

(c) Biologische Übungen ²²⁾

11. (Vorzugsweise) oder 12. Schulstufe

Gesichtspunkte und Leitmotive zum Unterricht:

Ergänzung und Erweiterung des in der Biologie Erlernten.

Mögliche Unterrichtsinhalte:

- Erernen und praktisches Anwenden des Mikroskopierens:
- Tümpelproben (zentrale Bedeutung der Reduzenten, deren Bau und Lebensweise)
- Beobachten und Betreuen von Aquarien unter den Aspekten des ökologischen Gleichgewichtes, des Tierverhaltens usw.
- Einfache Pflanzenschnitte, Beobachten der Protoplasmastromung usw.
- Beobachten keimender und wachsender Pflanzen (Blattmelanophosen, Wurzelbilder)
- Diskussion aktueller Umweltfragen
- Hilfeleistung bei Umweltschutzmaßnahmen
- Besuche in wissenschaftlichen Laboratorien und Institutionen können das Bild ergänzen.

(9) Physik

6. - 12. Schulstufe

Übergeordnete Aspekte und allgemeine Unterrichtsziele für den naturwissenschaftlichen Unterricht (Physik/Chemie) der Mittelstufe

Anliegen des naturwissenschaftlichen Unterrichts muß es sein, den menschlich relevanten Kern der Naturwissenschaften zu greifen, nicht nur bildhaft oder emotional auszuschnücken. Das bedeutet aber, die Wahrnehmung für wesentliche Gebirde der Natur zu entwickeln. Wohl beginnt der naturwissenschaftliche Unterricht in der Zeit, in welcher sich das Kind die Fähigkeit zur kausalen Weltbetrachtung erwirbt, und er muß der Erprobung dieser Denkkräfte dienen, doch kann dies so geschehen, daß ein qualitatives Denken entwickelt wird, das den Wechselbezug Mensch - Welt stets berücksichtigt.

Durch die Beschränkung der Naturwissenschaft auf Maß, Zahl und Gewicht (Galilei), d. h. auf das rein Quantitative, ist die Frage nach dem Wesen der Naturdinge verlorengegangen. Im Laufe der beginnenden Neuzeit begann der Mensch nach der Beherrschbarkeit der Natur zu fragen, um schließlich in dieser Beherrschbarkeit das Wesentliche zu sehen. Damit hängt auch die Entwicklung der Kausal- und Modellvorstellungen zusammen, denn nur dann verfüge ich über die Naturerscheinungen absolut, wenn ich sie kausal erklären kann, ist das zunächst nicht möglich, mache ich sie erklärbar. Das ausgeprägte Hineinprojizieren von quantitativen und teilchenartigen Modellen in die Natur wird von den Schülern als gegenständliche Realität genommen. Aus dieser Erfahrung wurde z. B. vom Hessischen Institut für Bildungsplanung 1977 warnend formuliert:

«Umso wichtiger ist es, Modelle zu verwenden, die für den Anfangsunterricht nicht zu perfekt sind. Es muß elementare Erscheinungen geben, die mit dem verwendeten Modell nicht erklärt werden können. Nur so gewinnen die Schüler allmählich Einsicht in die prinzipielle Unzulänglichkeit von Modellen.» (Materialien zum Unterricht, Frankfurt 1977). Pädagogisch wertvoller sind aber die folgenden Grundsätze:

Es sollen an die Stelle nicht mitreifebarer Modellzusammenhänge erprobbare, nachvollziehbare Gedankengänge rücken, welche an die vollen Wahrnehmungsqualitäten anknüpfen (Grundsatz 1).

Emotionale Beziehungen zu den Phänomenen müssen also beim Kind zu nächst aufleben. Dann aber gilt es, sie durch das vertiefende Erleben vom Subjektiven zu befreien, um die gewonnenen Qualitäten in die kognitive Verarbeitung aufnehmen zu können (Grundsatz 2).

²² Die Ziele und Inhalte dieses Faches sind von den Möglichkeiten und Gegebenheiten an den Schulen und der Jahreszeit, in der diese Übungen stattfinden, abhängig.

So nimmt der naturwissenschaftliche Unterricht an der Waldorfschule seinen Ausgang von den Sinnesqualitäten, ja er ist demgemäß zunächst als ein extrem «sinnlicher» zu bezeichnen. Dabei spielt auch ein hygienisch-pädagogischer Aspekt eine wesentliche Rolle: Die frische Freude am Wahrnehmen ist für die Schüler im Alter zwischen 12 und 14 Jahren heilsam, kann doch dadurch das möglicherweise allzustarke In-sich-Hineinbrüten aufgelichtet werden (Grundsatz 3).

Die phänomenologische Weltbetrachtung, das schöpferische Gestalten gedanklicher Zusammenhänge an den Naturscheinungen, verlangt aber noch mehr. Es soll ja nicht nur einem pädagogisch redlichen Streben nach «humaner Wissensbereicherung» genüge getan werden. Vielmehr geht es um eine erkenntnistheoretische Auseinandersetzung mit den Grundideen einer von den Phänomenen ausgehenden Wissenschaftsgestaltung.

Die aktive Teilhabe des individuellen Menschen an der Welt kennzeichnet die Erkenntnistheorie Rudolf Steiners. In den dafür in Betracht kommenden grundlegenden Werken «Wahrheit und Wissenschaft/Erkenntnistheorie der Goetheschen Weltanschauung» und «Philosophie der Freiheit» entwickelt Rudolf Steiner das Zusammenspiel von sinnlicher Wahrnehmung und Denken: «Unsere totale Wesenheit funktioniert in der Weise, daß ihr bei jedem Dinge der Wirklichkeit von zwei Seiten her die Elemente zuzuließen, die für die Sache in Betracht kommen: von selten des Wahrnehmens und des Denkens.» (R. Steiner, TB 81, S. 70)

Diesem Grundsatz sucht der naturwissenschaftliche Unterricht an der Waldorfschule gerecht zu werden (vergleiche «Naturphänomene erfahrend verstehen», P. Buck/M. v. Mackensen, Köln 1990').

6. - 8. Schulstufe

Gesichtspunkte und Leitmotive zum Unterricht:

Der gesamte Physikunterricht geht nicht von Theorien und Modellvorstellungen aus, sondern vom Erlebten und beobachteten Phänomen. Wo sich Gelegenheit dazu bietet, werden in vergleichender Weise Gegensätze herausgearbeitet. Obwohl die einzelnen Disziplinen des Faches aufgezeigt werden, bemüht man sich aber, diese nicht isoliert bestehen zu lassen, sondern auch die Betrachtung der fachübergreifenden Erschließungen zu pflegen. So ist es selbstverständlich, daß Verbindungen zur Kunst und Technik, wo sie sich anbieten und es dem Alter entspricht, hergestellt werden.

Es wird angestrebt, durch den Unterricht in der Unterstufe den Schülern eine reiche Erlebnisgrundlage zu schaffen, auf der dann der Physiklehrer in der Oberstufe seinen Unterricht aufbauen kann.

6. Schulstufe

Mögliche Unterrichtsinhalte:

Das Erleben von Phänomenen in einfachen, gut anschaulichen Versuchen führt den Schüler in das Gebiet der Physik ein.

Hierbei kann der Beginn mit der **Akustik** gesetzt werden. Verschiedene «Einspiege» bieten sich an, zwei Möglichkeiten seien genannt:

- a) - Einführung in die akustischen Grundphänomene (Schwingung, Tonhöhe, Lautstärke, Klangfarbe)
 - Bekannte Musikinstrumente
- b) - Von den bekannten Musikinstrumenten ausgehend, kann der Schüler die Schwingungen als physisches Äquivalent des Tones erkennen
 - Der Bezug der klingenden Körper zu Lautstärke, Tonhöhe und Klangfarbe wird dargestellt
 - Intervalle am Monochord
 - Schalleitung
 - Resonanz
 - Der Schüler lernt gegebenenfalls die physikalisch-physiologische Beschaffenheit des Kehlkopfes kennen (vgl. Naturkunde, 8. Schulstufe)

Von den Erfahrungen im Malen geht man über zur **Farbenlehre** und zur einfachen **Optik**

- Den Ausgangspunkt bildet der Gegensatz: Helligkeit - Dunkelheit
- Die Betrachtung beleuchteter, farbiger Flächen erzeugt im Auge Nachbilder, diese führen zum Begriff der Komplementärfarben (bei Goethe: geforderte Farben)
- Farbige und gefärbte Schatten werden vorgeführt und die Entstehungsbedingungen aufgezeigt, ebenso die
- Farberstreuung an getriebenen Medien bei «Gegenlicht» und seitlicher Beleuchtung. Die Farbenlehre gliedert in der Zusammenfassung im sechsstufigen Farbenkreis und dem Blick durch ein Prisma, wo farbige Säure an Hell-Dunkel-Grenzen gezeigt werden.
- Geometrische Optik
 - Neben den Farben wird die Schattenbildung ein Arbeitsfeld bilden
- Den **Magnetismus** führt man über den natürlichen Magnetkiesstein ein.
 - Es wird die Frage geklärt, wie magnetisiert werden kann, und welche Materialien die (ferro)magnetischen Eigenschaften beibehalten
 - Die handelsüblichen Magnetformen werden dargestellt und der Kompaß (ohne Gehäuse) demonstriert. Dies führt zu den
 - Begriffen Nord- und Südpol und dem
 - Anziehungs- und Abstößungsgesetz
- Das Magnetfeld der Erde wird besprochen
- Aus der **Elektrostatik** behandelt man die Anziehungs- und Abstößungsercheinungen der Elektrostatik als Phänomene, die durch Reibung entstehen.
 - In der **Wärmelehre** erarbeitet man den Gegensatz von
 - Wärme und Kälte, das weitere werden

- Wärmequellen vorgeführt und besprochen und ebenso die Möglichkeit,
- Kälte zu erzeugen (noch ohne technische Einzelheiten),
- Verbrennung und Reibung werden als Wärmequellen näher betrachtet

7. Schulstufe

Mögliche Unterrichtsinhalte:

- Im Mittelpunkt des Unterrichtes steht, nachdem weitere Inhalte aus Akustik, Optik, Thermik, Magnetismus und Elektrizitätslehre besprochen worden sind (R. Steiner, GA 295, 6.9.1919), die bisher ausgesparte
- Mechanik**, soweit sie die alte «Hebekunst» betrifft. Bei ihr ist deutlich, daß der gedankliche Anteil von vornherein größer ist. Der Inhalt ist in Stichworten:
- Hebel in mehreren Variationen; Lastarm, Kratum
 - Dezimalwaage
 - Schiefe Ebene
 - Winde
 - Flaschenzug
 - Keil, Schraube, Kraftübertragungen und Zahnradübersetzungen
 - Kombinationen dieser «einfachen Maschinen» werden besprochen und man führt hin zum Verständnis der durch ein Gewicht getriebenen Uhr
 - Erarbeitet werden Formen für den Hebel und die Schiefe Ebene und als Zusammenfassung die
 - «Goldene Regel der Mechanik»
- Akustik**
- Chladni-Figuren (evtl. 6. Schulstufe)
 - Lochstreifen
 - Grammophon
 - Schall-Lenkung, Echo (evtl. 8. Schulstufe)
- In der **Optik** kann die Beobachtung von
- Schatten und Abbildungen sowie
 - Lichtreflexen an ebenen und gekrümmten Spiegeln geübt und die
 - Lochkamera (Vergleich mit dem menschlichen Auge, evtl. auch 8. Schulstufe) behandelt werden.
- Wärmelehre**
- Wärmeleitung
 - Thermometer
- Magnetismus**
- Deklination und Inklination des Erdmagnetismus
 - Magnetismus fest eingebauter Eisenteile, z. B. Heizkörper
- Die neu erschlossene **Elektrodynamik** beinhaltet etwa:
- Stromquellen (Monozelle, Akkumulator)
 - Stromverbraucher im Verhältnis zu den Stromwirkungen
 - Magnetische Wirkung, Elektromagnet

- Technische Anwendungsmöglichkeiten: Heizöfen, Kochplatte, Bügeleisen, Sicherung
- Hinweise auf die Gefahren des elektrischen Stromes, auch durch den Blitz, müssen gegeben werden

8. Schulstufe

Mögliche Unterrichtsinhalte:

- Im Vordergrund stehen die in diesem Alter erstmalig auftretenden Gebiete **Hydrostatik**, **Hydrodynamik**, **Aerostatik** und **Aerodynamik** mit starkem Praxisbezug. Im einzelnen:
- Archimedisches Prinzip (für Wasser und Luft)
 - Hydrostatischer Auftrieb (Tiefendruck)
 - Kommunizierende Gefäße (hydraulische Waage)
 - Cartesischer Taucher
 - Arngewichte (von festen, flüssigen und gasförmigen Körpern)
 - Stabilitätsbetrachtungen (z. B. Schiffsformen)
 - Statischer Druck (in Wasser im Vergleich zur Luft)
 - Wirkungsweise von Pumpen (als Besonderheit eventuell von hydraulischen Widder)
 - Laminate und turbulente Strömung
 - Wirbelbildung und Widerstand (in Wasser und Luft in Abhängigkeit von der Form des umströmten Gegenstandes)
- Im Rahmen der **Wetterkunde** (diese wird oft im Zusammenhang mit der Geographieepoche unterrichtet; siehe Lehrplan «Geographie», einziges davon wird auch in der 10. Schulstufe vorkommen) kann behandelt werden:
- Feuchtigkeitssphäre der Luft und Wolkenbildung (Taupunkt)
 - Die Wolkentypen (Cumulus, Cirrus, Stratus, Nimbus und deren Kombinationen)
 - Hoch- und Tiefdruckgebiete (mit den Frontensystemen in der zeitlichen Entwicklung)
 - Zugstraßen der Zykclone
 - Wetterkarten, Wettervorhersage
 - Windstärkeskala nach Beaufort, besondere Winde wie Föhn, Passat, Taurus
 - Klimateisierungen wie Land- und Seeklima, tropisches und subtropisches Klima, Polar Klima.
- In der **Akustik** untersucht man z. B.:
- die Schallgeschwindigkeit (auch in anderen Medien als Luft)
 - Schall-Lenkung, -Reflexion (Echo) und -Absorption (auch 7. Schulstufe möglich)
 - Kundtsche Röhre
 - Gebäudeakustik, Akustik verschiedener Musikinstrumente
- In der **Wärmelehre** werden z. B. behandelt:

- Änderung des Aggregatzustandes, Verdunstung, Kältemischung
- Anomalie des Wassers und ihre Bedeutung für die Natur (auch in der 9. Schulstufe möglich)
- Wärme-Kälte-Transport durch Leitung, Konvektion und Strahlung
- Wärmeleitung und -isolierung mittels verschiedener Materialien (auch 7. Schulstufe),
- Wirkungen und Gesetze der Elektrizität:**
 - Warmwirkung, chemische Wirkung des elektrischen Stromes
 - Die Leitfähigkeit verschiedener Materialien, auch die der Erde
 - Die magnetische Wirkung des Stroms mit den Anwendungen:
 - Morseapparat
 - Klingel, Relais
 - Drehspulinstrument
 - Elektromotor, Dynamo, (allerfalls Generator, verläßt auf jeden Fall auf höherer Stufe zu wiederholen)
 - Transformator
- Einführung der Begriffe Spannung, Stromstärke, Widerstand und deren Maße
- In der Optik wird aufgerufen:**
 - Farberstreuung am Prisma
 - Optische Hebung
 - Linsen, Brennpunkt
 - Virtuelles, reelles Bild
 - Fernrohr, Mikroskop, Photoapparat, (menschliches Auge)
 - Möglichkeiten, Sonnenwärme mittels Brennglas und Hohlspiegel zu sammeln

9. – 12. Schulstufe

Übergeordnete Aspekte und allgemeine Unterrichtsziele für den naturwissenschaftlichen Unterricht (Physik/Chemie) der Oberstufe

In der 6. bis 8. Schulstufe wurde der Unterricht von einem allgemein ausgebildeten «Klassenlehrer» erteilt, der in alle Zweige des Faches einführte. Stets wurde der Bezug des behandelten Stoffes zum Menschen in physiologischer, soziologischer, ökonomischer und ökologischer Sicht hergestellt. Der Unterricht wurde allgemein vom Experiment ausgehend geführt. Die Versuche waren so einfach gehalten, daß die Schüler viele zu Hause wiederholen konnten. Wo immer möglich, wurden die Kinder zu Beobachtungen physikalischer Phänomene angeregt. Experimente und Phänomene wurden eingeordnet, und die Schüler angehalten, selbständig schriftliche Beschreibungen zu liefern.

Im naturwissenschaftlichen Unterricht der Oberstufe wird angestrebt, von den erlebnisgestützten Erfahrungen der Mittelstufe auszugehen, diese dann gedanklich weiter zu ordnen und sie letztlich in ihrer Gesetzmäßigkeit zu erfassen. Der Schüler soll so davor bewahrt werden, halbverstandene Theorien für den Aufbau seines Weltbildes höher einzuschätzen als die eigene Erfahrung und Urteilsbildung. Daraus erklärt sich, daß theoretische Inhalte, die heute in der Regel zu den Grundlagen der Fächer gerechnet werden – und daher oft am Anfang eines Unterrichts stehen – in der Waldorfschule erst in den oberen Klassenstufen unterrichtet werden. So werden Atomvorstellungen erst in der 11. bzw. 12. Schulstufe behandelt. Wo Theorien in den Unterricht Eingang finden, sollen sie möglichst aus einer Erscheinungsstufe als Denkmöglichkeit erarbeitet werden, wie z.B. die Atomtheorie aus den quantitativen Gesetzen der Chemie, der Lichtemission usw. Sonst erschiene die Welt, wie sie den Menschen umgibt, unbedeutend gegenüber den sie erklärenden Modellen, und die eigene Urteilsbildung würde gegenüber mitgeteilten Inhalten in den Hintergrund treten.

Wünschenswerte Ziele können sein (im Lauf der Oberstufe anzustreben):

Wissen und Verständnis:

- Grundlegende physikalische Erscheinungen und Versuche in ihrem Ablauf beschreiben können
- Physikalische Größen und Begriffe – unter Berücksichtigung menschlich relevanter Aspekte – definieren sowie bei den Größen Maßvorschriften und Definitionsgleichungen angeben; Einschätzen der Größenordnung physikalischer Meßergebnisse
- Verstehen gewisser Erscheinungen des Alltags mittels physikalischer Methoden
- Verständnis der physikalischen Grundlagen technischer Geräte
- Kenntnis der Grundzüge der historischen Entwicklung der Physik und die Biographien bedeutender Forscher
- Kenntnis physikalischer Modellvorstellungen und ihrer Aussagekraft

Fähigkeiten und Fertigkeiten:

- Genau zu beobachten und die Beobachtungen zu formulieren
- Einfache Experimente durchzuführen und Ergebnisse zu interpretieren
- Aus den Beobachtungen selbständig Begriffe zu bilden
- Meßfehler zu erkennen und ihre Einflüsse abzuschätzen
- Graphische Darstellungen von Meßreihen auszuführen und sie auszuwerten
- Physikalische Vorgänge mit Hilfe bekannter Gesetze zu verstehen
- Möglichkeiten und Grenzen der Physik für das Erkennen der «Wirklichkeit» zu erkennen
- Den Realitätsgehalt von Modellen einschätzen zu können
- Im Zusammenhang mit den Lehrhalten ein Referat selbständig zu erarbeiten
- Erleben ganzheitlicher Betrachtungsweisen, um einen Bezug zum Menschen herzustellen

Einsichten, Bewertungen und Haltungen:

- Bereitschaft zur Kommunikation und Kooperation beim Beobachten, Experimentieren und Forschen
- Erkennen des Unterschiedes von quantifizierender und qualitativer Forschung und ihrer Ergebnisse
- Einsicht in die Bedeutung dynamischer und rückgekoppelter Prozesse («Wechsel-Ursachen-Verhältnisse»), und der daraus erwachsenden Anforderungen an das menschliche Denken
- Erreichen eines energie- und umweltbewußten Verhaltens auf Grund gewonnener Einsichten
- Einsicht, daß physikalische Denkweisen immer wieder modifiziert werden müssen
- Einsicht, daß die Naturwissenschaften und damit auch die Physik einen wesentlichen Teil der menschlichen Kultur darstellen
- Fähigkeit, Informationen und Darbietungen der Massenmedien sachlich zu beurteilen
- Einordnung unterschiedlicher wissenschaftlicher Forschungsmethoden und ihrer Bedeutung für die Interpretation von Ergebnissen
- Würdigen von Weisheit in der Natur - auch als Vorbild für menschliches Handeln

9. Schulstufe**Gesichtspunkte und Leitmotive zum Unterricht:**

Der Schüler wird dahin geführt, zu erleben, daß er mit seinem Denken die Vorgänge der ihn umgebenden Welt, insbesondere auch jene der Technik, verstehen kann. Deswegen wird vor allem an praktischen, oft aus dem Bereich der Technik stammenden Fragestellungen Denken und Urteilen geübt. Das Verarbeiten des Stoffes soll vor allem im Anfertigen von Versuchsbeschreibungen bestehen. Eine mathematische Formulierung der Gesetzmäßigkeiten findet in der Regel nur exemplarisch statt, z.B. an Sachaufgaben aus den behandelten Gebieten, bei denen ein sinnvolles Rechnen möglich ist, und wo dem Schüler ein Gefühl für Quantitäten gegeben werden kann. Das Verständnis für die Physik und ihre Arbeitsweisen soll vertieft und ein Einblick in physikalische Inhalte aus Alltag und Technik vermittelt werden.

Mögliche Unterrichtsinhalte:**Wärmelehre und Mechanik**

- Es wird zumeist auf den Hinweis Rudolf Steiners aufgebaut, zum Verständnis der Dampfmaschine zu führen, doch ist eine zeitgemäße Fortführung ratsam.
- Versuche des Otto von Guericke zum Luftdruck
 - Historische Entwicklung der Dampfmaschine und ihre Bedeutung in der geschichtlichen Entwicklung Europas
 - Die Funktion des Kessels

- Heizwerte verschiedener Brennstoffe (bei idealer Verbrennung) im Vergleich
- An grundlegenden Gesetzen können dabei erreicht werden:
 - 1. und 2. Hauptsatz der Thermodynamik
- Die Fortsetzung in neuere Gebiete der Technik kann z.B. folgende Themen betreffen:
 - Absoluter Nullpunkt, Kelvinsche Temperaturskala
 - Die Dampfmaschine
 - Kühlschrank und die gegensätzliche Arbeitsweise der Wärmepumpe
 - Verbrennungsmotoren (4-Takt-, 2-Takt-, Diesel-, allenfalls Stirling-Motor)
 - Strahl- und Raketentriebwerke

Elektrizitätslehre und Akustik

- Hier geht man von dem Vorschlag Rudolf Steiners aus, alles beizutragen, was das Telefon verständlich macht.
- Einführung bzw. Wiederholung der Begriffe Spannung, Strom und Widerstand (siehe 8. Schulstufe)
 - Das Ohmsche Gesetz mit rechnerischen Anwendungen
 - Einführung des Begriffes «elektrische Arbeit» und «elektrische Leistung» und deren Maßeinheiten
 - Stromproberechnungen
 - Funktion des Telefons; akustisch und elektrisch
 - Selbstwähltechnik
 - Gesellschaftliche Bedeutung verschiedener Kommunikationstechniken
- An den
- akustischen Dopplereffekt
- kann man gemäß dem Vorschlag Rudolf Steiners anschließen:
- die Behandlung der Relativbewegung von Doppelsternen mit Hilfe des Dopplereffekts (auch in der Geographie-Epoche möglich). Weitere mögliche Themen:
 - Wirkungsweise des Hauptschluß-Elektromotors
 - NebenSchlußmotor
- Vergleich der Wirkungsgrade verschiedener Maschinen
- Biographien bedeutender Physiker, u.U. in selbständig erarbeiteten Referaten
- J. Watt, O. v. Guericke, D. Papin, S. Morse etc.
- Energiebedarf und Ermittlung von Möglichkeiten der Einsparung
- Vergleich der zur Verfügung stehenden Primärenergiequellen
 - Sonnenenergie und deren mögliche Bedeutung in der Zukunft (sonst 10. oder 11. Schulstufe, siehe Lehrplan «Technologien»)
 - Wasserstoff als möglicher Energieträger

10. Schulstufe

Gesichtspunkte und Leitmotive zum Unterricht:

Der Schüler erlebt sein Verhältnis zur Umgebung zunehmend bewußter. Er steht im Spannungsfeld zwischen hohen Idealen und Unsicherheit im Verhalten. Auf verschiedenen Unterrichtsgebieten (Geschichte) wird noch einmal zu den Anfängen zurückgegangen. Durch überschaubare und grundlegende Begriffsbildungen in der Mechanik wird in vergleichbarer Weise versucht, Klarheit und Sicherheit aus Erkenntnis zu geben. Dabei wird die Mathematisierung der Physik in diesem Gebiet exemplarisch behandelt. Der Schüler kann daran die Übereinstimmung mathematisch gewonnener Aussagen mit Beobachtungen und Meßergebnissen als beglückend erleben (z.B. an der Wurftafel). Das Prinzip, Proportionen aufzufinden und der Umgang mit Großgleichungen werden geübt.

Der Schüler erhält in der Auseinandersetzung mit historischen, entscheidenden Fragestellungen sowie den Biographien bedeutender Persönlichkeiten (Galilei, Bruno, Kepler, Tycho de Brahe) einen lebendigen, erkenntnisreichen Blick auf die große, geistesgeschichtliche Wendezeit der Spätrenaissance und somit auf die Geburtsstunde der Physik. Er begreift, wie der Mensch als Erkennender eingespannt ist in die Tatsachen der physischen Welt – ihre Gesetze – von außen und in die Gesetzmäßigkeiten der Logik – im Denken – von innen. Durch eigene Erkenntnisfortschritte sowie das Erkennen eigener Irrtümer lernt er die Forschungsergebnisse der „großen Geister“ früherer Zeiten im rechten Lichte zu sehen und außerdem die Bedeutung des „Lernens aus Fehlern“ für alle Forschung und Entwicklung. So erlebt der Schüler, wie Erkenntnisicherheit entsteht, und lernt, sich auf neue Weise mit der Erde und ihren Gesetzmäßigkeiten zu verbinden.

Mögliche Unterrichtsinhalte:

Klassische Mechanik

Kinematik (gleichförmige Bewegung)

- Geschwindigkeitsmessung
- Begriff der mittleren Geschwindigkeit
- Darstellung von Geschwindigkeiten durch Vektoren
- Geschwindigkeitsparallelogramm
- Begriff der Beschleunigung
- Entwicklung der Bewegungsgesetze für konstante Beschleunigung an der schiefen Ebene $v = a \cdot t$, $s = \frac{1}{2} a t^2$
- Freier Fall, Erdbeschleunigung, Einheit der Kraft
- Senkrechter-, waagrechter Wurf
- allentfalls - schiefer Wurf
- Unabhängigkeitsprinzip der Bewegung

Statik

- Hookesches Gesetz; Anwendung Federwaage
- Messung von Kräften, Kräftegleichgewicht
- Darstellung von Kräften durch Vektoren

- Biegung, Druck, Zug
 - Schwerpunkt eines Körpers
 - Hangabtriebskraft und Normalkraft an der schiefen Ebene
- #### Dynamik
- Begriff der Masse, der Kraft
 - Newtonsche Bewegungsgleichung
 - Newtonsches Wechselwirkungsgesetz
- #### Allentalls
- Eingehen auf die historische Entwicklung dieser Begriffsbildung und die Biographie Isaac Newtons
- Wiederholung der „Goldenen Regel der Mechanik“
 - Mechanische Arbeit
 - Der Energiebegriff
 - Satz von der Erhaltung der Energie
 - Gleit- und Halbtreibung
 - Rotationsbewegung
 - Erdrotation
 - Zentripetal-, Zentripetalkraft
- #### Allentalls
- Corioliskraft (siehe Geographie, 10. Schulstufe)
 - Drehmoment und Momentengleichgewicht
 - Impuls und Impulserhaltung, Elastizität
 - Newtonsches Gravitationsgesetz
 - Keplersche Gesetze
- #### Allentalls
- Wellenharmonien Keplers (eventuell in einer Astronomieepoche)
 - Intervalle; Moll-Dur am Fadenpendel
 - Rhythmen im Sonnensystem
 - Die Wellenlehre im Bereich der Mechanik
 - Mechanische Schwingungen und Wellen
 - Überlagerung von Wellen (Schwebung und Interferenz, wenn nicht in 11. Schulstufe).
- Denkbar ist eine eigene Astronomie-Epoche** (sonst genügend ausführlich in der Physik von Rudolf Steiner wurde nicht ausdrücklich eine Epoche verlangt) mit dem Thema:
- Die Hüllen der Erde
 - Das Planetensystem vom heliozentrischen Standpunkt
 - Die 9 Planeten, Asteroiden und Kometen
 - Die Sonne und ihre Rhythmen
 - Sonnenwirkungen bzgl. der Erde – Heliobiologie
 - Keplers Wellenharmonien
 - Sonne und Mond und deren Rhythmen bzgl. der Erde
- #### Allentalls
- Der Goldene Schnitt als rhythmisches Gestaltungsprinzip des Sonnensystems

11. Schulstufe**Gesichtspunkte und Leitmotive zum Unterricht:**

Gemäß dem Hinweis Rudolf Steiners, zu den modernen Ernungseigenschaften der Physik (dennals Alpha-, Beta- und Gammastrahlung) vorzutreten, werden die Elektrizitätslehre, der Elektromagnetismus und die Grundphänomene der Radioaktivität, sowie die Begriffsbildungen der Physik des 19. und 20. Jahrhunderts erarbeitet. Schwerpunkte werden elektrische und magnetische Felder untersucht. Dabei wird die im Umgang mit Beobachtungen und Messungen geschulte Intelligenz auf Gebiete angewandt, in denen verstärkt gedankliche bzw. mathematische Bezüge im Vordergrund stehen. Es sollte aber prinzipiell, wie schon in den früheren Klassen, vom Experiment ausgegangen werden.

Mögliche Unterrichtsinhalte:**Elektrizitätslehre**

- Geschichte der Elektrizität
- Allertalis Elektrostatik (Wiederholung)
- Elektrischer Feldbegriff
- Akkumulator
- Bandgenerator (als Beispiel für die Elektrostatik)
- Magnetfeld eines Stromkreises
- Faradaysches Motorprinzip
- Wiederholendes Erarbeiten der Begriffe elektrische Spannung, Ladung, Strom, Widerstand, aber auf einer umfassenderen Ebene
- Zusammenhang von Spannung, Stromstärke, Widerstand, Leistung
- Wärmewirkung des Stromes
- Leitungsgesetze in verschiedenen Stoffen
- Induktion; induktiver Widerstand, Lenzsche Regel, Lorentzkraft, Waltenhof'sches Pendel, Wirbelstrombremse
- Transformator, Energieversorgung, Hochspannungsübertragung
- Supraleitung
- Energie als Rechengröße
- (Erweiterung des Energiesatzes aus der 10. Klasse)
- Selbstinduktion als Wechsel-Ursachen-Verhältnis; Polarität von elektrischem und magnetischem Feld
- Zeitlicher Verlauf von Stromstärke und Spannung beim Laden und Entladen eines Kondensators
- Kondensatorgesetze; Maßeinheiten, Berechnungen zur Kapazität, Dielektrikum
- Elektrischer Schaltkreis
- Stromstärke (quantitativ)
- Spannungs- und Stromstärkedigramme für gedämpfte elektrische Schwingungen
- Schwingungsphasen im elektrischen Schaltkreis
- Ungedämpfte elektrische Schwingungen, Synthesizer

- Zusammenhänge von Kapazität und Induktivität für Tonhöhe bzw. Schwingungsdauer und Frequenz; Thomsonsche Schwingungsformel; Tongenerator, Schwebung, Horschwelle
- Sender und Empfänger; hierzu u.a.: Resonanz, Triode, Elektronenröhre, Glühemission; Entwicklung des Begriffes «Elektron»; hierzu eventuell: Millikan-Versuch, Transistor
- Sendedipol, Dipolgesetz, elektromagnetisches Schwingungsfeld, elektromagnetische Wellenlänge
- Geschichtliches zum Sender
- Rundfunk, Anwendung; Radiobau möglich

Atomphysik

- Hochspannung, Funkeninduktor, Gasentladung (Leuchtstoffröhre)
- Kanalstrahlen, Kathodenstrahlen, Röntgenstrahlen (Teilcheneigenschaften der bewegten positiven und negativen Ladungsträger - Ionen, Elektronen) und ihre Entsprechung in
- α -, β -, γ -Strahlung, Braun'sche Röhre, Oszilloskop
- Radioaktivität, natürliches Vorkommen der Radioaktivität, radioaktiver Zerfall; Kernspaltung, Kernreaktor, künstliche radioaktive Isotope, Nachweisgeräte (Zählrohr, Nebelkammer);
- Geschichte der technologischen Entwicklung der Atombombe (Gefahren, Strahlenschutz)
- Kernfusion
- Allertalis Halbleiter, Diode, Transistor (siehe «Informatik»)

12. Schulstufe**Gesichtspunkte und Leitmotive zum Unterricht:**

Die Persönlichkeitsreife ist soweit fortgeschritten, daß für den jungen Menschen eine Selbstbeobachtung bei der Begriffsbildung möglich wird. Jetzt können wissenschaftstheoretische Fragen sinnvoll besprochen werden; z.B. die Bedeutung physikalischer Modelle, des induktiven und deduktiven Vorgehens etc. Damit wird angestrebt, nicht zu Wissenschatzgläubigkeit sondern zu eigener Urteilsfähigkeit zu erzielen. Dies kann ein entscheidender Beitrag zur Persönlichkeitsbildung sein und geschieht am Beispiel der Optik und - wenn nicht bereits in der 11. Schulstufe erarbeitet - an der Entwicklung des Atommodells. Neben der Vermittlung von wichtigen Grundkenntnissen sollen überblickartig die Phänomene und Gedankengänge behandelt werden, welche das moderne wissenschaftliche Weltbild geprägt haben.

Die unterschiedlichen Arten der Begegnung von «Licht» mit «Materie» können den Unterrichtsweg bestimmen.

Im Bereich der Optik kann geübt werden:

- Vom Phänomen in seinem Umfeld ausgehen
- Analytisches Denken im Bereich ganzheitlicher Sichtweisen schulen

- Ein symptomatologischer Ansatz
 - Erförterung von Standpunktkragen - Urteilsbildung
 - Eine Brücke zu schlagen zwischen Optik - Mensch - Malerei
- Fächerübergreifender Unterricht kann sich als besonders sinnvoll erweisen.

Mögliche Unterrichtsinhalte:

- Phänomene und Umfeld der Optik
- Aspekte der geometrischen Optik
- Begriff des Schattens, Kernschatten, Übergangsschatten
- Helligkeit
- Der Begriff des Kontrastes und seine Bedeutung für das Sehen
- Vergleich: Auge - Fotozelle; Qualitäten - Quantitäten, Objektivität auch im Bereich der Qualitäten aufsuchen
- «intersubjektiv» als neuer Begriff in der Naturwissenschaft der Gegenwart
- Nachbild und farbige Schatten (Sukzessivkontrast, Simultankontrast) und ihre physiologischen Grundlagen
- Das menschliche Auge und entsprechende technische Errungenschaften (z.B. Linsen, Blende am Fotoapparat), Kurzsichtigkeit, Weitsichtigkeit, Brillen
- Das Weber-Fechnersche Gesetz (Reizelgenschaft - Wahrnehmungselgenschaft, geometrische und arithmetische Folge)
- Sinneswahrnehmung und Bewußtsein, «Sinnesstauschung»
- Goethes Farberlebe (prismatische Farben); Farbqualitäten
- die Polarität von Grün- und Rotspektrum, ihre Entsprechung zu Pflanze und Mensch
- **Allenfalls**
 - Chlorophyll - Hämoglobin: chemische Struktur
 - Das Urphänomen der Chromatik nach Goethe; Methode des Goetheanismus in der Naturwissenschaft; Polarität von Licht und Finsternis nach Goethe und ihre Bedeutung für Farbenstehung durch Trübung (Rayleigh Streuung)
 - «Additive» und «Subtraktive» Farbmischung (Anwendung in der Technik) - Helligkeitsdifferenz
 - Spektral- und Körperfarben
 - Ebener Spiegel
 - Hohl-, Wölbspiegel
 - Spiegelgesetze: Bildebene (technische Anwendung)
 - Lichtmikroskop - Elektronenmikroskop (Auflösungsvermögen)
 - Brechung, Totalreflexion (Gesetz), Newtons Experimentum Crucis
 - Beugung (Punktlicht, Laser, Laserlicht - Sonnenlicht)
 - Wellenlänge des Lichtes, Spektroskop und Spektrometer
 - Polarisation - Doppelbrechung (technische Anwendung in der Spannungsoptik), asymmetrische Raumstrukturen - Isotropiebegriff
 - Atmosphärische Farberscheinungen in der Natur und ihre Entstehung durch Beugung, Interferenz, Brechung, Polarisation

- Der Regenbogen und seine Entstehung; eventuell Hinweis auf den Goldenen Schnitt am Regenbogen
- Fotoelektrischer Effekt (technische Anwendung)
- Elektronenvolt, Plancksches Wirkungsquantum
- Welle-Teilchen-Dualismus und seine Bedeutung für die Erkenntnissituation der Physik im 20. Jh. (Entstehung von Modellen in der Naturwissenschaft); über methodologische Grenzen der Physik; Hypothesenbildung
- Die drei Modelle des Lichtes: Welle, Teilchen, Strahl, ihre Bedeutung und Aussagekraft
- Relativitätstheorie, Quantentheorie
- Biographien bedeutender Forscher des 20. Jh. (z.B. A. Einstein, M. Planck, O. Hahn, E. Schrödinger, N. Bohr, W. Heisenberg)
- Die Schüler lernen hier exemplarisch moderne Erkenntnisstragen und das Problem von Wissenschaft und Ethik kennen.
- Mathematisierbarkeit der Physik und Widerspruchsfreiheit
- Formelstrukturen, Energieäquivalent der Masse; Licht und Materie
- **Allenfalls**
 - Linienspektren in Emission und Absorption, Spektralanalyse, Deutung der Spektrallinien
 - Messung von Spannungsunterschieden mittels Fotozelle und die Zuordnung von Wellenlängen
 - Millikan-Versuch (wenn nicht im Zusammenhang der 11. Klasse, Elektron), Rutherford'scher Streuversuch; Welle-Teilchen-Dualismus bei Materie

(10) Chemie**7. – 12. Schulstufe****Überrordnete Aspekte und allgemeine Unterrichtsziele**
(siehe auch Physik, S 219)

«Wir wollen nun die Gesichtspunkte, die in der Aufstellung eines Lehrplanes für den Chemieunterricht maßgebend sein sollen, kurz zusammenfassen.»

a) Auf jeder Altersstufe mußte der Lehrstoff behandelt werden, der dem entspricht, was sich in diesem Lebensstadium im Kinde abspielt. Nur wenn das geschieht, kann man mit einem Fach wie der Chemie viel zur Bildung des jungen Menschen beitragen. Es wird ihm dann helfen, eine gesunde Beziehung zur Welt als Ganzem und zu seiner speziellen Umgebung zu finden. Man kann seinem Denken Material verschaffen, damit es sich mit den richtigen Strukturen und mit Wirklichkeitsgehalt durchdringt. Es ist dann sogar möglich, von diesem Fach aus Wichtiges zu seiner Selbsterkenntnis als Mensch beizutragen. Je besser der Lehrstoff auf das jeweilige Alter abgestimmt ist, um so tiefer werden die Wirkungen gehen, die man zuwege bringen kann.

b) Man muß, einer bestimmten Systematik folgend, Bausteine zusammentragen für ein abgerundetes Weltbild. Dies muß sowohl der natürlichen wie der kulturellen Umwelt standhalten können, der sich der junge Mensch immer mehr gegenübergestellt sehen wird.

c) Der junge Mensch muß eine gewisse Menge an Lehrstoff mit Begriffen durchdringen und diese dann in sein Gedächtnis aufnehmen können.»

So formuliert das Frits H. Julius in seinem für den Chemieunterricht äußerst anregenden Buch «Stoffeswelt und Menschenbildung» (Stuttgart 1960, S 18f). Was die Methode des Unterrichts betrifft, finden sich ausführliche Darstellungen dazu in den beiden Manuskriptveröffentlichungen Manfred v. Mackensens «Feuer-Kalk-Metalle und Stärke, Eiweiß, Zucker, Fett» (Kassel 1979) und «Vom Kohlenstoff zum Athar» (Kassel 1981)

Daraus sei der folgende entscheidende Hinweis zitiert:

«Der bekannte Chemie-Didaktiker Förcke schreibt in dem von ihm begründeten Standardwerk: «Der Lehrer wird in jedem Fach aus der Mitte seiner Person unterrichten und darin keinen Widerspruch gegenfachliche Strenge erblicken.»»

Es ist damit offenbar gemeint, daß der Lehrer mit Gefühlsengagement und Wertungen unterrichten soll. Dies wird aber eigentlich erst durch die phänomenologische Methode möglich. Ihre Begriffe sind nicht axiomatisch definiert, sondern werden erst in der Konfrontation zu Ende entwickelt. Allerdings liegt der Stoff dann nicht mehr unabhängig vom realen Unterrichtsverlauf und von der jeweiligen Lehrperson vorab formuliert fest. (Offenes Curriculum) Auch der Lehrer muß sich jenem Erleben vor den Phänomenen aussetzen und immer neu und anders daran arbeiten. Nicht nur das Ergebnis, sondern auch das Tun im Betrachten und Bestimmen der Phänomene wird wichtig» (M.v.Mackensen, a.a.O., Kassel 1979, S 9 f)

7. Schulstufe**Gesichtspunkte und Leitmotive zum Unterrichte:**

Der Kern aller Methodik ist die Hinführung zu den chemischen Prozessen und Vorgängen. Diese sollen qualitativ erfaßt und die Schüler angeleitet werden, ein neues Verhältnis zur Natur zu entwickeln. Das setzt voraus, daß man mit zunächst ständig verwendeten Naturstoffen (z.B. Holz, Papier, Haare usw.) die Untersuchungen beginnt. Nicht das sensationelle Experiment soll Fragen «aufreißen», sondern Alltagserscheinungen, wie z.B. das Feuer, können Fragen entstehen lassen. Hierbei wird der Mensch als Mitgestalter von Naturprozessen erlebt. «Wenn der Mensch – im Labor oder in der Technik – Chemie treibt, greift er eigentlich immer in den Lauf der Natur ein. Er holt Stoffe aus ihr heraus. Was diese Eingriffe in der Natur bewirken, wird zum Umweltproblem; es sei hier nicht verfolgt. Alle toten Stoffe sind eigentlich vom Menschen erst gemacht. Die Welt besteht nicht etwa aus Stoffen, sondern aus Erscheinungen – aus den Naturreichen und den Lebewesen.» (M.v.Mackensen, a.a.O., S 7)

Der Chemieunterricht darf nicht ab- und ausgrenzen, sondern muß von außen nach innen schreitend Beziehungen aufzeigen. Dabei soll das Erleben des Schülers ernst genommen und einbezogen werden, nicht «wissenschaftlich verbobjektiviert» das Meßinstrument und die Indikatoren als das «einzige Ge-nau» protegiert werden.

Mögliche Unterrichtsinhalte:

- Feuer in seinen verschiedenen Erscheinungsformen (Kohle brennt anders als Stroh und Holz, Harz anders als Alkohol und Erdöl, Schwefel anders als Phosphor)
- Untersuchung der Verbrennungsrückstände (Asche, Kohle, Kohlendioxid)
- Indikatoren (Rotkohlsatz)
- Die Luftströmungen im Umkreis des Feuers: Verbrennungsmehrer Sauerstoff
- O₂ - CO₂ - Kreislauf

- Der Kalk und das Kalkbrennen, Auftreten von Säuregas und Base (Kalklauge), Weitere Säuren (z.B. Salzsäure, Phosphorsäure, schwefelige Säure)
- Metalle (Gold, Kupfer, Zinn, Bronze, Eisen)
- Kulturgeschichtliches und Technisches
- Handgebiete (können behandelt werden), wie z.B.
 - Die Kerze (M. Faraday) und Kerzenfabrikation
 - Entwicklung von Öfen und Schornstein
 - Säure und Lauge in ihrer Wirkung auf die Kristallbildung
 - Einiges über die Goldgewinnung und Goldverarbeitung

8. Schulstufe

Gesichtspunkte und Leitmotive zum Unterricht:

«Der Lehrer muß außerdem so viel wie irgend möglich sein Fach mit anderen Fächern in Verbindung bringen. Und nur, wenn solchen Bedingungen entsprochen wird, kann ein Fach wirklich zum Glied eines umfassenden, harmonischen Weltbildes werden. Wird Ihnen nicht entsprochen, dann führt es ein isoliertes und oft auch ein wucherndes Dasein auf Kosten der harmonischen Entwicklung der Schüler.» (F.H. Julius, a.a.O., S 15)

Die Chemie der 8. Klasse stellt den sich Nahrung verschaffenden Menschen an den Anfang. Darin verbindet er sich immer der Natur, die rings um ihn im Lichte aufliegt. Von diesem Lebensprozeß das Erdumkreises kann er sich niemals trennen. Er sucht bestimmte Lebewesen aus der Natur heraus, unterbricht ihren Wachstums- und Fortpflanzungsprozeß, trennt, verarbeitet, reinigt, verfeinert. Doch im Herausgerenteten spiegeln sich immer noch die Zusammenhänge ihrer Herkunft in mannigfaltigen Eigenschaften. So kann man in den Stoffen – allerdings verhüllt – das Wirken der Naturkräfte wahrnehmen. Nun soll der Unterricht diese enthüllen, denn erst dann kann man die charakteristischen Stoffeigenschaften erkennen. Dabei geht es nicht um ein analytisches Inventarisieren, was zu Modellkonstruktionen führen würde, sondern eben um das Entschlüsseln eines wirkenden Prinzips. Dazu muß der Schüler angeregt werden, ursprünglich zu fragen. (Diese Fragestellung soll noch vertieft werden durch das Mitexperimentieren der Schüler.)

Mögliche Unterrichtsinhalte:

- Vom Korn zum Mehl – verschiedene Getreidearten, Techniken des Mahlens (vom Reibstein über Wasser- und Windmühle zur Walzenmühle), Untersuchungen am Mehl: der Teig, der Kieber
- Stärkegewinnung aus dem Mehl, aus der Kartoffel, Qualität der Stärke, Jodreaktion auf Stärke
- Der Kieber als Eiweißkomponente des Mehls (Verkohlungsprobe)
- Das Eiweiß: Milch, Eier, Fleisch, Federn, Haare, «Tierische Produkte»
- Eiweiß - eine Stickstoffverbindung

- Der Zucker (Kulturgeschichtliches hierzu): Zucker in der Natur, Umwandlung von Stärke in Zucker durch Säure (Verzuckerungsreaktion), Beziehung zu Wasser und Feuer, Fehlingsche Lösung
- Der Gärungsvorgang
- Zusammenfassung von Stärke, Eiweiß, «Gärungsprodukt» Hefe im **Brotbacken**
- Fette und Öle: Pflanzliche «Fettlieferanten», Fett und seine Beziehung zur Wärme und zum Feuer, desgleichen zum Wasser
- Trocknende und nichttrocknende Öle
- Seifenherstellung (Natronlauge, Fett und Hitze)
- Zellulose, Papierherstellung
- Handgebiete, die behandelt werden können:
 - Weitere Verfahren zur Stärkegewinnung
 - Zuckerherstellung aus Rüben
 - Zuckernahrung als Zivilisationsproblem
 - Folgen des Zuckerrübenzusses für das Gebiß
 - Blutzucker und Diabetes
 - Das Leder und der Gerbevorgang
 - Käseherstellung
 - Fortsetzung der Metallbehandlung, Hochofenprozesse

9. – 12. Schulstufe

Überrordnete Aspekte und allgemeine Unterrichtsziele (siehe auch Physik S 224)

In Anknüpfung und Erweiterung an die in den beiden vorhergehenden Schuljahren gewonnenen Stoffkenntnisse aus der anorganischen und organischen Chemie soll der Schüler auf phänomenologischer Basis zunehmend Einblick und Verständnis für organische Naturprozesse gewinnen, aber auch für die vom Menschen gehandhabte technische Nutzung und Umwandlung organischer Naturstoffe.

- Aufgreifen des Unterrichtsstoffes der 7. und 8. Schulstufe unter mehr wissenschaftlichen Gesichtspunkten
- Stellung und Aufgabe der Chemie in der modernen Welt und in allen Lebensbereichen
- Verständnis chemischer Zusammenhänge und Konsequenzen menschlichen Handelns
- Wechselwirkung von Ökonomie und Ökologie
- Vermitteln der Kenntnisse von Stoffeigenschaften und Stoffwirkungen
- Erfassen analytischer Methoden und Verfahren sowie deren Darstellung in Versuchen

- Verständnis für Modellvorstellungen entwickeln
- Einführen der chemischen Fachsprache
- Hinführen zu verantwortungsbewußtem Umgehen mit Stoffen und Prozessen

9. Schulstufe

Gesichtspunkte und Leitmotive zum Unterricht:

Der junge Mensch soll wichtige, hauptsächlich organische Stoffe und Prozesse und ihre technische und alltägliche Anwendung kennenlernen. Die dabei erarbeiteten Gesetzmäßigkeiten werden durch Wortgleichungen und noch ohne Formeln verdeutlicht. Gleichzeitig soll aber auch das Verständnis für ökologische und gesellschaftliche Bezüge und Probleme gefördert werden.

Rudolf Steiners Lehrplangangaben lauten: „Das, was wir für die 8. Klasse bestimmt haben, die ersten Elemente der organischen Chemie, was ein Alkohol ist, was ein Äther ist, das wäre jetzt in der 9. Klasse fortzusetzen.“ (R. Steiner, GA 300/1, S 223)

«So ist es auch in der 9. Klasse nicht unsere Aufgabe, die Chemie des Organischen abgetrennt und systematisch nach formalen Kennzeichen, den homologen Reihen- und den funktionalen Gruppen abzuhandeln, sondern weiter den Spuren des Lebens zu folgen. Denn das auf der Erde zu beobachtende Leben entwickelt sich immer im Sinne höherer Ordnungsprinzipien nicht additiv aus niederen, unlebendigen Vorstufen.» (M. v. Mackensen, Kassel 1981, S 5)

Mögliche Unterrichtsinhalte:

- Verbrennung und Oxidationsprozeß**
- Reduktion als Umkehrung der Oxidation (Verbrennung)
- Die Luft**
- Zusammensetzung
 - Atmung als Oxidation und Photosynthese als Reduktion
 - Stoffkreislauf
 - Schnelle und langsame Oxidationen
 - Bildung und Eigenschaften von Kohlendioxid
 - Luftverschmutzung
 - Aus der Geschichte der Chemie
- Entdeckung und Eigenschaften des Sauerstoffes (J. Priestley)**
- Oxidation als Sauerstoffaufnahme (A. Lavoisier)**
- Organische Chemie**
- Zucker, Stärke und Cellulose, Eigenschaften, Vorkommen (insbesondere deren Bedeutung bei Lebewesen), Stoffkreislauf und industrielle Gewinnung

- Nachweis der Kohlenhydrate in den Pflanzen (Jod-Stärke-Nachweis, Fehlingreaktion, Silberspiegelreaktion)
- Zusammensetzung des Holzes
- Papierherstellung
- Versäuerung
- Holzkohle-Herstellung
- Inkohlungsprozeß: Torf, Braunkohle, Steinkohle, Graphit
- Erdölbildung aus pflanzlichen und tierischen, also organischen Verbindungen

Gärungen

- Alkoholische Gärung
 - Gärung und Destillation
 - Eigenschaften und Arten der Alkohole
 - Gefahren des Alkoholmißbrauchs/Drogenproblematik
 - Gärigkeit von Methanol
 - Essigsäuregärung
 - Andere Gärungen (aerob - anaerob)
- Äther**
- Herstellung und Eigenschaften
 - Gefahren im Umgang mit Äther
- Ester und Aromastoffe**
- Natürliche Gewinnung und synthetische Herstellung
- Fette als Ester**
- Verseifung
- Allenfalls**
- Luftverflüssigung
 - Feuerlöschverfahren im Vergleich mit Seitenblick auf FCKW (Halone) und Ozonproblematik
 - Geschichte der Narkeose
 - Seifenherstellung (falls nicht in der 8. Klasse behandelt)
 - Biographische Themen

10. Schultafe

Gesichtspunkte und Leitmotive zum Unterricht:

«Jetzt sind sie (die Schüler) ganz Erdenbürger geworden, und sie müssen lernen, sich mit klaren Gedanken in diesem für sie noch neuen Bereich zu orientieren. Ihr Leben, das sich jetzt für ihr Bewußtsein in erster Linie auf der Erde abspielt, muß vom Denken durchgestaltet werden. Ihr Denken muß so stark werden, daß es das Chaos der Einzelerkenntnisse ordnen kann, aber es muß auch so feinfühlig sein, so folgsam, daß es den edlen Aufbau des Weltganzen wirklich erfassen kann.»

Die ganze Epoche sollte folgenden Stil haben: Eine stark hervortretende, übersichtliche Gedankenstruktur, die den Reichtum der Erscheinungen ordnet, wodurch man ihn begrifflich aufheben und sogar handhaben kann. Ein edel gebildeter, schon gefärbter Salzkristall kann wirklich als Ideal vor uns stehen, wenn wir den Stil dieser Epoche überdenken.» (F.H. Julius, a.a.O., S.29)

Der Schüler soll sich auf dem leicht überschaubaren Gebiet der Salze, Basen und Säuren sicher bewegen können. Er soll die Polarität Base-Säure und ihren Ausgleich im Salz erfahren. Der Bezug zu Säure-, Basen- und Salzprozessen in Organismen und Lebensvorgängen soll gefunden werden. Großer Wert wird der alltäglichen Bedeutung und der Behandlung wichtiger technischer Prozesse beigegeben.

Mögliche Unterrichtsinhalte:

- Salzenziehung und Salzgewinnung
- Salzlagerstätten, Bedeutung der Salze für die chemische Industrie (=Großtechnik-, Amalgamverfahren)
- Querverbindungen zu Physik: Elektrolyse, Ionenlehre im Zusammenhang mit der Elektrolyse
- Salzbildung durch Neutralisation
- Vulkannamen der Salze und internationale Nomenklatur
- Zur Geographie: Geologie und Wirtschaftsgeographie, Verkehrsgeographie
- Zur Geschichte: Geschichtliche Bedeutung des Salzes, Salzstraßen
- Kristallisieren und Lösen
- Kristallwachstum im Vergleich zum Pflanzenwachstum
- Grundlagen der Kristallographie
- Gethermpunktniedrigung (Kältechnik) - Siedepunkterhöhung (Versuche mit verschiedenen Salzen, Streusalz)
- Diffusion und Osmose
- Pfefferische Zelle
- Messung des osmotischen Druckes
- Biologische Bedeutung (Plasmolyse)
- Chemische Analyse von Salzen
- Säure - Basen - Anhydride
- Thermische Salzsäure
- Säure- und Basenveränderung zur Gewinnung von Säuren und Basen aus Salzen

- Elektrolytische Salzsäure
- Herstellung von Säuren und Basen aus Metall- und Nichtmetallelementen
- Großtechnische Verfahren zur Gewinnung
- Ihre geschichtliche Bedeutung
- Entwicklung der chemischen Technik
- Wirkungsweise
- Besprechung wichtiger Säuren und Basen
- Indikatoren, pH-Wert, Wasserhärte, Enthärtung, Waschmittel
- Einführung von Reaktionsgleichungen in einfacher Form (möglichst noch ohne Formeln)
- Allertals
 - Stöchiometrische Messungen, Berechnungen
- Basen und Säuren im menschlichen Organismus
- Allertals
 - Übersicht über die Kristallsysteme
 - Mohrsche Härteskala

11. Schultafe

Gesichtspunkte und Leitmotive zum Unterricht:

Ausgehend von den in der 10. Schultafe behandelten umfassenden Polarität von Basen und Säuren, Metallen und Nichtmetallelementen soll der Schüler einen Überblick über das gesamte Gebiet der Chemie erhalten.

Der individuelle Charakter der Elemente soll im Zusammenwirken der chemischen Substanzen erarbeitet werden.

- Wie offenbart sich das Element in der Vereinzelung,
- wie im Prozeß mit anderen Stoffen ?

Einführung der Formelschrift anhand der quantitativen chemischen Gesetzmäßigkeiten. Darstellung der chemischen Elemente und ihre Ordnung sowie ihre Bedeutung in Natur und Technik. Das Periodensystem wird nicht als vorausgesetztes Ordnungsprinzip eingeführt, sondern zusammenfassend als wesentliche Entdeckung. Das methodische Vorgehen ist hierbei entscheidend und soll durch F.H. Julius' Bemerkungen nochmals unterstrichen werden: «Es gibt gewiß Möglichkeiten, mit dem periodischen System der Elemente so umzugehen, daß das eindrucksvolle Ganze und die edlen, harmonischen Verhältnisse zu ihrem Recht kommen, wie aus den Veröffentlichungen von Blicke hervorgeht.»²⁴ Aber auch wenn dies gelingt, sind noch zwei große Schwierigkeiten damit verbunden, es als Ausgangspunkt für ein lebendiges Weltbild zu nehmen. Die erste Schwierigkeit ist die, daß man es vorläufig kaum in Zusammenhang mit dem menschlichen Organismus bringen kann, die zweite, daß es kein Ergebnis bildhaften Denkens ist. Mit bildhaft anschaulichem Denken kann man noch ganz andere gesetzmäßige Zusammenhänge

²⁴ Ernst Bricke/Wilhelm Blicke: «Zahlgesezte in der Stoffwelt und Erdentwicklung» in: Beiträge zur Substanzforschung, Dornach, 1952.

zwischen den Elementen finden, die bedeutend übersichtlicher sind und besser brauchbar im Unterricht.

Das bedeutet nicht, daß man das periodische System nicht behandeln sollte. Aber es ist ein großer Unterschied, ob man es als Ausgangspunkt nimmt oder es als wichtige, merkwürdige Entdeckung bespricht.“ (F. H. Julius, a.a.O., S 99 f.)

Ausblick auf eine ganzheitliche Betrachtungsweise und prägnomologische Chemie als Ausgangspunkt für eine zu erstrebende «sanfte» und umweltfreundliche Technik der Zukunft.

Mögliche Unterrichtsinhalte:

Begriffe: Element, Verbindung, Mischung, Analyse und Synthese

Grundgesetze chemischer Verbindungen

- Gesetz von der Erhaltung der Masse (Lavoisier)

- Gesetz der konstanten und multiplen Proportionen (Proust, Dalton)

- Massenverhältniszahlen

- Gesetzmäßigkeiten bei Gasreaktionen

- Wassersynthese und -analyse

- Volumengesetz bei Gasen, Molmasse, Molvolumen

- Satz von Avogadro

- Das Periodensystem der Elemente

- Entdeckungsgeschichte (Dobereiner, Meyer, Mendelejew)

- Gesetzmäßigkeiten: wichtigste Haupt- und Nebengruppen, Perioden und Wertigkeit, Basen- und Säurebildner, Amphotere

- Darstellungsarten des Periodensystems

- Auswahl der wichtigsten Elemente unter Berücksichtigung ihres natürlichen Vorkommens: Schwefel, Stickstoff, Stickoxide, Ammoniak, Phosphor,

Sauerstoff (naszierender und normaler Sauerstoff, Ozon), Wasserstoff,

Kohlenstoff und Silizium (Chemie des Siliziums, chemische und mineralogische Untersuchungsmethoden, Bedeutung in der Elektronik - siehe

Lehrplan «Informatik-»), Leicht- und Schwermetalle unter besonderer Berücksichtigung der Alkalimetalle (Natrium und Kalium), Erdalkalimetalle

(Magnesium und Kalzium), des Aluminiums, Eisens, Kupfers, Silbers

(Bedeutung in der Photographie)

- Formelschreibweise und Aufstellen von Reaktionsgleichungen

- Stöchiometrisches Rechnen

- Radioaktivität (in einfacher Form und nach Absprache mit dem Physikerlehrer)

- Als Alternative zum Vorigen sei hier der juliusche Weg erwähnt: Der menschliche Organismus als Schlüssel zu einem neuen System der Elemente:

- Die 12 Stoffe (s.o.) als Vertreter aller Naturgebiete (vgl. F. H. Julius, a.a.O., S 100 ff.)

- Querverbindungen zur Physik

- Natürliche und künstliche Radioaktivität

- Zu Biologie und Umweltschutz

-

-

-

-

-

-

-

-

- Kernphysikalische bzw. kerchemische Technologie und die Biosphäre der Erde

Allerfalls

- Geschichte des Elementbegriffes (philosophische Querver-

- Bindungen)

- Volumengesetz bei Gasreaktionen

- Isotope (ohne Modellvorstellung)

- Biographisches

12. Schulstufe

Gesichtspunkte und Leitmotive zum Unterricht

Der Schüler soll eine Abrundung und Zusammenfassung des bisherigen Unterrichtes erfahren und Einblick und Verständnis für die Bedeutung der modernen Chemie in Bezug auf Mensch, Natur und Umwelt bekommen.

«Das erste, was daher nötig ist, ist die Einsicht, daß die Prozesse im Menschen ganz anders verlaufen als draußen. Das zweite ist eigentlich eine Fortsetzung des ersten. Man muß eine Chemie entwickeln, die der Existenz der vier Naturreiche Rechnung trägt und die vier Ebenen in der menschlichen Organisation berücksichtigt. Diese zwei Forderungen sind die Hauptgesichtspunkte für den Chemieunterricht in der 12. Klasse.» (F. H. Julius, a.a.O., S 317)

Aus der historischen Entwicklung der organischen Chemie kann die Bedeutung organischer Verbindungen in der heutigen Zeit für Technik und Alltag verdeutlicht werden. Dabei steht die Biochemie als gedanklicher Leitfaden im Hintergrund der Epoche. Beispielsweise können, ausgehend von der Immunreaktion, die für den menschlichen Organismus typisch ist, die verschiedenen Prozesse, ihre Verknüpfung im Organismus und in der Ökologie verfolgt werden. Enzyme, Hormone und Regelkreise können herangezogen werden, um eine menschengemäße Chemie darzustellen, die nicht vergiftend, sondern heilend für den Menschen und seine Umwelt sein soll.

Mögliche Unterrichtsinhalte:

- Stoffentstehung und Stoffeswirken außerhalb und innerhalb der lebendigen Körper

- Physiologische Bedeutung von pflanzlichem und tierischem Eiweiß

- Der lebendige Körper als Ganzes und adäquate Wege zur Erkenntnis dieser lebendigen Ganzheit

- Einführung, Anwendung und Diskussion von chemischen Modellvorstellungen

- Begriff der organischen Chemie als Wissenschaft von den typischen Kohlenstoffverbindungen

- Sonderstellung des Kohlenstoffes und seiner Verbindungen

- Bedeutung als Strukturelement in Lebewesen

- Modifikationen (Graphit und Diamant)

- Geschichtliches: Harnstoffsynthese durch F. Wöhler

Erdöl

- Vorkommen, Entstehung und Zusammensetzung
- Bedeutung als Rohstoff und Energieträger
- Fraktionierende Destillation
- Petrochemie
- Gewinnung von Benzin, Veredelung
- Crackprozess
- Oktanzahl
- Ökologische Auswirkungen
- Alkane**
 - Begriff der homologen Reihe
 - Kalküle und die Entwicklung organischer Strukturformeln (Bruttoformel und Strukturformel)
 - Begriff der Isomerie, Raummodelle
 - Verkettung und Ringbildung
- Alkene, Alkadiene, Alkine**
 - Struktur
 - Wirtschaftliche Bedeutung

Wichtige Begriffe:

- Aliphatische und aromatische Verbindungen
- Addition und Substitution
- Polymerisation und Polyaddition
- Funktionelle Gruppen und deren Verhalten

Allerfalls

- Kunststoffchemie
- Polyester und Polyamide
- Chemiefasern z.B. Nylon
- Eigenschaften und Struktur von Duroplasten, Thermoplasten und Elastomeren
- Verarbeitung, Verwendung und Beseitigung von Kunststoffen
- Müllproblem, Recycling
- Tetraedermodell des Methans
- Besonderheit der C-C-Bindungen
- Gleichgewichtsreaktionen in der organischen Chemie
- Reaktionsgeschwindigkeit
- Massenwirkungsgesetz

Derivate der Kohlenwasserstoffe

- Halogen-Derivate (Bedeutung für die Umwelt, Zerstörung der Ozonschicht der Erde, Querverbindungen zur Geographie)
- Alkohole: primäre, sekundäre und tertiäre Alkohole, ein- und mehrwertige Alkohole (Glykol, Glycerin) und deren Bedeutung
- Aldehyde, Ketone, Karbonsäuren
- Esterbildung und Verseifung
- Fettbildung

Biochemie

- Kohlenhydrate, Fette und Eiweißstoffe

Allerfalls

- Benzolische Mesomerie
- Nukleinsäuren DNA
- Gentechnologie
- Ionen
- Peptid-Verbindungen
- Lebenswichtige Aminosäuren
- Wichtige Wirkstoffe (Enzyme, Hormone)
- Moderne Trennverfahren
- Chromatographie
- Proteine und ihre Bausteine

(11) Technologie

10. – 12. Schulstufe

Übergeordnete Aspekte und allgemeine Unterrichtsziele

Zu den Kernpunkten des Waldorflehrplanes zählt es, daß human- und naturwissenschaftliche Fächer curricular gleichberechtigt vermittelt werden, und zu den zukunftsweisenden Vorstellungen des Lehrplanes, daß die Kenntnis und das Verständnis für Technologien unabdingbar für moderne Menschen sind. Technik ist als Prozeß zu verstehen, der mit den handelnden Menschen untrennbar verbunden ist - die häufig gepflegte isolierende Betrachtung der Technik als Betrachtung der Artefakte wird abgelehnt, da die Phänomene der Technik mehrere Dimensionen und daher mehrere Erkenntnisperspektiven betreffen:

- * - die **natürliche Dimension** mit den zugehörigen Erkenntnisperspektiven: naturwissenschaftliche, ingenieurwissenschaftliche, ökologische
- die **humane Dimension** mit den zugehörigen Erkenntnisperspektiven: anthropologische, physiologische, psychologische, ästhetische, usw.
- die **soziale Dimension** mit den zugehörigen Erkenntnisperspektiven: ökonomische, soziologische, politische, kulturhistorische, juristische, ethische, usw.

... Im Zuge der gesellschaftlichen Arbeitsteilung werden diese Sichtweisen heute allerdings in der Regel jeweils von Spezialisten wahrgenommen. Technik wird traditionell als Sache der Ingenieure angesehen, die üblicherweise nur auf Natur- und Ingenieurwissenschaften konzentriert sind. Erst die Umweltproblematik und die zunehmende Wahrnehmung humaner und sozialer Implikationen der Technik haben, vor allem in den letzten beiden Jahrzehnten, ein steigendes Bewußtsein für die Notwendigkeit geschaffen, daß ein mehrdimensionales, integratives Technikkonzept angewendet werden muß. Angesichts der herrschenden Differenzierung der Fachbereiche stellen in diesem Zusammenhang Reintegrationsversuche wesentliche Aufgaben dar... Die Menschheit entwickelt ihre Technik und die Technik ist so entwicklungsfähig, wie es die Menschen und die Menschheit sind...“ (G. Popohl, München 1979, S 30 ff und M. Horvat, Wien 1989, S 64 und 72)

Aufbauend auf den Physikunterricht der 9. Schulstufe, welcher u.a. technologisch-lebenskundlich orientiert ist und die Geschichte der Technik an einigen Beispielen (z.B. Verbrennungsmaschinen, Telefon) zeigt, wird ein Technologieunterricht mit besonderen pädagogischen Aufgaben angeboten. Es soll sowohl praxisnahes, exaktes Denken (Turbinenbau) als auch exaktes Empfinden (bildschaffende Untersuchungsmethode am Wasser) geschult werden.

Eine Betriebskundung, das Erstellen eines Firmenprofils mit genauer Darstellung des Erzeugungsablaufes eines Produktes mit allen Vor- (Einkauf, Materialbeschaffung) und Nacharbeiten (Werbung, Verkauf, Marketing, etc.) kann ebenfalls Inhalt des Technologieunterrichtes sein. Der soziale Aspekt von «Arbeit» und deren Produkte wird sowohl im Sozial- als auch im Industriepraktikum von den Schülern unmittelbar durch Erlebnis wahrgenommen. Unterricht kann zum Teil auch in Form von Exkursionen mit ausführlicher Vor- und Nachbesprechungen abgehalten werden. Der Einsatz von modernen Medien, wie Film und Video, ist speziell im Bereich der High-Technologie angebracht.

10. Schulstufe

Gesichtspunkte und Leitmotive zum Unterricht:

Dieser Unterricht soll nicht in erster Linie Wissen vermitteln, sondern er soll Lebenskunde sein. «Es soll alles das erweckt werden, was den Menschen dasjenige verstehen macht, was eigentlich im Leben geschehen muß, wenn das Leben fortgehen soll.» (R. Steiner, GA 302, 5. Lehrplanvortrag)

Die Zusammenschau von Ereignern aus dem Handarbeits- und Handwerksunterricht sowie der theoretischen Stoffinhalte aus Mathematik und Physik soll zu einer ganzheitlichen Entwicklung des jungen Menschen entscheidend beitragen. Technologien der Menschheitsgeschichte

Mögliche Unterrichtsinhalte:

- Verspinnen von Wolle, Flachs, Baumwolle
- Weberel - verschiedene Webstühle
- Textilindustrie
- Herstellung von Kunststoffern

11. Schulstufe

Gesichtspunkte und Leitmotive zum Unterricht:

Zwei Gebiete von allgrößter Bedeutung stehen im Mittelpunkt des Technologieunterrichtes: Kraft - Energie auf der einen Seite (Elektrizitätswirtschaft) und Stoff - Materie (Papierherstellung) auf der anderen. Setzt die Technologie der 10. Schulstufe in der Vergangenheit an, so sieht in der 11. die Gegenwart vor uns.

Mögliche Unterrichtsinhalte:

- Wasserräder
- Turbinen: Hoch- Mittel- und Niederdruckturbinen
- Schraubentriebe und ihre Anwendung

- Elektrizitätskraftwerke (Wasser-, Wind-, kalonische - und Kernkraftwerke)
- Wasser als Träger lebendiger Gesteinskörner (Tropfbildmethode nach Schwenk)
- Energiewirtschaft
- Papierherstellung
- Buchdruck
- Buchbinden und Kartongearbeiten (siehe «Handarbeit», 11. Schulstufe)
- Vielfältige Medien, vor allem Print-Medien
- Informationstechnik (siehe Lehrplan «Informatik»)

12. Schulstufe

Gesichtspunkte und Leitmotive zum Unterricht:

Die Waldorfpädagogik fordert, daß zwar historische bedeutsame Technologien Inhalt des Unterrichts sein sollen, daß also die Stufen der Technikentwicklung: Stofftechnik, Elektrotechnik, Informationstechnik und chemische Technologie verdeutlicht werden, daß aber auch stets die jeweils neuesten Technologieentwicklungen vermittelt werden. Nichts hat sich so schnell verändert wie diese Entwicklungen, so mag es nicht möglich sein, dem curricularen Anspruch zu genügen. Der Hinweis auf Exemplarisches ist daher an dieser Stelle angebracht. Grundverständnis für Entwicklungen, für Prinzipien und Probleme zu wecken, wird den systematischen Vermittlungen des Inhaltes vorzuziehen sein.

Mögliche Unterrichtsinhalte:

Chemische Technologie:

- Naturstoffe
 - Kunststoffe aus Naturstoffen (Vulkanfaser, Zellulose, Kunstharze usw.)
 - Halbsynthetische Produkte (Klassische Kondensationsharze)
 - Vollsynthetische Stoffe (Polymerisationsharze, Kunststoffe)
 - z. B. Vom Naturkautschuk zum Synthesekautschuk
 - Umwelt- und Recyclingproblematik
 - Qualitätsuntersuchungen (Boden, Wasser, Luft)
- Computertechnologie:**
- High-Technologie (siehe Lehrplan «Informatik», der Informationstechnologien übernimmt)

(12) Informatik

10. - 12. Schulstufe

Vorbemerkung:

Über die Tatsache, daß die Waldorfschule der gegenwärtigen und zukünftigen Bedeutung der Computertechnologie gerecht werden muß, besteht kein Zweifel. Dagegen ist es noch wenig festgelegt, in welcher Klassenstufe welche Beiträge zu ihrem Verständnis geleistet werden sollen. Solche Beiträge können ja teils aus dem Gebiet der Mathematik, der Physik und dann der Technologie. In der Mathematik wurden schon im Zusammenhang der 9. Schulstufe die verschiedenen Zahlensysteme genannt, unter denen dann technologisch das Dualsystem eine besondere Bedeutung erhält. Es haben sich aber in einigen Schulen auch bereits Praktika in der 8. oder in höheren Klassen physikalische Praktika bewährt, die die Elemente der Datenverknüpfung auf Relais-Basis zum Inhalt haben. Auf höherer Stufe (11. oder 12. Klasse) hat sich die Behandlung der Booleschen Algebra als hilfreich gezeigt. Im folgenden wird nun ein Entwurf vorgestellt, der sich auf die 10. bis 12. Schulstufe konzentriert.

Überrordnete Aspekte und allgemeine Bildungsziele

Der Informatikunterricht kann und soll wohl auch als ein Teilgebiet der Technologie gesehen werden. Der Anforderung, die dieses Gebiet heute an den Menschen stellt, muß verantwortlich entsprochen werden.

Im Sinne der am Menschen selbst orientierten Pädagogik wird der Informatikunterricht vorwiegend ein Verständnis der Grundelemente des Computers vermitteln und seine Arbeitsweise prinzipiell durchschaubar machen. Deshalb soll weniger anwendungsorientiert mit der mikroelektronischen Technologie umgegangen werden, als vielmehr im Sinne eines geistigen Durchdringens und Einordnens ihrer Phänomene und ihrer Entstehung, woraus sich die Urteilsfähigkeit für deren Anwendungsbereiche und deren Grenzen einstellt.

Die Kenntnis der formalisierten Regelmäßigkeit und ihrer intellektuellen Ergebnisse kann den Blick schärfen für die über diese Regelmäßigkeit hinaus schöpferischen Bereiche der menschlichen Intelligenz. Diese «tätige Vernunft» zu entwickeln und zu pflegen ist ja ein wesentliches Anliegen der Waldorferziehung: in der Auseinandersetzung mit der angemessenen Beurteilung der Computertechnik erfährt diese Erziehung ihre Bewährungsprobe.

Der Jugendliche soll nicht mit positiven oder negativen Urteilen über die neue weitbeherrschende Technik indoktriniert werden, sondern gerade durch deren

Verständnis die eigene Individualität und deren autonomen Umgang mit Intelligenz erfahren und so die Quelle erkennen lernen, aus der allein sozial verantwortliches Handeln entspringt.

10. Schulstufe

Gesichtspunkte und Leitmotive zum Unterricht:

Im Zusammenhang mit den physikalischen Grundlagen und mit den mathematischen Kenntnissen ist es möglich, die einfachsten Grundbausteine einer automatisierten Ablaufsteuerung zu erkennen. Wie weit die Beispiele handwerklich realisiert werden, ist von den Möglichkeiten der einzelnen Schulen abhängig, im Sinne des praktisch-handwerklichen Schwerpunktes dieses Faches jedoch anzustreben.

Soweit nicht in anderen Fächern bereits ausführlich behandelt, ist der geschichtliche Hintergrund und die Entwicklung bis zum ersten Reaiscocomputer in Urnissen darzustellen.

Die mathematischen Grundlagen, binäres-, oktales-, hexadezimals Zahlen-system, Boolesche Algebra, werden - soweit in der Mathematik eingeführt - wiederholt und in aus der Praxis stammenden Beispielen angewendet.

Die elektrischen Grundlagen (siehe Lehrplan +Physik, 9. Schulstufe) werden wiederholt. Reihen- und Serienschaltung - mit selbstgebaute Relaisbausteinen - werden errechnet, gemessen und gelötet. Daran wird - sinnlich nachvollziehbar - die Grundlage der heutigen EDV-Systeme gezeigt. Der Schwerpunkt dieses Faches liegt im praktischen Erarbeiten und handwerklichen Bau von elektronischen Bauteilen. Die schriftlichen Unterlagen sind als Dokumentation bzw. Handwerksurteile für die überwiegend praktische Tätigkeit gedacht.

Mögliche Unterrichtsinhalte:

Geschichtliche Grundlagen

- Herons Automaten unter Ausnutzung der damaligen Kenntnisse der Hydraulik und Mechanik
- Die Entwicklung der Mathematik und der Abakus als Hilfsmittel der Menschen, «automatisiert» rechnen zu können
- Algebra - Abakus
- Die Entwicklung der Mechanikerkunst in Europa mit der aufkommenden wissenschaftlichen Arbeit in Mathematik, Astronomie
- Die ersten mechanischen Rechenmaschinen von Schickard, Leibniz, Pascal
- Die ersten Lochkartengesteuerten Maschinen (Webstuhl)
- Die ersten Zählmaschinen von Hollerith

- Der erste Computer von Zuse

Mathematische Grundlagen

- Mathematische Wiederholung der Zahlensysteme: binär, oktal, hexadezimal
- Boolesche Algebra
- Formalisierung von Aussagen
- Aussagenlogik
- Schaltalgebra

Elektrische Grundlagen

- Elektrische Reihen- und Serienschaltung
- Ohmsches Gesetz
- Funktionsprinzip des Relais (siehe Lehrplan +Physik, 9. Schulstufe)
- Ähnlichkeit
- Serienschaltung - UND
- Parallelschaltung - ODER
- Nichtschaltung - NICHT

Theoretische und praktische Anwendung

- Bau von UND, ODER, NICHT Gattern
- Taktgeber (FLIP/FLOP)
- Eingabe-, Ausgaberegister
- Halb-, Volladdierer
- Übergang zu Rechnern
- Halbleitertechnik (allenfalls in der 12. Schulstufe)
- Handwerkliches Umgehen mit Lotzinn und Lotkolben, richtige Drahtwahl
- Löten von UND, ODER, NICHT, XOR Gatter in Dioden- oder TTL-Logik
- Allenfalls - «Schau-Computer»

11. Schulstufe

Gesichtspunkte und Leitmotive zum Unterricht:

Der Lernschritt von der 10. zur 11. Klasse liegt darin, sinnlich nicht mehr nachvollziehbare Prozesse zu verstehen. Das Verhältnis von Ursache und Wirkung, in der 10. Klasse durch Verfolgen von Arbeitsabläufen Schritt für Schritt noch nachvollziehbar, ist nun mehr gedanklich zu bewältigen. Beobachtungen der Elektrotechnik werden auf nicht wahrnehmbare Bereiche als Vorstellung übertragen.

Eventuell ausgehend von der Röhren-, sicher aber über die Halbleiter- zur IC-Technik werden die Möglichkeiten der Mikroelektronik gezeigt. Halbleiter und ihre Verarbeitungstechnologien geben den physikalisch-technischen Hintergrund.

Mögliche Unterrichtsinhalte:

- Ausführung der Inverterschaltung mit Transistor
- Messung von Eingangs- und Ausgangsspannung

- Entkopplung der Eingänge mit Dioden (parallel, antiparallel)
- Messung von Ergangs- und Ausgangsstrom
- Wertebelle durch Messung aufstellen
- Untersuchung der Inversionen von Eingängen und Ausgängen
- Eccles-Jordan-Schaltung (FLIP-FLOP)
- Messungen mit dem Oszilloskop
- Silicium: Vorkommen, Anwendung, Geschichte (Obsidian, Ton, Glas, Zement)
- Dotterung, Halbleitertypen der Elementfamilien 3, 4, 5, Monokristallinität, Reinheit
- Vorstellungen zu den Ladungsvorgängen in Dioden und Transistoren
- Leiterplatten-Techniken, Technologietransfer der Druckverfahren
- Integrierte Schaltungen: Entwicklung, Herstellung, Cleanroom
- Geschichtliche Situation der Transistorendeckung
- Mikroskope von IC's

12. Schulstufe

Gesichtspunkte und Leitmotive zum Unterrichte:

Der Schwerpunkt liegt im praktischen Erarbeiten von theoretischen, zuerst durchdachten Problemen - die schriftlichen Unterlagen sind eine Dokumentation bzw. Arbeitsunterlage für die sinnvolle Tätigkeit am Gerät. Die Kontrolle ist ein richtig eintretendes, vorher erdachtes Ergebnis; alle Möglichkeiten des Irweges werden vorher überlegt und durch geeignete Maßnahmen ausgeschaltet. «Der Mensch als Beherrscher der Technik.»

Die sinnvolle Anwendung der Computersysteme soll gezeigt und geübt werden.

Weiterhin soll anhand von Beispielen - Buchdruck, Zeitungsmacher, Werkzeugbau, Autoindustrie - die Verwendung von Berufen, bedingt durch die neuen Technologien, deutlich gemacht werden.

Mögliche Unterrichtsinhalte:

- Grundschema des Computers: Speicher, ALU, Steuerwerk, Daten-, Adressen-, Steuerbus
- Dekodierung von Spannungsmustern auf Adresser- und Steuerleitungen
- Grundlegende Programmierungen in Maschinensprache
- Rekursion
- Ausführungsgeschwindigkeit
- einfache Steuerausgaben
- Funktion und Zusammenhang des Bildschirms mit dem Computer
- Touch-Screen
- Zeichen- und Pixelgraphik
- Massenspeicher, parallele, serielle Datenverarbeitung

- Prozessoren von Intel und Motorola
- Programmieren in einer beispielhaft gewählten höheren «Sprache» (Fort, Pascal, Basic)
- Betriebssysteme, MS-DOS, Windows
- Beispiel eines Text- und Graphik-Programmes
- Soundsampling und Multimedia, Cyberspace, Computerspiele
- Vernetzungen