der Erfahrungen durch Beobachtungen, Experimente, Gedankenexperimente.
- Thematisierung der Fehlvorstellungen, Klare Information über Sachverhalt, Begriffe, Kontexte.
- Eine Konfrontation mit Unstimmigkeiten oder Widersprüchen führt zu kognitiven Konflikten. Sie bilden den Ausgangspunkt für die Veränderung von Fehlkonzepten. Beispiele:
  - Winter in Europa  $\iff$  Sommer in Australien.
  - Die Richtung zum zunehmenden Mond am Abend bildet mit der zur Sonne einen rechten Winkel: Schattenbildung ausgeschlossen.

- Es sollte ein Wandlungsprozess *“Conceptual change”* initiiert werden:
  - Der Lernende sollte bei seinen Vorstellungen „abgeholt“ werden.
  - Fehlvorstellungen werden zunehmend in Frage gestellt (→ Sokratische Dialoge), indem klärende Beobachtungen und Informationen angeboten werden.
  - Andere Erklärungsmuster werden — als zunächst gleichberechtigt — nebeneinander gestellt und diskutiert.
  - Es stellt sich (genetisch) heraus, dass die physikalisch adäquaten Vorstellungen besser in das bestehende Erfahrungs- und Wissensnetz eingeknüpft werden können. Sie werden nach und nach rezipiert und internalisiert.

### 5.3.2 Beispiele

Die im folgenden getroffenen Aussagen beschreiben Fehlvorstellungen, sie sind also **falsch**.

#### Allgemein

- Physik ist schwer, langweilig, alltagsfern, trocken.
- Es werden direkte Proportionalitäten angenommen, obwohl ein nichtlinearer Zusammenhang besteht.
- Begriffe im Umfeld von Energie: Verbrauch, Erzeugung, Produktion, Lieferung, Verschwendung.

#### Mechanik

- Trägheitssatz: Die Bewegung eines Körpers wird dadurch ausgelöst oder aufrechterhalten, dass eine Kraft wirkt. Historisch entspricht dies dem Übergang Aristoteles — Galilei.
- Der Bremsweg ist direkt proportional zur Anfangsgeschwindigkeit.
- Begriff der Fallgeschwindigkeit eines Körpers oder eines Stoffes. (Beispiel: Führung durch die Nürnberger Burg/Tiefer Brunnen, Wasser hat eine Fallgeschwindigkeit von  $10 \frac{m}{s}$ ).
- Zentripetalkraft: Wenn ein Körper kreisförmig bewegt wird, wo ist eine nach außen gerichtete Kraft dafür notwendig.
- Zentrifugalkraft: Wird ein gleichförmig-kreisförmig bewegter Körper losgelassen, so fliegt er radial davon.
- Beim Festhalten eines (schweren) Gegenstandes (Büchertasche) wird Arbeit an ihm verrichtet.
- Bei einer Schraubenfeder sind angreifende Kraft und Länge der Schraubenfeder direkt proportional zueinander.
- Rückstoßprinzip: Eine Rakete fliegt deshalb, weil sie sich an dem umgebenden Medium (beispielsweise Luft) abstößt.
- Oberflächenspannung: Das Wasser bildet eine Haut auf seiner Oberfläche.
- Gleichsetzung von Volumen und Masse:  $1 \ell$  entspricht  $1 \text{ kg}$  (insbesondere bei Flüssigkeiten).
- Gleichsetzung von Masse und Gewicht(–skraft):  $100 \text{ g}$  „entspricht“  $1 \text{ N}$ .

## Elektromagnetismus

- In Bezug auf die el. Leitfähigkeit unterscheidet man lediglich „Leiter“ und „Nichtleiter (Isolatoren)“.
- Begriffe, die im Alltag und in der Technik verwendet werden, im genauen fachlichen Wortsinne aber falsch sind:  
     Stromverbrauch(er), Stromsparen, Stromerzeuger, Stromlieferung, Stromzähler, . . .
- Nur in einem geschlossenen Stromkreis kann Stromfluss zustande kommen (Überbetonung dieses Aspekts z.B. in der Grundschule, Problem bei Auf- oder Entladung, Elektronik, Erde).
- Der Transport elektrischer Energie ist an die Bewegung der Ladungsträger gebunden (vgl. [Dui80] Duit-Artikel: Der Energiebegriff in der Schule).
- Die für die Gefährlichkeit von Elektrizität entscheidende Größe ist die el. Spannung (Es ist vielmehr die el. Stromstärke).
- Schaltet man zu einer Glühbirne eine weitere parallel, so brennt diese dunkler. (Diese Beobachtung kann man bei Verwendung einer Trockenbatterie tatsächlich machen; die Ursache ist der Innenwiderstand der Batterie).
- Die Bewegung von Elektronen erfolgt mit Lichtgeschwindigkeit.
- Bei Gewitter: „Buchen sollst Du suchen“.
- Alle Metalle sind magnetisch.
- Bei Gewitter: „Buchen sollst Du suchen“.
- In der Nähe des Nordpols (der Pole) befindet sich ein großer Eisenberg.

## Wärmelehre

- Wärme ist ein den warmen Körper durchdringender Stoff (Historisch: Dalton, Querschnitt Physik und Technik, S. 261)
- Temperatur ist eine additive Größe: Schüttet man (gleiche) Mengen Wasser der Temperaturen  $10^\circ$  und  $20^\circ$  zusammen, so erreicht man eine Temperatur von  $30^\circ$ .
- Wärme riecht.
- Wasserdampf ist sichtbar, Nebel oder beim Kochen aufsteigende Schleier bestehen aus Wasserdampf.
- Die in den Jahreszeiten unterschiedliche Erwärmung kommt von den unterschiedlich langen Lichtwegen durch die Erdatmosphäre (Blacky Fuchsberger in „Das fliegende Klassenzimmer“).

## Optik

- Die optische Wahrnehmung erfolgt durch eine Aktivität des Sehenden. Er muß einen Blick auf den Gegenstand werfen.
- Die mit den Augen wahrgenommene Welt ist in eine Art Lichtmeer, -bad oder -stoff getaucht.
- Bei Dunkelheit ist die Welt mit einer Art Dunkelstoff oder -nebel ausgefüllt, weshalb Lichtstrahlen nicht mehr durchdringen können.
- Einen Lichtstrahl kann man sehen (Vgl. Wolkenloch oder Waldlichtung).
- Farbe ist eine unabänderliche Eigenschaft von Stoffen oder Körpern.
- Die Farbe „Schwarz“.

- Das Himmelsblau hat seine Ursache in der Reflexion des Lichts in den Weltmeeren.
- Ein Stab erscheint beim Eintauchen nach unten geknickt (Zeichnung des gebrochenen Lichtstrahls).
- Strahlengänge: Der Strahlengang bei einer Abbildung durch Sammellinsen wird als Lochkamera-Strahlengang gezeichnet.
- Das Spiegelbild ist reell, es ist auf der spiegelnden Fläche lokalisiert.

### Astronomie

- Historisch: Die Erde ist eine Scheibe, alle Gestirne bewegen sich über diese Scheibe weg. Gegenstände (oder Menschen) müßten auf der anderen Seite herunterfallen.
- Die bei den verschiedenen Mondphasen auftretende Abdunkelung eines Teils der Mondes ist durch den Erdschatten zu erklären.
- Die Jahreszeiten und ihre unterschiedlichen Temperaturen kommen durch die wechselnde Entfernung zur Sonne der Erde beim Durchlaufen ihrer elliptischen Bahn um die Sonne zustande. (Vgl. auch das Beispiel oben: Blacky Fuchsberger)
- Der Andromedanebel ist ein Nebel oder Materiedunst im Weltraum.
- Die Erde dreht sich nach Westen.

### Atomphysik

- Das Bohr'sche Atommodell: Die Elektronen laufen auf Bahnen um den Kern und haben stetes einen festen Ort und eine feste Geschwindigkeit.
- Elektronen sind (als bläuliche Strahlen) sichtbar.
- Heisenberg'sche Unbestimmtheitsrelation.

### Chemie

- Wachs brennt (Richtig: Wachsdampf brennt)

### Größenordnungen

- Geschwindigkeit des Elektronendriffs bei Stromfluß in Metallen.
- Ein Liter passt auf keinen Fall in einen Würfel mit Seitenlänge 1 dm.
- Die durchschnittliche Geschwindigkeit eines Weltklasesprinters ist wesentlich größer als  $36 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ .

### Technik

- Verwechslung von Kenn- und Betriebsdaten (z.B. bei einer Glühbirne).

## 5.4 Unterrichtsprinzipien

Unterrichtsprinzipien bilden eine Grundlage und den Rahmen für die Schaffung einer günstigen Lernumgebung. Die Bewertung von Unterrichtsprinzipien als günstig oder wertvoll unterliegt teilweise zeitgeistigen Strömungen und Parametern.

Ein gewisses grundlegendes Spannungsfeld bildet der Gegensatz aus dem

thereotischem, wissenschaftsorientierten, abstrakten Unterricht,

der eine große Bedeutung für die Wissens- und Geisteskultur der heutigen Welt hat, und dem

- praktischen, alltagsorientierten, anschaulichen–konkreten Unterricht,

dessen Bedeutung in der Erziehung zur Lebensbewältigung in Eigenverantwortung liegt.

Die Unterrichtsprinzipien beinhalten Gestaltungselemente

- bezüglich der Auswahl und Darstellung der Inhalte,
- bezüglich der konkreten methodischen Gestaltung des Unterrichts.

### 5.4.1 Anschauung

Anschauung ist das absolute Fundament aller Erkenntnis.

Ein Bild sagt mehr als tausend Worte.

(Johann Heinrich Pestalozzi, 1746 – 1827)

Von Anschauung spricht man, wenn Sachverhalte und Begriffe stark mit der Wahrnehmung durch die Sinnesorgane verknüpft sind.

Selbst beim Denken in abstrakten Systemen sind die Objekte (Worte, Symbole) letztlich an die Gegenstände der Wahrnehmung gebunden.

Unterscheide:

- *Äußere (unmittelbare), direkte* Anschauung. Sie geschieht durch die unmittelbare Präsenz des konkreten Objekts.

B: Brechstange, Widerstandsbauteil, Bolzensprenger, Fernrohr, Unterrichtsgang Trafostation.

- *Äußere (unmittelbare), indirekte* Anschauung. Sie geschieht durch Medien oder gegenständliche Modelle.

B: Elektromotormodell, Abbildung einer hydraulischen Hebebühne, dynamische Darstellung des Strahlengangs in einem Mikroskop, Videofilm über Wärmekraftwerk.

- *Innere* Anschauung. Bereits durch Anschauung erworbene (eigentlich abstrakte) Begriffe werden (konkrete) Grundlage für den Erwerb höherer Begriffe.

B: Zahlen ( $\rightarrow$  Variable), Funktionsgraph, Spannung ( $\rightarrow$  Potential), Elektron ( $\rightarrow$  Materiewelle), mech. Arbeit ( $\rightarrow$  mech. Energie), Graphische Schaltzeichen in Darstellungen von el. Schaltungen, Feynman–Diagramme repräsentieren hochkomplizierte mathematische Überlegungen zu Stoßprozessen zwischen Elementarteilchen.

### 5.4.2 Bruner'sche Repräsentationsebenen

Ein Wechselspiel zwischen der konkret–anschaulichen Ebene und der abstrakt–symbolischen Ebene wird durch die drei Bruner'schen Repräsentationsebenen

- enaktiv (B: Schülerexperiment),
- ikonisch (B: Skizze, Diagramm),
- symbolisch: (B: Symbole, Formeln).

vermittelt. Das Wechseln der Ebenen wird hier als „Intermodaler Transfer“ bezeichnet. Dieses Modell hat sich vor allem in der Grundschuldidaktik durchgesetzt und bewährt.

### 5.4.3 Handlungsorientierung

Handlungsorientierung bezeichnet allgemein das Lernprinzip, dass das Lernen durch (konkretes oder innerliches) Handeln unterstützt oder überhaupt erst ermöglicht wird. Sie wird deshalb Element oder gar Konzept für die Unterrichtsgestaltung.

Ein herausragender Vertreter des „Handlungsorientierten Unterrichts“ in Deutschland ist Herbert Gudjons.

Verwandte Ideen, Konzepte und Prinzipien sind

- „Learning by doing“ (John Dewey, 1859 – 1952, Begründer des Arbeitsunterrichts)
- Piaget'sche Denkpsychologie: Denken als verinnerlichtes Handeln.
- Bruner'sche Repräsentationsebenen (E–I–S–Prinzip): Innerhalb der enaktiven Ebene werden Begriffe zunächst durch das Umgehen mit konkretem Material erworben.
- Ganzheitlichkeit: Bildung in Einheit von Kopf, Herz und Hand, Ansprechen unterschiedlicher Sinnesorgane (motorisch, haptisch).
- Produktorientierung (siehe auch Projektunterricht).

Im Physikunterricht kann dieses Prinzip insbesondere durch das Schüler-Experimentieren (Freihand-, Hausaufgabe, Bau einfacher Geräte) zwanglos umgesetzt werden.

Auch wenn Schüler(innen) nicht direkt selbst experimentieren können, sollten sie beim Aufbau, Regeln, Registrieren, Auswerten beteiligt werden.

Allgemein kann als Zielsetzung die Gestaltung von Plakaten, Zeitungen, Filmen oder anderer Medien angesetzt werden.

Innerhalb der konventionellen Unterrichts bedeutet Handlungsorientierung beispielsweise, dass Schüler(innen) Hefteinträge mit Texten, Zeichnungen oder Schaltbildern selbst erstellen.

### 5.4.4 Lebensnähe

bezeichnet das Prinzip, an die Alltagswelt der Schüler und Schülerinnen (Familie, Freunde, Spiel, Freizeit, Natur, Technik) anzuknüpfen. Verwandt sind die Begriffsbildungen *Wirklichkeitsnähe* oder *Praxisnähe*.

Diese Prinzip bildet ein Gegengewicht zum eher theorieorientierten („Buch“- bzw. „Kreide“-)Unterricht. Beispiele:

- Der Begriff der „Energie“ wird nicht abstrakt physikalisch erarbeitet, sondern anhand seiner Aspekte im Alltagsleben.
- Das Ampere-Oersted Gesetz wird nicht als abstraktes Grundprinzip, (Magnetfelder um Leiter), sondern in seiner Umsetzung beim Elektromagneten präsentiert.
- Bei der Einführung der Begriffe „Geschwindigkeit“ und „Beschleunigung“ greift man nicht auf die Labor-Fahrbahn zurück, sondern orientiert sich am Fahrrad- bzw. Autofahren.

### 5.4.5 Kleinschrittigkeit

Ein komplexer ausführlicher Sachverhalt wird in kleine Teile unterteilt, so dass er von den Schülern in aufeinanderfolgenden Schritten erschlossen werden kann.

(Nicht-)Beispiele:

- Hebelgesetze.
- Grundgrößen der Elektrizitätslehre.

- Erarbeitung der Funktion und Bedienung eines Oszilloskops.
- Man kann nicht die Ausdehnung bei Temperaturerhöhung mit Hilfe des Galilei-Thermometers einführen.

Eng verwandt ist das *Prinzip der Isolation der Schwierigkeiten*.

Historische Wurzeln: Comenius (1592 – 1670) ist geistiger Vater der Idee, dass Unterricht und Erziehung geplant überlegt durch geführt werden kann.

#### 5.4.6 Wissenschaftsorientierung

Leitlinie bei der Gestaltung von Unterricht im Hinblick auf Auswahl und Anordnung von Inhalten und Methodik ihrer Darstellung ist die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit dem Thema.

Die Didaktik — beispielsweise der Mathematik oder Physik — war in den 60er und 70er Jahren stark vom Prinzip der Wissenschaftsorientierung geprägt:

- Mengenlehre als Grundlage der Mathematik, deshalb auch Grundlage des Mathematikunterrichts.
- Grundlegende Denkweisen der Physik (Teilchen, Wechselwirkung, Welle, . . .) wurden bereits in der Grundschule — geeignet elementarisiert — aufgegriffen.

Das Prinzip der Wissenschaftsorientierung wird heute stark negativ assoziiert. Es ist aber klar, dass die Grundlegung und Entwicklung eines Fachs — historisch, gesellschaftlich, inhaltlich — durch den wissenschaftlichen Prozess gegeben ist.

#### 5.4.7 Schülerorientierung

Dieses Prinzip beinhaltet die Auffassung, dass die Schüler und Schülerinnen im Mittelpunkt des Lernprozesses stehen und nicht die Fachinhalte (der Stoff) oder die Methodik ihrer Vermittlung.

#### 5.4.8 Aktualität

Unterrichtsinhalte werden im Kontext eines gegenwärtigen Ereignisses präsentiert.

Man spricht hier — modern — auch vom „here-and-now“-Prinzip.

## 6 Die Planungsebenen im Unterrichtsentwurf

Aspekte zur Unterrichtsplanung:

- Es gibt gewisse Grundmuster von Unterrichtsplanung, die für alle Schulfächer, Schularten und Jahrgangsstufen gleich sind.
- Eine Planungsgrundlage ist für Anfänger zur Erstorientierung sehr hilfreich, Fortgeschrittene greifen für Auseinandersetzung, die kritische Analyse, auf Planungsstrukturen zurück.
- Unterrichtsplanung ist als Hilfestellung gedacht, sie soll kein Selbstzweck werden.
- Auf Dauer wirkt die Planung im Hintergrund. Der Lehrer plant Unterricht zunehmend unbewusst, eine Konzentration auf andere Unterrichtsaspekte (Schüler, Inhalte) wird möglich.

Ein bekanntes Planungsmodell wird von der Berliner Schule um W. Schulz (1969) bereitgestellt. Es umfasst (hier teilweise eigenmächtig abgewandelt) die fünf Ebenen:

- Artikulationsschemata: Zeitliche Unterteilung einer Unterrichtseinheit.
- Unterrichtsverfahren (Methodenkonzeptionen): Diese geben die Grundintention des aktuellen Unterrichtsgeschehens wieder.
- Sozialformen: In welchen Gruppen (Gesamt-, Klein-, ...) tritt die Gemeinschaft der Lernenden auf?
- Handlungs- und Gesprächsformen: Konkrete Einzelformen im Unterricht (Lehrgespräch, Stillarbeit, Unterrichtsgang, ...)
- Organisationsformen (auch: Methodische Großformen): Äußere Organisation des Unterrichts: Fach- oder Klasslehrerprinzip, Projekte, Epochalunterricht, Freiarbeit, Lernzirkel, ...)

## 7 Artikulationsschemata

Dies ist eine zeitliche Unterteilung einer

Unterrichtsstunde, -einheit oder -sequenz

in mehrere

Stufen, Phasen, Schritte oder Stadien.

**Vorteile** Eine solche Unterteilung schafft einen gewissen Überblick, sie erleichtert die kleinschrittige Planung des Unterrichts im Hinblick auf Teillernziele. Zeitvorgaben geben Anhaltspunkte für ein Gelingen bei der konkreten Durchführung. Schemata sind Werkzeuge für eine Analyse des Unterrichtsgeschehens. Sie sind insbesondere für den Neuling oder bei schlechten Rahmenbedingungen (Klassensituation) günstig.

**Nachteile** Spontaneität und Flexibilität werden durch ein (evtl. zu enges und starres) Schema unterdrückt. Inhalte oder Lernvorgänge treten angesichts äußerer Methodik in den Hintergrund.

Insgesamt sind die Schemata als idealtypisch anzusehen und nicht schablonenhaft zu verwenden. In der Realität treten vielfältige Modifikationen auf:

- Unterschiedliche Gewichtung der Stufen.
- Fließender Übergang oder Verschmelzung von Stufen.
- Weglassen oder Mehrmaliges Durchlaufen von Stufen.

Die in den folgenden Beispielen verschiedenen Schemata ähneln einander alle. Es ist eine allgemeine Dramaturgie wie beim Weitsprung (Vorbereiten – Anlaufen – Konzentrieren auf das Wesentliche – Durchführen – Ergebnis fixieren – reflektieren) oder bei einer Schulaufsatz-Erlebniserzählung (Einleitung – Hauptteil – Schluß) zu erkennen.

### 7.1 Herbart: Die Formalstufen

Die Idee, Unterricht oder allgemeiner: das Lernen, auf diese Weise planerisch zu gestalten, geht auf Johann Friedrich Herbart (1776 – 1841, 1806: Allgemeine Pädagogik) zurück. So wird die pädagogische Schule, die diese Gedanken (zum Teil überzeichnet-formalisiert) vertritt, auch die *Schule der Herbartianer* genannt. Ihre wichtigsten Vertreter sind Rhein und Ziller.

#### Idee: Das Atmen des Geistes

##### 1. Vertiefung (Einatmen)

1. **Klarheit** Der einzelne Gegenstand wird klar und in allen Einzelheiten vor Augen geführt.
2. **Assoziation** In freier Gedankenbildung werden alle nur denkbaren geistigen Erkenntnisse aus der Erinnerung in Verbindung zu den bereits vorhandenen Elementen gesetzt.

##### 2. Besinnung (Ausatmen)

3. **System** Die Verbindung des erkannten einzelnen zu den bisherigen Erkenntnissen wird systematisch aufbereitet, eine Einordnung findet statt.
4. **Methode** Die Erkenntnis wird angewandt, wobei sie sich verifiziert.

## 7.2 Heinrich Roth (1963): Die Lernstufen

Die diesem Lernstufenschema zugrundeliegende Idee besteht darin, den Lernvorgang des Schülers psychologisch geeignet zu begleiten. Es gründet sich letztlich auf umfassende empirische Studien zu Lernvorgängen.

Es ist typisch für eine Unterrichtsstunde, in der eine Erkenntnis oder Einsicht gewonnen werden soll, es eignet sich insbesondere also für den naturwissenschaftlichen Unterricht und die Physik. Andererseits ist das Schema sehr allgemein gehalten, so dass es vielfältig anwendbar ist.

1. **Stufe der Motivation** Zum Begriff der Motivation vergleiche weiter unten.

2. **Stufe der Schwierigkeiten**

- Unter Umständen verschränkt mit der Stufe der Motivation.
- Es handelt sich um eine Art Innehalten in Form eines Zwischenstopps nach der Stufe der Motivation. Das Ziel tritt klar vor Augen.
- Der Schüler soll sich am Ende des Einstiegs der Schwierigkeiten, des Problems, bewußt sein. Das zu lösende Problem muß isoliert und klar formuliert werden. Erste Lösungsversuche sollten zurückgestellt werden.
- Das Problem erscheint (evtl. als Thema der Unterrichtsstunde) an der Tafel oder auf der Folie. [BDJ<sup>+</sup>91, S. 207]

3. **Stufe der Lösung**

Sie bildet den eigentlichen inhaltlichen Mittelpunkt der Stunde. Im Physikunterricht wird hier im allgemeinen experimentiert.

Je nach Unterricht kann die konkrete Ausgestaltung unterschiedlich angelegt sein:

- Induktive Erarbeitung eines Gesetzes im Experiment (Hooke'sches Gesetz, ohmsches Gesetz, Gesetz über die Siedetemperaturerniedrigung bei Druckerhöhung) → Elementarisierung.
- Einsicht in einen technischen Funktionszusammenhang (Otto-Motor, Elektromotor, hydraulische Hebebühne, Glasfaserkabel).
- Einführung von Begriffen (Verdunstung, Wärmeleitung) oder Größen (Kraft, Spannung), Einheiten und Meßverfahren.
- Messung einer Konstanten.

4. **Stufe des Tuns und Ausführens**

- Die Halbleiterdiode, der Elektromotor wird tatsächlich eingesetzt.
- Bestätigungsversuch.

5. **Stufe des Behaltens und Einübens**

Psychologische Erkenntnis: Durch Wiederholung kann das Behalten im Gedächtnis wesentlich gefördert werden.

- (Mündliche) Wiederholung (in eigenen Worten)
- Übung, Übungsaufgaben (→ Typisch im Mathematikunterricht).
- Anwendung in Natur, Alltag und Technik (Verdunstung → Schweißbildung, Hydraulische Presse → Autohebebühne, 3. Bewegungsgleichung → Fahrschulformel)
- Variation
- Beispiele zu dem Gesetz, Spezialfälle (Auftrieb → Schweben).
- Eintrag ins (Merk-)Heft.
- Hausaufgabe.
- Schulbuch-Abgleich.

Beispiel: KnoffHoffShow: Nach jeweils einem Thema werden die Inhalte in Kurzsequenzen wiederholt.

## 6. Stufe der Integration, der Übertragung und der Bereitstellung

- Eventuell Nahtstelle mit Anfangsphase der Folgestunde
- Integration (Wagenschein: Herstellung des Systems): Der neu gelernte Inhalt wird in das System der früher gelernten Inhalte auf vielfältige Weise eingefügt (Verknüpfung, Assoziation, Ordnung, ...).
- Übertragung des Inhalts auf neue Sachverhalt (Beachte: Nach W. Jung ist Transfer i.a. nur sehr beschränkt möglich).
- Element der Lernzielkontrolle.

## 7.3 Grob-Phasen gemäß [DHK81]

1. **Motivation** oder Einstiege
2. **Erarbeitung** Problemlösung (beispielsweise im Experiment)
  - (a) Planung des Experiments
  - (b) Durchführung des Experiments
  - (c) Auswertung des Experiments
  - (d) Rückblickende Erörterung des Experiments
  - (e) Allgemeine Erörterung
3. **Vertiefung** Integration, Behalten, Transfer.

## 7.4 H.F. Bauer: Experimentalunterricht

Das Grundschema des entdeckenden Unterrichts wird hier spezialisiert–differenziert im Hinblick auf das Experimentieren umgesetzt.

Ziel des Unterrichts ist nicht Forschung an sich, sondern eine Vertrautheit mit dem Forschen an sich.

1. **Motivation**
2. **Problemherstellung**
3. **Meinungsbildung**
4. **Planen** und Konstruieren
5. **Laborieren** — **Experimentieren**
6. **Schließen**
7. **Abstrahieren**
8. **Wissenssicherung durch Anwendung und Übung**

## 7.5 Kerschensteiner (1914)

Inspiziert durch John Dewey (1910). Die zugrundeliegende Idee besteht darin, das Grundmuster naturwissenschaftlicher Erkenntnis in Unterrichtsabläufe einzupassen.

1. **Problem** Beobachtung, Fragestellung
2. **Hypothese** Vermutung
3. **Experiment** Untersuchung
4. **Verifikation oder Falsifikation** Bestätigung oder Nichtbestätigung.

## 7.6 Plöger (1983): Forschender Physikunterricht

Konkret, anwendungsnahe und auf den Punkt gebracht wird dieses Konzept in [Plö83] beschrieben. Es finden sich dort auch viele Beispiele.

1. **Problemfrage**
2. **Vermutung**
3. **Versuchsplanung**
4. **Experiment**
5. **Auswertung**

## 7.7 Motivation

„motivare“ heißt „In Bewegung versetzen“. In der Psychologie ist der Motivationsbegriff nicht einheitlich definiert.

Berlyne (1974) sieht den kognitiven Konflikt als Kern der (sachbezogenen) Motivation an. Kognitive Konflikte entstehen, wenn sich Wahrnehmungen nicht in den vorhandenen Wissens- oder Erfahrungszusammenhang einbetten lassen, sie folgen dabei einigen Grundmustern:

- **Überraschung** Konflikt zwischen Erwartung und Erfahrung.

Man erwartet aufgrund gefestigter Erfahrung ein anderes Ergebnis als es tatsächlich erfolgt.

Das Auftreten hängt von der vorhandenen Erfahrung (Lebensalter, Jahrgangsstufe) ab.

- Ein Schiff aus Eisen geht nicht unter (Schwerkraft  $\leftrightarrow$  Auftrieb).
- Ein Glas Wasser fließt nicht aus, wenn es mit einer Stück Karton abgedeckt und vorsichtig umgedreht wird (Schwerkraft  $\leftrightarrow$  Adhäsionskräfte).
- Ein Phasenprüfer leuchtet auf, wenn man mit der anderen Hand die Wasserleitung berührt. (Wasserleitung  $\leftrightarrow$  Erdung)
- Huckepackball: Ein kleiner Superball wird auf eine großen gelegt, beide werden in dieser Lage fallen gelassen. Der kleine Ball erreicht nach dem Aufprall ein Vielfaches der Ausgangshöhe (Energiesatz  $\leftrightarrow$  Energieübertragung).
- Wasser in einem dünnen Röhrchen steht höher als in der Umgebung. (Hydrostatisches Grundgesetz  $\leftrightarrow$  Kapillarität)
- Ein Aluminiumring wird vom Pol eines Elektromagneten beim Einschalten abgestoßen (Aluminium ist nicht ferromagnetisch  $\leftrightarrow$  Lorentzkräfte).

- **Zweifel** Konflikt zwischen Glauben und Nichtglauben

Zweifel entsteht bezüglich einer nicht direkt nachprüfbaren Aussage, weil sie Resultat einer Idealisierung oder theoretischen Überlegung ist.

- Ein reibungsfrei beweglicher Wagen fährt gleichförmig weiter, wenn er sich selbst überlassen wird.
- Alle Körper (auch Menschen) ziehen einander an.
- Ein Güterwagen kann mit der Hand gezogen werden.
- Wir bewegen uns mit  $100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$  um die Erdachse und mit  $30 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  um die Sonne.

- **Ungewißheit, Verwirrung** Konflikt zwischen mehrdeutigen oder unvollständigen Erfahrungen.

- Materie kann als Kontinuum oder als körnige Struktur aufgefaßt werden.
- Zieht man am offenen Ende eines Zwirns an einer Nähfadenrolle, so stellt sich die Frage, ob sich die Rolle sich her- oder wegbewegt.
- Auf einen wasserbedeckten Teller wird eine Kerze gestellt und dann ein Glasgefäß übergestülpt. Warum steigt das Wasser auf? (Chemische Effekte  $\leftrightarrow$  Wärmeausdehnungseffekte)
- Historisch: Licht hat Wellen- oder Teilchencharakter.

- **Irrelevanz** Bisherige Informationen sind irrelevant Beispiel: Rutherford Streuversuche.

- **Verunsicherung, Ratlosigkeit**

- Kann man zu einem Regenbogen spazieren?
- Ist ein Lichtstrahl sichtbar?
- Schwimmt Aluminium im Wasser?

- **Staunen, Wundern**

- **Paradoxie, Zwiespalt**

- Das Hydrostatische Paradoxon: Bei gleicher Wasserhöhe ist der Druck am Boden eines Gefäßes unabhängig von Volumen oder Form des Gefäßes.
- Das Aerodynamische Paradoxon: Man bläst durch den Spalt zwischen zwei einander zugewandt gewölbten Kartons. Die Kartons bewegen sich aufeinander zu. (Statischer Druck  $\rightsquigarrow$  Staudruck).
- Das Zwillingsparadoxon der Allgemeinen Relativitätstheorie.
- Historisch: Olbers'sches Paradoxon (1826).

- **Neuigkeitsgehalt, Aktualität**

## 7.8 Einstiege

Dieser Begriff ist weniger anspruchsvoll als der der Motivation. Mit dem Einstieg nimmt der Unterrichtsgang den Anfang eines roten Fadens (des Lernprozesses) auf.

Spielarten von Einstiegen:

- Einstieg über eine Beobachtung in der Natur.
  - Lichtstrahlen im Wald.
  - Regenbogen.
- Einstieg über eine Beobachtung im Haushalt
  - Dampfkochtopf, Kühlschrank, Fernseher, Heizung.
- Einstieg über eine Beobachtung in der Freizeit.
  - Fahrrad, Schwimmen.
- Einstieg über Handwerk und Technik.
  - Metallbau: Schweißen, Korrosion.
  - Elektro: Installation
  - Bau: Kran, Hydraulische Maschinen, Wärmeisolation, ...
- Einstieg über eine (qualitative oder quantitative) Versuchsreihe.
  - Welche Stoffe leiten den el. Strom?
  - Hooke'sches Gesetz.
  - Ohm'sches Gesetz.
- Einstieg über einen Schlüsselbegriff oder -gegenstand.
- Einstieg über ein aktuelles Ereignis
  - Baugenehmigung für Physik-Projekt (Garching),
  - Bau eines Kraftwerks, Überlandleitung,
  - Weltraumfahrt (Marslandung)
  - Astronomie (Finsternisse, Kometen, ...)
- Einstieg über Vergegenwärtigung einer historischen Begebenheit (z.B. wegen Jahrestag einer Entdeckung, Briefmarkenherausgabe, Biographie eines Naturforschers)
  - Oersted-Versuch: Induktion in ruhenden Leitern.
  - Newton'sches Gravitationsgesetz.

- Entdeckung der Radioaktivität: Bequerel.
- Erfindung des ersten Transistors: 23.12.1947.
- Auffindung der Röntgenstrahlung: 7.11.1895.
- Einstieg über ein Ereignis im Jahreslauf (Bleigießen an Silvester, Feuerwerk, Asphaltspiegelungen im Sommer)
- Einstieg über ein persönliches Erlebnis.
- Einstieg über einen Zeitungs- oder Zeitschriftenartikel, Radio- oder Fernsehbericht, Buchlektüre.

## 7.9 Vermutung, Hypothese

Im Sinne Kerschensteiners steht vor der schnellen Beantwortung einer Frage an die Natur durch das Experiment die Aufstellung möglicher Ergebnisse

Beispiele:

- Fadenpendel: Welche Größen sind entscheidend?
- Parallelschaltung. Welcher Gesamtwiderstand ergibt sich, wenn zwei Widerstände parallel geschaltet werden? Vermutungen:
  - Mittelwert  $\frac{R_1+R_2}{2}$ ,
  - $\frac{R_1+R_2}{4}$ ,
  - $R_1 \cdot R_2$ ,
  - $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ .
- Widerstand eines Drahtes. Von welchen Größen hängt er ab?
- Mondphasen:
  - Erdschatten,
  - Halbseitiges Leuchten,
  - Halbseitige Beleuchtung durch die Sonne.
- Ätherhypothese,
- Kontinuumshypothese.
- Museum für Mensch und Natur in München: Der Besucher (Kind) muss erst seine Vermutungen über bestimmte Fragen:
  - Welche der gezeigten Tiere sind Frösche?
  - Welche der gezeigten Tiere haben Knochen?
  - Welche Tiere sind am schnellsten?
 äußern, bevor die Frage aufgelöst wird.

## 8 Unterrichtsverfahren

Synonym werden auch die Begriffe „Methodenkonzept“, „Methodisches Konzept“ oder „Unterrichtsgang“ verwendet. Unterrichtsverfahren beschreiben nicht so sehr den zeitlichen Ablauf, sondern eher den grundlegenden Ductus (Gang) eines Unterrichts. Empirische Untersuchungen zum Erfolg der Unterrichtsverfahren sind schwierig, sie erfolgen an simplifizierten Verfahren.

Es besteht ein grundlegendes Spannungsfeld:

Entdeckender Unterricht	Darbietender Unterricht
Problemlösendes Unterrichtsverfahren	Darstellend-entwickelndes Unterrichtsverfahren
Die Schüler betätigen sich selbst als „Physik-Erkennende“.	Die Schüler lernen (rezipieren) den Lernstoff.
Prozeßziele (Methodische Denken)	Konzeptziele (Wissen, Kenntnisse)
Idealform, aufwändig	Realitätsbedingt, ökonomisch
Weniger Lenkung, intrinsische Motivation	Mehr Lenkung
Eher Schülerversuche	Eher Lehrerversuche
Exponent: J. Bruner (am): Gedanken zu einer Theorie des Unterrichts „Entdeckenden Lernens“.	Exponent: D.J. Ausubel (kan): Psychologie des Unterrichts
Medieneinsatz: Experimente, Materialien aus dem Alltag	Medieneinsatz: Vorausorganisatoren, Arbeitsblätter
Besondere Ausprägungen: Genetischer Unterricht Forschender Unterricht Nacherfindender Unterricht Historisierender Unterricht Modellmethode	Besondere Ausprägungen: Sinnvoll-übernehmender Unterricht Fragend-entwickelnder Unterricht Nachmachender Unterricht Induktiv-deduktives Verfahren Synthetisch-analytisches Verfahren

Langfristig wird ein Physikunterricht von einer Verschränkung und Variation dieser beiden grundlegenden Formen geprägt sein.

### 8.1 Das genetische Unterrichtsverfahren

Begründer und spiritus rector: Martin Wagenschein.

- 1896 Geburt. Studium der Physik und Mathematik, Promotion in Physik.
- ≈1920 Unterricht an staatlichen Gymnasien, Erfahrungen in der „Freien Schulgemeinde Odenwaldschule“ Paul Geheeb's.
- 1945 Schulversuche, Bildungspläne.
- 1951 Tübinger Resolution.
- 1960–65 Ausschuß „Höherer Schule“ des Deutschen Ausschusses.
- 1956 – Honorarprofessor Tübingen, 20 Jahre Seminar.
- 1978 Ehrendoktor TH Darmstadt.
- Ostern 1988 gestorben.

Drei Aspekte des genetischen Unterrichts:

- Individual-genetischer Aspekt: Die Genese der Erkenntnis im Schüler.
- Logisch-genetischer Aspekt: Die allgemeine Genese der Erkenntnis.
- Historisch-genetischer Aspekt: Genese der Erkenntnis in der Entwicklung der Wissenschaft.

Thesenartige Umschreibung der „Botschaft“ Wagenscheins:

- Physikalisches Handeln entfaltet pädagogische Wirkung schlechthin. Physik ist nicht einfach ein Transportgut der Pädagogik.
- Physik braucht Freiraum (von Schulsystem, Lehrplänen, Zeitzwängen, Vollständigkeitsbestreben.
- Der Physikunterricht muß sich auf die Trias
  - Exemplarisch — sokratisch — genetisch
 gründen.
- Exemplarisch: Der Prozeß des Werdens von Physik im Menschen wird anhand von Beispielen erlebt. Ein einzelnes Ergebnis (Erkenntnismethode, Arbeitsform) ist repräsentativ für das System der Gesamtphysik.
- Sokratisch (Sokrates–Dialoge, von Platon überliefert): Der Lernende findet die Lösung selbst, begleitet durch geschickte Fragen und Impulse, keine Mitteilung von Informationen.
- Genetisch:
  - Physik ist ein Prozeß, nicht eine Wissenssammlung:
    - Verstehen (lernen) statt Wissen (lernen) (Genetisch statt Enzyklopädisch)
 (Pestalozzi: Die Schule bringt dem Menschen das Urteil in den Kopf, ehe er die Sache sieht und kennt.)
 

Genetischer Unterricht berücksichtigt das, was die Schüler schon wissen, er verfrüht keine Ergebnisse, sondern zielt auf deren Einwurzelung, ohne die es keine *Formatio* gibt. (Zitat: [DHK81, S. 107 oben]).
- „Rettet die Phänomene“ Die Schüler müssen die Welt erleben, bevor sie sie (analytisch) erklärend durchdringen ([Wag, S. 90,104].
- Die Selbstzweck–Mathematisierung muß zurückgefahren werden.
- Die drei Phasen des e-g-s Unterrichts:
  1. Einstieg: „Wir steigen vom Seltsamen ins Elementare (von der Todesschleife zum Trägheitssatz) hinab.“ [Wag62, S. 205]
  2. Bildung und Überprüfung von Hypothesen,
  3. Vertiefung, Systematisierung (wenig betont in Wagenscheins Beispielen)
- Organisatorisch: Mindestens Doppelstunden, besser Epochalunterricht, Schüler gruppieren sich seminarartig um die Tische.

## 8.2 Forschender Unterricht

### 8.2.1 Georg Kerschensteiner

29.7.1854	Geboren in München, Ausbildung zum Volksschullehrer, später Gymnasiallehrer.
1874 – 1880	Lehrer an Volksschulen und Gymnasien in/bei München, Augsburg, Nürnberg, Schweinfurt, München.
1884	Doktorarbeit in Mathematik
1885 – 1919	Leiter des Volks- und Berufsschulamtes, Stadtschulrat, Überdenken der Organisation des Schulwesens.
1910	Mitinitiator einer Lehrplanreform, die die Bedeutung des naturwissenschaftlichen Unterrichts hervorhebt. (Auslösung des „Münchner Schulstreits“).
1914	„Wesen und Wert des naturwissenschaftlichen Unterrichts“.
1919 – 1928	Universtätsprofessor, theoretische Arbeit, Reisen in die USA, trägt zur Reform des Schulwesens bei.
1926	Hauptwerk „Theorie der Bildung“.
15.1.1932	Gestorben in München.

### 8.2.2 Kerngedanken seines pädagogischen Programms

Kerschensteiners Ideen bedeuten insgesamt eine Antwort auf das im 19. Jahrhundert vorherrschende Humboldt'sche Bildungsideal mit seiner geistig-intellektuellen humanistischen Ausrichtung, das auch die Schullandschaft prägte.

- Betonung auch der Handarbeit: Körperliche Fertigkeiten sind ein Bestandteil der Menschenbildung. → Werkunterricht, Zeichenunterricht, Arbeitsschulbewegung.
- Begründung des naturwissenschaftlichen Unterrichts und seines Bildungswerts. Naturwissenschaften sind integraler Bestandteil der Menschenbildung.
- Betonung der naturwissenschaftlichen Methode der Erkenntnisgewinnung im Unterricht. → Forschender Unterricht, siehe unten.
- Betonung der Berufsbildung: Zur Berufsausbildung gehört eine umgebende allgemeinere Geistesbildung. → Kerschensteiner ist der „Vater der Berufsschule“.
- Soziale Bildung: Ausbildungsziel in der (Berufs-)Schule ist der „Staatsbürger in Verantwortung“ → Sozialkundeunterricht.
- Selbsttätigkeit → Schülerexperimente.
- Anschauung, außerschulische Lernorte!
- Reform des Schulwesens, Umgestaltung der Fortbildungsschulen in Berufsschulen.
- Kritik: Vernachlässigung der geschichtlichen und musischen Bildung.

### 8.2.3 Die Idee des forschenden Unterrichts

Auch: Discovery learning, die historischen Wurzeln: Kerschensteiner, Dewey, Kilpatrick.

- Orientiert an Methoden der Erkenntnisgewinnung in der Physik.
- Abfolge von: Problem – Hypothese – Verifikation/Falsifikation. (Vgl. auch das Stufenschema von H.F. Bauer bzw. Plöger).

### 8.3 Nacherfindender Unterricht

- Die Fragestellung besteht in der Konstruktion eines technischen Gerätes,
- Beispiele: El. Klingel, Elektromagnet, Flaschenzug, Messgerät, Thermometer, Morse-Apparat, optische Geräte, hydraulische Presse, Kaffeemaschine.
- Artikulation:
  1. Es werden Pläne entworfen.
  2. Überdenken der Realisierungsmöglichkeiten.
  3. Tatsächliche Konstruktion
  4. Funktionstest
  5. Verbesserung des Gerätes: Wie kann es einfacher, stabiler, billiger, bedienungsfreundlicher, zuverlässiger, energiesparender, umweltfreundlicher gestaltet werden?
  6. Das Prinzip der Handlungsorientierung wird verwirklicht.
  7. Lernziele bestehen in dem Bewusstsein, dass technische Geräte leichter durchschaubar sind, als man vermutet (vgl. auch BlackBoxPrinzip).
  8. Problem: Schülerbaupläne sind komplex angelegt, sie sind vergleichsweise schwer umsetzbar.

### 8.4 Historisierender Unterricht

Königsbeispiel: Entwicklung der Atommodelle zu Anfang des 20. Jahrhunderts.

### 8.5 Induktiv–deduktives Verfahren

Die Physik heute besteht in einer Verbindung von induktiv–empirischer Erkenntnismethode und deduktiv–mathematischem Schließen.

Beispiel: Deduktiv: Reflexionsgesetz  $\rightarrow$  Spiegelbild. Induktiv: Spiegelbilder  $\rightarrow$  Reflexionsgesetz.

#### 8.5.1 Das induktive Verfahren

inducere (lat.): heraufführen, hineinführen.

**Naturwissenschaftlicher Aspekt** Galileo Galilei (1564 - 1642),

„Vom Speziellen zum Allgemeinen“. Es werden einzelne eindeutig definierte (separierte) Phänomene untersucht, die Einzelergebnisse führen schrittweise mosaikartig zu einer umfassenderen (allgemeingültigen) Aussage.

**Philosophisch–erkenntnistheoretischer Aspekt** Francis Bacon (von Verulam, 22.1.1561 – 9.4.1626), Philosoph, Politiker (Lordkanzler).

- Begründer des englischen Empirismus im zweiten Teil seines Hauptwerks „Novum Organon“ (1620), der die Geisteswelt der mittelalterlichen Scholastik zu überwinden sucht.
- Empirismus: Erkenntnis ist allein durch Erfahrung (Beobachtung der Wirklichkeit) möglich.
- Induktion: Die Gültigkeit allgemeiner Urteile wird durch Induktion (Erfahrung  $\rightarrow$  Allgemeines Urteil) begründet.
- Auf der geistesgeschichtlichen Grundlage des Empirismus gedieh die auch heute noch gültige Methode der naturwissenschaftlichen Erkenntnis (Newton, Boyle).
- Philosophische Erben: John Locke, Thomas Hobbes, später Positivismus.

- Vertreter in der Pädagogik und Naturwissenschaftsdidaktik: Kerschensteiner.

In Bezug auf die Physikdidaktik und Unterrichtspraxis ist hier gemeint, dass von einem oder einigen experimentellen Befunden auf ein allgemeingültiges physikalisches Gesetz geschlossen wird. Man spricht auch von dem *induktiven Schluss*.

Die Idee für die Ausgestaltung des Experiments kann sich auf verschiedene Vorerfahrungen stützen.

- Intuition,
- Analogien,
- Präzisierung einer qualitativen Beobachtung oder eines früheren Experiments,
- eine oder mehrere durch Nachdenken gewonnene Hypothesen.

Beispiel für einen induktiven Schluss:

Ein Kupferrohr dehnt sich bei Erwärmung aus

⇒ Alle Körper dehnen sich bei Erwärmung aus.

Es gibt aber die Anomalie des Wassers, Dichtemaximum bei 4 °C.

Der induktive Schluss ist erkenntnistheoretisch eigentlich nicht zulässig. (Kritik an der induktiven Methode durch Karl Popper).

### 8.5.2 Das deduktive Verfahren

deducere (lat): herabführen.

**Naturwissenschaftlich–mathematischer Aspekt,**

„Vom Allgemeinen zum Speziellen.“ Ausgehend von allgemeinen feststehenden Gesetzen (Axiomen) wird auf Eigenschaften und Gesetzmäßigkeiten von einzelnen Beispielen geschlossen.

Dieses Prinzip ist vor allem in der Mathematik stark verwirklicht. Ausgehend von Axiomen (über bestimmte Zahlbereiche zum Beispiel) werden Sätze über diese Zahlen abgeleitet (deduziert). Konkret bedeutet dies das Beweisen in der Mathematik.

Historisch: Euklid: Seine axiomatische Grundlegung der Geometrie in den „Elementen“.

Heute wird die Mathematik durch Logik und Mengenlehre grundgelegt. Alle anderen Strukturen werden daraus erschlossen.

Beispiele aus der Physik:

- Maxwellgleichungen der Elektrodynamik → Wellenoptik → Geometrische Optik.
- Grundgesetz der Mechanik → Trägheitssatz.
- Der Energieerhaltungssatz als ein grundlegendes Prinzip ermöglicht die Beschreibung und Deutung unterschiedlichster Phänomene der Physik.
- GUT (Grand Unified Theory): Alle vier „Urkräfte“ werden aus einer einzigen „allgemeinen Theorie der Kraft“ gewonnen.

## 8.6 Sinnvoll übernehmender Unterricht

Die lerntheoretische Begründung erfolgte durch David P. Ausubel (1974):

Hier ist ein Unterricht auf der Grundlage eines eher mitteilenden Lehrens und rezeptiven Lernens gemeint, das von einem rein „mechanischen“ Lernen abgegrenzt aufzufassen ist. Die zu erlernenden Konzepte werden „sinnvoll“ zu einem Netz zusammengefügt bzw. in das Netz des Vorwissens eingefügt.

Es handelt sich um einen Konzeption, die auch den eher ökonomischen Erfordernissen der Schulpraxis entgegenkommt.

Methodisches Kennzeichen des sinnvoll übernehmenden Unterrichts sind die *Vorausorganisatoren* (*advance organizer*). Es handelt sich dabei, wie der Name sagt, um die Aufarbeitung des vorhandenen Wissens und seine Bereitstellung in einem Überblick.

Zitat: These organizers are introduced in advance of learning itself, and are also presented at a higher level of abstraction, generality, and inclusiveness; and since the substantive content of a given organizer or series of organizers is selected on the basis of its suitability for explaining, integrating, and interrelating the material they precede, this strategy simultaneously satisfies the substantive as well as the programming criteria for enhancing the organization strength of cognitive structure.

Die Abfolge in einem sinnvoll übernehmender Unterricht kann wie folgt beschrieben werden:

- Einstieg: Advance Organizers
- Erarbeitung: Die Lerninhalte werden dargeboten. Verwandte Inhalte werden zunächst unabhängig dargestellt.
  - Fortschreitende Differenzierung,
  - Festigung,
  - Integrative Aussöhnung.
- Vertiefung.

## 9 Handlungs- oder Aktionsformen

### 9.1 Vortrag

Lerninhalte werden durch Vortrag — monologisch — dargeboten oder mitgeteilt.

Beispiele:

- Lehrervortrag,
- Schülerreferat,
- Reinform: Vorlesung,
- Kongress-Vorträge.

Diese Methode zeichnet sich dadurch aus, dass sie einen schnellen, dichten, ökonomischen Unterricht ermöglicht. Er unterliegt stark der Steuerung und Kontrolle des Vortragenden, Fehlinformationen können von vornherein vermieden werden.

Die Vorbereitung ist festgefügt, sie erfolgt gemäß eines (realen oder virtuellen) Skripts.

Heute: Unter Umständen stark begleitet und geprägt durch Einsatz von AV-Medien. Sie werden zunehmend abgelöst durch Präsentationen mit Laptop und Beamer („Powerpoint“).

### 9.2 Lehrgespräch

impulsgebend — geführt/gelenkt — Frage- und Antwortspiel sokratisch

## 10 Sozialformen

Sozialformen beschreiben das Auftreten der Klasse in sozialen Gruppen. Sie sind zunächst als unabhängig von Unterrichts- oder Organisationsformen zu sehen.

Man unterscheidet die „Arbeit“ ...

- in Großgruppen (B Schulfest)
- im Klassenverband, lehrerzentriert (B Frontalunterricht).
- im Klassenverband, gruppendynamisch (B Sitzkreis, Projekt).
- in Kleingruppen (3 – 6 Kinder). (B Schülerexperimente)
- in Partnerschaft (2 Kinder). (B Hausaufgabenvergleich)
- Einzeln (allein, individualisiert) (B Stillarbeit, Hausaufgabe, Einzelunterricht)

In der Physikdidaktik sind diese Sozialformen interessant im Hinblick auf das Experimentieren, vgl. dort.

### 10.1 Arbeit im Klassenverband

Arbeit im Klassenverband ist

- ist in der Praxis vorherrschend,
- ermöglicht eine umfassende und ökonomische Wissensvermittlung (→ Darbietender Unterricht),
- erfordert einen nicht so großen Planungsaufwand,
- kann leichter gesteuert werden,
- ist bei der Durchführung relativ anstrengend,

Zitat: Comenius (in [Reb, Kap. 19, S. 126/127]).

### 10.2 Arbeit in Kleingruppen

- Die Erreichung sozialer Lernziele (Fähigkeit zu Teamarbeit, Kooperation, Kommunikation, Konfliktlösung) wird unterstützt. (Unter Umständen tritt genau das Gegenteil ein.)
- Viele Unterrichtsprinzipien (Handlungsorientierung, Anschauung, Unmittelbarkeit) lassen sich leichter umsetzen.

Bezüglich der Arbeitsaufträge unterscheidet:

- Parallel identisch (arbeitsgleich) (B Aufbau einer Schaltung), ein Wettbewerbscharakter kann entstehen.
- Parallel abwechselnd (B Arbeitsplatz-Praktikum).
- Parallel ergänzend (arbeitsteilig) (B Experimentalpraktikum hier).
- Frei

Es besteht grundsätzlich das Spannungsfeld zwischen

Eng geführter geplanter disziplinierter und  
Freier von Eigeninitiative getragener Gruppenarbeit

Globale Vorbereitungen (Für das ganze Schuljahr)

- Gruppenbildung: Es besteht die Möglichkeit, ein bestehendes Sozialgefüge etwas aufzuweichen.
  - In leistungsmäßig homogenen Gruppen bleibt nicht alles den Könnern überlassen, schwache Schüler sind gefordert und können sich nicht einfach auf das Zuschauen (Rezeption) beschränken.
  - In leistungsmäßig heterogenen Gruppen können versierte Schüler schwierigere Situationen besser meistern und so ihre Gruppenpartner betreuen oder zumindest mitziehen.
  - Schüler entscheiden frei.
  - Einteilung nach Interesse.
  - Einteilung nach sozialen Gesichtspunkten (vgl. soziale Lernziele).

Besondere Beispiele: Lernzirkel,

### 10.3 Partnerarbeit

Beispiel: Gegenseitige Korrektur oder Hilfestellung bei Übungen.

### 10.4 Einzelarbeit

- Extremform bei der Binnendifferenzierung.
- Beispiele: Programmierter Unterricht, Nachhilfe–Einzelunterricht,
- Beispiele: Stillarbeit, Freiarbeit (nach Anweisungen).
- Evaluation: Lehrer kann sich ein Bild vom individuellen Leistungsstand machen.
- Hausaufgabe.
- Diskussion und Anregung durch Partner fehlen.
- Individuelle Neigungen und Leistungsvermögen können viel leichter berücksichtigt werden.

## 11 Organisationsformen

In [DHK81, S. 97] tritt der Begriff „Methodenkonzeptionen“ auf. In [BDJ+91] sind mit Organisationsformen die Sozialformen gemeint.

Hochsprungbild: Ein Hochsprung wird in verschiedenen Rahmen (Spielplatz, Training, Sportfest, Wettkampf) durchgeführt.

### 11.1 Klass- und Fachlehrerprinzip

- **Klasslehrerprinzip:** Eine Klasse hat einen Lehrer, der sie im wesentlichen in allen Fächern unterrichtet. Vorteile:
  - Es werden soziale Lernziele betont. Es kann sich leichter auch eine emotionale persönliche Beziehung bilden.
  - Die Schulorganisation wird einfacher: Stundenplan, inhaltliche Abstimmung, Leistungserhebung, Hausaufgaben, Termine, Zeugnisse.
  - Der Unterricht kann zeitlich flexibler gestaltet werden.
  - Es können leichter alternative Organisationsformen des Unterrichts (Projekte, fächerübergreifender Unterricht, Freiarbeit, außerschulische Lernorte...) durchgeführt werden.
  - Die Verantwortung hinsichtlich Leistungsbewertung, Schullaufbahn liegt bei einer Person.
  - Die Begleitung und Beratung des Schülers und der Eltern geschieht durch eine Person.
- **Fachlehrerprinzip:** Eine Klasse wird in verschiedenen Fächern von verschiedenen Lehrern unterrichtet. Organisatorische Aufgaben übernimmt der Klassenleiter. Vorteile:
  - Es wird die fachliche Kompetenz betont.
  - Hinsichtlich Leistungsbewertung und Schullaufbahn liegt die Verantwortung bei einer Gruppe von Lehrern (Team).
  - Die Auswirkungen einer „schwierigen Lehrerpersönlichkeit“ sind nicht so drastisch.
- **Mischformen:** Zwei Lehrer (Sprachlich-gesellschaftswissenschaftlicher und naturwissenschaftlich-technischer Bereich) unterrichten zwei Klassen. Dies ist beispielsweise in Waldorfschulen (vgl. Prospekt) verwirklicht.

### 11.2 Zeitstruktur des Unterrichts

- Der Einzelfachunterricht erfolgt im klassischen 45-Minuten-Takt, dies stellt eine starke Einengung im Hinblick auf freiere Unterrichtsgestaltung dar.
- Im Blockunterricht wird ein einzelnes Fach über einen längeren Zeitraum massiv unterrichtet.
- Im Epochalunterricht (teilweise beispielsweise in Waldorfschulen) werden einzelne Fächer über einen längeren Zeitraum unterrichtet und dann eine Zeit lang gar nicht.
  - Dies setzt nicht notwendig ein Klasslehrerprinzip voraus.
  - So wird eine Konzentration auf das Fach, ein tieferes Eindringen in eine bestimmte Thematik ermöglicht.
  - Es kann organisatorisch variiert werden (Projekte, außerschulische Lernorte).
  - Das unnatürliche Stundenkorsett weicht einer flexiblen Unterrichtsgestaltung.
  - Unter Umständen tritt eine gewisse Eintönigkeit auf.
- **Freiarbeit:**
  - Sie gesteht den Schülern Eigeninitiative und Eigenverantwortung zu,

- Es soll ein festes „Auftrags-Pensum“ erfüllt werden.
- Sie wird verwirklicht durch Wahlangebote (Materialtische, Lerntheken), die außerhalb oder neben dem regulären Unterricht wahrgenommen werden.
- Der Lehrer tritt als Anbieter, Organisator und Berater auf.
- Kurs:
  - Ein abgegrenztes Sachgebiet wird systematisch behandelt. Die Auswahl der Lerninhalte ist im allgemeinen an einer Fachsystematik orientiert. (Steil- oder Crashkurs).
  - Es werden eher kognitive als soziale Lernziele betont.
  - Vorwiegende Aktionsform ist der Frontalunterricht.
  - In Kurssystemen werden Wahlentscheidungen möglich (Vgl. Kollegstufe der Gymnasien).
  - Beispiele: Erste-Hilfe-Kurs, Fahrschule, Wickelkurs,...

### 11.3 Außerschulische Lernorte

Exkursionen, beispielsweise im Rahmen von Wandertagen, Projekttagen oder -wochen.

Beispiele:

- Museen (Deutsches Museum), Ausstellungen.
- Technische Betriebe (Kraftwerke, Betriebe der Stromversorgung).
- Forschungseinrichtungen (Garching).

## 11.4 Projekt — projektorientierter Unterricht

Wortbedeutung lat: Der Begriff geht auf das lateinische Verb „proicere“ zurück. Die deutsche Bedeutung ist wesentlich „vorwerfen“ oder „hinausragen“, erst im übertragenen Sinne „entwerfen“.

Historischer Abriss

- John Dewey (1859 – 1952), Schlagwortartiger Umriss seines Denkens und seiner Wirkung:
  - John Dewey ist ein Vertreter des amerikanischen Pragmatismus: Der Wert einer Wahrheit, einer Erkenntnis der Welt, ist im Ziel, das mit ihr erreicht werden soll, begründet.
  - Erfahrungsorientiertheit:
    - Ein Gramm Erfahrung ist besser als eine Tonne Theorie, einfach deswegen, weil jede Theorie nur in der Erfahrung lebendige und der Nachprüfung zugängliche Bedeutung hat.
  - Handlungstheoretischer Ansatz: „Learning by doing“.
  - Er ist Begründer einer an der Universität von Chicago angegliederten Laborschule: Umsetzung der pädagogischen Theorien in die Praxis.
  - Er bahnte dem Arbeitsunterricht in USA den Weg (In D: Kerschensteiner).
  - William H. Kilpatrick ist der herausragendste Vertreter in der Folgezeit, er konkretisiert Deweys Ideen weiter und rückt dabei die Lern- und Schulpraxis in der Vordergrund. Von ihm stammt auch das Projekt–Ablaufschema (siehe unten), das zu einer leichteren Handhabbarkeit, aber auch zu einer Art Formal–Verselbstständigung der Projektidee beitrug.
- Rezeption in Deutschland:
  - Reformbewegung der 20er Jahre.
  - Amerikanischer Einfluss in den 50er Jahren. Projektorientierung ist gekoppelt an demokratische Entwicklung und Erziehung.
  - In den 60er/70er Jahren wird die Projektidee zum Bestandteil der politischen aufbrechenden Studentenbewegung. Die gesellschaftlich–politische Relevanz wird zum Charakteristikum der Projektidee.
- Heute: Wieder starker Bestandteil der pädagogischen Diskussion im Zuge einer „Alltagswende“, einer tendenziellen Abwendung von einer vermeintlich zu stark wissenschafts- und theoriebezogenen Auffassung über Unterricht und Erziehung. Ein Hauptvertreter ist Herbert Gudjons, er kritisiert die faktische Herabwürdigung der Projektidee zum „Schul–Event“.

### 11.4.1 Merkmale eines Projekts

Es liegt insgesamt der Gedanke des „Umfassenden“ und der „Integration“ zugrunde.

- Es geht um eine umfassende und echte Aufgabe.
- Das Projekt findet über einen längeren Zeitraum statt. (Für ein klasseninternes Projekt ist also der Epochalunterricht günstig.) Gegenwärtig werden Projekte innerhalb von Projektwochen oder -tagen verwirklicht.
- Das Projekt findet in einem fachübergreifenden (interdisziplinären) Rahmen statt.
- Es ist bezogen auf die Bedürfnisse, die aktuelle Situation, die Lebenswelt, die Interessen der Schüler.
- Schüler sind stark — in allen Phasen — beteiligt. Im Idealfall wird ein Projekt von den Schülern initiiert, geplant und ausgeführt. Der Lehrer tritt begleitend–beratend auf.
- Schüler und Lehrer artikulieren ihr gemeinsames Interesse.

Dass Schüler und Lehrer an ungelösten Problemen gemeinsam arbeiten, ist offenbar die erzieherischste aller Bemühungen der Schule (W.H. Kilpatrick).

- Soziale Lernziele sind stark betont (Gruppenprozesse).
- Gesellschaftlich–politische Relevanz.
- Produkt- (oder Handlungs–)orientierung (B: Erstellung einer Homepage).
- Ganzheitlicher Ansatz (Alle Sinnesorgane, alle Ebenen des menschlichen Agierens: affektiv, enaktiv, kognitiv — Herz, Hand und Kopf).
- Herstellung von Öffentlichkeit.

#### 11.4.2 Zeitliche Phasung eines Projekts

Von W. Kilpatrick stammt die klassische Phasung in

Purposing — Planning — Executing — Judging.

Es gibt die unterschiedlichsten konkreteren Ausformungen, als Beispiel sei aufgeführt:

1. Inititative (mit Skizze).
2. Planung: Schriftliche Fixierung, Arbeitsteilung, Verantwortung, (Finanzierung).
3. Organisation, Logistik: Raum, Zeit, Materialien, Absprachen.
4. Durchführung (mit Darbietung des Produkts).
5. Reflexion, Nacharbeit.

Persönliches Projekt, Kleingruppenprojekt, Klasseninternes Projekt, Schulprojekt.

#### 11.4.3 Grenzen und Probleme bei der Umsetzung

- Traditionelles Verständnis von Unterricht und Erziehung bei Lehrern, Schülern, Administration, politischer Gestaltung. Humboldt'sches Bildungsideal, Bedeutung von abstrakter Theorie in den Wissenschaften.
- Fehlende institutionelle Voraussetzungen: Unterrichtliche Schemata.
- Fehlende logistische Voraussetzungen: Sachen, Finanzen, Räume.
- Fehlende Zeit der Schüler, der Lehrer, in Stundenplänen.

#### 11.4.4 Abmilderung: Der projektorientierte Unterricht

G. Otto, 1974: Angesichts der schwierigen Rahmenbedingungen ist der Idealtyp eines Projekts kaum zu verwirklichen. Projekte werden mehr oder weniger fachspezifisch in den fachorientierten Schulunterricht eingebunden. Der Lehrer hat eine stärker prägende Rolle inne.

#### 11.4.5 Mögliche physikalisch orientierte Projektthemen

- Fahrrad, Mofa, Motorrad, Auto (Der Pauker).
- (Papier-)Flugzeuge, Weltraumfahrt.
- Dampfboot, Dampfmaschine.
- Bus, Bahn, Strassenbahn, U-Bahn.
- Elektronik-Spielzeug: Elektronischer Würfel, MorseApparat.
- Diskothek: Lichtorgel, Stroboskop, Lautsprecher.
- GameBoy, Computer.
- Physikalischer Spielzeug: Reibstock, Reibspecht, keltischer Wackelstein.
- Darda-Autos.
- Optik: Zauberspiegel.
- Energie: Krafwerke, Energieversorgung, Energiesparen.
- Solartechnik: Bau eines Sonnenspiegels, Solarzellen, . . .
- Sport: Bumerang, Skifahren, Schwimmen, Skateboard, Würfe.
- Astronomie: Bau eines Fernrohrs, Beobachtung von Planeten, Sternen, Finsternissen.
- Musik: Klänge, Musikinstrumente.
- Wetter:
- Umwelt: Wasserschutz, Lärmschutz (Öl-Recycling).
- Schulleben: Cafe, Sauberes Schulhaus, Schulhof, Klassenzimmer.
- Schulzeitung, . . .

### 11.4.6 Beispiel: Projekt Fahrrad

Mögliche inhaltliche Ideen für die Umsetzung des Projekts:

- Bewegung: Geschwindigkeit, Beschleunigung, Bremsweg. Tachometer (Kreiszahl  $\pi$ ).
- Reibung, Bremsen (Felgen-, Trommelbremse), Erwärmung beim Bremsen.
- El. Strom, Stromkreis, Leitfähigkeit (Kontakt, Rost), Batterien, Dynamo, Glühbirne, LED.
- Kraftwandlung: Hebelgesetz, Übersetzung bei: Gangschaltung(stypen), Bremsen (Felgen, Trommel).
- Drehimpuls: Warum fällt ein Fahrrad beim Fahren nicht um?
- Pflege, Wartung: Werkzeuge (Gegenkraft), Kontermutter, Bedienung, Ölen-Schmierem, Reifen-Flicken, Rost.
- Beleuchtung: Birnchen, Fassung, Katzenauge (Tripelspiegel), Rückspiegel.
- Fahrradbau: Werkstoffe (stabil – leicht), Kette, Speichen, Kugellager,
- Federn an Mountainbike, Sattel, Kettenschaltung.
- Physikalische Größen (Sachrechnen): Gewicht, Längen, Geschwindigkeit.
- Fahrradfahren zur Schule, in der Stadt, über Land ( $\rightarrow$  Geographie): Route, Fahrtzeit, Entfernungen, Steigungen, Fahrradwege.
- Gesundheit ( $\rightarrow$  Sport), Kraft, Ausdauer, Geschicklichkeit (Hochrad), Doping.
- Sicherheit ( $\rightarrow$  Verkehrserziehung): Tragen eines Helmes, Freihändig fahren, gleichmäßige Beladung, Bewegungsfreiheit, Fairness.

Mögliche methodische Ideen für die Umsetzung des Projekts

- Fahrradtag.
- Wettbewerbe (Geschicklichkeit, Wissen, Verkehrssicherheit).
- Reparaturdienst.
- Besichtigung einer Fahrradwerkstatt.
- Auswerten von Unfallstatistiken, Testberichten, Sportberichten (Tour de France).
- Fahrt (Wandertag, zum Schullandheim).

## 11.5 Lernen an Stationen

*Lernen an Stationen* (syn: Stationenlernen, Lernparcour) beschreibt den organisatorischen Rahmen für das Lernen einer Gruppe. Das wesentliche Element sind *Stationen*: Inhaltlich und räumlich abgetrennte (Lern-)Einheiten, die von den Lernenden besucht und dabei bearbeitet werden.

Die Idee geht auf das Zirkeltraining (circuit training) innerhalb des Sportunterrichts zurück. In der gegenwärtigen Diskussion um Veränderung der Unterrichtskultur wird das Stationenlernen in das Umfeld des „Offenen Unterrichts“ eingeordnet.

Deshalb sind auch allgemeinere Prinzipien und Zielsetzungen aus dem Offenen Unterricht mit dem Stationenlernen verbunden:

- Selbstständigkeit,
- Eigenorganisation und -reflexion des Lernprozesses, „das Lernen lernen“,
- Soziale Lernziele: Kommunikation, Teamfähigkeit, Kooperationsbereitschaft, Gruppendynamik,
- Lernen mit allen Sinnen: Optische, akustische, taktile, motorische Auseinandersetzung mit den Inhalten,
- Lernen in allen menschlichen Dimensionen: Lernen mit Kopf, Herz und Hand,
- Affektive Ziele: Freude am Lernen, Spielerische Auseinandersetzung,
- Handlungsorientierung: Handwerkliche Fertigkeiten, „learning by doing“,
- Fachübergreifende Ansätze.

Wesentlich ist eine gute, genaue und umfassende Planung und Organisation des Stationenlernens hinsichtlich organisatorischem Rahmen, inhaltlicher Gestaltung, methodischer Vielfalt.

Bei der Durchführung ergibt sich für den Lehrer die Möglichkeit, ...

- individuelle Probleme oder (kollektive) Fehlermuster zu erkennen, Lernerfolge festzustellen,
- Lernerfolge festzustellen, evtl. zu kontrollieren,
- individuelle Beratung oder Förderung anzubieten.

Eine Aufarbeitung im Nachhinein eröffnet eine Wiederholung und Verbesserung des Stationenlernens.

Die äußere Organisation des Stationenlernens weist vielfältige Variationsmöglichkeiten auf:

- Der Besuch der Stationen erfolgt
  - einzeln,
  - paarweise,
  - in (kleineren) Gruppen.
- Die räumliche Anordnung ist unter Umständen nicht realisiert, sie legt also evtl. nur den zeitlichen Ablauf nahe.
  - *Lernzirkel* (zyklische Anordnung der Stationen,
  - Lernstraße: Lineare Anordnung der Stationen,
  - Doppelzirkel: Anordnung in zwei (konzentrischen) Kreisen, Fundamentum und Additum,
  - Lernspirale.

Die Stationen sollten Kennzeichen (durch Namen, Nummern oder Buchstaben) haben, die diese Anordnung widerspiegeln.

- Man kann Stationen einrichten, die in Bezug auf verschiedene Kategorien er den äußeren Ablauf verschiedene Funktionen erfüllen:
  - in Bezug auf den Lernprozess:
    - \* Selbstständiges Erarbeiten,
    - \* Übung,
    - \* Wiederholen,
    - \* Vertiefung.
  - Äußerer Ablauf:
    - \* Kernstation: Sie gehört zum „Kern“ des Stationenlernens.
    - \* Rückzugsstation: Beispielsweise der eigene Platz des Schülers.
    - \* Parallelstationen: Aus organisatorischen Gründen enthalten einige Stationen gleiche Inhalte oder Aufträge.
    - \* Pufferstation: Da die Verweildauer bei verschiedener Stationen i.a. unterschiedlich ist, ist ein Ausweichen möglich.
    - \* Pflicht- oder Wahlstation.
  - Medieneinsatz:
    - \* Arbeitsblätter,
    - \* AV-Medien aller Art,
    - \* Computer-Einsatz,
    - \* Begegnung mit dem Lerngegenstand: Betrachtung, Experimente,
    - \* Für Übung: Lernkarteien, Vielfältige Spielformen, evtl. mit (leichtem) Wettbewerbscharakter.

- Die Stationenauswahl oder -abfolge ist ...
  - (durch Aufträge) geplant und vorgegeben, evtl. kontrolliert,
  - unterliegt äußeren Bedingungen oder einer geeigneten Lernabfolge,
  - ist frei wählbar (→ Freiarbeit),
  - kann Erfordernissen der Differenzierung (hinsichtlich Niveau oder Neigung) folgen.

Der Wechsel erfolgt frei oder nach Aufforderung — beispielsweise durch einen Gongschlag.

- Konkrete Durchführung in mehreren Phasen:
  - Im Gespräch wird das Thema eingeführt.
  - Vorstellung der Stationen: Evtl. Rundgang oder Erläuterung anhand eines Ablaufplans (für die Schülerhand: Laufzettel).
  - Eigentliches Lernen an den Stationen.
  - Abschlussgespräch im Plenum.

## 11.6 Fachübergreifender Unterricht

### 11.6.1 Begriffe — Alternativen

Fach- oder fächerübergreifender Unterricht wird auch synonym oder ähnlich als fachintegrierender, fachverbindender oder interdisziplinärer Unterricht bezeichnet.

Speziell im naturwissenschaftlichen Bereich spricht man auch vom integrierten naturwissenschaftlichen Unterricht.

Je nach Intensität des Anspruchs von Integration unterscheidet man fachübergreifenden Unterricht, der organisiert ist

- vom Einzelfach her: Hier wird verstärkt auf Querverbindungen zu Nachbar-, Anwendungs- oder Spezialdisziplinen eingegangen. Unter Umständen geschieht eine Abstimmung bzgl. der parallel unterrichteten Fächer. Organisatorisch geschieht dies beispielsweise durch Querverweise im Lehrplan.
- im Fächerverbund: Momentan beispielsweise in Bayern: PCB bzw. GSE.
- als eigenständige Institution: Beispielsweise als „grundlegender (naturwissenschaftlicher bzw. ) gesellschaftswissenschaftlicher bzw. musischer Unterricht“ oder unter eigenem Leitthema (Kybernetik, ITG, Projektthema, . . .).

### 11.6.2 Wissenschaftstheoretische Aspekte

- Der der heutigen westlichen Kultur innewohnenden Polarität zwischen einer musisch-geisteswissenschaftlich-humanistischen Ausrichtung und einer technisch-naturwissenschaftlich-rationalen Ausrichtung (C.P. Snow) wird entgegengearbeitet.
- Die stark vernetzten und komplexen Probleme der heutigen Zeit können nur durch ganzheitlich-übergreifende Denkansätze in geeigneter Weise angegangen werden.
- Eine Vergleichsschau der eigenen Fachdisziplin mit anderen Fachdisziplinen ermöglicht ein Aufspüren von Wechselwirkungen, Analogien, gemeinsamen Lösungen, neuen Denkansätzen, . . .
- Naturwissenschaftliche Inhalte werden als „genuin die Natur beschreibend“ empfunden, wenn sie nicht als durch ein Teilgebiet allein definiert erfahren werden.

### 11.6.3 Unterrichtsprinzipien

Fachübergreifender Unterricht versucht, Inhalte von einem Sachthema oder Themenbereich her aufzugreifen, er ist nicht so sehr an dem Fachkanon eines Faches orientiert.

Aus der Themenorientierung ergibt sich die Betonung einer ganzen Reihe von aktuell eingeforderten Unterrichtsprinzipien:

- Lebensnähe, Alltagsnähe, Heimatnähe (vgl. auch HS-Unterricht der Grundschule): Er trägt stärker den emotionalen, lebenspraktischen Bedürfnissen von Schülern Rechnung.
- Aktualität.
- Ganzheitlicher (auch: interdisziplinärer) Ansatz : Es wird aus dieser Sicht ein „Lernen am Gegenstand bzw. am Sachthema“ unterstützt. Prinzipien wie Veranschaulichung, handelnder Unterricht, Produktorientierung werden unterstützt.
- Das Prinzip einer Wissenschaftsorientierung und der Anspruch an wissenschaftlicher Systematik, Vollständigkeit (eines Fachkanons) oder Analytik tritt in den Hintergrund.

Viele dieser Gesichtspunkte sind auch im projektorientierten Unterricht aktuell.

#### 11.6.4 Lerntheoretische Aspekte

- Ein Lernen im System (durch Vernetzung, Analogiebildung, Herstellung von Assoziationen, Hierarchien, Ordnungsstrukturen) ist effektiver.
- Ein Verstehen von Inhalten als Voraussetzung für das Lernen ist unter Umständen nur in einer Gesamtschau möglich.
- Eine Erarbeitung von Inhalten unter verschiedenen Blickwinkeln, durch verschiedene Quellen, vermittelt durch verschiedene Personen fördert eine Vernetzung dieser Inhalte.

#### 11.6.5 Organisatorische Aspekte

- Schulorganisation
- Stärkere Betonung des Klasselehrerprinzips anstelle des Fachlehrerprinzips.
- Stundenplan: Eine stärkere Flexibilität wird ermöglicht, epochale Phasen können besser eingebracht werden.
- Aus- und Weiterbildung der Lehrer. Neigungen oder Abneigungen der Lehrer.
- Aktuell in Bayern: Der PCB-Unterricht ist eher eine Addition als eine integrierende Vernetzung früherer Inhalte (→ Kürzungen).

#### 11.6.6 Grundhaltung der Physik und Physikdidaktik

Eher verhalten aus Sorge um die Wichtigkeit der Physik. FÜU wird als Chance begriffen, aufbauend auf dem Fachunterricht zusätzlich den obigen Vorteilaspekten zu genügen.

Das Thema FÜU wird in der Physikdidaktik eher von konkreten Themen her angegangen als von einer Gesamtsicht.

Vier Thesen zum fächerübergreifenden Unterricht (formuliert von Horst Lochhaas, MNU 49/8 (1996).

1. Fächerverbindende Ziele und Arbeitsformen setzen als Referenzsystem das Fach voraus.
2. Der Erwerb fundamentaler naturwissenschaftlicher Zusammenhänge und Denkweisen im Fachunterricht hat Vorrang gegenüber einem fächerübergreifenden Unterricht um jeden Preis.
3. Fächerverbindender Unterricht darf methodisch nicht einengen.
4. Fächerverbindender Unterricht ist zeitlich und fachlich möglich.

#### 11.6.7 Mögliche Leitmotive

Mögliche Leitmotive eines fächerübergreifenden Unterrichts

- Philosophische Aspekte.
- Historische Entwicklungen.
- Gesellschaftliche Relevanz.
- Konkreter Bezug von Physik zu einem anderen ausgewählten (Schul-)Fach: Physik und XYZ. (Mathematik, Chemie, Biologie, Arbeitslehre, Technik, Wirtschaft, Informatik, Religion, Geographie, Geschichte, Sport, Musik, Kunst, Deutsch, Sprachen, Psychologie)
- Physik, angewandt in anderen Wissenschaftsdisziplinen: Astronomie, Geologie, Archäologie, Paläontologie.
- Physik und Lebensbereiche: Verkehr, Hausbau (Bauphysik), Handwerk, Industrie, Haushalt, Freizeit.
- Analogien, Symmetrien.
- Experimentieren.

### 11.6.8 Mögliche Themenbereiche

- Der Mensch.
  - Wahrnehmung: Sehen, Hören, Sinnesorgane.
  - Bewegung.
  - Medizinische Aspekte: Blutkreislauf, Nervensystem.
  
- Wetter und Klima.
- Umwelt und Ökologie, Zukunft der Welt.
- Energie und Ressourcen.
- Das Wasser.
  
- Das Fliegen.
- Fahrzeuge (Fahrrad, Moped, Auto,...)
- Medizintechnik.

## 12 Experimentieren im Physikunterricht

### 12.1 Das Experiment als physikalisch–erkenntnistheoretische Methode

Die Physik beschreibt

- in exakter Sprache (Logik, Mathematik, Fachterminologie)
- die Phänomene, die „unsere Welt“ (Kosmos, Natur, Alltag, Technik) grundlegend prägen.

Die Beschreibung ist nicht einfach enzyklopädisch–dokumentierend, es wird vielmehr ein Gesamtsystem hergestellt, in dem

- Ordnungsstrukturen und Hierarchien,
- Analogien und Modellvorstellungen,
- Ursachen und Wirkungen (Kausalität),
- Idealisierungen und Anwendungen

aufgezeigt werden.

Diese Phänomene nehmen Menschen mittels der Sinnesorgane wahr

- zum Teil unmittelbar,
- zum Teil durch bewusste gezielte Herstellung von bestimmten Rahmenbedingungen im Experiment.

Der Erkenntnisgewinn der Physik vollzieht sich dabei in einem Wechselspiel von

- Experimentalphysik: Sie hat die Aufgabe, auf empirisch–induktivem Wege ausgehend von den Phänomenen Gesetzmäßigkeiten zu erschließen und
- Theoretischer Physik: Hier werden auf logisch–deduktivem Wege die Gesetzmäßigkeiten auf ihre Geschlossenheit hin überprüft, zusammengeführt und Folgerungen (für die Wirklichkeit) gezogen.

Die Physik ist also eine exakte empirische Naturwissenschaft. Das Experimentieren ist unmittelbarer Bestandteil ihres Wesens.

#### 12.1.1 Kennzeichen von Experimenten

Experimente müssen bei Durchführung

- zu anderen Zeiten (Wiederholung)
- an anderen Orten, bei anderen Ausrichtungen,
- bei Benutzung anderer Materialien, Geräte,
- unter der Regie anderer Experimentatoren

zu identischen Ergebnissen führen (, wenn nicht diese Parameter unmittelbare Bestandteile der Experimentieranordnung sind).

**Experimentieren im Unterricht eröffnet also zunächst die Einsicht in eine grundlegende Arbeitsweise der Physik und damit der Naturwissenschaften überhaupt.**

## 12.2 Das Experiment als unterrichtlich–lerntheoretische Methode

Unabhängig von der erkenntnistheoretischen Funktion dient das Experimentieren im Physikunterricht — je nach konkreter Umsetzung — einer ganzen Reihe von übergeordneten Lernzielen:

- Schulung der Sinnesorgane (Beobachten,...)
- Artikulation der Beobachtungsergebnisse (Protokollierung, Sprachliche Beschreibung),
- Kognitive Entwicklung (Kausales Denken, Abstraktionsfähigkeit, Objektivität,...)
- Ausdauer, Geduld, Sorgfalt,
- Handwerklich–technische Kenntnisse (Werkstoffe, Geräte, Sicherheitsvorkehrungen,...)
- Handwerklich–technische (Finger–)Fertigkeiten (Schrauben, Löten, Regeln,...)
- Soziale Entwicklung (besonders bei Gruppenexperimenten).
- Affektive Dimension: Interesse, Abbau von Ängsten, Aha– oder Erfolgserlebnisse.

oder Unterrichtsprinzipien

- Handlungsorientierung, Selbsttätigkeit (Schüleraktivität).
- Unmittelbarkeit „Mit den eigenen Augen sehen!“
- Anschauung: Alle Sinne werden angesprochen.
- Alltagsnähe
- Wissenschaftsorientierung

## 12.3 Klassifikation von Unterrichtsexperimenten

Experimente (synonym: Versuche) im Unterricht können klassifiziert werden hinsichtlich verschiedenster Kategorien.

### 12.3.1 Erkenntnistheoretische Funktion

- Erarbeitungsexperiment: Induktiv (Phänomen  $\rightarrow$  Gesetz)
- Bestätigungsexperiment: Deduktive Methode (Gesetz  $\rightarrow$  Phänomen)
- Gedankenexperiment: Ist das Gesetz in sich schlüssig?
- Messung einer Natur–, Material– oder Gerätekonstante.
- Modellexperiment: Um einen experimentell nicht oder nur schwer zugänglichen Sachverhalt besser verstehen zu können, wird das Experiment an einem Modell durchgeführt: Bsp.: Maxwell’sche Geschwindigkeitsverteilung.
- Simulationsexperiment: (Die Wirklichkeit wird vorgetäuscht, im Mittelpunkt stehen die Beobachtung und Auswertung).
- Historisches Experiment.
- Spielexperiment: Leistung meines Körpers beim Treppensteigen. Astronomie–Modellspiele, Der Schwerpunkt beim Hochsprung,...

### 12.3.2 Zeitliche Einordnung in einer Unterrichtseinheit

- Motivation oder Einstieg: Weckung eines kognitiven Konflikts (s.o.) oder Show-Effekt.
- Problemstellung: Ein Experiment wirft ein Problem auf.
- Lösung: Erarbeitung (einer Gesetzmäßigkeit), Klassische Funktion des Experiments.
- Wiederholung, Festigung: Das Experiment wird wiederholt.
- Übertragung, Integration: Das Experiment wird — unter veränderten Bedingungen bzw. Fragestellungen durchgeführt.
- Übung:

### 12.3.3 Intensität und Art der Auswertung

- Alternativ oder Qualitativ oder Quantitativ (Vgl. Elementarisierung).
- Meßreihe, Diagramm, .
- Anzeige, analog-digital, Computererfassung und Weiterverarbeitung.

### 12.3.4 Art der Repräsentation

- Reine Beobachtung eines Phänomens.
- (Frei-)Handversuch.
- Durchsichtige/Einsichtige Anordnung.
- Hoher Geräteaufwand (Begriff der BlackBox).
- Computereinsatz.

### 12.3.5 Experimentierort

Physiksaal — Klassenzimmer — Pausenhof — Sporthalle — Schüler-Zuhause — Natur/Umwelt (Wandertag, Klassenfahrt).

### 12.3.6 Experimentator

- Lehrer-Demonstrationsexperiment: Die Gründe dafür sind vor allem pragmatischer Natur:
  - Mangelnde Sicherheit für die Schüler oder die Geräte
  - Spontaneität (Überraschung) beispielsweise bei Freihandversuch oder innerhalb der Motivationsphase.
  - Einheitliche Darbietung für alle Schüler (z.B. vor Leistungserhebung),
  - Didaktisch oder fachlich versierte Darbietung durch den „Experten“
  - Schülerüberforderung hinsichtlich Kenntnissen, Eingewöhnung, Komplexität, Fertigkeiten
  - Zeitknappheit (← Lehrplan)
  - Zu geringe Geräte- bzw. Arbeitsplatzausstattung
  - Disziplinprobleme

Lehrerdemonstrationsexperimente sind Bestandteil des eher darbietenden Unterrichts.

- Schüler-Demonstrationsexperiment Z.B. im Rahmen eines Schülerreferats.

- Schüler–Einzelexperiment: Schwierig ist die (ungelernte) spontane Beherrschung simultaner Arbeitsabläufe (Einstellen, in Gang setzen, ablesen,...),
- Schüler–Gemeinschaftsexperiment: Mischform, beispielsweise im Schülerkreis, Projektunterricht, soziale Erfahrungen (Lehrer und Schüler handeln gemeinsam).
- Schüler–Gruppenexperiment: Siehe unten!
- Dritte (Im Film, Besichtigung,...).

### 12.3.7 Schülerexperimente in Gruppenarbeit

Vergleiche auch dazu die Überlegungen zum Begriff der Gruppenarbeit als Sozialform.

- Gruppengröße: 2 – 6 Personen, mit oder ohne Lehrer.
- Rahmen: Einfache Experimente, evtl. Freihandexperimente, einfaches sicheres Gerät und Material.
- Arbeitsauftrag:
  - Parallel identisch (arbeitsgleich). Es können beispielsweise Mittelwerte gebildet werden. Der Lehrer kann gut steuern, beispielsweise bei typischen Fehlern.
  - Parallel abwechselnd: Beispielsweise bei Geräte- oder Arbeitsplatzmangel
  - Parallel ergänzend (arbeitsteilig): Die Schüler führen Experimente zum gleich Themenkreis mit gleichen oder verschiedenen Aufträgen durch; Ergebnisse führen zu einer gemeinsamen Problemlösung (Richtung Projektarbeit).
  - Frei (Experimentalfreiarbeit): Eine sehr reizvolle (Wagenschein'sche) Idealform, hoch motivierend. Kann z.B. in Neigungsgruppen, Helfergruppen oder Freizeitgruppen organisiert werden.
- Eine gewisse Steuerung ist im allgemeinen notwendig. Sie wird beispielsweise durch ein Arbeitsblatt oder eine aufgelegte Folie gewährleistet. Ein umfangreiches Programm kann so schneller absolviert werden.
  - Der Lehrer oder Betreuer wird entlastet, er kann sich einzelnen Gruppen zuwenden.
  - Themenstellung, evtl. Datum, Name, Klasse.
  - Die Versuchsanordnung (ikonisch oder symbolisch) mit Beschriftungen.
  - Die Art der Parameter, wie werden sie eingestellt?
  - Mehr oder weniger genaue (kleinschrittige) Arbeitsanweisungen für die durchzuführenden Versuche.
  - Tabellen oder Koordinatensysteme für die Auswertung.
  - Lückentexte für die Ergebnisfixierung.
- Ständig wiederkehrende Tätigkeiten können separat eingeübt werden. Umgang mit Schaltungen allgemein, Befestigungstechnik, Bedienung von Meßgeräten oder Netzgeräten, Bunsenbrenner. Im Laufe der Zeit sollten Schüler zunehmend selbständig werden.
- Vorbereitende Tätigkeiten (Abzwicken von Drähten, Knoten von Schnüren o.ä., Entwirren von Kabelgeflechten) halten auf, sind aber u.U. auch für sich lehrreich.
- Materialien (möglichst abgezählt, evtl. abgeteilt in Behältern) werden bereitgestellt (Auf das Mitbringen von Gegenständen von Zuhause kann man sich u.U. nicht verlassen).
- Innerhalb einer Gruppe können Funktionen vereinbart werden: Materialholer, Durchführer, Protokollführer, Berichterstatter.
- Der Arbeitsplatz sollte von überflüssigen Gegenständen (Büchern, Schultaschen, Essen, Getränken) frei sein. Es genügen im allgemeinen die Versuchsmaterialien und Schreibzeug.

Besonderheiten in der Stunde:

- Das Experimentieren in Gruppenarbeit hat seinen Platz innerhalb der Erarbeitungsphasen der einzelnen Artikulationsschemata. Andere Phasen (Einstieg, Problemfrage, Fixierung, ...) erfolgen gegebenenfalls im Klassenverband.
- Der Wechsel zwischen den Experimentiertätigkeiten und Klassengespräch (Arbeitsaufträge, Erklärungen, Korrekturen) sollte eigentlich vermieden werden, er muss aber eingeübt werden.

## 12.4 Allgemeine Hinweise

- Versuchsanordnung
  - Bewegungsabläufe, Input–Output–Vorgänge, Lichtstrahlen sollten von links nach rechts bzw. von oben nach unten gerichtet sein.
  - Die Versuchsanordnung sollte übersichtlich sein. Dazu dienen zusätzliche Markierungen (Plus- bzw. Minuspol), farbige Aufkleber, farbige Experimentierleitungen.
  - Messinstrumente sollten gut ablesbar sein. Wähle die Meßbereiche einsichtig und zweckmäßig!
- Das Problem der Redlichkeit („Tricksen“): Der Versuchsaufbau oder die Durchführung werden so manipuliert, dass im Nachhinein ein erwünschtes Ergebnis eintritt („Bilderbuchmeßwerte“).

Ist das guter Physikunterricht?

Beispiele:

- Die Fahrbahn wird geneigt, damit die Reibungskraft kompensiert wird.
- Der Gartenerde oder dem Leitungswasser wird Salz beigemischt, damit sie/es sich als leitfähig herausstellt.
- Dem Wasser im Hoffmann’schen Zersetzungsapparat wird Salzsäure beigegeben, damit die Elektrolyse deutlich eintritt.
- Der Nullpunktsschieber an einem Kraftmesser wird verstellt.
- Protokollierung eines Experiments (auf Arbeitsblatt, im Hefteintrag, ... )
  - Aufbau: Skizze, Schaltbild mit Beschriftung oder Texterläuterung.
  - Durchführung: Welche Größen werden vorgegeben, eingestellt, variiert?
  - Beobachtung. Welche Größen werden beobachtet bzw. gemessen?
  - Erarbeitung des Ergebnisses: Abgeleitete Größen, graphische Auftragung, Gültigkeitsbereich.
  - Deutung, induktiv gewonnenes Gesetz.
- Sicherheit beim Experimentieren: Siehe EXP!

## 12.5 Freihandexperimente

Vor einigen Jahren noch wurde das eher belächelt. Gegenwärtig erfreuen sie sich als „ursprüngliche Erfahrung von Natur und Technik“ einer rasanten Beliebtheitssteigerung:

- Grundschule: Genetischer Sachunterricht.
- Hauptschule: Schon immer stark der handlungsorientierte, lebensnah-praktische Ansatz.
- Gymnasium: Natur und Technik–Unterricht in der 5. Klasse:
- Realschule: Am stärksten eher traditionell.

Begleitmaterialien aller Art.

Öffentlichkeit: Sachbücher, Selber experimentieren, Fernsehsendungen.

Es widerspricht geradezu diesem Begriff, wenn man ihn mit hoher Genauigkeit definieren wollte.

Die Wortbestandteile „Frei“ und „Hand“ geben erste Anhaltspunkte.

Im folgenden wird der Versuch unternommen, anhand von verschiedenen Gesichtspunkten den Begriff näher einzugrenzen.

Allgemein wird man von einem Freihandexperiment um so eher sprechen können, je mehr die folgenden Kriterien erfüllt sind.

- **Nicht–Standardisierung** FHEe sollten frei gestaltet sein, vielleicht auf eigenen Ideen des Experimentators beruhen. Der Einsatz vorgegebener Versuchsaufbauten, wie sie beispielsweise von Lehrmittelfirmen angeboten werden, widerspricht grundsätzlich der Idee von FHEen.
- **Kurze Zeitdauer** Die Durchführung eines FHEs sollte nicht sehr viel Zeit (d.h. Sekunden bis wenige Minuten) in Anspruch nehmen. Sie zeigen *Phänomene* eher prägnant–qualitativ als umfassend–quantitativ.

Eine individuelle, eigene, evtl. gar künstlerische, Gestaltung geben dem Unterricht eine ganz andere Intensität.

- **Gegenstände und Materialien** Sie sollten dem unmittelbaren Erfahrungsbereich der Schüler entstammen:

Spielzeug (→ „Spielzeug–Physik“), Haushalt, Hobby, Basteln, Freizeit, Werkzeug.

Auch aus der Physiksammlung können unter Umständen (Alltags-)Gegenstände bereitgestellt werden wie

Kompaß, Lupe, Magnete, Taschenlampe, Battereien, Kleinspannungsnetzgerät.

Es erfolgt im allgemeinen kein oder ein sehr einfacher Versuchsaufbau. Man kann nicht definitiv ausschließen, dass Stativmaterial verwendet wird, eventuell kann man aber auch Befestigungen mit Wäscheklammern, Buchbeschwerungen, Schraubstock oder ähnlichem wählen.

Kosten sollten eher gering sein (Engl.: Low budget experiments).

- **Spontaneität** Mit der „freien Hand“ könnte bedeuten, dass ein FHE spontan, d.h. ohne jede Vorbereitung aus dem Unterrichtsgeschehen heraus durchgeführt werden. Dies setzt eine gut geordnete, vielleicht reichlich mit FHE–Gegenständen ausgestattete Physiksammlung voraus, die natürlich auch gepflegt werden muß.

Unter Umständen kann ein FHE auch umfangreiche Vorbereitung erfordern, die dann in der Bereitstellung von Material (Bsp.: Eisblock, Selbst gebauter Tripelspiegel, ...) oder in der Einübung des „Hand“elns (Bsp.: Besenstielgleichgewicht) oder Austestung besteht.

- **Bestimmte Unterrichtsprinzipien** werden bedient:

- Lebensnähe (Alltagsnähe).
- Handlungsorientierung (Selbsttätigkeit, Schüleraktivität).
- Anschauung.
- Ästhetik.
- **Bestimmte Lernziele** rücken in den Mittelpunkt
  - Affektive Lernziele: Interesse, Freude, Begeisterung.
  - Psychomotorische Lernziele (bei Schülerexperimenten): Hand-Fertigkeiten (Basteln, Bedienung einfacher Geräte)
  - Kognitive Lernziele: Kenntnis einfacher Phänomene (Wagenschein)

### 12.5.1 Andere Gesichtspunkte

- **Unterrichtsphasen**
  - Motivation: Kognitiver Konflikt (vgl. auch Nähe zur Zauberei, Magie), Show-Effekt.
  - Erarbeitung: Entscheidung: Schwimmt das Plastillinschiff? / Kommt die Zwirnrolle?  
Vergleich: Gewichtskraft von Styroporblock und Bleikugel  
Abschätzung: Wie groß ist die Schallgeschwindigkeit? (Startklappe beim Hundertmeterlauf)
  - Übung, Festigung, Bestätigung: (Gilt bei einer optischen Abbildung  $g = 2f$ , so ist  $B = G$  und  $b = g = 2f$ .)  
Vorzeigen eines (vielleicht zerlegten) technischen Gerätes Trockenbatterie, Fahrraddynamo, Glühbirne, ...)
  - Hausaufgabe (Strohalmtröte).
- **Organisationsformen** Vertretungsstunden, Freiarbeit, Fächerübergreifender Unterricht, Projektunterricht (Projekttag), außerhalb der Schule (Kindergeburtstag, Zauberaabend).
- **Ort des Experimentierens** Da FHEe im allgemeinen nicht großartige Versuchsaufbauten erfordern, können sie auch leichter an anderen Orten als dem Physiksaal durchgeführt werden.  
Klassenzimmer, Zuhause, Schulhof, Turnhalle, Schwimmbad, Wandertag, Schulfahrt, Schullandheim.
- **Sicherheit** Natürlich sind auch bei FHEen die einschlägigen Sicherheitsgrundsätze voll zu beachten. Insbesondere bei Schülerexperimenten, die womöglich zuhause durchgeführt werden, muß gegebenenfalls (per Hefteintrag) eine Ermahnung ausgesprochen werden:
  - Experimentiere nicht mit der Netzspannung, sondern nur mit Haushaltsbatterien!
  - Schau nie mit Lupen, Fernrohren oder ähnlichen optischen Geräten in die Sonne!
  - Experimente, die du in der Schule siehst, können sich gefährlich auswirken, wenn sie zuhause wiederholt werden.
  - Beim Öffnen von Elektrogeräten muß der Netzstecker gezogen sein!
  - Sei vorsichtig mit Laserpointern, starken Federn, spitzen Gegenständen!
  - Beim Experimentieren soll nicht gegessen oder getrunken werden.

### 12.5.2 Sind das Freihandexperimente?

- Das Modell eines Ottomotors oder einer Dampfmaschine wird demonstriert.
- Das Bild eines Regenbogens oder eines glühenden Lavafusses wird gezeigt.
- Die Schüler betrachten ein Stück Kork unter dem Mikroskop.
- Ein Wagen bewegt sich gleichförmig auf der Luftkissenfahrbahn.
- Ein Schüler schleppt eine mit Steinen beladene Tasche in den 4. Stock des Schulhauses.
- Ein Bolzen wird mit dem speziellen Apparat gesprengt.

### 12.5.3 Logistik

- Paradiesische Zustände im Physiksaal – anders als in der Wirklichkeit.
- Aufbewahrung.
- Kollegium.
- Wesentliche Dinge vielleicht in einer Art Koffer (Mit 100 Teilen 1000 Experimente).

### 12.5.4 Nachteile

Es entstehen unter Umständen falsche Vorstellungen davon, was Physik als Wissenschaft leistet (und damit: ...Physiker als Wissenschaftler leisten).

Spannungsfeld: Rechenphysik — Frei gestaltete Physik.

## 13 Medien im Unterricht

### 13.1 Begriffsbildung

Engerer (praktischer) Begriff (Fröhlich, 1974): Medien sind

- technische Unterrichtshilfen, die der Lehrer einsetzt oder
- Lernmittel für die Hand der Schüler.

Im weiteren Sinne könnte man als Medium all das bezeichnen, was der Informationsübertragung und -bewahrung dient: Die Luft als Trägermedium des Schalls und des Lichts, das gesprochene Wort . . .

#### 13.1.1 Ziele beim Einsatz von Medien

- Informationsvermittlung und -bewahrung.
- Veranschaulichung: „Ein Bild sagt mehr als tausend Worte“, Modellgeräte, Modellversuche.
- Entlastung des Lehrers von Routinetätigkeiten zugunsten einer pädagogischen Tätigkeit.
- Lebensnähe.
- Differenzierung im Klassenunterricht, Steuerung im Gruppenunterricht.
- Vielfältige Variation des Unterrichtsgeschehens.

#### 13.1.2 Überblick über audiovisuelle (AV-) Medien

Rechner in Gestalt von Festanlagen oder Notebooks/Laptops . . . in Verbindung mit Beamer/Lautsprechern sind universell einsetzbare audiovisuelle Geräte. Die klassischen Geräte werden teilweise immer weiter verdrängt:

- Tafeln aller Art:
  - Wandtafel (Kreidetafel).
  - Lehrtafeln (Landkarten, Tabellen (PSE, Isotopenkarte))
  - Tuchhafttafel (Filz, Flanell) mit Kletthaftplättchen.
  - Magnethafttafel (Magnetoptik, Magnethaken)
- Projektoren aller Art:
  - Tageslichtprojektor (TLP oder OHP),
  - Video-Anlage, Diaprojektor, Filmprojektor, Episkop sind angesichts der Präsenz von Computertechnologie praktisch verdrängt.
- Audio-Geräte aller Art:
  - CD-Player (Akustik, Schwebungen).
  - Tonbandgerät, Kassettenrekorder, Plattenspieler, Radiogerät (Schulfunk) finden sich heute kaum noch in der Schulpraxis.

### 13.1.3 Die Wandtafel

- **Mittelpunkt:** Die Tafel ist auch heute noch das Medium, das im Mittelpunkt des Unterrichts steht, symbolisch entspricht dies der Anordnung der Tafel in der Mitte der Stirnseite des Klassenzimmers.
- **Dynamik:** Das Tafelbild wird während einer Stunde entwickelt und spiegelt daher die Dynamik eines Unterrichtsverlaufs wider.
- **Planung:** Meist wird es mehr oder weniger genau — eventuell maßstäblich — geplant. Es enthält dann in möglichst prägnanten, klaren Formulierungen einen auch für den Schüler-Hefteintrag geeigneten Lehrtext und zugehörige Skizzen, Zeichnungen oder Diagramme.
- **Spontaneität:** Es kann aber auch spontan entwickelt werden (Nebenrechnungen, Skizzen, Kurzerklärungen, Meßwerte, ...).

Hinweise zur Arbeitstechnik an der Wandtafel:

- Die Tafel sollte mit einem sauberen Lappen gewischt und dann trocken sein.
- Achte auf gute Sichtverhältnisse: Beleuchtung der Tafel möglichst von vorne oben, Unterbindung von Reflexionslicht.
- Achte bei der Planung auf Eigenschaften der Tafel: Größe der Teiltafeln, Klappmöglichkeiten, Skalierung der Kästchen, Befestigungsmöglichkeiten (Haken, Stative, Magnetclips) Korrektur nach Trockenwischen, Annahme von Farbkreide.
- Soll die Tafel (grundsätzlich) bezüglich verschiedener Funktionen unterteilt werden: Konzepttafel, Nebenrechnungen, Hefteintrag, ...
- Spreche nicht zur Tafel! Stehe seitlich zur Schreibhand! Quietschende Kreide sollte durchgebrochen werden.
- Achte auf den Zeitbedarf! Das Tempo beim Tafelschreiben ist von selbst eher schülergemäß.
- Zeichnungen:
  - Beim Zeichnen von Kurven ist die Richtung von oben nach unten günstiger!
  - Die Hand sollte — unverkrampft — in etwa senkrecht zur momentanen Strichrichtung ausgerichtet sein.
  - Arbeite möglichst mit Hilfspunkten und/oder Symmetrien.
  - Drücke Zeichenwerkzeuge immer in der Nähe des aktuellen Zeichnens an!
  - Bei perspektivischen Darstellungen ist Übung (evtl. vorher auf dem Papier) von Vorteil. Entwickle die Darstellung bezüglich der Richtung senkrecht zur Tafel „in die Tafel hinein“ (wegen der Verdeckungsrelationen)!  
 Übung: Zeichne einen Hufeisenmagneten, eine Spule mit Andeutung der Windungsrichtungen, einen Quader (Würfel), eine Kugel.
- Falsches (Beispiele für typische Fehler) sollte als solches kenntlich sein.

Spezielle Hinweise für Mathematik und Physik:

- Der Kreidezirkel sollte in der Nähe der Saugnäpfe festgehalten werden. Der Kreismittelpunkt muss vor dem Kreiszeichnen markiert werden (Es gibt keinen Einstichpunkt).
- Beim Zeichnen von geometrischen Figuren oder Graphen (Meßwerte, Funktionsgraphen) arbeite man mit Hilfspunkten oder Symmetrien! Werden Punkte eines Graphen mit + statt  $\times$  markiert, so sind sie nach der Fertigstellung des Graphen leichter erkennbar.

- Bei einem drei-dimensionalen Koordinatensystem sollte die zur Tafel Ebene senkrechte Achse nach vorne gezeichnet sein. Dann wird sie nicht von Objekten im Quadranten der anderen beiden Achsen verdeckt.
- Verwendung von „Icons“: Auge, Mikroskop, Motor, . . .
- Verwendung von Symbolen: Schaltbilder von el. Schaltungen, Befestigungen.

### 13.1.4 Der Tageslichtprojektor (TLP OHP)

**Optisches Prinzip** Im Kopf des TLP befindet sich eine Sammellinse (hoher Qualität) und ein Spiegel. Über diese Anordnung wird der Gegenstand (die leuchtende Schreibfläche) auf die Projektionswand abgebildet. Im Prinzip ist das das gleiche wie bei der Abbildung mittels einer Sammellinse (\*) oben.

Unter der Schreibfläche befindet sich eine leistungsstarke Lampe zur Durchleuchtung der Schreibfläche. Eine Fresnel-Sammellinse (geringe Qualität) sorgt dafür, dass möglichst viel Licht von der Lampe aus durch die Schreibfläche in Richtung des Abbildungskopfes gerichtet wird.

**Einsatz als Schreibprojektor** Es wird — während des Unterrichts — auf leere transparente Einzel-  
folien oder Endlosfolien geschrieben.

- Günstig (als Rechtshänder) steht man links vom Gerät, den Blick in die Klasse gerichtet.
- Man richte anfänglich die Projektion so ein, dass die ausgeleuchtete Fläche an der Wand oder auf dem Schirm vollständig von den Schülern eingesehen werden kann. Die Oberkante der Leuchtfläche sollte unterhalb der Schirm- oder Deckenkante sein. Danach wird die Folie ausgerichtet. Dann ist nur noch eine gelegentliche Kontrolle notwendig.
- Man achte auf die richtigen Beleuchtungsverhältnisse.
- Zeigende Erläuterungen führt man auf der Schreibfläche, nicht auf dem ausgeleuchteten Schirm durch. (Das ist gewöhnungsbedürftig.)
- Bei längerer Unterbrechung der Arbeit am TLP, insbesondere beim Wechsel des Mediums, sollte man die Lampe ausschalten.
- Zum Schluss sollte der Klappspiegel zum Schutz vor (Kreise-)Staub geschlossen werden. Da die Lampe im heißen Zustand empfindlicher gegenüber mechanischen Einflüssen ist, sollte der TLP erst nach Abkühlung der Lampe transportiert werden.

Die Funktion als Schreibprojektor kommt der der Wandtafel fast gleich. Vor- und Nachteile gegenüber der Wandtafel sind ...

1. Der Lehrer schaut zur Klasse.
  2. Das Geschriebene ist konserviert und kann ausgewertet, archiviert oder wiederverwendet (Wiederholung) werden.
  3. Unendliche Kapazität
  4. Fertige Transparente können eingebracht werden, z.B. als „Untergrund“: Koordinatensystem, Leertabelle, Lückentext.
  5. Folien können gedreht oder gewendet werden.
  6. Die Farbgebung ist einfacher. Die Zuordnung hell/dunkel bzgl. des Schülerhefteintrags stimmt (dunkel auf der Folie  $\implies$  dunkel im Heft).
1. Die Lichtverhältnisse müssen günstig sein, es ist evtl. eine Teilverdunkelung notwendig.
  2. Der TLP ist als technisches Gerät bedienungsunfreundlicher (Einschaltknopf, Spiegel öffnen, Fokussierung, Stromanschluss), fehleranfälliger (Lampe) und teuer (OHP-Stifte, Folien).
  3. Das Tun des Lehrers ist nicht so gut erkennbar (z.B. bei Konstruktionen). Zirkel ist nicht verwendbar (Aber: Zirkel-GEO-Dreieck).
  4. Die Projektionsfläche ist beschränkt (Problem bei Querformat).

**Einsatz als Transparentprojektor** (Beliebt in der Wirtschaft, Management: „Präsentation“).

Es können fertige Transparente mit Texten, Skizzen, Tabellen oder Diagrammen gezeigt werden.

Es ergeben sich viele Möglichkeiten, dynamische Abläufe (Bewegungen) durchzuführen:

- Drehen oder Wenden,
- Zerschneiden oder Zusammenstückeln von Folien,
- Übereinanderlegen, Verschieben, Einklappen (Tesafilm), Gegeneinanderdrehen (Druckknopf) von mehreren Folien.

### **Projektion von Experimenten**

- Mit dem TLP steht grundsätzlich eine intensive Lichtquelle zur Verfügung.
- Der TLP kann als Projektionslampe zum Schattenwerfen dienen: Kreisbewegung wird als harmonische Schwingung gesehen. Schatten einer Kerzenflamme.
- Anzeigergeräte mit transparenter Skala (Messinstrumente, Kompass)
- Licht-Schatten-Phänomene
- Mechanisch dynamische Vorgänge: Stoßen, Ablenken, Stahlnagel-Elektromagnet, Oersted-Versuch.
- Farbmischung (Subtraktiv bei farbigen Folien)

## 13.2 Rechnereinsatz — speziell im Physikunterricht

Es gilt zunächst abzuklären, welche Funktionen einem Rechner im Unterrichtsgeschehen insgesamt zukommen können.

### 13.2.1 Der Rechner als AV-Medium

Präsentation von AV-Medien aller Art:

- Bilder, Filme
- Unterstützend bei Präsentationen
- Dynamische Veränderung

### 13.2.2 Der Rechner als TOPIC

Computer und Informationstechnologie prägen und verändern die kulturelle, wirtschaftliche, wissenschaftliche und technologische Lebenswelt in gravierender Weise. Die Schule muß in ihrem Bildungs- und Erziehungsauftrag dieser Entwicklung Rechnung tragen:

Computer sind Inhalte von Unterricht.

- Physikalische, mathematische, „informatische“ Grundlagen von Computertechnologien.
- Grundlegende Hardware-Komponenten des Rechners und der wesentlichen Peripheriegeräte.
- Software:
  - Betriebssysteme, Oberfläche.
  - Grundlegender Aufbau und Bedienung von Programmen im allgemeinen: Standards, Menüsystem, Dialogbetrieb, Fenstertechnik, programmübergreifende Bedeutung bestimmter Bedienungselemente Tasten (Esc, Enter, Cursor, Tab, Funktionstasten), Mausfunktionen,
  - Kennenlernen von Grundtypen handelsüblicher Programme:
    - \* Textverarbeitung,
    - \* Tabellenkalkulation (Excel, . . .)
    - \* Datenbanken, Expertensysteme,
    - \* Statistik,
    - \* Graphikprogramme, Gestaltung, Technisch Zeichnen, CAD,
    - \* Kommunikation (Internet, email)
- Auswirkungen von Computertechnologien:
  - Veränderungen im individuellen Leben: Medienerziehung, Computerspiele, Multimedia.
  - Veränderungen im Alltagsleben: Bank, Versicherung, Reisebüro, Arztpraxis, Kommunikation.
  - Veränderungen im Arbeitsleben:
    - \* Rationalisierung: Steigerung der Produktivität, Entfall von Arbeitsplätzen, Problematik von Heimarbeitsplätzen.
    - \* Abhängigkeit von Technologien (vgl. Stromausfall)
    - \* Befreiung von monotoner (geistiger) Arbeit.
  - Veränderungen in der Organisation einer Gesellschaft: Verwaltung, Datensicherheit, Datenschutz.
  - Weltweite Kommunikation: Internet, Email.
  - Information als Wirtschaftsgut: Inflation, Monopolisierung, Freier Zugang.

### 13.2.3 Der Rechner als „Lernender“ (TUTEE)

- Hier tritt die Programmiermöglichkeit in den Vordergrund. Es läßt sich der Kern der Idee eines Algorithmus herausarbeiten. (Organisatorisch wird dieser Aspekt im Fach Informatik oder in entsprechenden Wahlkursen behandelt).
- Anspruchsvolle TUTOR-Programme beinhalten die Lernfähigkeit des Tutors. So werden beispielsweise häufige Fehler registriert und in speziellen Routinen behandelt.

### 13.2.4 Der Rechner als Werkzeug/Hilfsmittel (TOOL)

Computer bestechen vor allem durch die Möglichkeit, verschiedene Funktionen zu kombinieren.

Der Begriff „Werkzeug“ relativiert den Stellenwert des Computers: Erst in der Hand des anwendenden Menschen entfaltet es seine Wirkung.

- Erstellung von Produkten (Dokumente, Texte, Graphiken, Multi-Medien).
- Ausführung algorithmischer Arbeiten: Numerisches Rechnen (Taschenrechner, Einfachste PC-Programme), Schulwerkzeug zum Rechnen oder Plotten (MatheAss), Algebrasysteme (DERIVE, Maple, Mathematica), Geometriesysteme (ZuL von Rene Grothmann/Eichstätt, EUKLID, THALES, CABRI-Geometre)
- Auskunftssystem: Wörterbuch (fremdsprachlich, Rechtschreibung, Grammatik, Fachlexika, Formelsammlungen).
- Ersatz motorischer Tätigkeiten (von Handarbeit): Konstruieren in der Geometrie (Cabri Geometre, Thales, Euklid), Technisches Zeichnen (→ Architektur, Ingenieur-Berufe), CAD.
- Datenbank: Z.B. Abrufen und Verändern von Arbeitstexten (alle Fächer: D:Literatur, R: Bibel, Ku: Gemälde, Wi: Statistiken, . . .) Datenverwaltung: Z.B. Anlage eines Vokabelheftes. Es können große Datenmengen verarbeitet werden.
- Visualisierung: Geometrische Situationen (ebene oder räumliche Geometrie, Funktionsgraphen) können dargestellt, verändert, dynamisiert, animiert werden. (Pestalozzi: Ein Bild sagt mehr als 1000 Worte.)
- Vielseitiges Hilfsmittel für Körperbehinderte.
- Vielseitiges (integriertes) AV-Medium (Präsentationen), MULTIMEDIA, LiveCam, Scanner.
- Simulation dynamischer Abläufe (Ph: Schwingungen, Radioaktiver Zerfall, Sk: Alterspyramide, B: Populationen, C: Reaktionen, M: Fraktale).
- In Kombination mit Peripheriegeräten aller Art: Erfassung von Messwerten oder Musik-Kompositionen. Steuerung von Modellen, Robotern, Musikinstrumenten.
- Messwert-Erfassung bei naturwissenschaftlichen Experimenten: Vergleiche weiter unten.

### 13.2.5 Der Rechner als Lehrender (TUTOR)

Der Computer als automatisierter Übungspartner. Dabei können als Sozialformen Einzel- oder Kleingruppen-Unterricht mit oder ohne Wettbewerbssituation realisiert werden. Vorteil: Schwierigkeitsgrad, Intensität der Führung individuell einstellbar, variierbar (Zufallsgenerator).

- Abfragen: Vokabeln, Rechtschreibung, Grammatik, Wortschatz (Thesaurus), Formeln.
- Einübung von Algorithmen: Schriftliche Rechenverfahren, einfache bis komplexe Übungsaufgaben.
- Extremform: Programmierter Unterricht.

### 13.2.6 Der Rechner als Hilfsmittel im Lehrer–Beruf

- Erstellung von Arbeitsblättern, Erstellen oder Austesten von Prüfungsaufgaben,
- Verwaltungsfunktionen (Notenverwaltung),
- Auseinandersetzung mit dem Computer im Unterricht.

### 13.2.7 Einsatz in der Schulverwaltung

- Büroarbeiten (Texte, Tabellen, . . .)
- Verwaltung von Schülerdaten (Noten, Zeugnisse, Adressen, Schulkarriere), statistische Erhebung und Auswertung.
- Stundenplan, Vertretungsplan.
- Mittelverwaltung.
- Kommunikation.

Wichtig dabei ist ein durchdachtes Konzept zur Trennung von Rechnern für Schulverwaltung und Unterricht.

### 13.2.8 Messwert–Erfassung bei physikalischen Experimenten

Die USB–Technologie ermöglicht eine sehr flexible und einfach zu bedienende Kombination von

- Sensoren für vielfältige physikalische Größen und
- Verarbeitung, Speicherung, Darstellung von Messergebnissen.

Es gibt Sensoren für:

- Bewegung (Schall– oder IR–Reflexion),
- Lichtschranken, auch in Verbindung mit Bewegungs–Messwandler (BMW: Die Bewegung eines Speichenrades wird durch die Lichtschranke aufgenommen),
- Rotationsbewegung,
- Kraft,
- Druck,
- Schall (Lautstärke, Frequenz: Fourier–Analysator),
- Stromstärke, Spannung, . . .
- el. Leitfähigkeit,
- Ladung,
- Magnetfeld,
- Temperatur,
- Lichtintensität,
- pH–Wert.

Vgl. zum Beispiel das System der amerikanischen Firma PASCO.

Verarbeitung von Messergebnissen:

- Algebraische Kombinationen, Ableitung oder Integral.
- Vergleich mit der Literatur.

Speicherung von Messergebnissen:

- Fixierung, Speicherung, Verarbeitung, Sicherung riesiger Datenmengen.
- Leichte Portabilität.
- Vorhandene Daten können zur wiederholenden Simulation genutzt werden.

Darstellung oder Präsentation von Messergebnissen:

Analog — digital — tabellarisch — graphisch.

Die analoge Darstellung der digitalen Daten wird dabei simuliert.

Mit Beamer oder White-Board können Messergebnisse simultan von allen Schüler(inn)en beobachtet werden.

Paralldynamik: Das Experiment wird parallel sowohl real als auch modellhaft-virtuell im Rechner durchgeführt. So können vorteilhafte Aspekte des realen Experiments (Unmittelbarkeit) und der Modellierung im Rechner (Herausarbeitung wesentlicher Aspekte, Idealisierung) kombiniert werden.

### **Vorteile des Einsatzes von computerbasierter Messwerterfassung**

- Schnelle, bequeme Bedienbarkeit → Zeitersparnis.
- Vielseitigkeit: Vergleiche oben.
- Übersichtliche Aufbewahrung → Platzersparnis.
- Standardisierung,
- Lernziel: Einblick in anders geartete heutige Möglichkeiten für den Computereinsatz.
- Lernziel: Einblick in heutige Elektronik-Technologien zur Erfassung physikalischer Größen.
- Blackbox-Prinzip: Der wesentliche Gehalt eines Experiments kann besser herausgearbeitet werden.

### **Nachteile des Einsatzes von computerbasierter Messwerterfassung**

- Die Unmittelbarkeit der messenden Erfassung von physikalischen Phänomenen geht verloren.
- Handwerkliche Fertigkeiten werden in den Hintergrund gedrängt.
- Zunehmende Abhängigkeit von ausgefeilten Technologien.
- Kosten für Neuanschaffungen. Eigentlich sind Messwerterfassungssysteme vergleichsweise billig.

## 13.3 Schriftliche Medien — für die Hand der Schüler

### 13.3.1 Das Schulbuch

### 13.3.2 Arbeitsblätter und -hefte

- Selbstgestaltet — vorgefertigt.
- Inhalte können korrekt und auf den Punkt gebracht dargestellt werden.
- Gestaltung individuell: Tabellen, Diagramme, Bilder, Skizzen.
- Mögliche Schüleraktivitäten (Begleitet auf der Folie):
  - Ergänzung: Lückentexte, Tabellen, Zeichnungen.
  - Farbige Gestaltung: Texte markieren, Skizzen färben, Zeichnungsteile kennzeichnen.
  - Beschriften von Zeichnungen, Diagrammen.
  - Grafische Gestaltung: Unterstreichen, Einrahmen, Schraffieren.
- Ökonomie: Zeitersparnis im Unterricht, in der Vorbereitung.
- Arbeitsblatt-Verwaltung durch den Lehrer: Heute mit PC möglich und vielfältig.
- Probleme:
  - „Zettelwirtschaft“ bei Schülern (Günstig: Nummerierung, Datumsangabe (Kieserblock)).
  - Eine beim Lehrer hervorgerufene „Stoffabarbeitungs-Philosophie“ korrespondiert mit einem Minimal-Aufwand an Vorbereitung. Im Unterricht ruft dies einen Eindruck von Eintönigkeit hervor. (Es gibt Verlage, die genau diese Art von Lehrermentalität bedienen: „Da brauchen Sie nur noch in der Früh schnell kopieren“.)

### 13.3.3 Das Schülerheft

Praktische Hinweise für Zeichnungen:

- Beim Zeichnen von Kurven/Graphen setze den Handballen in der Nähe auf und ziehe den Strich in Schreibrichtung! Eventuell sollte vorher das Heft gedreht werden.
- Zeichnungen sollten nach Möglichkeit mit Bleistift angefertigt werden, da dann das Radieren möglich ist. (Auch wegen Verdeckungen muß manchmal radiert werden.)

## 14 Das Profil der Hauptschule

Die Hauptschule ist eine weiterführende Schule, sie umfasst die Jahrgangsstufen 5 – 9 (10).

Grundsätzliches Spannungsfeld:

Wissenschaftsorientierung  $\leftrightarrow$  Person–Welt–orientierung

Übergeordnete Erziehungsziele sind (Vgl. Blatt 1):

- Grundlegende Allgemeinbildung: Kenntnisse, Ganzheitliche Weltsicht.
- Verantwortung in der Welt: Kultur, Werte, politische Bildung.
- Lebensbewältigung: Ernährung, Persönliche Entwicklung, Freizeit, Medien, Verkehr.
- Orientierung für das Arbeitsleben: Kenntnisse für das Berufsleben, Hilfe bei der Berufswahl.

Folgende Abschlüsse sind möglich:

- Erfolgreicher Hauptschulabschluss ( $\rightarrow$  Ausbildung in Handwerk, Industrie, Dienstleistung)
- Qualifizierender Hauptschulabschluss ( $\rightarrow$  Meister, Techniker, mittlerer nichttechnischer Verwaltungsdienst)
- Mittlerer Schulabschluss ( $\rightarrow$  FOS, BAS, Studium)

### 14.1 Fachübergreifender Unterricht im Hinblick auf Physik

- Die Idee ist bestechend: Die durch die Sinnesorgane erfahrbare Welt tritt den Schülern nicht nach Fächern getrennt gegenüber. Phänomene aus der Natur oder Geräte aus dem Alltag werden ganzheitlich gemäß ihrer äußeren Funktion wahrgenommen und nicht zergliedert nach den innewohnenden fachlichen Prinzipien.
- Organisatorisch verwirklicht durch zwei Fächerverbünde:
  - Physik + Chemie + Biologie (Keine Rangordnung)  
+ Informatik (9.2) + Verkehrserziehung (S. 49) + Gesundheitserziehung,...
  - Geschichte + Sozialkunde + Erdkunde.
  - Arbeitslehre + Gewerblich–technischer Bereich + Kaufmännisch–bürotechnischer Bereich + Hauswirtschaftlich–sozialer Bereich.
- Querverweise (S. 420, Bsp. PCB 8)
  - Starke Querverweise (Fettdruck mit Fachkürzel), Absprache verbindlich.
  - Schwache Querverweise (Fachkürzel) Absprache empfohlen.
  - Interne Querverweise (Ohne Fachkürzel)
- Addition  $\leftrightarrow$  Integration früherer Inhalte: Bsp (Jgst. 9): Zusammenhang zwischen Kraft, Masse und Beschleunigung.  $\leftrightarrow$  Probleme wechselnder Partnerschaften.
- Kürzungen in der Stundentafel: Gegenüber dem Vorgängerlehrplan fällt je eine Stunde in der 6. und 7. Jgst. weg.
- Eventuell geschieht eine (faktische) Mehrgewichtung eines Faches, beispielsweise der Biologie.
- Aus- und Fortbildung der Lehrer.
- Berührungspunkte mit anderen Fächern:

- Sport:
- Englisch: Zusatzqualifikation der Fachlehrer, Präsenz der englischen Sprache bei Symbolen, Fachbegriffen (LASER), Neuerer Forschung.
- Deutsch: Sprachliche Bewältigung von Physik (Experimente, verbale Formulierung von Gesetzen (Je – desto, Direkte Proportionalität als Ver–n–fachungs–Formulierung,...))
- Erdkunde: Wetter, Klima, Energie, Rohstoffe.
- Geschichte: Geschichte physikalischer Entdeckungen.
- Religion, Ethik: Ambivalenz der Physik: Waffen, (Kern-)Kraftwerke, Verantwortung für die Umwelt.
- Musik: Akustik, Schall und Musik.
- Verkehrserziehung: Bewegung, Optik.
- Arbeitslehre: Herstellung von Physikgeräten aller Art oder von Materialien für Freihandexperimente.
- Mathematik: Zuordnungen, Direkte Proportionalität.
- Chemie: Stoffe, Teilchen, ...

#### 14.1.1 Unterrichtsprinzipien und -grundsätze, Merkmale

- Induktive Methode.
- Fachsprache (Physik reduziert, Mathematik eingeführt (5.2)).
- Schülerexperimente (S. 50). (Freihandexperimente, qualitative Experimente).
- Ganzheitlichkeit (Mit Herz, Hand und Kopf, Bsp. Müll, Blatt 3)
- Handlungsorientierung
- Schülerzentriertheit, Individuelle Förderung.
- Lebensnähe, Alltagspräsenz.
- Anschauung, Unmittelbarkeit.
- Phänomene

#### 14.1.2 Äußere Form des Lehrplans

Die drei Ebenen:

- Grundlagen und Leitlinien.
- Übergeordnete Unterrichts und Erziehungsaufgaben
  - Fachbezogen — Fachübergreifend.
  - (Blatt 4)
- Einspaltige Fachlehrpläne.
  - Lernziele (vgl. auch S. 17) werden jeweils in einer Überschrift (Zweistellige Gliederungsnummer) beschrieben. Die Lernziele sind nach didaktischen Schwerpunkten geordnet (S. 17)
  - Es folgen die Lerninhalte ((Dreistellige Gliederungsnummer)
  - Die Einzelinhalte sind unter Spiegelstrichen aufgelistet.
- Es ist zu Beginn eines Schuljahres ein aktueller Klassenlehrplan zu erstellen mit Berücksichtigung

- von Absprachen und Querverweisen,
- des Schulbuchs, der Medienauswahl,
- Ortes der Schule,
- der Jahreszeitlichen Gegebenheiten.

Computereinsatz: S. 15, S. 50., S. 66.

## 15 Literatur zur Physik und Didaktik

### 15.0.3 Zeitschriften

[Phi] [Phu] [PdN] [NiU] [PhB] [MNU] [Spd]

### 15.0.4 Physik inhaltlich, Niveau Sekundarstufe I

[CE+81] [BHL83] [FNS90] [GHH+93] [GHH+94] [DF83] [Wie19]

Preiswerte Sammlung über alles Wissenswerte aus den Naturwissenschaften: [MS96]

### 15.0.5 Physik inhaltlich, Niveau Sekundarstufe II

[SW83] [Sch19a]

Formelsammlung: [HH83]

### 15.0.6 Astronomie, Niveau Sekundarstufe II

[Ler93] [BE95] [Has95] [Hen95]

### 15.0.7 Physik inhaltlich, Niveau Grundstudium

[GV93], [AF19].

Formelsammlung: [Stö98].

Lexikon: [LG89a], [LG89b].

### 15.0.8 Fachdidaktik Physik

[?] [KGH01] [KS02] [DHK81] [BDJ+91] [Bra98] [Wag62] [Lab96] [Lab93] [Muc95] [Plö83] [Sch19b] [Sch19c] [Sch93] [Sch98] [Wil03]

### 15.0.9 Erziehungswissenschaften

[Mey87] [Mey19] [KO97] [Reb19] [Reb]

### 15.0.10 Experimente — Unterhaltsame Physik

[Lin19] [ea96] [Dus95] [Bur86] [Ber19] [MR19] [Zei91] [Bub89] [Bub95] [Wit19a] [Wit19b]

### 15.0.11 Schulbücher Hauptschule

Es handelt sich um Schulbücher (evtl. mit Kopiervorlagen oder Lehrerbegleitbänden), die auf den Lehrplan (1997/98) bezogen sind. Als Beispiel sind jeweils nur die PCB-Bücher der 7. Jahrgangsstufe angegeben:

- Bayerischer Schulbuch-Verlag: Natur entdecken [Sch97a] [Sch97b]
- Cornelsen-Verlag: Natur und Technik [ea97]
- Klett-Verlag: Urknall [Lit97]
- Schroedel: Natur plus [SS97a] [SS97b]
- Westermann: Natur bewusst [DSea97] [DS97a] [DS97b]

## Literatur

- [AF19] Alonso and Finn. *Physik*. Addison-Wesley-Verlag, Bonn – München, 19??
- [BDJ+91] Wolfgang Bleichroth, Helmut Dahncke, Walter Jung, et al. *Fachdidaktik Physik*. Deubner, Köln, 1991.
- [BE95] Dieter Beckmann and Bernd Epperlein. *Astronomie Grundkurs*. Manz-Verlag, München, 1995.
- [Ber19] Otto Ernst Berge. *Spielzeug im PhysikUnterricht*. Quelle & Meyer, Heidelberg, 19??
- [BHL83] Gernot Born, Heinrich Hübscher, and Horst Lochhaas. *Querschnitt Physik und Technik*. Westermann Schulbuchverlag, Braunschweig, 1983.
- [Bra98] Jan-Peter Braun. *Physikunterricht neu denken*. Verlag Harri Deutsch, Thun, Frankfurt/Main, 1998.
- [Bub89] Joachim Bublath. *Das KnoffHoff-Buch zur ZDF Fernsehserie*. Heyne-Verlag, München, 1989.
- [Bub95] Joachim Bublath. *100 mal KnoffHoff*, volume 19 of *Heyne-Sachbuch*. Heyne-Verlag, München, 1995.
- [Bur86] Burger. *Spielzeug Physik*. Technical Report 98, Akademie für Lehrerfortbildung Dillingen, 1986.
- [CE+81] Bernhard Czinczoll, Rüdiger Eberle, et al. *Physik und Chemie in der HauptSchule*. Technical Report 46, Akademie für Lehrerfortbildung Dillingen, 1981.
- [DF83] Reinders Duit and Fries. *Umwelt Physik*. Ernst Klett Verlag, Stuttgart, 1983.
- [DHK81] Reinders Duit, Peter Häussler, and Ernst Kircher. *Unterricht Physik*. Deubner, Köln, 1981.
- [DS97a] Gerd Demmer and Wolfgang Schulenberg. *Natur bewusst 7*, kopiervorlagen, 1997.
- [DS97b] Gerd Demmer and Wolfgang Schulenberg. *Natur bewusst 7*, Lehrerband, 1997.
- [DSea97] Gerd Demmer and Wolfgang Schulenberg et. al. *Natur bewusst 7*. Westermann Schulbuchverlag, Braunschweig, 1997.
- [Dui80] Reinders Duit. Der Energiebegriff in der Schule. *Naturwissenschaften im Unterricht*, 11:354 – 358, 1980. In *Wärmelehre* abgeheftet.
- [Dus95] G. Dussler. *Spiel und Spielzeug im PhysikUnterricht*. Stark-Verlagsgesellschaft, Freising, 1995. Nachdruck von Verlag O. Salle 1933.
- [ea96] Francois Aulas et. al. *Erstaunliche Experimente — Spielerisch Wissen entdecken*. Bechtermünz-Verlag, Augsburg, 1996.
- [ea97] Peter Hering et. al. *Natur und Technik 7*. Cornelsen-Verlag, Berlin, 1997.
- [FNS90] Rainer Feuerlein, Helmut Naepfel, and Horst Schaefflein. *Physik 3*. Bayerischer Schulbuch-Verlag, München, 1990.
- [GHH+93] Rainer Gaitzsch, Anton Hammer, Karl Hammer, Herbert Knauth, Siegfried Kühnel, and Hubert Schafbauer. *Physik 9B*. R. Oldenbourg Verlag GmbH, München, 1993.
- [GHH+94] Rainer Gaitzsch, Anton Hammer, Karl Hammer, Herbert Knauth, Siegfried Kühnel, Gerlinde Lackner-Ronge, and Hubert Schafbauer. *Physik 10B*. R. Oldenbourg Verlag GmbH, München, 1994.
- [GV93] Christian Gerthsen and Helmut Vogel. *Physik*. Springer-Verlag, Berlin – Heidelberg – New York, 1993. Ein Standard-Lehrbuch der Physik.
- [Has95] K.H. Hasemann. *Astronomie*. Aulis-Verlag Deubner & Co., München, 1995.

- [Hen95] H.R. Henkel. *Astronomie*. Verlag Harri Deutsch, Frankfurt/Main, 1995.
- [HH83] Anton Hammer and Karl Hammer. *Taschenbuch Physik*. Lindauer Verlag, München, 1983.
- [Joe76] Konrad Joerger. *Einführung in die Lernpsychologie*. Herder Verlag, Freiburg, 1976.
- [KGH01] Ernst Kircher, Raimund Girwicz, and Peter Häußler. *Physikdidaktik — Eine Einführung*. Springer-Verlag, Berlin, 2001.
- [KO97] Peter Köck and Hanns Ott. *Wörterbuch für Erziehung und Unterricht*. Donauwörth, 1997. 80 DB 2000 K77 (6).
- [KS02] Ernst Kircher and Werner B. Schneider, editors. *Physikdidaktik in der Praxis*. Springer-Verlag, Berlin, 2002.
- [Lab93] Peter Labudde. *Erlebniswelt Physik*. Dümmler, Bonn, 1993. 82/UB 4049 L127.
- [Lab96] Peter Labudde. *Alltagsphysik*. Dümmler, Bonn, 1996. 82/UB 4053 L127(3).
- [Ler93] Reinhardt Lermer. *Grundkurs Astronomie*. Bayerischer Schulbuch-Verlag, München, 1993.
- [LG89a] Richard Lenk and Walter Gellert. *Fachlexikon ABC Physik*, volume 1. Verlag Harri Deutsch, Thun – Frankfurt/Main, 1989.
- [LG89b] Richard Lenk and Walter Gellert. *Fachlexikon ABC Physik*, volume 2. Verlag Harri Deutsch, Thun – Frankfurt/Main, 1989.
- [Lin19] Felix Lindenblatt. *Naturwissenschaftliche Versuche zum Sachunterricht*. Phywe Lehrmittel, 19?? Band 1: Wärme, Band 2: Magnetismus — Elektrischer Strom, Band 3: Wippe/Waage — Wasser, Band 4: Licht — Schall — Luft — Feuer.
- [Lit97] Manfred Litz. *Urknall 7*. Ernst Klett Schulbuchverlag, Leipzig, 1997.
- [Mey19] Hilbert Meyer. *Unterrichtsmethoden, Band I: Praxisband*. Cornelsen Scriptor, Frankfurt/Main, 19??
- [Mey87] Hilbert Meyer. *Unterrichtsmethoden, Band I: Theorieband*. Cornelsen Scriptor, Frankfurt/Main, 1987.
- [MNU] Der Mathematisch-Naturwissenschaftliche Unterricht. Zeitschrift. 82 TA 5694.
- [MR19] Melenk and Runge. *Verblüffende Physikalische Experimente*. Aulis-Verlag Deubner & Co., Köln, 19??
- [MS96] Lothar Meyer and Gerd-Dietrich Schmidt. *Formeln Tabellen Wissenswertes*. paetec Gesellschaft für Bildung und Technik mbH, Berlin, 1996.
- [Muc95] Heinz Muckenfuß. *Lernen im sinnstiftenden Kontext*. Cornelsen, Berlin, 1995. 82/UB 4049 M942.
- [NiU] Naturwissenschaften im Unterricht — Physik. Zeitschrift 82 TA 5694.
- [PdN] Praxis der Naturwissenschaften — Physik. Zeitschrift. 82 UA 7040.
- [PhB] Physikalische Blätter. Zeitschrift. 82 UA 6800.
- [Phi] Physik in unserer Zeit. 82 UA 6720.
- [Phu] Physik und Didaktik. Zeitschrift. 82 UA 6730.
- [Plö83] Wilfried Plöger. *Forschender Physikunterricht*. Michael Prögel Verlag, Ansbach, 1983.
- [Reb] Albert Reble. *Geschichte der Pädagogik, Dokumentarband*. Ernst Klett Verlag, Stuttgart, ???
- [Reb19] Albert Reble. *Geschichte der Pädagogik, Band 1*. Ernst Klett Verlag, Stuttgart, 19??

- [Sch19a] Hans-J. Schlichting. *Energie und Energieentwertung*. Quelle & Meyer, Heidelberg, 19??
- [Sch19b] Werner B. Schneider, editor. *Wege in der Physik-Didaktik*, volume 1. Palm & Enke, Erlangen, 19??
- [Sch19c] Werner B. Schneider, editor. *Wege in der Physik-Didaktik*, volume 2. Palm & Enke, Erlangen, 19??
- [Sch93] Werner B. Schneider, editor. *Wege in der Physik-Didaktik*, volume 3. Palm & Enke, Erlangen, 1993.
- [Sch97a] Leo Schurius. *NATUR entdecken 7*. Bayerischer Schulbuch-Verlag, München, 1997.
- [Sch97b] Leo Schurius. *Natur entdecken 7*, Lehrerhandbuch mit Kopiervorlagen, 1997.
- [Sch98] Werner B. Schneider, editor. *Wege in der Physik-Didaktik*, volume 4. Palm & Enke, Erlangen, 1998.
- [Spd] Spektrum der Wissenschaften. Zeitschrift. 82 TA 7423.
- [SS97a] Karl-Heinz Scharf and Georg Schulz. *Natur plus 7*. Schroedel-Verlag, Hannover, 1997.
- [SS97b] Karl-Heinz Scharf and Georg Schulz. *Natur plus 7*, Materialien für Lehrer, 1997.
- [Stö98] Horst Stöcker. *Taschenbuch Physik*. Verlag Harri Deutsch, Thun – Frankfurt/Main, 1998.
- [SW83] Jürgen Sahn and Jörg Willer. *AtomPhysik*. Quelle & Meyer, Heidelberg, 1983.
- [Wag] Martin Wagenschein. *Naturphänomene sehen und verstehen*. ???, ?
- [Wag62] Martin Wagenschein. *Die pädagogische Dimension der Physik*. ???, Braunschweig, 1962.
- [Wie19] Hartmut Wiesner. *Unterricht Physik, Optik I*. Aulis-Verlag Deubner & Co., Köln, 19??
- [Wil03] Jörg Willer. *Didaktik des Physikunterrichts*. Verlag Harri Deutsch, Frankfurt a. Main, 2003. 82 UB 4056 W 712.
- [Wit19a] Josef Wittmann. *Trickkiste 1*. Bayerischer Schulbuch-Verlag, München, 19??
- [Wit19b] Josef Wittmann. *Trickkiste 2*. Bayerischer Schulbuch-Verlag, München, 19??
- [Zei91] Ernst Zeier. *Kurzweil durch Physik*. Aulis-Verlag Deubner & Co., Köln, 1991.