

Skript zur Vorlesung

Grundlagen der Fachdidaktik Physik A

(Stand WS 2024)

Apl. Prof. Dr. Stefan Hilger

Didaktik der Mathematik

Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt

Ostenstrasse 26 - 28

85071 Eichstätt

Stefan.Hilger@ku.de

Prof. Dr. Axel Enders

Julius B. Hlawatsch, M.Sc., M.Ed.

Lehrstuhl für Experimentalphysik XI und Didaktik der Physik

Universität Bayreuth

Universitätstrasse 30

95440 Bayreuth

axel.enders@uni-bayreuth.de

Vorwort

Die ursprüngliche Version dieses Skriptes wurde von Apl. Prof. Dr. Stefan Hilger, Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt, bis 2010 verfasst. Mit seiner freundlichen Genehmigung wird dieses Skript seit 2023 an der Universität Bayreuth als Begleitmaterial zur Physiklehrerbildung eingesetzt und am Lehrstuhl *Experimentalphysik XI und Didaktik der Physik* kontinuierlich weiterentwickelt.

Über dieses Skript

Das vorliegende Dokument ist ein Begleitskript zur Vorlesung „Didaktik der Physik“. Es sei explizit betont, dass es sich nicht um ein Lehrbuch zur Didaktik der Physik handelt. Wie bei Skripten üblich, werden die Inhalte der Lehrveranstaltung stichpunktartig zusammengefasst, ohne jedoch notwendigerweise in ausreichende Tiefe zu gehen, bzw. das dargebotene Wissen ausreichend mit der bestehenden Literatur zu vernetzen.

Dieses Skript wurde so formatiert, dass man beim Studium eigene Randnotizen an den Text anfügen kann. Jeder Studierenden sei ermutigt, beim Lesen des Skripts eigene Randnotizen zu erstellen. Diese leider etwas aus der Mode gekommene Technik bietet beim Lernen erhebliche Vorteile:

- **Förderung des aktiven Lesens:** Randnotizen ermutigen dazu, sich intensiv mit dem Text auseinanderzusetzen, um zentrale Punkte zu erkennen und hervorzuheben.
- **Bessere Informationsverarbeitung:** Durch das Zusammenfassen von Informationen in eigenen Worten werden die Inhalte besser verstanden und im Gedächtnis verankert.
- **Erleichterung der späteren Wiederholung:** Randnotizen dienen als schnelle Erinnerungstütze und erleichtern das Wiederfinden wichtiger Informationen beim späteren Durchsehen des Textes.
- **Unterstützung des kritischen Denkens:** Durch das Kommentieren des Gelesenen wird das kritische Denken gefördert, indem der Leser sich aktiv mit den Argumenten und Inhalten auseinandersetzt.
- **Individuelle Strukturierung:** Randnotizen ermöglichen es, den Text nach eigenen Bedürfnissen zu strukturieren und den Fokus auf die eigenen wichtigsten Informationen zu legen.

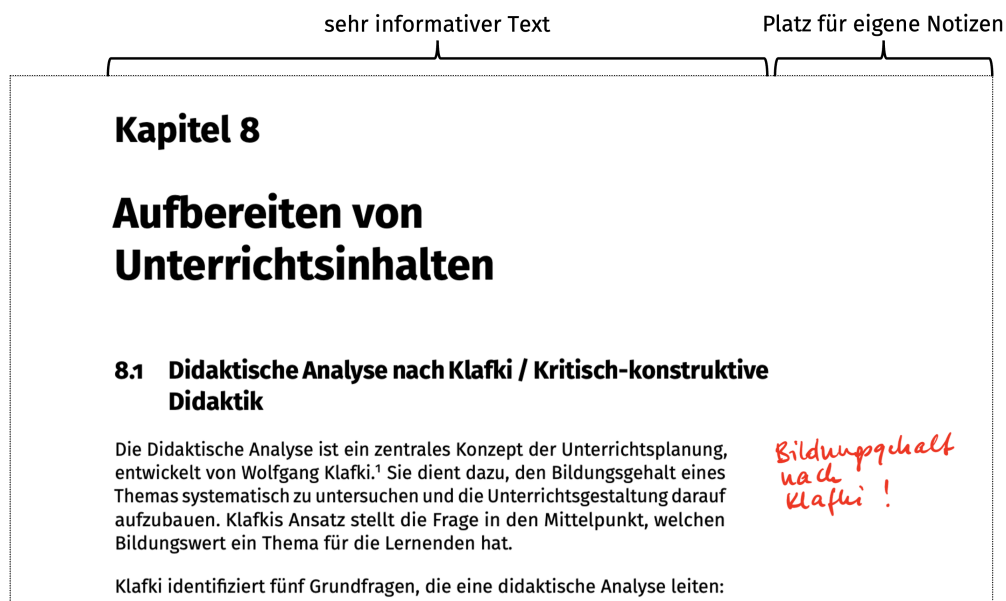


Abbildung 1: Aufteilung des Seitenlayouts mit viel Platz für Eure Randnotizen.

Inhaltsverzeichnis

1	Denkanstöße	9
2	Begründung von Physik in der Schule	11
3	Die Erkenntnis von Natur – durch die Physik	13
3.1	Physikalischer Erkenntnisweg	13
3.2	Physik und Erziehung	14
4	Didaktische Modelle	17
5	Merkmale guten Unterrichts	19
5.1	Die internationale Schulleistungsstudie PISA	19
5.2	Basisdimensionen guten Unterrichts	20
5.3	Die IPN Interessenstudie Physik („Kieler“ Interessenstudie)	21
5.4	Die Hattie-Studie	21
6	Lernziele	23
6.1	Lernen ordnen: Zum Begriff des Lernziels	23
6.2	Funktionen von Lernzielen	24
6.3	Lernzielebenen	24
6.4	Lernzieltaxonomien und Operationalisierung	25
6.4.1	Zur Dimension des Wissens	26
6.4.2	Zur Dimension kognitiver Prozesse	26
6.4.3	Operationalisierung	27
6.5	Bildungsstandards und die KMK	28
7	Schülervorstellungen und Konzeptwechsel	31
7.1	Konstruktivismus	31
7.2	Schülervorstellungen – Begriff und Ursachen	32
7.3	Tests zum Erfassen von Schülervorstellungen	34
7.4	Strategien zum Erreichen eines Konzeptwechsels	34
7.5	Fazit	35
7.6	Beispiele	36
8	Aufbereiten von Unterrichtsinhalten	41
8.1	Didaktische Analyse nach Klafki / Kritisch-konstruktive Didaktik	41
8.2	Elementarisierung und didaktische Rekonstruktion	42
8.2.1	Elementarisierung	42
8.2.2	Gütekriterien für Elementarisierungen	44
8.2.3	Typen der Elementarisierung	45
8.2.4	Verwandte didaktische Begriffsbildungen	49
8.2.5	Elementarisierung erkennen	51

8.2.6	Didaktische Rekonstruktion nach Kattmann	51
8.3	Analogien und Modelle im Physikunterricht	52
8.3.1	Analogien	52
8.3.2	Modelle	54
9	Strukturierung des Unterrichts	59
9.1	Unterrichtsprinzipien	59
9.2	Die Planungsebenen im Unterrichtsentwurf	64
9.3	Artikulationsschemata	64
9.3.1	Herbart: Die Formalstufen	65
9.3.2	Heinrich Roth (1963): Die Lernstufen	66
9.3.3	Normalverfahren: Orientierung am naturwissenschaftlichen Erkenntnisweg	67
9.3.4	Fallstudie: Die Phase der Motivation	68
9.3.5	Fallstudie: Einstiege in eine Unterrichtseinheit	71
9.3.6	Fallstudie: Das Aufstellen einer Vermutung bzw. Hypothese	73
9.4	Unterrichtsverfahren	73
9.4.1	Das genetische Unterrichtsverfahren	74
9.4.2	Forschender Unterricht	76
9.4.3	Nacherfindender Unterricht	77
9.4.4	Historisierender Unterricht	77
9.4.5	Sinnvoll übernehmender Unterricht nach Ausubel (1974)	78
9.4.6	Induktiv-deduktives Verfahren	78
10	Methodische Gestaltung des Unterrichts	81
10.1	Handlungs- oder Aktionsformen	81
10.1.1	Vortrag	81
10.1.2	Lehrgespräch	82
10.2	Sozialformen	82
10.2.1	Arbeit im Klassenverband	83
10.2.2	Arbeit in Kleingruppen	83
10.2.3	Partnerarbeit	84
10.2.4	Einzelarbeit	84
10.3	Organisationsformen	84
10.3.1	Klassen- und Fachlehrerprinzip	85
10.3.2	Zeitstruktur des Unterrichts	85
10.3.3	Außerschulische Lernorte	86
10.3.4	Projekt — projektorientierter Unterricht	86
10.4	Lernen an Stationen	89
10.5	Fachübergreifender Unterricht	91
10.5.1	Begriffe — Alternativen	91
10.5.2	Wissenschaftstheoretische Aspekte	92
10.5.3	Unterrichtsprinzipien	92
10.5.4	Lerntheoretische Aspekte	93
10.5.5	Organisatorische Aspekte	93
10.5.6	Grundhaltung der Physik und Physikdidaktik	93
10.5.7	Mögliche Leit motive	93
10.5.8	Mögliche Themenbereiche	94
10.6	Eigenverantwortliches Arbeiten (EVA)	95
10.6.1	Arbeitsdefinition	95
10.6.2	Methodische Umsetzung von EVA	95
10.6.3	Psychologische Begründung	95
10.6.4	Verwandte Konzepte	96

10.6.5	Umsetzung im LehrplanPlus	96
11	Der schriftliche Unterrichtsentwurf	97
12	Experimentieren im Physikunterricht	99
12.1	Das Experiment als physikalisch- erkenntnistheoretische Methode	99
12.1.1	Wesensmerkmale von Experimenten	100
12.2	Das Experiment als unterrichtlich-lerntheoretische Methode	100
12.3	Klassifikation von Unterrichtsexperimenten	101
12.3.1	Erkenntnistheoretische Funktion	101
12.3.2	Zeitliche Einordnung in einer Unterrichtseinheit	101
12.3.3	Intensität und Art der Auswertung	101
12.3.4	Art der Repräsentation	102
12.3.5	Experimentierort	102
12.3.6	Experimentator	102
12.3.7	Schülerexperimente in Gruppenarbeit	103
12.4	Allgemeine Hinweise	104
12.5	Freihandexperimente	105
12.5.1	Andere Gesichtspunkte	106
12.5.2	Logistik	108
12.5.3	Nachteile	108
13	Medien im Unterricht	109
13.1	Begriffsbildung	109
13.1.1	Ziele beim Einsatz von Medien	109
13.1.2	Überblick über audiovisuelle (AV-) Medien	109
13.1.3	Die Wandtafel	110
13.1.4	Der Tageslichtprojektor (TLP OHP)	111
13.2	Schriftliche Medien — für die Hand der Schüler	113
13.2.1	Das Schulbuch	113
13.2.2	Arbeitsblätter und -hefte	113
13.2.3	Das Schülerheft	114
13.3	Rechnereinsatz — speziell im Physikunterricht	114
13.3.1	Der Rechner als AV-Medium	114
13.3.2	Der Rechner als TOPIC	114
13.3.3	Der Rechner als „Lernender“ (TUTEE)	115
13.3.4	Der Rechner als Werkzeug/Hilfsmittel (TOOL)	116
13.3.5	Der Rechner als Lehrender (TUTOR)	116
13.3.6	Der Rechner als Hilfsmittel im Lehrer-Beruf	117
13.3.7	Einsatz in der Schulverwaltung	117
13.3.8	Messwert-Erfassung bei physikalischen Experimenten	117
13.4	Künstliche Intelligenz à la ChatGPT — speziell im Physikunterricht	119
14	Schulprofile	123
14.1	Das Profil des Gymnasiums	123
14.2	Das Profil der Realschule	124
15	Literaturempfehlung zur Vorlesungen	127
15.1	Fachdidaktische Grundlagenbücher	127
15.2	Schulpädagogische Werke	128
15.3	Zeitschriften	128
A	Verblisten für Operationalisierte Lernziele	131

B	Berliner Modell	135
C	Weitere Artikulationsschemata	137
C.1	Grob-Phasen gemäß Duit et al. (1981)	137
C.2	Plöger (1983): Forschender Physikunterricht	137
C.3	H.F. Bauer: Experimentalunterricht (1984)	137
D	Beispiel einer didaktischen Analyse	139

Kapitel 1

Denkanstöße

- Q1: Warum sollen Menschen (Schüler) Physik erlernen?
- Q2: Kann man „Physik unterrichten“ lernen?
- Q3: Können Jungen Physik besser verstehen bzw. lernen?
- Q4: Warum sollen im Physikunterricht Experimente durchgeführt werden?
- Q5: Warum ist Physik das — mit Abstand — unbeliebteste Schulfach?
- Q6: Ist Physikdidaktik eine Wissenschaft?
- Q7: Warum geht von großen Denkleistungen gerade der Physik eine fast unvergleichliche Faszination aus?
- Q8: Kann man Physik nur mit Hilfe von Mathematik verstehen?
- Q9: Ist die Wissenschaft Physik Fluch oder Segen für die Menschheit?
- Q10: Ist ein Lehrplan für das Unterrichten notwendig?
- Q11: Sind angesichts von Computer, Beamern und ChatGPT noch andere Medien sinnvoll?
- Q12: Was sind für mich persönlich die zwei wichtigsten Merkmale guten Unterrichts?
- Q13: Wodurch wird meiner Meinung nach der Unterrichtserfolg am meisten gefährdet?
- Q14: Welche zwei Merkmale eines langfristig erfolgreichen Unterrichts könnten die empirischen Unterrichtsforscher als „Spitzenreiter“ (Merkmale größter Einflussstärke) ermittelt haben?

Übungsaufgabe

Beantworten Sie diese Fragen für sich und diskutieren Sie Ihre Gedanken mit Ihrem Nachbarn!

Kapitel 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 Haushaltsbatterie auch ein Netzgerät verwenden?

(e) Attribuierungen von Physik:

- Physik ist nicht nur die Technik-Hybris: Atombomben, Kraftwerke, Anonyme Apparate-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 eine 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.

Kapitel 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.

Übungsaufgabe

Notieren Sie zehn Phänomene, die ein Schulkind wahrnimmt, kennt oder mitvollzieht!

3.1 Physikalischer Erkenntnisweg

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

3.2 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 Bestimmungstücke 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.

Kapitel 4

Didaktische Modelle

Dem Lernenden sind didaktische Modelle als abstrakte Grafiken aus Boxen und Pfeilen aus dem erziehungswissenschaftlichen Unterricht bekannt, in denen Pfeile von allem auf alles zeigen. In diesem Abschnitt soll die Bedeutung von Didaktischen Modellen als Grundlage der Unterrichtsgestaltung betont werden, denn die Prinzipien der Unterrichtsgestaltung greifen auf solche Modelle natürlich intrinsisch zurück. Siehe hierzu später Kapitel 11.

Ein allgemeindidaktisches Modell ist nach Jank und Meyer (2021)

„ein erziehungswissenschaftliches Theoriegebäude zur Analyse und Modellierung didaktischen Handelns in schulischen und nichtschulischen Handlungszusammenhängen. ...[es] stellt den Anspruch, theoretisch umfassend und praktisch folgenreich die Voraussetzungen, Möglichkeiten, Folgen und Grenzen des Lehrens und Lernens aufzuklären.“

Insofern stellt ein didaktisches Modell einen eher formalen Rahmen dar, „...innerhalb dessen didaktisches Handeln begründet und strukturiert werden kann.“ Didaktische Modelle helfen dabei, Unterricht hinsichtlich seiner Ziele und Methoden diskutierbar und beurteilbar zu machen.

Ein aktuelles, oft zugrunde gelegtes didaktisches Modell, ist das → *Berliner Modell* (Anhang B), das in den 1960er Jahren von Paul Heimann entwickelt wurde. Das Berliner Modell bietet Lehrkräften ein klar strukturiertes Schema zur systematischen Planung und Reflexion des Unterrichts, das sowohl didaktische Entscheidungen als auch die spezifischen Lernbedingungen berücksichtigt. Es unterstützt die Lehrkraft dabei, den Unterricht zielgerichtet und den Bedürfnissen der Lernenden entsprechend zu gestalten.

Das Modell basiert auf der Analyse und Gestaltung von sechs zentralen Elementen, die in zwei Kategorien unterteilt sind:

1. Entscheidungsfelder

- **Ziele:** Welche Lernziele sollen erreicht werden? Hier wird festgelegt, welche Kenntnisse, Fähigkeiten oder Haltungen die Schülerinnen und Schüler durch den Unterricht erwerben sollen.
- **Inhalte:** Welche Themen oder Inhalte werden behandelt? Die Auswahl und Anordnung der Unterrichtsinhalte müssen den Lernzielen entsprechen.

- **Methoden:** Welche Lehr- und Lernmethoden werden angewendet? Es wird festgelegt, wie die Inhalte vermittelt werden und welche didaktischen Prinzipien zum Einsatz kommen.
- **Medien:** Welche Materialien und Medien werden verwendet? Es geht um die Auswahl und den Einsatz von Unterrichtsmaterialien, die den Lernprozess unterstützen.

2. Bedingungsfelder

- **Anthropogene Voraussetzungen:** Welche Eigenschaften und Fähigkeiten bringen die Lernenden mit? Dies umfasst Aspekte wie Vorkenntnisse, Lernmotivation und soziale Hintergründe der Schülerinnen und Schüler.
- **Soziokulturelle Voraussetzungen:** In welchem Kontext findet der Unterricht statt? Dazu zählen schulische Rahmenbedingungen, Klassengröße, Schulform, gesellschaftliche Erwartungen und Ressourcen.

Wichtige Merkmale:

- **Interdependenz der Felder:** Die Entscheidungsfelder und Bedingungsfelder sind miteinander verknüpft und beeinflussen sich gegenseitig. Eine Änderung in einem Feld kann Auswirkungen auf die anderen haben.
- **Reflexionsmöglichkeit:** Das Modell betont die Bedeutung der Reflexion und Anpassung des Unterrichts, basierend auf den Erfahrungen und Ergebnissen des Unterrichtsprozesses.

Das →*Hamburger Modell* von Wolfgang Schulz aus den 1970er Jahren ist eine Weiterentwicklung des Berliner Modells. Es baut auf dem Berliner Modell auf, erweitert es aber um eine tiefere Reflexion der sozialen und ethischen Dimensionen des Unterrichts und legt mehr Wert auf die Erziehung und soziale Verantwortung innerhalb der Bildungsprozesse. Das Hamburger Modell

- legt stärkeren Wert auf die kritische Reflexion von Lehr-Lern-Prozessen, einschließlich der ethischen und sozialen Implikationen,
- integriert die Frage nach sozialen und ethischen Werten stärker in die Unterrichtsplanung und betont die soziale Interaktion und die gesellschaftliche Verantwortung des Unterrichts,
- versteht Didaktik umfassender als Erziehungswissenschaft, die sich nicht nur auf den Unterricht, sondern auch auf die Persönlichkeitsentwicklung der Lernenden richtet.

Wie wendet man ein solches Modell an, bzw. welche Bedeutung haben solche Modelle für die tägliche Praxis der Lehrpersonen? Zur Beantwortung dieser Frage schaue man sich beispielsweise die Struktur des schriftlichen Unterrichtsentwurfes in →Kapitel 11 einmal genauer an. Die Bedingungs- und Entscheidungsfelder des Berliner Modells werden hier direkt beantwortet. Didaktische Modelle, wie hier konkret das Berliner und das Hamburger Modell, bilden somit das Fundament bei der Unterrichtsgestaltung.

Kapitel 5

Merkmale guten Unterrichts

Übungsaufgabe

Beantworten Sie zunächst Q12 bis Q14 in Kapitel 1.

Woher weiß man denn, ob Unterricht gut ist? Woher weiß man, ob man als Lehrender bzw. Lehrende keinen Schaden anrichtet? Es ist schwer, eine allgemeingültige Beschreibung für guten Unterricht zu erstellen. Eine einfache Arbeitsdefinition könnte darin bestehen, dass ein Unterricht dann gut ist, wenn eine größtmögliche Anzahl an Schülern vorher festgelegte Ziele erreicht. Somit hängt nun die Beurteilung des Unterrichts auch von der Definition der Ziele ab und von den Methoden, wie diese Ziele erreicht werden (siehe Kapitel 6 und 10)!

Beispiele

- Ein sehr strenger Unterricht mit körperlicher Maßregelung, wie zu Beginn des 20. Jahrhunderts durchaus üblich, fördert das Auswendiglernen, behindert aber die freie Persönlichkeitsentwicklung.
- Freier Unterricht fördert die individuelle Persönlichkeitsentwicklung der Schüler, erbringt aber möglicherweise weniger Durchschnitts- oder Spitzenleistungen als andere Unterrichtsformen.

Später werden wir das wichtige Wechselspiel von Unterrichtszielen, didaktischen Prinzipien, Unterrichtskonzepten und methodischer Umsetzung kennen lernen. Für eine zusammenfassende Darstellung der Merkmale guten Unterrichts sei hier auf den PIKO-Brief Nr. 4 verwiesen (Duit & Wodzinski, 2010).

5.1 Die internationale Schulleistungsstudie PISA

Das „Programme for International Student Assessment“ (PISA) erfasst weltweit Schülerleistungen und vergleicht diese international. Initiator

des Programms ist die OECD (Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung). Es werden die Kompetenzen von 15-jährigen Jugendlichen beim Lesen, in der Mathematik und den Naturwissenschaften europaweit erfasst. Sie wird alle drei Jahre erstellt. Die PISA-Studien werden als ein internationales Instrument angesehen, um alltags- und berufsrelevante Kenntnisse und Fähigkeiten Fünfzehnjähriger zu messen und vergleichbar zu machen. PISA soll nicht nur eine Beschreibung des Ist-Zustandes liefern, sondern Verbesserungen auslösen. Zumindest implizit wird der Anspruch erhoben, auf die nationalen Lehrpläne und Bildungsstandards zurückzuwirken.

Die Testaufgaben orientieren sich nicht an spezifischen Lehrplänen, sondern an Kompetenzen, die für den Lernprozess und den Wissenserwerb wichtig sind. Naturwissenschaftliche Kompetenz beinhaltet, grundlegende naturwissenschaftliche Konzepte zu verstehen und mit naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen vertraut zu sein (→ Abschnitt 6.5).

5.2 Basisdimensionen guten Unterrichts

Es wurde, der Versuch unternommen, u.a. und prominenterweise von Prof. Eckhard Klieme,¹ aus der empirischen Unterrichtsforschung generische Grunddimensionen von Unterrichtsqualität zu entwickeln (Klieme, 2022). Es ließen sich drei Dimensionen voneinander abgrenzen:

- Die erste Dimension *Klassenführung* fasst Skalen zur Regelklarheit, zu nachvollziehbaren Handlungsrouinen, zum Monitoring durch die Lehrkraft und zur Störungsprävention zusammen.
- Die zweite Dimension *Schülerorientierung* führt Skalen wie die Sensitivität für individuelle Bedürfnisse, Unterstützung durch die Lehrkraft und die Abwesenheit von Leistungsdruck zusammen. In anderen Publikationen wird das als *schülerorientiertes Unterrichtsklima* bzw. *konstruktive Unterstützung* bezeichnet.
- Die dritte Dimension fasst unter dem Begriff *kognitive Aktivierung* die Verwendung von Erklärungen und Aufgabenstellungen zusammen, die die SuS herausfordern, an vorhandenes Wissen anzuknüpfen und sich durch eigenständiges Nachdenken neues Wissen zu erschließen.

Diese Basisdimensionen sind mittlerweile gut etabliert. Sie stimmen gut mit den international anerkannten Dimensionen „Organisational Support“, „Emotional Support“ und „Instructional Support“ überein.

¹Eckhard Klieme (*1954), deutscher Bildungsforscher und Professor für Erziehungswissenschaft an der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main

5.3 Die IPN Interessenstudie Physik („Kieler“ Interessenstudie)

Am Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik (IPN) in Kiel wurde eine Videostudie zur Beschreibung und Erklärung von Lehr-Lern-Prozessen im Physikunterricht erstellt. Die Ergebnisse des sechsjährigen Forschungsprojekts zeigen zum einen, wie einheitlich Physikunterricht in Deutschland hinsichtlich der Klassenorganisation, der Zielorientierung, der Lernbegleitung, der Fehlerkultur und der Experimente abläuft. Zum anderen lassen die Analysen differentielle Effekte des Unterrichts auf Lernentwicklungen bei Schülerinnen und Schülern erkennen.

Wesentliche Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Kein Unterricht ist gleichwertig zu betrachten, jeder Unterricht hat Stärken und Schwächen. Jeder Unterricht ist individuell, jede Lehrkraft hat eigene „Handschrift“.
- Experimente haben grosse Bedeutung, ca 70% des Unterrichts werden vom Experiment bestimmt. Das Schülerexperiment ist zeitaufwändiger als das Demonstrationsexperiment. Es gibt signifikante Unterschiede zwischen den Lehrkräften. Schüler sind im Durchschnitt nur wenig bei Planung, Durchführung, Auswertung von Experimenten beteiligt.
- Unterricht ist typischerweise lehrerzentriert. Nur 17% der Unterrichtszeit entfallen auf Schülerarbeitsphasen. Dominant ist das eng geführte Klassengespräch im Stile des fragend-entwickelnden Verfahrens.
- Der Unterricht bietet nur wenig Gelegenheit für die aktive und eigenständige Auseinandersetzung mit dem Stoff.
- Unterricht über „klassische“ Inhalte dominiert; naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen werden nur selten angesprochen.
- Viele Lehrkräfte haben keine explizite Vorstellung, wie Lernen funktioniert und welche Rolle sie beim Lernen einnehmen sollten. Z. B. Rolle von Schülervorstellungen beim Lernen von Physik und zur Förderung des Interesses kaum bekannt.

5.4 Die Hattie-Studie

Der neuseeländische Bildungsforscher John Hattie erstellte eine international beachtete Studie zum Themenfeld „Schulunterricht“, welche er im Jahre 2009 in seinem Buch *Visible Learning* vorstellte. In der Studie wurden die Ergebnisse von hunderten Metaanalysen zusammengeführt, welche aus vielzähligen Lernstandserhebungen gewonnen wurden. Hattie stellte Einflussfaktoren auf Schülerleistungen und erfolgreiches Lernen zusammen.

Zur Beurteilung von Einflussfaktoren auf den schulischen Lernerfolg ermittelte Hattie eine Effektstärke, mit deren Hilfe er den Effekt einer bestimmten Maßnahme auf den Lernerfolg bewertet. Hattie konnte somit darlegen, dass es weiterhin stark auf die Lehrperson ankomme, ob Schüler in der Schule erfolgreich sind.

Einige Beispiele:

- *Schädlich für den Lernerfolg:* Umzug, Krankheit, Fernsehen, Alleinerziehende Eltern, Sitzenbleiben, Sommerferien.
- *Was hilft nicht und schadet nicht:* Offener Unterricht, Leistungsgruppierung, Interne Differenzierung, Web-basiertes Lernen, team-teaching.
- *Was hilft ein wenig:* Reduzierung der Klassengröße, individualisiertes Lernen, Integration und Inklusion, Hausaufgaben, entdeckendes Lernen, induktives Unterrichten, regelmäßige Leistungskontrollen, Zusatzangebote für Leistungsstarke.
- *Was hilft schon mehr:* Angstreduktion, kooperatives Lernen, Kleingruppenlernen, peer tutoring, direkte Instruktion.
- *Was hilft richtig viel:* Regelmäßige Tests mit Feedback, metakognitive Strategien, Lehrkraft-Schüler-Verhältnis, Klarheit der Instruktion, Micro-Teaching, Akzelerationsprogramme, Formatives Assessment.

Kapitel 6

Lernziele

Als Vorüberlegung zu diesem Kapitel beschäftigen Sie sich bitte mit folgender

Übungsaufgabe

Versetzen Sie sich zurück in Ihre Schulzeit und beantworten Sie folgende Fragen:

1. Was wurde im Physikunterricht *gelehrt*?
2. Was haben Sie im Physikunterricht *gelernt*?
3. Was haben Sie nach Besuch des Physikunterrichts *gekonnt*?

Tauschen Sie sich anschließend mit einem Partner aus.

Möglicherweise sind Ihre Antworten auf die Fragen 1, 2 und 3 nicht kongruent. Die lerntheoretische Strömung des *Konstruktivismus* (→ Abschnitt 7.1) hat dafür eine einfache Erklärung: Etwas zu lernen erfordert eine aktive Konstruktion des Lerninhalts und damit verbundener Kompetenzen durch den Lernenden. Lehr- und Lernziele müssen also nicht übereinstimmen (siehe auch → Abschnitt 10.6).

6.1 Lernen ordnen: Zum Begriff des Lernziels

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 (→ Operationalisierung). Es geht zunächst weniger um die Art oder die Methodik des Lernprozesses.

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

- Lernziele bilden für den Lehrenden den entscheidenden Rahmen für die Unterrichtsplanung, -umsetzung und -bewertung.
- Lernziele geben den Lernenden eine Orientierung über die von ihnen regelmäßig erwarteten Handlungsmuster und Lernerfolge.

- 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.

6.2 Funktionen von Lernzielen

- Lernziele sind – gemeinsam mit den Lernvoraussetzungen – gedanklicher Ausgangspunkt jeder Unterrichtsplanung (→ Kapitel 11). Schematisch dargestellt:

Lernvoraussetzungen → Unterrichtliches Handeln → Lernziele.

- Lernziele ermöglichen die Evaluation und Reflexion von Unterricht. Die Erreichung der Lernziele durch die Lernenden ist hierbei das Gütekriterium (und nicht etwa die vollständige und fachlich korrekte Darstellung durch die Lehrkraft).
- 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. Die derzeit gültige Version ist der LehrplanPlus, der unter lehrplanplus.bayern.de abrufbar ist.

6.3 Lernzielebenen

Lernziele lassen sich hierarchisch danach ordnen, über welche zeitliche Tragweite sie für die Unterrichtsplanung relevant sind. Eine ausführliche Darstellung der Lernzielebenen nach Westphalen (1979) findet sich bei Kircher et al. (2020b) auf den Seiten 90 ff. Hier eine kurze Übersicht:

1. **Leitziele:** Oberste, fächerübergreifende Ebene pädagogischer Aufgaben und Absichten, siehe → Art. 131 BV, → Art. 1 BayEUG.

Beispiele

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

2. **Richtziele:** Genauere, teilweise fachspezifische Ausformulierungen der Leitziele, siehe → Fachprofil des Fachs Physik im LehrplanPlus.

Beispiele

Förderung des Verständnisses naturwissenschaftlicher Methoden und Denkweisen, Entwicklung von Problemlösungsfähigkeiten, Verständnis der Rolle der Physik in der Gesellschaft.

3. **Grobziele** beschreiben eindeutig, aber nicht im Detail, die angestrebten Lernergebnisse innerhalb eines Faches. Denken Sie bei einem Grobziel an ein Lernziel mehrerer Unterrichtseinheiten. Sie finden diese durch die Gesamtschau des Fachlehrplans.

Beispiele

aus dem LPP Ph9: Verständnis der Energieerhaltung, Anwendung physikalischer Modelle, Bewertung gesellschaftlicher Auswirkungen

4. **Feinziele (auch Unterrichtsziele, Teilziele)** differenzieren den Unterricht in kleinste Einzelziele. Sie erhalten sie aus einzelnen, im Lehrplan angegebenen Kompetenzerwartungen. Ggf. müssen Sie diese noch konkretisieren.

Beispiele

aus dem LPP Ph9: Die Schülerinnen und Schüler nutzen das Prinzip der Energieerhaltung, um bei Energieumwandlungen mechanische Energieformen quantitativ zu bilanzieren und Größen zu berechnen.

Diese Unterteilung ist nicht vollständig trennscharf. Für Deine Unterrichtsvorbereitung (→ Kapitel 11) sind vor allem Grob- und Feinziele relevant, wobei Du Leit- und Richtziele im Hinterkopf behältst. Im schriftlichen Unterrichtsentwurf geben Sie die Ebenen 3 und 4 an.

6.4 Lernzieltaxonomien und Operationalisierung

Lernziele lassen sich nach verschiedenen Dimensionen des Gesamtspektrums menschlicher Verhaltensweisen einordnen. Die darauf aufbauenden Klassifizierungen heißen Taxonomien (Einordnung, vgl. z.B. Biologie). Die bekannteste ist wohl die Taxonomie nach Bloom et al. (1956). Hier dargestellt wird die darauf aufbauende Taxonomie nach Anderson und Krathwohl (2002).

KAPITEL 6. LERNZIELE

Dimension des Wissens	Dimension kognitiver Prozesse					
	1. Erinnern	2. Verstehen	3. Anwenden	4. Analysieren	5. Beurteilen	6. Erschaffen
A. Faktenwissen						
B. Konzeptwissen						
C. Prozesswissen						
D. Metakognition						

Tabelle 6.1: Darstellung der Taxonomie nach Anderson und Krathwohl (2002).

Die Taxonomie weist zwei Dimensionen auf, die *Dimension des Wissens* und die *Dimension kognitiver Prozesse*, da die kognitiven Prozesse der Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand auf jeder Ebene auf Wissen im Hinblick auf den Lerngegenstand zurückgreifen.

6.4.1 Zur Dimension des Wissens

- A. **Faktenwissen:** Die grundlegenden Elemente, die Schüler wissen müssen, um Probleme zu lösen.
- B. **Konzeptwissen:** Die Beziehungen zwischen den grundlegenden Elementen innerhalb einer größeren Struktur, durch die sie gemeinsam funktionieren.
- C. **Prozesswissen:** Wie man etwas macht, Forschungsmethoden, und Kriterien zur Auswahl von Techniken und Methoden der Problemlösung.
- D. **Metakognitives Wissen:** Wissen um sowie über die eigene Kognition.

6.4.2 Zur Dimension kognitiver Prozesse

- 1. **Erinnern:** Relevantes Wissen aus dem Langzeitgedächtnis abrufen.
- 2. **Verstehen:** Die Bedeutung von Lerninformationen bestimmen und mündlich, schriftlich, graphisch darstellen.
- 3. **Anwenden:** Ein Verfahren in einer bestimmten Situation anwenden.
- 4. **Analysieren:** Material in seine Bestandteile zerlegen und deren wechselseitige Beziehung und Zusammensetzung zum Ganzen erörtern.
- 5. **Beurteilen:** Werturteile auf Grundlage von Kriterien und Standards fällen.
- 6. **Erschaffen:** Elemente zu einem neuen Ganzen zusammensetzen oder ein Produkt entwickeln.

Übungsaufgabe

Ordnen Sie folgende Lernziele den Bereichen in Tabelle 6.1 zu.

- a. Die Schüler können den Ablauf eines Experiments in seine einzelnen Schritte zerlegen und die Bedeutung jedes Schrittes im Kontext der Energieerhaltung erläutern.
- b. Die Schüler können mithilfe des Energieerhaltungssatzes

erklären, wie Energie in geschlossenen Systemen erhalten bleibt.

- c. Die Schüler können ihre eigenen Denkprozesse beim Lösen von Aufgaben zur Energieerhaltung reflektieren und geeignete Strategien entwickeln, um Probleme effizienter zu lösen.
- d. Die Schüler können das Prinzip der Energieerhaltung anwenden, um in mechanischen Prozessen Energieumwandlungen zu berechnen.
- e. Die Schüler können die grundlegenden Konzepte der Energieerhaltung und die verschiedenen Energieformen (z. B. kinetische Energie, potenzielle Energie) aufzählen.

Entwerfen Sie dann drei weitere, eigene Lernziele zu Bereichen, die noch nicht belegt sind.

Lösung: C4, A2, D6, B3, A1

6.4.3 Operationalisierung

Vielleicht ist Dir aufgefallen, dass die Beispiele in der vorigen Übungsaufgabe alle eine bestimmte Struktur besitzen: Sie beginnen mit *Die Schüler können*, gefolgt von einem *Operatorverb* wie erläutern, erklären, reflektieren, entwickeln, anwenden, aufzählen.

Auf diese Weise formulierte Lernziele nennt man **Operationalisierte Lernziele**. Sie geben das gewünschte Endverhalten der Schüler an und machen die in der Unterrichtsplanung angegebenen Lernziele somit abprüfbar. Sie können aus dem Lernziel direkt Aktivitäten und Aufgaben ableiten. Auch Lernziele im LehrplanPlus werden operationalisiert angegeben, wobei zusätzlich zu den erworbenen Kompetenzen Inhalte angegeben werden.

Ein enges Verständnis von Operationalisierten Lernzielen findet man bei Mager und Gagné (1965). Hier darf das Lernziel keinen Interpretationsspielraum mehr zulassen. Dies wird bewerkstelligt durch folgende Bedingungen:

1. Benennung des Endverhaltens, das direkt beobachtbar sein muss (→ Behaviorismus).
2. Eindeutige Bezeichnung des Gegenstandes, auf den sich Lernziel bezieht.
3. Beschreibung der Rahmenbedingungen, Voraussetzungen, Hilfsmittel (z.B. Formelsammlung, Taschenrechner).
4. Angabe eines Beurteilungsmaßstabes für das als ausreichend geltendes Verhalten.

Zentral ist die Verwendung von Operatorverben, die auf Lernzielebenen referieren (→ Verbliste im Anhang A).

Beispiel

Klassisch (veraltet):

Der Schüler soll Aufbau und Wirkungsprinzipien eines Elektromotors verstehen.

Operationalisiert (üblich):

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

In Reinform (beinahe übertrieben, aber als Übung und für Unterrichts- und Prüfungsvorbereitung nützlich):

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.

6.5 Bildungsstandards und die KMK

Die Kultusministerkonferenz (Ständige Konferenz der Kultusminister in der Bundesrepublik Deutschland, kurz *KMK*) hat beschlossen, Bildungsstandards zu erarbeiten mit dem Ziel, die Einheitlichkeit und Vergleichbarkeit von Zeugnissen und Abschlüssen zwischen den Bundesländern zu vereinbaren und dadurch ein Höchstmaß an Mobilität von Fachkräften innerhalb der Bundesrepublik zu erreichen und zur Gleichwertigkeit der Lebensverhältnisse in ganz Deutschland beizutragen (*KMK*, 2004). Die Bundesländer haben sich verpflichtet, diese Standards zu implementieren und anzuwenden. Diese (mühsam errungenen) Bildungsstandards werden allgemein als nationale Kompetenzziele angesehen und sollen als Messlatte für den Erfolg des Schulunterrichts, u.a. im Fach Physik, dienen.

Mit dem Erwerb des mittleren Schulabschlusses verfügen die Schüler über naturwissenschaftliche *Kompetenzen* im Allgemeinen, und über physikalische Kompetenzen im Besonderen.

Definition von Kompetenzen nach Weinert (2014): *die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, um bestimmte Probleme zu lösen, sowie die damit verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, um die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können.*

Die in den folgenden vier Kompetenzbereichen festgelegten Standards beschreiben die notwendige physikalische Grundbildung. Zu jedem Kompetenzbereich sind drei Anforderungsbereiche (= Merkmale von Aufgaben, die verschiedene Schwierigkeitsgrade innerhalb ein und derselben Kompetenz abbilden), **I, II, III**, angegeben.

Fachwissen Physikalisches Fachwissen, wie es durch die vier Basis-konzepte (Materie, Wechselwirkungen, System, Energie) charakterisiert wird, beinhaltet Wissen über Phänomene, Begriffe, Bilder, Modelle und deren Gültigkeitsbereiche

sowie über funktionale Zusammenhänge und Strukturen. Als strukturierter Wissensbestand bildet das Fachwissen die Basis zur Bearbeitung physikalischer Probleme und Aufgaben.

I Wissen wiedergeben; II Wissen anwenden; III Wissen transferieren und verknüpfen

Erkenntnisgewinnung Physikalische Erkenntnisgewinnung ist ein Prozess, der durch die Tätigkeiten *Wahrnehmen, Ordnen, Erklären bzw. Prüfen* sowie *Modelle bilden* beschrieben werden kann.

I Fachmethoden beschreiben; II Fachmethoden nutzen; III Fachmethoden problembezogen auswählen und anwenden

Kommunikation Informationen sach- und fachbezogen erschließen und austauschen. Dazu gehören das angemessene Verstehen von Fachtexten, Graphiken und Tabellen, der Umgang mit Informationsmedien sowie das Dokumentieren von gewonnenem Wissens. Zur Kommunikation sind die Sprech- und Schreibfähigkeit in der Alltags- und der Fachsprache, das Beherrschen der Diskussion und Techniken der Präsentation erforderlich.

I Mit vorgegebenen Darstellungsformen arbeiten; II Geeignete Darstellungsformen nutzen; III Darstellungsformen selbständig auswählen und nutzen

Bewertung Physikalische Sachverhalte in verschiedenen Kontexten erkennen und bewerten. Dazu gehören das Heranziehen physikalischer Denkmethode und Erkenntnisse zur Erläuterung, zum Verständnis und zur Bewertung physikalisch-technischer und gesellschaftlicher Entscheidungen, sowie die Kenntnis der Grenzen naturwissenschaftlicher Sichtweisen.

I Vorgegebene Bewertungen nachvollziehen; II Vorgegebene Bewertungen beurteilen und kommentieren; III Eigene Bewertungen vornehmen

Kapitel 7

Schülervorstellungen und Konzeptwechsel

7.1 Konstruktivismus

Der Konstruktivismus ist eine lerntheoretische Perspektive, die das Lernen nicht als eine Folge des Lehrens beschreibt, sondern als eigenständige Konstruktionsleistung des Lernenden. Lernen wird als individueller, aktiver Prozess verstanden, bei dem neue Informationen auf Basis von Vorerfahrungen und bereits vorhandenen Wissensstrukturen interpretiert und integriert werden. Somit betont der konstruktivistische Ansatz die aktive Rolle des Lernenden im Lernprozess. Insbesondere die Extremform des Konstruktivismus, der *radikale* Konstruktivismus, bewirkt seit den 1990-er Jahren immer wieder erregte Diskussionen, die gut bei Jank und Meyer (2021) dargestellt sind. Konsens ist, dass es für Lehrpersonen wichtig ist, zu erkennen, dass Lernende neues Wissen aus ihrer sehr eigenen, individuellen Perspektive betrachten und aufnehmen und somit Lernende, bei gleichem Wissensangebot, zu unterschiedlichem Lernergebnis und auch zu unterschiedlichen Verständnisschwierigkeiten kommen können.

Im konstruktivistischen Ansatz stehen folgende Prinzipien im Vordergrund:

- **Aktive Wissenskonstruktion:** Lernende bauen neues Wissen aktiv auf, indem sie es mit ihrem bestehenden Wissen verknüpfen und selbst Bedeutungen entwickeln.
- **Selbstgesteuertes Lernen:** Lernende sind selbst für ihren Lernprozess verantwortlich, was Autonomie und Eigenverantwortung fördert. (→ EVA, Abschnitt 10.6)
- **Soziale Interaktion:** Wissen wird oft in sozialen Kontexten konstruiert, durch Diskussionen, Zusammenarbeit und Austausch mit anderen.
- **Kontextgebundenes Lernen:** Wissen wird als kontextgebunden betrachtet, d.h., dass Lerninhalte in realen oder realitätsnahen Situationen vermittelt werden, um das Verständnis und die Anwendbarkeit zu fördern.
- **Fehler als Lernchance:** Fehler werden als wichtiger Teil des Lernprozesses gesehen, da sie dazu beitragen, Denkprozesse zu reflektieren und zu korrigieren.

7.2 Schülervorstellungen – Begriff und Ursachen

Vorunterrichtliche Erfahrungen und Vorstellungen beeinflussen das Denken der Schüler. Die Schüler besitzen in der Regel bereits vor Einsetzen des Fachunterrichts in Physik diverse individuelle Vorerfahrungen und teilweise breit gestreutes, unvollständiges Vorwissen über naturwissenschaftliche Sachverhalte oder – allgemeiner – natürliche Phänomene. Schülervorstellungen sind die Hauptursache von Lernschwierigkeiten, denn der Lernende verarbeitet Unterrichtsinhalte auf Grundlage physikalisch unangemessener Denkweise. In einem Unterricht, in dem zulasten begrifflicher Erklärungen viel gerechnet wird, treten falsche Schülervorstellungen oft nicht zutage.

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

- Der Begriff Schülervorstellung ist als Oberbegriff zu sehen und ersetzt immer mehr den Begriff Fehlvorstellung, da man Abwertungen vermeiden will.
- Die Endsilbe *-konzept* betont den Netzcharakter im Gegensatz zu schnell-intuitiven Einschätzungen. In stabilen, weil „erfolgreichen“ persönlichen Theoriesystemen wird eine größere Gruppe von Phänomenen vermeintlich richtig deutet.
- Im Begriff *Präkonzept* ist der frühzeitige Erwerb in einem außerphysikalischen Kontext betont. Zudem kann auch darauf abgezielt werden, dass noch eine breite Vernetzung im Sinne eines *Konzepts* stattgefunden hat.
- Der Begriff *Alltagsvorstellung* 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.

Zu den typischen Ursachen von Schülervorstellungen gehören:

- *Umgangssprache.*

Beispiele

- „Die Wärme breitet sich nach Norddeutschland aus“ – Wärme ist als beweglicher Stoff angesehen.
- „Der Stromverbrauch in Deutschland steigt.“ – anstatt Nutzung elektrischer Energie.
- „Seine Kraft reichte nicht mehr aus, um den Schlusssprint zu gewinnen.“ – Kraft als Eigenschaft oder gespeicherter Vorrat einer Person.

- *Wahrnehmungsmuster.*

Beispiele

- Darstellung von Atomen, Atomkernen, Elektronen als Kugeln in den Medien.
- Die Feldlinien sind das Feld, zwischen den Feldlinien ist nichts.
- Das gleiche gilt für Strahlengänge aller Art. Das Modell wird als Realität angenommen.

- *Stark wirkende Erfahrungen.*

Beispiele

- erfahrene Kräfte bei der Kurvenfahrt mit dem Auto. Es gibt also eine Kraft, die mich nach außen trägt...
- „Bewegung braucht Kraft“ (Aristoteles)

- *Weitere Ursachen:* Zu wenig Beobachtungs-Erfahrungen, zu schnell gefertigte Eigendeutung, Begriffsunklarheiten, fehlende Einsicht in Modellcharakter (Idealisierung) einer physikalischen Theorie.

Zu den am weitest verbreiteten Informationsquellen zählen Eltern, Großeltern, Geschwister, Freunde, Erzieher (z.B. Kindergarten), Massenmedien (z.B. Die Sendung mit der Maus), Filme (auch Computerfilme), Comics und Anime, Solche inkompletten Kenntnisse und Vorerfahrungen werden in der Mehrheit unreflektiert auf neue Sachverhalte angewendet.

Solch u.U. kognitiv und affektiv fest verankerten Vorstellungen legen Schüler mit Betreten des Physikfachraumes beileibe nicht ab. Der Physiklehrer muss bei seiner Unterrichtsplanung vorhandene Präkonzepte antizipieren und ihnen durch seinen Unterricht entgegenwirken. Werden falsche Schülervorstellungen oder Präkonzepte nicht ausgeräumt bzw. beseitigt, entwickeln sich daraus *Misskonzepte* oder *Fehlvorstellungen*.

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,
- durch positive Erfahrungen bei einem AHA-Erlebnis

erlernt werden.

7.3 Tests zum Erfassen von Schülervorstellungen

- Force Concept Inventory (FCI) dient dem Erfassen des grundlegenden Verständnisses der Konzepte in der Newtonschen Mechanik
- The Force and Motion Concept Evaluation (FCME) ist dem FCI sehr ähnlich, baut aber Vorstellungen zur Energie und Energieerhaltung mit ein
- Der Mechanics Baseline Test (MBT) bietet 26 Aufgaben mit je 5 Auswahlantworten, stellt formal höhere Anforderungen als FCI und FMCE. Stellt auch einige Aufgaben, deren Lösung rechnerische Abschätzungen erfordern und sollte auch nicht vor dem Mechanik-Unterricht eingesetzt werden.
- Testfragen zur Erfassung von Misskonzepten in der klassischen Mechanik nach Nachtigall (1987, 8. Skizze, S. 144 ff.)

7.4 Strategien zum Erreichen eines Konzeptwechsels

Es geht nicht darum, physikalisch falsche Konzepte durch richtige zu ersetzen. Sondern es geht darum, eine neue, *physikalische Sichtweise* zu vermitteln und deren Unterschiede zum *Alltagsdenken* herauszustellen. Folgende grundlegenden Strategien stehen zum Erreichen eines Konzeptwechsels zur Verfügung:

- **Dialog.** Thematisierung der Fehlvorstellungen. Die Schüler sollen sich ihrer eigenen Ideen und Vorstellungen im Gespräch bewusst werden. Ein grundsätzliches Problem beim Thematisieren von Schülervorstellungen besteht darin, dass diese dadurch aufgewertet werden und in Erinnerung bleiben.
- **Schlagartiges Umdenken, Bruch, Konfliktstrategie, bzw. Akkomodation.** Hierbei geht es um eine Konfliktstrategie für einen diskontinuierlichen Lernweg. Als Grundlage wird ein stabiles Netz an unpassenden Konzepten gesehen, dass man grundsätzlich erschüttern muss. Man versucht hier, kognitive Konflikte zu erzeugen, indem man mit Aspekten beginnt, die mit den Schülervorstellungen nicht vereinbar sind. So soll eine Unzufriedenheit mit vorhandenem Wissen erzeugt werden, sowie der Wunsch nach einem korrekten Konzept. Ein solcher kognitiver Konflikt könnte beispielsweise durch ein Experiment erzeugt werden, bei dem die Schüler falsche Vorhersagen über den Ausgang treffen. Die Strategie zielt auf ein schnelles Umdenken bzw. einen Paradigmenwechsel ab.
- **Allmähliches Entwickeln, Umdeuten, Assimilation.** Ein kontinuierlicher, bruchloser Wandlungsprozess wird hingegen erreicht, wenn man versucht, an bestehende, ausbaufähige Schülervorstellungen anzuknüpfen, um von da aus Schritt für Schritt zu den gewünschten Vorstellungen hinzuführen. Hierbei werden Wahrnehmungen

und Beobachtungen zu einem vorhandenen Wahrnehmungsschema zugeordnet, welches sich dadurch nur leicht verändert. Dies wird erreicht durch Anknüpfen, Abgrenzen, Umgehen, schrittweises Ausbauen oder durch Umdeuten von bestehenden, ausbaufähigen Schülervorstellungen. Hierzu müssen genügend Anknüpfungspunkte an entwicklungsfähige vorhandene Schülervorstellungen vorhanden sein.

- **Überbrückungsstrategie** Ist wohl eher als eine Mischform aus diskontinuierlicher und kontinuierlicher Strategie zu sehen. Es geht hierbei darum, eine Gedankenbrücke zu schaffen, um eine falsche Vorstellung umzudeuten. Beispielsweise besteht eine gängige Schülervorstellung in der Mechanik beim Verständnis des 3. Newtonschen Gesetzes. Ein auf einem Tisch ruhendes Buch übt demnach eine Kraft auf den Tisch aus, der Tisch jedoch übt keine Kraft auf das Buch aus. Die Gedankenbrücke bestünde darin, die Tischplatte durch eine dünne biegsame Membran zu ersetzen oder durch eine auf Kompressionsfedern gelagerte dünne Platte. Man erkennt dann recht einfach, dass diese mechanischen Federn natürlich auch eine Kraft auf das Buch ausüben müssen. Generell sind Beispiele für Überbrückungsstrategien rar.

Folgende Bedingungen müssen nach Poser und Strike erfüllt sein, damit es überhaupt zum Konzeptwechsel kommt:

- Die Schüler müssen mit ihrem vorhandenen Konzept unzufrieden sein.
- Das neue Konzept muss wenigstens bis zu einem gewissen Grad verstanden sein.
- Das neue Konzept muss intuitiv einleuchtend sein.
- Das neue Konzept muss hilfreich sein in neuen Situationen und Anwendungen.

7.5 Fazit

Die meisten in der Literatur vorgeschlagenen Unterrichtsstrategien gehen ungefähr so:

1. Schüler machen eigene Erfahrungen mit den Phänomenen, z.B. durch eigenes Experimentieren oder eigenes Vorhersagen eines Versuchsausgangs
2. Bezug zur Schülervorstellung, z. B. durch Herstellen eines Konfliktes oder Umgehung der Schülervorstellungen in einer Aufbaustrategie
3. Lehrkraft bringt die wissenschaftliche Sicht ein, die Schüler nicht selber entdecken können. Nutzen wird im Unterricht diskutiert.

4. Festigung der neuen Sichtweise durch Anwendung auf weiterer Beispiele
5. kritischer Rückblick auf den Lernprozess. Vergleich von Schülervorstellungen mit physikalischen Vorstellungen

Die Lehrperson sollte sich immer bewusst sein, dass sich Schülervorstellungen hartnäckig halten. Auch wenn diese im Unterricht explizit thematisiert und remediert wurden, wird allzu häufig festgestellt, dass zu späterer Zeit, in anderem Zusammenhang oder auch in gleicher Situation, die alte, falsche Vorstellung wieder dominiert. Es braucht Zeit und Übung, um eine physikalische Denkweise durchzusetzen. Zudem ist auch in anderen Bereichen zu beobachten, dass im Alltag Begriffe *falsch* verwendet werden, wie zum Beispiel *Besitz* und *Eigentum*. Oft ist die Alltagsbedeutung so dominant, dass auch Fachleute sie im Alltag verwenden. Die Verwendung der Begriffe Stromverbrauch oder Stromrechnung ist im Alltag obligatorisch, aber im Fachkontext eben nicht erwünscht. Das Ziel muss es also sein, den Lernenden zu verdeutlichen, dass Begriffe in der Fachsprache und im Fachunterricht besondere Bedeutung haben und dass im Fachkontext korrekte Fachsprache wichtig ist.

7.6 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 m s^{-1}).
- Zentripetalkraft: Wenn ein Körper kreisförmig bewegt wird, so ist eine nach außen gerichtete Kraft dafür notwendig.

- Zentrifugalkraft: Wird ein gleichförmig-kreisförmig bewegter Körper losgelassen, so fliegt er radial davon.
- Die Gravitationskraft verschwindet im Erdorbit zu null wegen des großen Abstands zur Erde.
- 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 L entspricht 1 kg (insbesondere bei Flüssigkeiten).
- Gleichsetzung von Masse und Gewicht(-skraft): 100 g „entspricht“ 1 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. Duit, 1980).
- 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.
- 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°C und 20°C zusammen, so erreicht man eine Temperatur von 30°C .
- 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.
- Man kann einen Regenbogen aus der Nähe genauer betrachten.
- Der Regenbogen hat die Form eines (kreisförmigen Teils eines) Rings.

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 stets einen festen Ort und eine feste Geschwindigkeit.
- Elektronen sind (als bläuliche Strahlen) sichtbar.
- Heisenberg'sche Unbestimmtheitsrelation wird als Unzulänglichkeit des Messinstruments interpretiert.

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 km h^{-1} .

Technik

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

Kapitel 8

Aufbereiten von Unterrichtsinhalten

8.1 Didaktische Analyse nach Klafki / Kritisch-konstruktive Didaktik

Die didaktische Analyse ist ein zentrales Konzept der Unterrichtsplanung, entwickelt von Wolfgang Klafki.¹ Sie dient dazu, den Bildungsgehalt eines Themas systematisch zu untersuchen und die Unterrichtsgestaltung darauf aufzubauen. Klafkis Ansatz stellt die Frage in den Mittelpunkt, welchen Bildungswert ein Thema für die Lernenden hat.

Klafki identifiziert fünf Grundfragen, die eine didaktische Analyse leiten:

1. **Exemplarische Bedeutung:** Welches allgemeine Prinzip oder welche grundlegende Erkenntnis kann durch das Thema vermittelt werden?
2. **Gegenwartsbedeutung:** Welche Relevanz hat das Thema für die aktuelle Lebenswelt der Lernenden?
3. **Zukunftsbedeutung:** Welche Bedeutung hat das Thema für die zukünftige Entwicklung und Lebensbewältigung der Lernenden?
4. **Sachstruktur:** Wie ist der inhaltliche Aufbau des Themas und welche grundlegenden Zusammenhänge müssen verstanden werden?
5. **Zugänglichkeit:** Wie kann das Thema so aufbereitet werden, dass es für die Lernenden verständlich und nachvollziehbar ist?

Die didaktische Analyse nach Klafki zielt somit darauf ab, Unterrichtsinhalte so auszuwählen und zu gestalten, dass sie sowohl aktuelle als auch zukünftige Bildungsprozesse der Lernenden unterstützen. Dabei wird das Thema in einen größeren Bildungszusammenhang gestellt, um nicht nur Wissen zu vermitteln, sondern auch das Selbst- und Weltverständnis der Schüler zu fördern.

¹Klafki, Wolfgang: Didaktische Analyse als Kern der Unterrichtsvorbereitung in: Roth, H. / Blumenthal, A. (Hg): Grundlegende Aufsätze aus der Zeitschrift Die Deutsche Schule, Hannover 1964; Klafki, Wolfgang: Die bildungstheoretische Didaktik im Rahmen kritisch-konstruktiver Erziehungswissenschaft - oder: Zur Neufassung der Didaktischen Analyse in: Gudjons, H.: Didaktische Theorien / Westermanns Pädagogische Beiträge, Braunschweig 1986; Jank, W. / Meyer, H.: Didaktische Modelle, Frankfurt am Main 1991

Es sei angemerkt, dass durch den Lehrplan, insbesondere der im Fach Physik, bereits eindeutig festgelegt ist, welche Themen in die Unterrichtsplanung einzubeziehen sind. Eine didaktische Analyse dieser Themen darf gern zu Übungszwecken versucht werden, aber eine Entscheidung bezüglich einer Themenauswahl ja bereits erfolgt.
Ein Beispiel einer didaktischen Analyse findest Du in Anhang D.

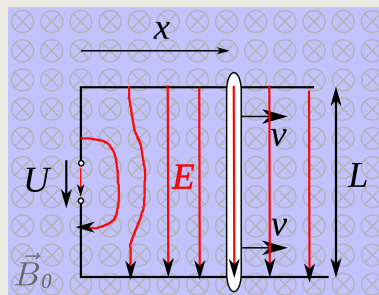
8.2 Elementarisierung und didaktische Rekonstruktion

8.2.1 Elementarisierung

Übungsaufgabe

Betrachten Sie folgende Darstellungen des Induktionsgesetzes:

1. $U = \frac{d}{dt} \int_{A(t)} \vec{B} \cdot d\vec{A}$
2. In einer durch ein Magnetfeld bewegten Leiterschleife wird eine Spannung induziert.
3. Ist das Magnetfeld 2, 3, ..., n mal so groß, so ist auch die induzierte Spannung 2, 3, ..., n mal so groß.
4. $U = B_0 L v$
5. $\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$



6. \vec{B}_0
7. Abb. 2 unter <https://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/elektromagnetische-induktion/grundwissen/induktion-durch-aenderung-der-winkelweite>

Wodurch unterscheiden sich die Darstellungen 1 bis 7? Können Sie diese hierarchisch ordnen? Welche Darstellung halten Sie für welche Zielgruppe für angemessen?

Die Physik ist die Lehre von den Naturgesetzen. Ihre Methode ist die Modellbildung, um Phänomene in der Umwelt erklären und vorhersagen zu können. Die besten Modelle, die wir derzeit für die Beschreibung der Natur haben, sind unter anderem

- die Allgemeine Relativitätstheorie für alle Phänomene auf großen Größenskalen,

8.2. ELEMENTARISIERUNG UND DIDAKTISCHE REKONSTRUKTION

- die Quantenmechanik für alle Phänomene auf kleinen Größenskalen und
- die Maxwell'schen Gleichungen zur Beschreibung elektromagnetischer Felder.

Diese Modelle sind hochkomplex und beruhen auf höherer Mathematik. Als Physiklehrkraft müssen Sie also vereinfachen!

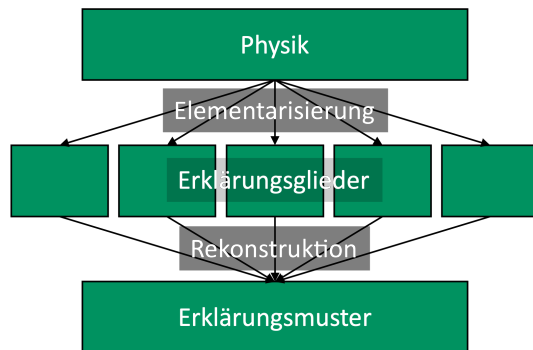
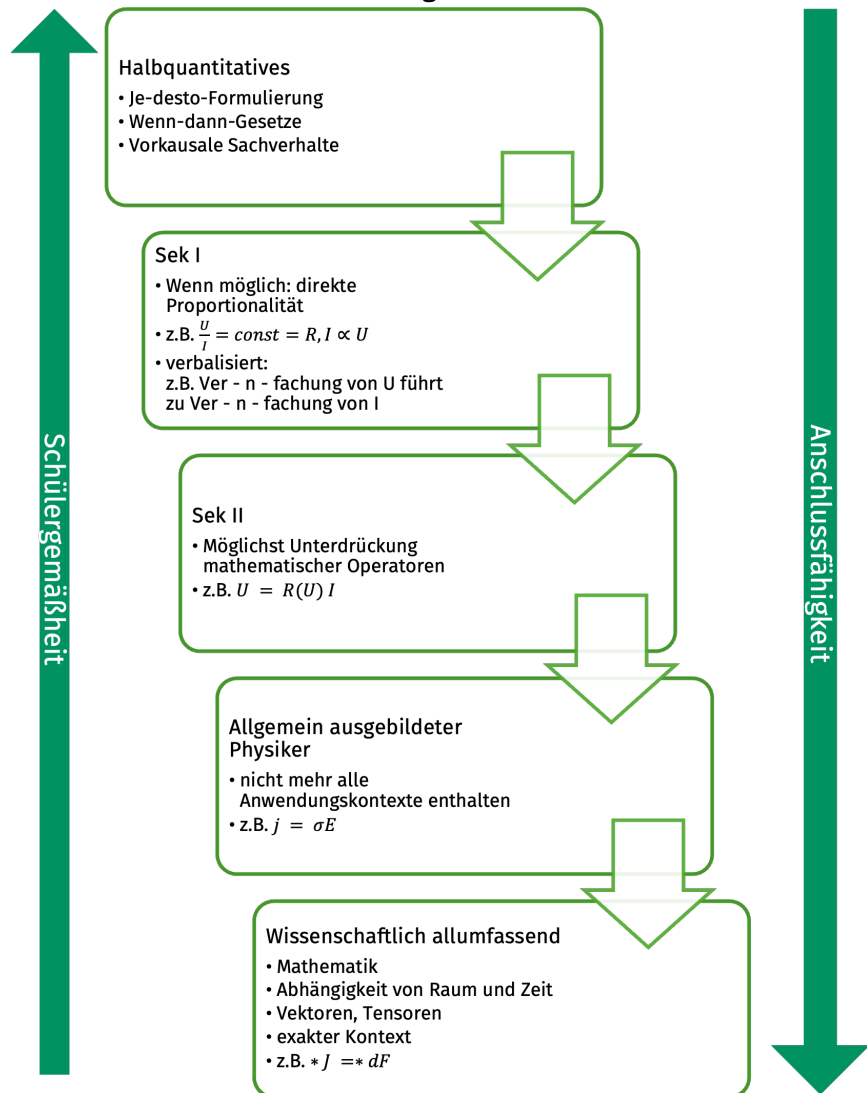


Abbildung 8.1: Elementarisierung und didaktische Rekonstruktion

Wir wollen unter **Elementarisierung** die *fachlich zulässige Vereinfachung physikalischer Inhalte* verstehen. Das *Zusammensetzen dieser Sinneinheiten zu einer Sachstruktur im Unterricht* nennen wir **Didaktische Rekonstruktion** (→ Pestalozzis Traum in Kircher et al., 2020b, S. 158 f.). Dieses Verfahren ist in Abb. 8.1 dargestellt.

Beispiele

Verschiedene Elementarisierungsstufen des Ohm'schen Gesetzes.



Zentrales Element dieses Beispiels ist die Minimierung Reduktion des Quantitativen auf das Qualitative – der Grad der Mathematisierung sinkt adressatengerecht, wobei die niedrigeren Elementarisierungsstufen hinreichend fachlich korrekt bleiben, um einen stetigen Anschluss zu gewährleisten.

8.2.2 Gütekriterien für Elementarisierungen

- **Adressatengerechtigkeit:** Das Anspruchsniveau muss für die Lernenden verständlich sein (z. B. bedingt durch Alter, Jahrgangsstufe, Schulart, Vorerfahrung).
- **Sachgerechtigkeit:** Die Aufbereitung muss der Sache angemessen sein.
- **Fachgerechtigkeit:** Es müssen Darstellungsformen gewählt werden, die im Fach üblich sind.

- **Gültigkeit:** Bei der Elementarisierung darf keine Verfälschung oder Verkehrung des Inhalts auftreten.
- **Anschlussfähigkeit:** Wer weiter lernt, soll das Gelernte nicht wieder verwerfen müssen. Bei weiterem Lernfortschritt soll die Elementarisierung im erweiterten Kontext weiterhin sinnvoll erscheinen.
- **Thematisierung und Transparenz:** Die Lehrkraft muss sich der Elementarisierung sowie ihrer Grenzen bewusst sein und die Lernenden darauf hinweisen.

8.2.3 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 (→ obiges Beispiel).
 - (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).
 - (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.
 - (c) Das Gesetz wird nach wie vor formelmäßig exakt, bei möglicher Unterdrückung eines aufwändigen mathematischen Begriffsapparats, formuliert. Dies entspricht dem Niveau eines Studenten im Grundstudium oder Schülers der Sekundarstufe II (Kollegstufe).
 - (d) Wenn möglich, werden Spezialfälle der direkten Proportionalität betrachtet. Dies ist in der Physik der Sekundarstufe I allgemein üblich.

- Quantitative Erfassung des konstanten Proportionalitätsfaktors
- Quotientengleichheit
- Graphische Darstellung in einem Koordinatensystem Es ergibt sich eine Ursprungs(Halb-)Gerade mit dem Proportionalitätsfaktor als Steigung
- Verbale Formulierung: Ver-n-fachung einer Größe führt zu Ver-n-fachung der zweiten Größe.

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

(e) Je-desto-Gesetz (halb-quantitativ), üblich in den ersten Physik-Jahren.

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 A verändert, so ändert sich auch B.

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,...) (→ 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 (→ Ideale Linse),
- der Dispersion des Lichts,
- des Wärmeaustauschs eines Kalorimetergefäßes (→ Ideal isolierend),
- Energie- bzw. Leistungsverlusten bei Energiewandlern (→ Idealer Transformator),
- des Wellencharakters des Lichts: Dies führt auf die geometrische Optik,
- von Auswirkungen tieferliegender physikalischer Theorien, beispielsweise von relativistischen oder Quanteneffekten,
- 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 und Naturkonstanten (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 (→ Mittelschule) — 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°C bis 4°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 ein- oder zweidimensionale Situation betrachtet (z.B. in der Mechanik).

8.2.4 Verwandte didaktische Begriffsbildungen

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

Beispiele

- Elektronen zwingen 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. Anthropomorphierung (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 Waalkes 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

Beispiele

- 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,...)

Übungsaufgabe

Erarbeiten Sie verschiedene Elementarisierungsstufen des Hooke'schen Gesetzes!

8.2.5 Elementarisierung erkennen

Häufig werden Sie nicht selber elementarisieren – diese Aufgabe übernehmen zum Beispiel Schulbuchverlage für Sie. Dennoch gelten die oben genannten Gütekriterien fort, insbesondere die personalen. Sie müssen also weiterhin für deren Einhaltung sorgen.

- Moment! So einfach ist es doch nicht!
- Hmm, das stimmt doch nicht ganz...
- Das Modell erklärt diesen Effekt ganz gut, aber ...
- Halt! Eigentlich ist es komplizierter!

Haben Sie einen dieser Eindrücke, dann aktivieren Sie Ihr Fachwissen und machen Sie sich klar, ob die Gütekriterien erfüllt sind oder ob Sie das Material modifizieren müssen, um es bedenkenlos im Unterricht verwenden zu können.

8.2.6 Didaktische Rekonstruktion nach Kattmann

Das Modell der *Didaktischen Rekonstruktion* nach Kattmann et al. (1997) ist ein Konzept zur Gestaltung von Lernprozessen, das wissenschaftliche Inhalte verständlich und zugänglich für Lernende aufbereitet. Dieser Ansatz kombiniert fachwissenschaftliche, fachdidaktische und lernpsychologische Perspektiven, um Unterrichtsinhalte optimal zu strukturieren.

Der Prozess der didaktischen Rekonstruktion umfasst drei wesentliche Schritte:

1. **Fachliche Klärung:** Präzise Analyse und Strukturierung der relevanten wissenschaftlichen Konzepte, um die inhaltliche Korrektheit sicherzustellen.
2. **Erfassung von Schülervorstellungen:** Untersuchung der Vorkenntnisse und Vorstellungen der Lernenden, um mögliche Fehlkonzepte zu identifizieren.
3. **Didaktische Strukturierung:** Entwicklung geeigneter Methoden und Materialien auf Grundlage der vorherigen Schritte, um die Lerninhalte verständlich und effektiv zu vermitteln.

Das Ziel der didaktischen Rekonstruktion ist es, die Kluft zwischen wissenschaftlichem Wissen und den Lernvoraussetzungen der Schüler zu überbrücken und den Lernprozess zu erleichtern.

8.3 Analogien und Modelle im Physikunterricht

8.3.1 Analogien

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 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.

Analogien sind also ein effektives pädagogisches Werkzeug im Physikunterricht, das dabei hilft, komplexe oder abstrakte Konzepte verständlicher zu machen, indem sie mit vertrauten Situationen oder Strukturen verglichen werden. Durch den Einsatz von Analogien können Lernende neue Konzepte auf Basis von bereits vorhandenem Wissen leichter begreifen. Analogien sind ein wesentlicher „Mechanismus“ für die Vernetzung eines Denksystems. (→ Ausubel: Sinnvoll übernehmender Unterricht). Analogien fördern insbesondere das kritische Denken, indem sie Lernende anregen, über Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen den verglichenen Konzepten nachzudenken.

Es ist jedoch wichtig, dass Lehrkräfte die Grenzen und möglichen Missverständnisse von Analogien im Blick behalten. Nicht alle Aspekte eines bekannten Systems können auf das neue Konzept übertragen werden, weshalb Analogien sorgfältig ausgewählt und erläutert werden sollten.

Klassifizierung von Analogien

- **Strukturelle Analogien:** Diese betonen die Ähnlichkeit in der Struktur zwischen zwei unterschiedlichen Systemen, wie z.B. die Analogie zwischen einem elektrischen Stromkreis und einem Wasserkreislauf.
- **Funktionale Analogien:** Diese fokussieren auf die ähnliche Funktion oder das Verhalten zweier Systeme, wie z.B. die Analogie zwischen der Bewegung von Planeten um die Sonne und Elektronen um einen Atomkern.
- **Bildhafte Analogien:** Diese nutzen leicht verständliche Bilder oder Geschichten, um abstrakte Konzepte zu veranschaulichen, wie z.B. das Bild einer mit Murmeln gefüllten Kiste zur Veranschaulichung von Gasdruck.

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 Stöcker, 1998)
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).

8.3.2 Modelle

Definition Ein Modell in der Physik ist ein ideelles (gedankliches) oder materielles (gegenständliches) Objekt, das als Ersatzobjekt für ein Original benutzt wird. Es ist eine Vereinfachung oder eine Veranschaulichung des Originals und damit der Wirklichkeit. In einigen Eigenschaften stimmt das Modell mit dem Original überein, in anderen nicht. Ein Modell ist weder richtig noch falsch, sondern nur für einen bestimmten Zweck geeignet oder nicht geeignet.

Aus erkenntnistheoretischer Sicht beinhaltet unser gesamtes Denken bzw. Wissen über Physik lediglich Modelle der Wirklichkeit, niemals die Wirklichkeit selbst. Die Physik als Wissenschaft arbeitet immer mit Modellen. Mit Hilfe von Modellen kann eine Elementarisierung (→ Kap. 8.2.1) durchgeführt werden. Modellbildung zählt zu den Schlüsselqualifikationen des Physikers.

Ganz allgemein müssen Modelle (i) sachgerecht sein (Die „Ladungsmännlein“ sind ungeeignet); (ii) schülergerecht sein (Das quantenmechanische Atommodell ist für die Schüler zu abstrakt).

Didaktische Funktionen von Modellen:

- heuristische Funktion: Gewinnung neuer Erkenntnisse, Hypothesen testen, Modelle müssen in einem definierten Bereich Vorhersagen über das Original zulassen
- Veranschaulichungsfunktion von Sachverhalten, Strukturen, theoretischen Konstrukten und Abläufen
- Vereinfachungsfunktion; Modelle müssen das Original adäquat und auf das Wesentliche reduziert abbilden. Modelle sind keine Kopie des Originals, d.h. nicht alle Modelleigenschaften stimmen mit dem Original überein
- Funktion der Lernökonomie bzw. Denkökonomie - neue Infos können schneller aufgenommen und behalten werden

Klassifizierung von Modellen: Die wissenschaftliche Klassifizierung von Modellen ist unübersichtlich. Eine mögliche Klassifizierung ist in dem Artikel von Michelskis-Seifert et al. (2005) gegeben. Modelle können nach unterschiedlichen Gesichtspunkten klassifiziert werden:

1. 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.

8.3. ANALOGIEN UND MODELLE IM PHYSIKUNTERRICHT

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

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

2. 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.

Letztlich sei darauf hingewiesen, dass die Modellbildung fester Bestandteil des Lehrplans in Bayern ist. Zur Kompetenzorientierung im Fach Physik heißt es dort:²

²<https://www.lehrplanplus.bayern.de/fachprofil/gymnasium/physik>

“Die Schülerinnen und Schüler kennen und erläutern wesentliche naturwissenschaftliche Konzepte, Theorien und Verfahren, die sie zur Beschreibung und Erklärung von Experimenten und *Modellen*, aber auch in alltäglichen Situationen nutzen. Auf dieser Grundlage wählen sie auch geeignete Experimente, *Modelle* und mathematische Beschreibungen aus, um Problemstellungen zu Phänomenen und Sachverhalten aus innerfachlichen und alltagsbezogenen Anwendungsbereichen zu bearbeiten. Sie berücksichtigen dabei die entsprechenden Gültigkeitsbereiche der ausgewählten *Modelle* und Theorien bei der qualitativen und quantitativen Auswertung von Beobachtungen und Messergebnissen. ...”

Kapitel 9

Strukturierung des Unterrichts

- *Unterrichtsprinzipien* bilden die grundlegenden Leitlinien, die den Unterricht strukturieren. Sie legen fest, wie Unterrichtsinhalte vermittelt werden sollen, um Lernen effektiv zu gestalten. Prinzipien wie Anschaulichkeit, Schülerorientierung und Verknüpfung von Theorie und Praxis bieten Orientierung für die methodische und didaktische Planung.
- *Planungsebenen im Unterrichtsentwurf* beziehen sich auf die verschiedenen Dimensionen der Unterrichtsplanung, wie die inhaltliche (Was soll vermittelt werden?), methodische (Wie wird es vermittelt?) und organisatorische Planung (Wann und wo findet der Unterricht statt?). Planungsebenen strukturieren den gesamten Prozess der Unterrichtsgestaltung, von der Zielsetzung bis zur Reflexion.
- *Das Artikulationsschema* beschreibt die Abfolge von Phasen innerhalb einer Unterrichtsstunde, wie Einstiegsphase, Erarbeitungsphase und Sicherungsphase. Das Artikulationsschema hilft, den Unterricht klar zu strukturieren und einen logischen, flüssigen Ablauf sicherzustellen.

9.1 Unterrichtsprinzipien

Unterrichtsprinzipien sind grundlegende Leitlinien, die den Physikunterricht strukturieren und gestalten. Sie helfen Lehrkräften dabei, den Unterricht effektiv zu planen und den Lernprozess der Schüler zu optimieren. 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.

Unterrichtsprinzipien beinhalten Gestaltungselemente (i) bezüglich der Auswahl und Darstellung der Inhalte, und (ii) bezüglich der konkreten methodischen Gestaltung des Unterrichts.

Wichtige Unterrichtsprinzipien werden im Folgenden erläutert. Sie helfen dabei, einen Physikunterricht zu gestalten, der sowohl fachlich fundiert als auch schülergerecht ist, und der das Verständnis für physikalische Phänomene nachhaltig fördert.

1. Anschauung

Anschauung ist das absolute Fundament aller Erkenntnis.

Ein Bild sagt mehr als tausend Worte.

(Johann Heinrich Pestalozzi, 1746 – 1827)

Komplexe physikalische Konzepte werden durch den Einsatz von Experimenten, Modellen und Visualisierungen verständlich gemacht. Anschaulichkeit fördert das konkrete Verstehen abstrakter Sachverhalte. 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.

Beispiele

Brechstange, Widerstandsbauteil, Bolzensprenger, Fernrohr, Unterrichtsgang Trafostation.

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

Beispiele

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.

Beispiele

Zahlen (→ Variable), Funktionsgraph, Spannung (→ Potential), Elektron (→ Materiewelle), mech. Arbeit (→ mech. Energie), Graphische Schaltzeichen in Darstellungen von el. Schaltungen, Feynman-Diagramme repräsentieren hochkomplizierte mathematische Überlegungen zu Stoßprozessen zwischen Elementarteilchen.

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.

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 (auch → Projektunterricht).

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

Auch wenn Schüler 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 Hefteinträge mit Texten, Zeichnungen oder Schaltbildern selbst erstellen.

4. Lebensnähe

bezeichnet das Prinzip, an die Alltagswelt der Schüler (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. Kleinschrittigkeit

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

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.

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.

7. **Schülerorientierung**

Dieses Prinzip beinhaltet die Auffassung, dass die Schüler im Mittelpunkt des Lernprozesses stehen und nicht die Fachinhalte (der Stoff) oder die Methodik ihrer Vermittlung. Der Unterricht wird an den Vorkenntnissen, Interessen und Lernbedürfnissen der Schüler ausgerichtet. Dies fördert Motivation und aktive Teilnahme am Unterricht.

8. **Verknüpfung von Theorie und Praxis**

Physikalische Theorien werden mit praktischen Anwendungen verknüpft, um Relevanz und Verständnis zu fördern. Dies kann durch Alltagsbeispiele, Experimente oder Projekte geschehen.

9. **Aktivierung**

Die Lernenden werden aktiv in den Lernprozess einbezogen, beispielsweise durch Experimente, Gruppenarbeiten oder Diskussionen. Dies stärkt das eigenständige Denken und die Problemlösungsfähigkeit.

10. **Spiralcurriculum**

Zentrale Konzepte und Prinzipien werden auf unterschiedlichen Niveaus wiederholt und vertieft. Dies ermöglicht eine kontinuierliche Entwicklung und Vertiefung des physikalischen Verständnisses. Der Lehrplan Physik weist Strukturen eines Spiralcurriculums auf.

11. **Aktualität**

Unterrichtsinhalte werden im Kontext eines gegenwärtigen Ereignisses präsentiert.

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

12. **Konstruktivismus** → Abschnitt 7.1

Wissen wird als aktiv konstruierter Prozess verstanden. Lernende werden ermutigt, eigene Hypothesen zu entwickeln und durch Experimente zu überprüfen.

13. **Fehlerkultur**

Fehler werden als Lernchancen angesehen und konstruktiv im Unterricht thematisiert. Dies fördert eine offene und forschende Haltung.

9.2 Die Planungsebenen im Unterrichtsentwurf

Aspekte zur Unterrichtsplanung:

- Es gibt gewisse Grundmuster für die 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 (siehe → Kapitel 4). 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 Klassenlehrerprinzip, Projekte, Epochalunterricht, Freiarbeit, Lernzirkel

9.3 Artikulationsschemata

Das Artikulationsschema 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.

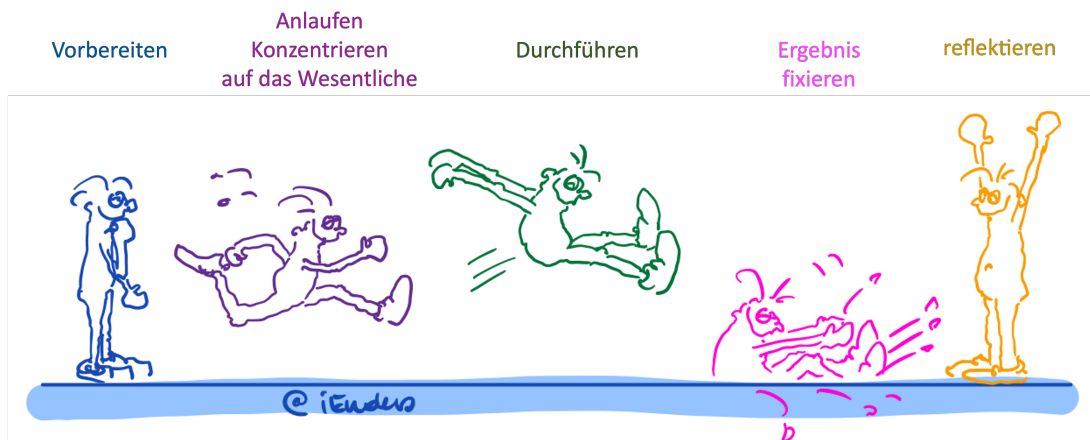


Abbildung 9.1: Grundstruktur eines Artikulationsschemas

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 Struktur von Artikulationsschemata ist grundlegend immer ähnlich und anschaulich in Abbildung 9.1 dargestellt.

Die in den folgenden Beispielen vorgestellten 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.

9.3.1 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.

9.3.2 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. (Bleichroth et al., 1991, 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

Knoff-Hoff-Show: 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.

9.3.3 Normalverfahren: Orientierung am naturwissenschaftlichen Erkenntnisweg

Naturwissenschaftlicher Unterricht soll neben den fachlichen Inhalten (materiale Bildung) auch Kenntnisse und Kompetenzen im Hinblick auf die Arbeitsweisen der Fächer vermitteln (formale Bildung). Einige Artikulationsschemata aus den Didaktiken der Naturwissenschaften orientieren sich daher am naturwissenschaftlichen Erkenntnisweg. Die zugrundeliegende Idee besteht darin, das Grundmuster naturwissenschaftlicher Erkenntnis in Unterrichtsabläufe einzupassen.

Die ersten derartigen Schemata formulierten Dewey (1910) und Kerschensteiner (1914). Diese rezipierte Hans Mothes 1968 im von ihm so bezeichneten **Normalverfahren**. Es enthält folgende Stufen in Anlehnung an die induktive Vorgehensweise der fachwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung:

1. **Problemfrage**
2. **Meinungsbildung**
3. **Die Nachprüfung des auf der Stufe der Meinungsbildung gewonnenen Urteils**, welches die Schritte *deduktive Überlegungen*, *Versuchsplanung*, *eigentliches Experiment* und *Urteil Erkenntnissatz* beinhaltet
4. **Rückkehr vom Gedankengerüst der Erkenntnis zur Wirklichkeit**
5. **Maßnahmen zur Festigung des Unterrichtsergebnisses**

Weiterentwicklungen des Normalverfahrens finden sich bei Duit et al. (1981), Plöger (1983) sowie bei Bauer (1984). Sie betonen die aktive Beteiligung der Schüler auf den Erkenntnisweg. Der schematische Ablauf der Unterrichtseinheit weicht jedoch nicht wesentlich vom Normalverfahren ab.

Kritikpunkte am Normalverfahren:

- Es ist fraglich, ob jedoch dieses Verfahren tatsächlich ein Abbild der Wissenschaft ist, da für Forschung eine Idee notwendig ist, was man überhaupt untersuchen will. Im Gegensatz dazu inszeniert der Lehrer den Unterricht häufig so, als wären ihm die zu ermittelnden Sachverhalte noch nicht bekannt.
- Es gibt weitere naturwissenschaftliche Erkenntniswege als den Vierschritt „Problem – Hypothese – Experiment – Verifikation“. Daraus folgt auch, dass es kein Abbild einer einheitlichen naturwissenschaftlichen Methode im Unterricht geben kann.
- Das routinemäßige Vorgehen im Sinne eines „normal“, also immer anzuwendenden Verfahrens fördert keineswegs die formale Bildung der Schüler, selbst wenn diese die konstituierenden Schritte selbstständig ausführen. Dies belegen auch die stetig abnehmenden Ergebnisse internationaler Schulleistungsstudien.
- Vielmehr ist *eigenständiges* naturwissenschaftliches Vorgehen, losgelöst von Standardschemata, im Unterricht zu fördern. Im Sinne der *kognitiven Meisterlehre* bzw. des *Scaffoldings* werden die Schüler dabei, wo erforderlich, von der Lehrkraft unterstützt. Die naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen erfahren sie während des aktiven Tuns.

9.3.4 Fallstudie: Die Phase der 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.

Beispiele

- 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)
- Hockepackball: 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.

Beispiele

- 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 km h^{-1} um die Erdachse und mit 30 m s^{-1} um die Sonne.

- **Ungewissheit, Verwirrung:** Konflikt zwischen mehrdeutigen oder unvollständigen Erfahrungen.

Beispiele

- 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:**

Beispiele

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

- **Staunen, Wundern**

Beispiele

- Was passiert, wenn die Erde aufhört, sich zu drehen?
- Warum ist der Himmel nicht violett?
- Perspektivwechsel: Wie sieht eine Ameise die Welt?

- **Paradoxie, Zwiespalt**

Beispiele

- 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 \leftrightarrow Staudruck).

- Das Zwillingsparadoxon der Allgemeinen Relativitätstheorie.
- Historisch: Olbers'sches Paradoxon (1826).

• Neuigkeitsgehalt, Aktualität

Beispiele

- Erdbeben, Tsunami
- Klimawandel, Energietechnologien
- Mond- und Marsmissionen
- Quantencomputer

9.3.5 Fallstudie: Einstiege in eine Unterrichtseinheit

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

Beispiele

- Lichtstrahlen im Wald.
- Regenbogen.

• Einstieg über eine Beobachtung im Haushalt

Beispiele

Dampfkochtopf, Kühlschrank, Fernseher, Heizung.

• Einstieg über eine Beobachtung in der Freizeit

Beispiele

Fahrrad, Schwimmen.

• Einstieg über Handwerk und Technik

Beispiele

- Metallbau: Schweißen, Korrosion.
- Elektro: Installation
- Bau: Kran, Hydraulische Maschinen, Wärmeisolation, ...

• **Einstieg über eine (qualitative oder quantitative) Versuchsreihe.**

Beispiele

- Welche Stoffe leiten den el. Strom?
- Hooke'sches Gesetz.
- Ohm'sches Gesetz.

• **Einstieg über einen Schlüsselbegriff oder -gegenstand**

• **Einstieg über ein aktuelles Ereignis**

Beispiele

- Baugenehmigung für Physik-Projekt (Garching),
- Bau eines Kraftwerks, Überlandleitung,
- Weltraumfahrt (Marslandung)
- Astronomie (Finsternisse, Kometen,...)

• **Einstieg über Vergegenwärtigung einer historischen Begebenheit**

Beispiele

z. B. wegen Jahrestag einer Entdeckung, Briefmarkenherausgabe, Biographie eines Naturforschers)

- Oersted-Versuch: Induktion in ruhenden Leitern.
- Newton'sches Gravitationsgesetz.
- Entdeckung der Radioaktivität: Becquerel.
- 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.**

9.3.6 Fallstudie: Das Aufstellen einer Vermutung bzw. 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.

9.4 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.
Dieser Abschnitt stellt einige Beispiele vor.

9.4.1 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.
- 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 (Genese = Entstehung):

- 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. (Duit et al., 1981, S. 107 oben).

- „Rettet die Phänomene“ Die Schüler müssen die Welt erleben, bevor sie sie (analytisch) erklärend durchdringen (Wagenschein, 2009, S. 90, 104).
- Die Selbstzweck-Mathematisierung muss zurückgefahren werden.
- Die drei Phasen des exemplarisch-sokratisch-genetischen Unterrichts:
 1. Einstieg: „Wir steigen vom Seltsamen ins Elementare (von der Todesschleife zum Trägheitssatz) hinab.“ (Wagenschein, 1971, 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.

9.4.2 Forschender Unterricht

Begründer: 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 Universitätsprofessor, theoretische Arbeit, Reisen in die USA, trägt zur Reform des Schulwesens bei.
- 1926 Hauptwerk „Theorie der Bildung“.
- 15.1.1932 Gestorben in München.

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.

Idee des Forschenden Lernens (Discovery learning) nach Kerschensteiner, Dewey, Kilpatrick.

- 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.
- 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.

- Abfolge von: Problem – Hypothese – Verifikation/Falsifikation. (Vgl. auch das Stufenschema von H.F. Bauer bzw. Plöger).
- Kritik: Vernachlässigung der geschichtlichen und musischen Bildung.

9.4.3 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 Black-Box-Prinzip).
 8. Problem: Schülerbaupläne sind komplex angelegt, sie sind vergleichsweise schwer umsetzbar.

9.4.4 Historisierender Unterricht

Der historisierende Unterricht ist eine didaktische Methode, bei der Schüler die Entwicklung wissenschaftlicher Konzepte und Theorien nachvollziehen, indem sie die historischen Schritte und Denkprozesse, die zu unserem heutigen Wissen geführt haben, studieren. Dies ermöglicht ein tieferes Verständnis der Natur wissenschaftlicher Erkenntnis, weil es zeigt, wie sich wissenschaftliche Modelle im Laufe der Zeit durch neue Experimente und Theorien verändert haben.

Beispiele

- Entwicklung der Atommodelle: Demokrit und die Idee der Unteilbarkeit (ca 400 v. Chr.) → Daltons Atomtheorie (1803) → Thomsons „Rosinenkuchenmodell“ (1897) → Rutherfords Atommodell (1911) → Bohrsches Atommodell (1913) → modernes Atommodell und die Quantenmechanik (20. Jh.)
- Entwicklung vom geozentrischen zum heliozentrischen Weltbild (Ptolemaios, Brahe, Kopernikus, Kepler, Galilei)
- Entdeckung des Elektromagnetismus (Oerstedt, Faraday, Maxwell)

9.4.5 Sinnvoll übernehmender Unterricht nach Ausubel (1974)

Der Begriff „Sinnvoll übernehmender Unterricht“ wurde vom Bildungspsychologen David P. Ausubel geprägt. Seine kognitivistische Lerntheorie ist der Strömung des → Konstruktivismus (Abschnitt 7.1) zuzuordnen.

Der sinnvoll übernehmende Unterricht basiert auf der Idee, dass Schüler dann am effektivsten lernen, wenn neue Informationen in einem Kontext präsentiert werden, der es ihnen ermöglicht, diese Informationen sinnvoll in ihr bestehendes Wissen zu integrieren. So entsteht ein Netz aus bestehendem und neuem Wissen.

Der sinnvoll übernehmende Unterricht hat im Wesentlichen drei methodische Merkmale:

- **Aktivierung von Vorkenntnissen:** Der Unterricht sollte die bestehenden kognitiven Strukturen der Lernenden aktivieren und mit neuen Informationen verknüpfen. Dazu muss die Lehrkraft eine gute Kenntnis über das Vorwissen der Schüler haben oder erlangen (→ Schülervorstellungen, Kapitel 7).
- **Strukturiertes Lernen:** Anknüpfend an das bestehende Wissen der Lernenden wird neuer Stoff so präsentiert, dass er sich sinnvoll und logisch einfügt.
- **Advance Organizer:** Der Lernstoff wird hierbei bereits vorab geordnet und in Relation gesetzt. Die Konstruktionshandlung erfolgt dennoch durch den Lernenden.

Man beachte, dass Schülervorstellungen sehr individuell sind. Daraus folgt auch, dass an Vorwissen anknüpfender Unterricht individuelle Zugangs- und Lernwege ermöglichen sollte.

9.4.6 Induktiv-deduktives Verfahren

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

Beispiele

Deduktiv: Reflexionsgesetz → Spiegelbild.
Induktiv: Spiegelbilder → Reflexionsgesetz.

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 → 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: Kerschsteiner.

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

Galileis Fallgesetze: Verschiedene Objekte wurden vom schiefen Turm von Pisa fallen gelassen. → Fallgesetz

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

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

- Maxwellgleichungen der Elektrodynamik → Wellenoptik → Geometrische Optik.
- Grundgesetz der Mechanik → Trägheitssatz.
- Newton'sche Bewegungsgleichung $F = ma$ → Wurfparabel in 2D $y(t) = v_0 \sin(\theta)t - 1/2gt^2$
- 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.

Kapitel 10

Methodische Gestaltung des Unterrichts

In diesem Kapitel werden zentrale Aspekte der methodischen Gestaltung von Unterrichtseinheiten besprochen. Dazu gehören Handlungs- oder Aktionsformen, Sozialformen und Organisationsformen. Diese bestimmen, wie Lernprozesse konkret ablaufen und wie die Interaktion zwischen Lehrenden und Lernenden sowie unter den Lernenden selbst organisiert wird. Diese Formen bieten Lehrkräften Werkzeuge, um den Unterricht abwechslungsreich, effektiv und schülerzentriert zu gestalten.

- *Handlungs- oder Aktionsformen* beziehen sich auf die Art und Weise, wie die Lernenden aktiv im Unterricht tätig werden. Beispiele sind Experimentieren, Diskutieren, Präsentieren oder Problemlösen. Diese Formen geben vor, welche Art von Aktivität im Fokus steht und welche Handlungskompetenzen der Schüler gefördert werden.
- *Sozialformen* definieren die Gruppierung der Lernenden im Unterricht und bestimmen, wie die Lernenden zusammenarbeiten. Die wichtigsten Sozialformen sind Einzelarbeit, Partnerarbeit, Gruppenarbeit und Klassenunterricht. Sie legen fest, wie die soziale Interaktion und Zusammenarbeit im Lernprozess organisiert wird.
- *Organisationsformen* betreffen die organisatorische Struktur und den Rahmen des Unterrichts, einschließlich Raum- und Zeitgestaltung, Materialeinsatz und Klassenmanagement. Dazu gehört auch die Planung von Unterrichtseinheiten, Projekten oder Exkursionen. Organisationsformen legen fest, wie der Unterricht praktisch umgesetzt wird.

10.1 Handlungs- oder Aktionsformen

10.1.1 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“).

10.1.2 Lehrgespräch

impulsgebend — geführt/gelenkt — Frage- und Antwortspiel sokratisch

10.2 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 u. a. interessant im Hinblick auf das Experimentieren, vgl. dort.

10.2.1 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,

10.2.2 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 unterscheide:

- Parallel identisch (arbeitsgleich), ein Wettbewerbscharakter kann entstehen.
- Parallel abwechselnd.
- Parallel ergänzend (arbeitsteilig).
- 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).

10.2.3 Partnerarbeit

- Durchführen von Experimenten
- Lösen von Rechenaufgaben
- Gegenseitiges Erklären und Lehren von Konzepten
- Erstellen eines Modells
- Durchführung, Diskussion und Analyse von Experimenten
- Erstellen von Plakaten oder Präsentationen
- Dialogisches Lernen
- Gemeinsames Recherchieren
- Peer-Feedback bei Experiment-Berichten

10.2.4 Einzelarbeit

- Extremform bei der Binnendifferenzierung.
- Evaluation: Lehrer kann sich ein Bild vom individuellen Leistungsstand machen.
- Diskussion und Anregung durch Partner fehlen.
- Individuelle Neigungen und Leistungsvermögen können viel leichter berücksichtigt werden.

Beispiele

- Programmierter Unterricht,
- Nachhilfe-Einzelunterricht,
- Stillarbeit,
- Freiarbeit (nach Anweisungen),
- Hausaufgabe.

10.3 Organisationsformen

In Duit et al., 1981, S. 97 tritt der Begriff „Methodenkonzeptionen“ auf. In Bleichroth et al., 1991 sind mit Organisationsformen die Sozialformen gemeint.

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

10.3.1 Klassen- und Fachlehrerprinzip

- **Klassenlehrerprinzip:** 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.

10.3.2 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 Klassenlehrerprinzip 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,...

10.3.3 Außerschulische Lernorte

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

Beispiele

- Museen (z. B. Zukunftsmuseum Nürnberg), Ausstellungen.
- Technische Betriebe (Kraftwerke, Betriebe der Stromversorgung).
- Forschungseinrichtungen (Garching).
- Planetarium, Sternwarte.

10.3.4 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: Kerscheneiter).
 - 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“.

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.

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. Initiative (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.

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.

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.

Beispiele

- **Bau eines einfachen Elektromotors:** Die Schüler bauen einen einfachen Elektromotor, z. B. auf Grundlage eines Bausatzes, und messen Leistung, Wirkungsgrad, Drehmoment.
- **Eigenbau einer Wasserrakete:** Mit einer selbst gebauten Wasserrakete können die Prinzipien von Druck, Rückstoß und Flugbahn experimentell erforscht werden.
- **Schallmessungen im Alltag:** Die Lernenden messen mit Smartphones die Lautstärke in verschiedenen Umgebungen (z.B. Straßenverkehr, Klassenzimmer) und analysieren die Schallpegel und deren Auswirkungen auf Mensch und Natur.

10.4 Lernen an Stationen

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

Die Idee geht auf das Zirkeltraining (circuit training) innerhalb des Sportunterrichts zurück. In der 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 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.

10.5 Fachübergreifender Unterricht

Die Idee fachübergreifenden Unterrichts 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.

10.5.1 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: beispielsweise mit anderen Naturwissenschaften, Sport, ...
- als eigenständige Institution: Beispielsweise als „grundlegender (naturwissenschaftlicher bzw.) gesellschaftswissenschaftlicher bzw. musischer Unterricht“ oder unter eigenem Leitthema (Kybernetik, ITG, Projektthema,...).

10.5.2 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.

10.5.3 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: 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.

10.5.4 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.

10.5.5 Organisatorische Aspekte

- Schulorganisation
- Stärkere Betonung des Klasslehrerprinzips 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.

10.5.6 Grundhaltung der Physik und Physikdidaktik

Eher verhalten aus Sorge um die Gewichtigkeit 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.

10.5.7 Mögliche Leitmotive

Mögliche Leitmotive eines fächerübergreifenden Unterrichts

- Philosophische Aspekte.
- Historische Entwicklungen.
- Gesellschaftliche Relevanz.

- Konkreter Bezug von Physik zu einem anderen ausgewählten 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.

10.5.8 Mögliche Themenbereiche

Berührungspunkte der Physik mit anderen Fächern:

- Sport: Biomechanik, optimale Wurfausführung.
- Englisch: 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, ...)
- Geographie: Wetter, Klima, Energie, Rohstoffe, Umwelt und Ökologie, Zukunft der Welt, Wasserkreislauf.
- Geschichte: Geschichte physikalischer Entdeckungen, Einfluss gesellschaftlichen Wandels auf die Physik (z. B. Deutsche Physik).
- Religion, Ethik: Ambivalenz der Physik: Waffen, (Kern-)Kraftwerke, Verantwortung für die Umwelt.
- Musik: Akustik, Schall und Harmonien.
- Mathematik: Zuordnungen, Direkte Proportionalität.
- Chemie: Stoffe, Teilchen, ...

weitere Themenbereiche:

- Der Mensch.
 - Wahrnehmung: Sehen, Hören, Sinnesorgane.
 - Bewegung.
 - Medizinische Aspekte: Blutkreislauf, Nervensystem.
- Das Fliegen.
- Fahrzeuge (Fahrrad, Moped, Auto,...)
- Medizintechnik.

10.6 Eigenverantwortliches Arbeiten (EVA)

Eigenverantwortliches Lernen und Arbeiten im Unterricht ist eine Methode, die darauf abzielt, Schülern mehr Autonomie und Verantwortung in ihrem Lernprozess zu übertragen. Diese Methode ist eine Antwort auf den soziokulturellen Wandel und die veränderten Lebensbedingungen von Schülern, die durch Medienkonsum und den Zerfall der Kernfamilie gekennzeichnet sind. Dieser Wandel hat zur Folge, dass die Erfordernisse traditioneller Lehrmethoden hinsichtlich der eigenverantwortlichen Vor- und Nachbereitung von Unterricht nicht mehr erfüllt werden und Schüler Unselbstständigkeit und mangelnde Motivation aufweisen.

Literatur zu EVA findet sich beispielsweise bei Klippert und Clemens (2007) und Landherr und Bürger (2019).

10.6.1 Arbeitsdefinition

EVA umfasst jede Form des Lehrens und Lernens, bei der Lernende eigenständig Lernhandlungen ausführen oder Entscheidungen über verschiedene Lernvariablen treffen.

Dies beginnt, wenn der Unterricht nicht mehr ausschließlich lehrerzentriert ist, sondern Schüler aktiv in den Lernprozess eingebunden werden. Wichtige Variablen umfassen Lerninhalt, Lerntempo, Lernort, Lernmaterial, Lernorganisation und Lernpartner.

10.6.2 Methodische Umsetzung von EVA

Auswahl nach Eigenständigkeit der Schüler aufsteigend geordnet:

- **Audience Response:** Ein System, das Feedback der Schüler einholt und interaktiven Unterricht ermöglicht.
- **Ich-Du-Wir:** Auch bekannt als „Think-Pair-Share“, eine Methode, bei der Schüler zunächst individuell, dann in Paaren und schließlich im Plenum über ein Thema nachdenken und diskutieren.
- **Planspiel:** Eine handlungsorientierte Methode, bei der Schüler durch Rollenspiele reale Probleme lösen.
- **Projektarbeit:** Schüler arbeiten an einem Lernprodukt, oft über mehrere Tage, und verknüpfen dabei verschiedene Fachinhalte.
- **Freiarbeit:** Schüler haben vollständige Wahlfreiheit über (fast) alle Lernvariablen und arbeiten selbstständig an vorgegebenen Lernzielen.

10.6.3 Psychologische Begründung

Die Notwendigkeit von EVA lässt sich auch psychologisch begründen. Die Selbstbestimmungstheorie von Deci und Ryan (2000) besagt, dass die Befriedigung der Grundbedürfnisse nach Autonomie, Kompetenz und sozialer Eingebundenheit wesentlich für Motivation und Lernprozesse ist. EVA erfüllt dies.

10.6.4 Verwandte Konzepte

- **Autonomie-unterstützendes Lehren:** Unterrichtsmethoden, die das Gefühl von Autonomie bei Schülern fördern.
- **Selbstgesteuertes Lernen:** Lernende diagnostizieren ihre Lernbedürfnisse, formulieren Ziele, identifizieren Ressourcen, wählen Lernstrategien und evaluieren ihre Lernergebnisse selbstständig.
- **Selbstreguliertes Lernen:** Ein holistisches Modell, das kognitive, metakognitive und motivationale Prozesse umfasst, die den Lernprozess steuern.
- **Selbstorganisiertes Lernen (SOL):** Ein umfassendes Unterrichtskonzept, das Schüleraktivität in den Mittelpunkt stellt und schulorganisatorisch verankert wird.

10.6.5 Umsetzung im LehrplanPlus

Der bayerische LehrplanPlus integriert eigenverantwortliches Arbeiten (EVA) im Physikunterricht ab der 11. Klasse. Dabei bearbeiten Schüler selbstständig oder in Gruppen physikalische Themen und erstellen Lernprodukte wie Präsentationen. Typische Abläufe beinhalten:

- Vorbesprechung
- Recherche und Erstellung der Lernprodukte
- Präsentation und Diskussion der Ergebnisse

Die Leistungserhebung erfolgt durch Portfolios oder Kurztests, und Reflexionsphasen fördern die Selbstorganisationskompetenz der Schüler. Themenbereiche umfassen:

- Astronomische Weltbilder
- Spezielle Relativitätstheorie
- Energieversorgung
- Statische elektrische und magnetische Felder
- Elektromagnetische Induktion und Schwingungen
- Das Ohr und neuronale Signalleitung
- Strukturuntersuchungen zum Aufbau der Materie
- Das Sonnensystem und Sterne

Kapitel 11

Der schriftliche Unterrichtsentwurf

Unterrichtsplanung und Unterrichtsanalyse gehören zum Handwerkzeug jeder Lehrkraft. Insbesondere während des Referendariats wird eine schriftliche Unterrichtsskizze verpflichtend gefordert. Im folgenden ist eine Struktur eines ausführlichen Unterrichtsentwurfs nach → Kircher (2015) gegeben. Das ausführliche Studium dieser Quelle sei hier dringend empfohlen. Eine verkürzte Zusammenfassung ist im folgenden angegeben. Während es im Referendariat durchaus üblich ist, eine solch ausführliche Unterrichtsskizze zu erstellen und anzuwenden, beschränkt sich eine erfahrenere Lehrkraft auf das Erstellen einer verkürzten *Unterrichtsskizze*. Entscheidend in jeder Unterrichtsplanung ist jedoch darzustellen, wie (mit welcher Strategie, mit welchen Mitteln) man von Lernvoraussetzungen zu den Lernzielen gelangen will. Insbesondere daran wird die Qualität des Unterrichts beurteilt!

Nach Kircher hat ein schriftlicher Unterrichtsentwurf folgende Struktur:

Unterrichtsentwurf

1. Vorüberlegungen

(a) Lernvoraussetzungen

- i. Anthropologisch-psychologische Voraussetzungen
- ii. Sozio-kulturelle Voraussetzungen
- iii. Spezifische Alltagsvoraussetzungen

(b) Ziele (→ Kapitel 6)

- i. Leitziele, Richtziele, Grobziele, Feinziele

(c) Sachanalyse (→ Kapitel 8.2.1)

- i. Fachliche Darstellung des Inhalts
- ii. Elementarisierung und didaktische Rekonstruktion

(d) Methoden (→ Kapitel 10)

- i. Methodische Grossformen und Unterrichtskonzepte
- ii. Phasen des Unterrichts (Einstieg, Erarbeitung, Vertiefung)
- iii. Sozialformen

2. Geplanter Unterrichtsverlauf (Unterrichtsskizze)

Die Unterrichtsskizze ist Kernbestandteil des Unterrichtsentwurfs, der die wesentlichen Elemente einer Unterrichtsstunde oder -einheit komprimiert und übersichtlich zusammenfasst. Ein Beispiel einer Unterrichtsskizze ist in Abbildung 11.1 gegeben.

3. Unterrichtsmaterialien (→ Kapitel 12,13)

- (a) Experimente (Lehrer-/Schülerexperimente)
- (b) Arbeitsblätter
- (c) Tafelbild

4. Literatur

Zeit	Gepl. Lehrverhalten	Erwart. Schülerverhalt.	Sozialform	Medien	Didakt. Kommentar	
1. Einstieg	Überraschungsversuch	Stellen Hypothesen auf	Frontalunterricht	Lehrerexperiment	Motivation der SuS	
5 – 10 min				Tafel		
			Gruppenarbeit	Schülerexperimente		
2. Erarbeitung						
20 – 30 min				Arbeitsblatt		
3. Vertiefung		PPT-Folie				
15 – 20 min						

Abbildung 11.1: Beispiel einer Unterrichtsskizze als Teil des Unterrichtsentwurfs

Man kann deutlich erkennen, dass einem Unterrichtsentwurf ein bestimmtes → didaktisches Modell (→ Kapitel 4) zugrunde gelegt wird, hier das Berliner Modell

Im Schulalltag beschränkt sich die Unterrichtsvorbereitung im wesentlichen auf das Erstellen der Unterrichtsskizze. Hierbei handelt es sich also um eine verkürzte und stark vereinfachte Form eines detaillierten Unterrichtsentwurfs, siehe Abb. 11.1. Sie enthält die wesentlichen Elemente des geplanten Unterrichts, wie zum Beispiel das Thema, die Zielsetzung, den groben Ablauf sowie die vorgesehenen Methoden und Materialien. Im Gegensatz zum ausführlichen Unterrichtsentwurf wird eine Unterrichtsskizze oft in tabellarischer Form dargestellt und dient vor allem der schnellen Orientierung und Planung des Unterrichts. Sie ist nützlich für Lehrkräfte, um den Überblick über die Struktur und den Verlauf der Unterrichtseinheit zu behalten, ohne dabei in die Detailtiefe eines vollständigen Entwurfs zu gehen.

Pro-Tipp: Lehrafänger legen die Unterrichtsskizze auf den Lehrertisch, um gelegentlich selbstbewusst einen Blick drauf zu werfen.

Kapitel 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 Wesensmerkmale 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 → Gesetz)
- Bestätigungsexperiment: Deduktive Methode (Gesetz → 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 (→ Schülervorstellungen, Kapitel 7) 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.

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.
- Freihandversuch.
- Durchsichtige/Einsichtige Anordnung.
- Hoher GeräteAufwand (Begriff der BlackBox).
- Computereinsatz.

12.3.5 Experimentierort

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

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 gleichen 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.
- **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:

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.

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 Alltagsgegenstände 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): Handfertigkeiten (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 (Strohhalmlinse).
- **Organisationsformen:** Vertretungsstunden, Freiarbeit, Fächerübergreifender Unterricht, Projektunterricht (Projekttag), außerhalb der Schule (Kindergeburtstag, Zauberauftritt).
- **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!
- Schaue 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.

Übungsaufgabe

Beurteilen Sie: Handelt es sich hierbei um Freihandexperimente?

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

f. Ein Bolzen wird mit dem speziellen Apparat gesprengt.

12.5.2 Logistik

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

12.5.3 Nachteile

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

Kapitel 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 Beamern/Lautsprechern sind universell einsetzbare audiovisuelle Geräte. Die klassischen Geräte werden teilweise immer weiter verdrängt:

- Tafeln aller Art:
 - Wandtafel (Kreidetafel).
 - Lehrtafeln (Landkarten, Tabellen (PSE, Isotopenkarte))
 - Tuchtafttafel (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 Tafelebene 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 Einzelfolien 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 (Kreide-)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 \Rightarrow 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 (Tesafilem), 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.
- Anzeigegeräte mit transparenter Skala (Messinstrumente, Kompass)
- Licht-Schatten-Phänomene
- Mechanisch dynamische Vorgänge: Stoßen, Ablenken, Stahlnagel-Elektromagnet, Oersted-Versuch.
- Farbmischung (Subtraktiv bei farbigen Folien)

13.2 Schriftliche Medien — für die Hand der Schüler

13.2.1 Das Schulbuch

13.2.2 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“.)

13.2.3 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.)

13.3 Rechnereinsatz — speziell im Physikunterricht

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

13.3.1 Der Rechner als AV-Medium

Präsentation von AV-Medien aller Art:

- Bilder, Filme
- Unterstützend bei Präsentationen
- Dynamische Veränderung

13.3.2 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, Fenster-technik, 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.

13.3.3 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.

13.3.4 Der Rechner als Werkzeug/Hilfsmittel (TOOL)

Computer bestehen 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.

13.3.5 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.

13.3.6 Der Rechner als Hilfsmittel im Lehrer-Beruf

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

13.3.7 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.

13.3.8 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 Schüer(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.

13.4 Künstliche Intelligenz à la ChatGPT — speziell im Physikunterricht

ChatGPT und verwandte Angebote zur Nutzung künstlicher Intelligenz sind erst kürzlich allgemein zugänglich geworden, erfreuen sich aber bereits allergrößter Beliebtheit insbesondere bei Schülerinnen und Schülern, sowie Studenten. Die Entwicklung der künstlichen Intelligenz steht noch am Anfang, sodass damit zu rechnen ist, dass sich die zur Verfügung stehenden Möglichkeiten und die Qualität der Ergebnisse stetig weiterentwickeln werden. Auf eine Darstellung, was ChatGPT ist und wie man es benutzt, wird hier verzichtet. Vielmehr sollen hier Ideen skizziert werden, auf welche Weise ChatGPT gewinnbringend im Physikunterricht eingesetzt werden kann.

1. **Generieren von Inhalten:** ChatGPT kann mit großer Leichtigkeit Texte und eine Vielzahl von Grafiken erzeugen.

Beispiel

„Erstelle mir eine kurze Zusammenfassung zum Film ‘The Fast and the Furious’, die ich in einer dreiminütigen Präsentation in der Schule verwenden kann, im Sprachstil von Letty Ortiz!“

2. **Study-buddy:** Schüler können mit ChatGPT interaktiv und im eigenen Tempo Übungsfragen durchgehen und Rechenaufgaben lösen. Physikalische Konzepte können durch ChatGPT verständlich erklärt werden und im Dialog mit ChatGPT erlernt werden. Im Gegensatz zu Google ist KI in der Lage, einen Dialog mit dem Bedienenden zu führen, auf Fragen zu antworten, auf Nachfrage zu präzisieren, Beispiele zu liefern, Gegenbeispiele zu liefern usw.. ChatGPT kann somit als Gesprächspartner in simulierten Diskussionen über physikalische Themen dienen.

Beispiel

„Nenne mir ein Experiment, mit dem nachgewiesen wird, dass die Ladung des Elektrons wirklich negativ ist!“, analysiere die generierte Antwort kritisch, und stelle Folgefragen, beispielsweise

weise „Wird durch dieses Experiment wirklich das Vorzeichen der Ladung ermittelt?“

3. **Ideengeber bei Hausaufgaben und Projekten:** Schüler können ChatGPT nutzen, um Unterstützung bei Hausaufgaben, Projektideen oder der Recherche nach Informationen zu physikalischen Themen zu erhalten.

Beispiel

„Nenne mir drei Experimente zum Nachweis des Strahlencharakters von Licht für den Physikunterricht der 8. Klasse!“

4. **Begutachtung von schriftlichen Arbeiten und Vorbereitung auf Prüfungen:** Schüler können ChatGPT nutzen, um sich auf Prüfungen vorzubereiten, indem sie Fragen stellen, Erklärungen wiederholen und gezielte Rückmeldungen zu ihren Antworten erhalten. ChatGPT kann als virtueller Gutachter verwendet werden, um eigene Textentwürfe zu begutachten.

Beispiel

Ziehen Sie eine pdf-Datei mit einer selbsterstellten Ausarbeitung oder auch eine Grafik in den Eingabeprompt und bitten Sie um eine Zusammenfassung oder eine Analyse bzw. Bewertung!

5. **Unterstützung für Lehrkräfte:** Lehrer können ChatGPT als Hilfsmittel bei der Unterrichtsvorbereitung einsetzen, z.B. zum Erstellen von Übungsaufgaben, zur schnellen Recherche oder als Inspirationsquelle für neue Unterrichtsideen.

Beispiele

- „Gib die erforderlichen Lernvoraussetzungen, Lernziele und eingesetzte Medien in einer Unterrichtsstunde zum Fadenstrahlrohr an.“
- „Gestalte eine schülerzentrierte Unterrichtseinheit zum Thema elektrische Influenz in der Mittelstufe. Wähle ein Artikulationsschema des entdeckenden Unterrichts. Gehe explizit auf Vorwissen und Lernziele ein und verdeutliche, wie durch die Maßnahmen dieser Unterrichtseinheit die gesetzten Lernziele erreicht werden können.“

ChatGPT ermöglicht nicht nur effizientes und kreatives Arbeiten, ebenso kann ChatGPT den Physikunterricht bereichern, indem es personalisierte Lernmöglichkeiten bietet und den Zugang zu komplexen Inhalten vereinfacht. Durch die Verwendung von ChatGPT wird das selbstgesteuerte Lernen stark gefördert und eine Befähigung zum kritischen und ausgiebigen Dialog angestrebt.

Es ist jedoch darauf zu achten, dass der Einsatz von ChatGPT bewusst gesteuert wird, um sicherzustellen, dass es als Ergänzung und nicht als Ersatz für den direkten Unterricht und die zwischenmenschliche Interaktion dient. Beim Generieren von Inhalten wird die Eigenleistung der Lernenden im kreativen Recherche- und Schreibprozess umgangen. Lehrkräfte müssen sich mit den Möglichkeiten durch ChatGPT vertraut machen und klare Regeln zu dessen Anwendung aufstellen.

Letztlich muss gewarnt werden, dass ChatGPT gelegentlich zum „Halluzinieren“ neigt, d.h. dass es frei erfundene Antworten erzeugt. Output von ChatGPT sollte daher niemals ungeprüft übernommen werden.

Kapitel 14

Schulprofile

14.1 Das Profil des Gymnasiums

Das Gymnasium ist eine weiterführende Schulform in Deutschland, die auf eine umfassende, wissenschaftsorientierte Allgemeinbildung abzielt und mit dem Abitur abgeschlossen wird. Das Abitur berechtigt zum Studium an Universitäten und Hochschulen und ist der höchste allgemeinbildende Schulabschluss in Deutschland.

Wesentliche Merkmale des Gymnasiums sind:

- **Bildungsangebot:** Das Gymnasium bietet eine breite und vertiefte Allgemeinbildung in einer Vielzahl von Fächern. Dazu gehören neben den Kernfächern Deutsch, Mathematik und Fremdsprachen auch Naturwissenschaften, Gesellschaftswissenschaften, Kunst, Musik und Sport. Der Unterricht ist darauf ausgerichtet, die Schüler zu selbstständigem Denken und wissenschaftlichem Arbeiten zu befähigen.
- **Fremdsprachenunterricht:** Ein besonderes Merkmal des Gymnasiums ist der intensive Fremdsprachenunterricht. In der Regel beginnen die Schüler mit einer ersten Fremdsprache ab der 5. Klasse und einer zweiten Fremdsprache ab der 6. oder 7. Klasse. Oft besteht die Möglichkeit, eine dritte Fremdsprache oder ein bilinguales Angebot zu wählen.
- **Oberstufe und Abitur:** Die gymnasiale Oberstufe (Klassen 10 bis 12 oder 11 bis 13, je nach Bundesland) ist modular aufgebaut und ermöglicht den Schülern eine gewisse Fächerwahl nach ihren Interessen und Begabungen. Die Schüler bereiten sich auf das Abitur vor, das aus einer Kombination von schriftlichen und mündlichen Prüfungen besteht. Das Abitur qualifiziert für das Studium an Universitäten und Fachhochschulen.
- **Wissenschaftsorientierung:** Der Unterricht am Gymnasium ist stark auf wissenschaftliche Arbeitsweisen ausgerichtet. Dies umfasst analytisches Denken, methodisches Arbeiten und die Fähigkeit zur kritischen Reflexion. Projekte, Facharbeiten und Experimente fördern die forschungsorientierte Herangehensweise an Themen.
- **Breite Wahlmöglichkeiten:** Das Gymnasium bietet eine Vielzahl von Wahlpflichtfächern und Profilen an, die es den Schülern ermöglichen,

Schwerpunkte nach ihren Interessen zu setzen. Diese Profile können in Bereichen wie Naturwissenschaften, Sprachen, Musik oder Kunst liegen.

- **Persönlichkeitsentwicklung und Sozialkompetenz:** Neben der fachlichen Ausbildung legt das Gymnasium Wert auf die Entwicklung sozialer Kompetenzen und der Persönlichkeitsbildung. Durch Klassenfahrten, Schüleraustausche, AGs und Projekte werden Teamfähigkeit, Verantwortungsbewusstsein und Eigeninitiative gefördert.
- **Studien- und Berufsorientierung:** Das Gymnasium bereitet die Schüler nicht nur auf das Abitur, sondern auch auf das spätere Studium oder Berufsleben vor. Berufs- und Studienberatungen, Praktika und Informationsveranstaltungen unterstützen die Schüler bei ihrer beruflichen Orientierung.

Das Gymnasium bietet somit eine anspruchsvolle und vielseitige Ausbildung, die auf ein breites Spektrum an akademischen und beruflichen Möglichkeiten vorbereitet. Es legt den Grundstein für ein weiterführendes Studium und fördert die umfassende Entwicklung der Schüler in intellektueller, sozialer und persönlicher Hinsicht.

14.2 Das Profil der Realschule

Die Realschule ist eine weiterführende Schulform in Deutschland, die nach der Grundschule beginnt und in der Regel nach der 10. Klasse mit einem mittleren Schulabschluss (Realschulabschluss) endet. Sie bietet eine praxisnahe und zugleich theoretisch fundierte Allgemeinbildung, die auf verschiedene Bildungs- und Berufsperspektiven vorbereitet. Wesentliche Merkmale der Realschule sind:


- **Bildungsangebot:** Die Realschule vermittelt eine breite Allgemeinbildung in den Kernfächern wie Deutsch, Mathematik und Fremdsprachen sowie in den Naturwissenschaften, Gesellschaftswissenschaften und Fächern wie Kunst, Musik und Sport. Neben theoretischem Wissen werden auch praktische Fähigkeiten vermittelt, oft in Form von Projekten oder Praxisphasen.
- **Berufsorientierung:** Ein zentrales Ziel der Realschule ist die Vorbereitung auf den Einstieg in die Berufswelt. Dies geschieht durch eine enge Verzahnung von Theorie und Praxis, z.B. durch Betriebspraktika, Berufsberatung und Projekte mit Unternehmen. Die Realschule legt großen Wert auf die Förderung von Schlüsselkompetenzen, die für das Berufsleben wichtig sind.
- **Differenzierung und Förderung:** Die Realschule bietet verschiedene Wahlpflichtfächer an, die es den Schülern ermöglichen, nach ihren Interessen und Begabungen Schwerpunkte zu setzen, z.B. in den Bereichen Wirtschaft, Technik oder Sprachen. Zudem gibt es gezielte Förderangebote für Schüler, die Unterstützung in bestimmten Fächern benötigen.

- **Abschluss und Perspektiven:** Der Abschluss an der Realschule qualifiziert für den Eintritt in eine duale Ausbildung oder in weiterführende Schulen wie Fachoberschulen, Berufskollegs oder das Gymnasium (unter bestimmten Voraussetzungen). Der Realschulabschluss ist anerkannt und bietet eine solide Grundlage für vielfältige berufliche und akademische Wege.
- **Soziale und Persönlichkeitsentwicklung:** Neben der fachlichen Ausbildung fördert die Realschule die soziale Kompetenz und Persönlichkeitsentwicklung der Schüler. Durch Klassenfahrten, Projekte und außerunterrichtliche Aktivitäten werden Teamfähigkeit, Verantwortungsbewusstsein und Selbstständigkeit gestärkt.

Die Realschule bietet somit eine ausgewogene Mischung aus praxisorientierter Bildung und theoretischem Wissen, die sowohl für den direkten Einstieg in die Berufswelt als auch für weiterführende Bildungswege geeignet ist.





Kapitel 15

Literaturempfehlung zur Vorlesungen

Hier finden Sie einige Bücher und Veröffentlichungen, die wir Ihnen begleitend zur Vorlesung zur Lektüre empfehlen. Einige sind im Campusnetz zum freien Download verfügbar. Sie sind mit  gekennzeichnet und verlinkt.

15.1 Fachdidaktische Grundlagenbücher

E. Kircher veröffentlicht seit geraumer Zeit umfangreiche Grundlagenbücher zur Physikdidaktik; die Werke sind nicht vollständig deckungsgleich.

- Kircher, E., Girwidz, R., & Häußler, P. (2020b). *Physikdidaktik, Grundlagen* (4. Aufl.). Springer Spektrum 
- Kircher, E., Girwidz, R., & Häußler, P. (2020a). *Physikdidaktik | Methoden und Inhalte* (4. Aufl.). Springer Spektrum 
- Kircher, E., Girwidz, R., & Häußler, P. (2007). *Physikdidaktik – Theorie und Praxis* 
- Kircher, E., & Schneider, W. B. (Hrsg.). (2002). *Physikdidaktik in der Praxis* 

Weitere Werke:

- Labudde, P., & Metzger, S. (Hrsg.). (2019, August). *Fachdidaktik Naturwissenschaft: 1.- 9. Schuljahr* (3. Aufl.). utb GmbH. <https://doi.org/10.36198/9783838552071>
- Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf, M., & Duit, R. (Hrsg.). (2018). *Schülervorstellungen und Physikunterricht: Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis*. Springer Berlin Heidelberg 
- Wilhelm, T., Schecker, H., & Hopf, M. (Hrsg.). (2021). *Unterrichtskonzeptionen für den Physikunterricht: Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis*. Springer Berlin Heidelberg 
- Boxer, A. (2021). *Teaching Secondary Science - A Complete Guide*. John Catt Educational Ltd.
- Meyn, J.-P. (2013). *Grundlegende Experimentiertechnik im Physikunterricht* (2., aktualisierte Auflage). Oldenbourg Verlag 

- Muckenfuß, H. (1995). *Lernen im sinnstiftenden Kontext* [82/UB 4049 M942]. Cornelsen

15.2 Schulpädagogische Werke

Die Meyer'sche Trilogie bietet einen guten Überblick über Unterrichtsmethoden und -planung.

- Jank, W., & Meyer, H. (2021). *Didaktische Modelle*. Cornelsen
- Meyer, H., & Junghans, C. (2022). *Unterrichtsmethoden, Band I: Theorieband*. Cornelsen
- Meyer, H., & Junghans, C. (2021). *Unterrichtsmethoden, Band II: Praxisband*. Cornelsen

Die Hattie-Studie ist eine groß angelegte Metastudie zu Einflussvariablen des Unterrichts.

- Hattie, J. (2020). *Lernen sichtbar machen* (W. Beywl & K. Zierer, Hrsg.; 5. unveränderte Auflage, erweiterte Auflage mit Index und Glossar). Schneider Verlag Hohengehren GmbH

15.3 Zeitschriften

- Physik in unserer Zeit
- Physik und Didaktik
- Praxis der Naturwissenschaften – Physik
- Naturwissenschaften im Unterricht – Physik
- Physikalische Blätter
- Der Mathematisch-Naturwissenschaftliche Unterricht
- Spektrum der Wissenschaft

Literatur

- Bleichroth, W., Dahncke, H., Jung, W., et al. (1991). *Fachdidaktik Physik*. Deubner.
- Bloom, B. S., Engelhart, M. D., Furst, E. J., Hill, W. H., & Krathwohl, D. R. (1956). *Taxonomy of Educational Objectives: The Classification of Educational Goals. Handbook I: Cognitive Domain*.
- Boxer, A. (2021). *Teaching Secondary Science - A Complete Guide*. John Catt Educational Ltd.
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2000). The "What" and "Why" of Goal Pursuits: Human Needs and the Self-Determination of Behavior. *Psychological Inquiry*, 11(4), 227–268. https://doi.org/10.1207/S15327965PLI1104_01
- Duit, R. (1980). Der Energiebegriff in der Schule [In Wärmelehre abgeheftet]. *Naturwissenschaften im Unterricht*, 11, 354–358.
- Duit, R., Häussler, P., & Kircher, E. (1981). *Unterricht Physik*. Deubner.
- Duit, R., & Wodzinski, C. T. (2010). Merkmale „guten“ Physikunterrichts. *PIKO-Brief*, (4).
- Gagné, R. M. (1965). The Analysis of Instructional Objectives for the Design of Instruction. In *Teaching Machines and Programmed Learning. Data and Directions* (Bd. 2).
- Hattie, J. (2020). *Lernen sichtbar machen* (W. Beywl & K. Zierer, Hrsg.; 5. unveränderte Auflage, erweiterte Auflage mit Index und Glossar). Schneider Verlag Hohengehren GmbH.
- Jank, W., & Meyer, H. (2021). *Didaktische Modelle*. Cornelsen.
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H., & Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion - Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, Jg. 3(Heft 3), 3–18.
- Kircher, E. (2015). Planung und Analyse von Physikunterricht. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik* (S. 295–319). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-41745-0_8
- Kircher, E., Girwidz, R., & Häußler, P. (2007). *Physikdidaktik — Theorie und Praxis*.
- Kircher, E., Girwidz, R., & Häußler, P. (2020a). *Physikdidaktik | Methoden und Inhalte* (4. Aufl.). Springer Spektrum.
- Kircher, E., Girwidz, R., & Häußler, P. (2020b). *Physikdidaktik, Grundlagen* (4. Aufl.). Springer Spektrum.
- Kircher, E., & Schneider, W. B. (Hrsg.). (2002). *Physikdidaktik in der Praxis*.
- Klieme, E. (2022). Unterrichtsqualität. In *Handbuch Schulpädagogik* (S. 393–408). UTB.
- Klippert, H., & Clemens, E. (2007). *Eigenverantwortliches Arbeiten und Lernen: Bausteine für den Fachunterricht* (5., unveränd. Aufl.). Beltz.
- KMK. (2004, Dezember). Bildungsstandards Im Fach Physik Für Den Mittleren Schulabschluss.
- Krathwohl, D. R. (2002). A Revision of Bloom's Taxonomy: An Overview. *Theory Into Practice*, 41(4), 212–218.
- Labudde, P., & Metzger, S. (Hrsg.). (2019, August). *Fachdidaktik Naturwissenschaft: 1.- 9. Schuljahr* (3. Aufl.). utb GmbH. <https://doi.org/10.36198/9783838552071>
- Landherr, B., & Bürger, M. (2019). *SOL - Selbstorganisiertes Lernen: systematische Kompetenzentwicklung in einer komplexen Welt* (3., überarbeitete Auflage). Schneider Verlag Hohengehren.
- Meyer, H., & Junghans, C. (2021). *Unterrichtsmethoden, Band II: Praxisband*. Cornelsen.
- Meyer, H., & Junghans, C. (2022). *Unterrichtsmethoden, Band I: Theorieband*. Cornelsen.

LITERATUR

- Meyn, J.-P. (2013). *Grundlegende Experimentiertechnik im Physikunterricht* (2., aktualisierte Auflage). Oldenbourg Verlag.
- Michelskis-Seifert, S., Thiele, M., & Wünscher, T. (2005). Modellieren – Schlüsselfähigkeit für physikalische Forschungs- und Lernprozesse. *Physik und Didaktik in der Schule und Hochschule*, 1(4), 30–45.
- Muckenfuß, H. (1995). *Lernen im sinnstiftenden Kontext* [82/UB 4049 M942]. Cornelsen.
- Nachtigall, D. (1987). *Skizzen zur Physikdidaktik*. Lang.
- Plöger, W. (1983). *Forschender Physikunterricht*. Michael Prögel Verlag.
- Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf, M., & Duit, R. (Hrsg.). (2018). *Schülervorstellungen und Physikunterricht: Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis*. Springer Berlin Heidelberg.
- Stöcker, H. (1998). *Taschenbuch Physik*. Verlag Harri Deutsch.
- Wagenschein, M. (1971). *Die pädagogische Dimension der Physik*. Westermann.
- Wagenschein, M. (2009). *Naturphänomene sehen und verstehen - genetische Lehrgänge : das Wagenschein-Studienbuch*. hep der bildungsverlag.
- Weinert, F. E. (Hrsg.). (2014). *Leistungsmessungen in Schulen* (3., aktualisierte Aufl). Beltz.
- Wilhelm, T., Schecker, H., & Hopf, M. (Hrsg.). (2021). *Unterrichtskonzeptionen für den Physikunterricht: Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis*. Springer Berlin Heidelberg.

Anhang A

Verblisten für Operationalisierte Lernziele

Verben der äußeren Sichtbarkeit

Diese Verben dienen Ihnen zur Orientierung, um Ihre Lernziele und Prüfungsaufgaben zu formulieren, da sie (ab Stufe 3) Kompetenzen abbilden. Teilweise sind fachspezifische Unterschiede in der Zuordnung zu einer Lernzielstufe oder eine doppelte Zuordnung in der Tabelle möglich. Denn die Verben können oft nicht trennscharf nur einer Stufe zugeordnet werden, wenn sie fachkulturell unterschiedlich verstanden werden. Grundlage der Übersicht in je alphabetischer Reihenfolge ist die Taxonomie von Anderson/ Krathwohl (2001).

1 Erinnern	2 Verstehen	3 Anwenden	4 Analysieren	5 Beurteilen	6 Erschaffen
<i>Lernende können Aussagen über Inhalte/ Sachverhalte/ Prozeduren...</i>					
<i>zutreffend bezeichnen</i>	<i>mit eigenen Worten wiedergeben</i>	<i>auf ähnliche Situationen übertragen</i>	<i>in eine sinnvolle Struktur bringen</i>	<i>nach angemessenen Kriterien bewerten</i>	<i>zu neuem Ganzen zusammenfügen</i>
abstimmen angeben anführen auflisten aufsagen aufzählen ausführen benennen berichten beschreiben betonen bezeichnen darstellen definieren (=Nominaldefinition geben) entnehmen sich erinnern erkennen erzählen feststellen finden gliedern identifizieren isolieren kennen kennzeichnen messen nennen präsentieren reproduzieren schildern schreiben skizzieren umreißen wiedergeben wiederholen zeichnen zitieren	abgrenzen ableiten anordnen ausdrücken auswählen berichten beschreiben bestimmen charakterisieren darstellen demonstrieren deuten diskutieren durch ein Beispiel erläutern einordnen erkennen erklären erläutern extrapolieren finden folgern formulieren generalisieren gegenüberstellen hinweisen identifizieren illustrieren klären klassifizieren lokalisieren neu schreiben präsentieren repräsentieren schätzen skizzieren subsumieren übersetzen	ändern anfertigen anpassen anwenden aufzeigen ausfüllen auswählen bearbeiten bedienen beeinflussen Beispiele geben benutzen berechnen bestimmen sich beziehen auf darstellen definieren demonstrieren drucken durchführen einsetzen eintragen entdecken entwickeln erklären erproben errechnen erstellen fertigen finden formatieren herausfinden illustrieren implementieren klassifizieren löschen lösen machen modifizieren	ableiten analysieren aufdecken aufgliedern aufschlüsseln aufteilen aufzeigen auswählen auswerten bestimmen sich beziehen auf darstellen debattieren diagnostizieren differenzieren einteilen erhellen erkennen ermitteln experimentieren fokussieren folgern gegenüberstellen gliedern hinterfragen identifizieren isolieren kategorisieren klassifizieren kontrastieren kritisieren lösen organisieren prüfen rechtfertigen schließen schlussfolgern sortieren teilen	abfassen ableiten abschätzen ändern akzeptieren annehmen argumentieren arrangieren aufbauen auswählen auswerten begründen sich beziehen auf benoten beurteilen bewerten bilden darstellen einschätzen entscheiden entwerfen entwickeln erarbeiten erfinden erschaffen erstellen erzeugen evaluieren gegenüberstellen generieren gestalten hervorbringen hinterfragen interpretieren klassifizieren kombinieren konstruieren konzipieren klassifizieren kombinieren konstruieren konzipieren kritisieren lehren managen	ableiten argumentieren ausdenken auswählen entwerfen begründen bestimmen benoten beurteilen bewerten einschätzen einstufen entdecken entscheiden entwerfen entwickeln erarbeiten erfinden erschaffen erstellen erzeugen evaluieren gegenüberstellen generieren gestalten hervorbringen hinterfragen interpretieren klassifizieren kombinieren konstruieren konzipieren kreieren kritisieren planen präparieren produzieren prüfen rechtfertigen

zuordnen zusammenstellen	übertragen umformen umschreiben unterscheiden verallgemeinern veranschaulichen verdeutlichen vergleichen voraussagen vorführen wiederholen zuordnen zusammenfassen	nutzen organisieren planen praktizieren realisieren rechnen transferieren übersetzen umsetzen untersuchen veranschaulichen verifizieren verwenden vervollständigen voraussagen vorbereiten wählen zeichnen zeigen zergliedern	testen trennen umreißen umwandeln unterscheiden untersuchen unterteilen urteilen vergleichen verwenden zuordnen	modifizieren neu erstellen ordnen organisieren planen präparieren prüfen rangordnen sammeln schätzen schreiben strukturieren synthetisieren überprüfen umformulieren validieren verändern verbinden verifizieren verteidigen verwerfen vorschlagen wählen werten zuordnen zusammenfassen zusammensetzen zusammenstellen	relativieren schätzen schließen überzeugen unterscheiden unterstützen vergleichen verteidigen voraussagen wählen werten zusammenfügen zusammensetzen
-----------------------------	--	--	---	--	--

Quellen:

Bachmann, Helga (Hg.) (2014): Kompetenzorientierte Hochschullehre. Die Notwendigkeit von Kohärenz zwischen Lernzielen, Prüfungsformen und Lehr-Lern-Methoden. Forum Hochschuldidaktik und Erwachsenenbildung Band 1. Bern: hep verlag ag, 2. Aufl., S. 42-43.

Beywl, Wolfgang/ Bestvater, Hanne/ Friedrich, Verena (2011): Selbstevaluation in der Lehre. Ein Wegweiser für sichtbares Lernen und besseres Lehren. Münster/ New York: Waxmann, S. 195.

Schermutzki, Margret (2007): Lernergebnisse – Begriff, Zusammenhänge, Umsetzung und Erfolgsermittlung: Lernergebnisse und Kompetenzvermittlung als elementare Orientierungen des Bologna-Prozesses. Handbuch Qualität in Studium und Lehre, Berlin: duz Medienhaus.

Anhang B

Berliner Modell

Anhang C

Weitere Artikulationsschemata

C.1 Grob-Phasen gemäß Duit et al. (1981)

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.

C.2 Plöger (1983): Forschender Physikunterricht

Konkret, anwendungsnah und auf den Punkt gebracht wird dieses Konzept in Plöger (1983) beschrieben. Es finden sich dort auch viele Beispiele.

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

Der zentrale Unterschied zu Mothes ist die Sichtweise, aus der sie ihre Schemata formulieren. Während Mothes eher lehrerzentriert argumentiert, betont Plöger die aktive Beteiligung der Schüler an der Erarbeitung des Wissens.

C.3 H.F. Bauer: Experimentalunterricht (1984)

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**

Anhang D

Beispiel einer didaktischen Analyse