

**Julius-Maximilians-Universität
Würzburg**

Erste Staatsprüfung für ein Lehramt an Realschulen 2010

Schriftliche Hausarbeit

Thema:

Physikunterricht an Waldorfschulen – Beobachtung und Durchführung
einer Unterrichtsepoche der Klassenstufe 8

eingereicht von: Marco Graser

Fach: Didaktik der Physik

eingereicht am:

Dozent: Prof. Dr. Th. Trefzger

Gliederung:

I Einleitung	S. 4
II Waldorfpädagogik	S. 6
1 Rudolf Steiner	S. 6
2 Prinzipien der Waldorfpädagogik	S. 8
3 Die Strukturierung des Unterrichts an Waldorfschulen	S. 10
3.1 Der Klassenlehrer	S. 11
3.2 Über den Lehrplan der <i>Freien Waldorfschulen</i>	S. 13
3.3 Abschlüsse und Zeugnisse	S. 16
3.4 Die Struktur des Physiklehrplans	S. 17
3.5 Der Physikunterricht in der Theorie	S. 20
III Die Physikepoche an der <i>Freien Waldorfschule Würzburg</i>	S. 22
1 Fachwissenschaftliche Einführung der Unterrichtsthemen	S. 22
2 Klassensituation und physikalisches Vorwissen	S. 34
3 Allgemeine Bemerkungen zum beobachteten Unterricht	S. 35
4 Das Thema „Akustik“ in der Physikepoche	S. 37
4.1 Messung der Schallgeschwindigkeit	S. 37
4.2 Einfache Berechnungen zur Schallgeschwindigkeit	S. 38
5 Das Thema „Hydrostatik“ in der Physikepoche	S. 40
5.1 Einführungsversuche zum Schweredruck in Wasser	S. 40
5.2 Der Schweredruck in Wasser	S. 45
5.3 Auftrieb in Wasser	S. 48
5.4 Der Druck als abgeleitete Größe	S. 51

6 Selbstgestaltete Unterrichtswoche zum Thema „Elektromagnetismus“	S. 53
6.1 Klassische Einführungsversuche zum Elektromagnetismus	S. 53
6.2 Experimentieren mit einem „selbstgebauten“ Elektromagneten	S. 56
6.3 Die Wirkung von Spulen mit und ohne Eisenkern	S. 58
6.4 Technische Anwendungen zum Elektromagnetismus	S. 62
7 Zusammenfassung	S. 68
IV Evaluation zur Wahrnehmung des Unterrichtsfachs Physik	S. 70
1 Intention	S. 70
2 Kategorisierung der Fragen	S. 71
3 Auswertung	S. 78
V Zusammenfassung und Ausblick	S. 81
VI Quellenverzeichnis	S. 83
VII Abbildungsverzeichnis	S. 84
VIII Anhang	S. 86
1 Protokolle der Hospitation	S. 86
2 Epochenhefteinträge	S. 101
3 Abschlussübung der Physikepoche	S. 109
4 Morgenspruch der Mittel- und Oberstufe	S. 111
5 Lehrplanvorschlag für den Physikunterricht der Mittelstufe an Waldorfschulen	S. 112
6 Schallgeschwindigkeiten in Gasen und Flüssigkeiten	S. 114
IX Selbständigkeitserklärung	S. 115

I Einleitung

„An staatlichen Schulen wie Hauptschulen, Realschulen oder Gymnasien wird schlechter Unterricht gehalten!“ Es gibt sogar manche Erziehungswissenschaftler und Politiker die behaupten, dass an staatlichen Schulen nicht nur kein guter Unterricht gehalten wird, sondern diese Schulen würden geradezu die Entwicklung der Schüler durch ihren Unterrichtsstil hemmen. Daher drängt sich die Frage auf, ob es Schulen wie die *Bielefelder Laborschule*, die *Montessori-Schulen*, die Waldorfschulen oder andere Schulsysteme besser machen? Was bedeutet „besser“ in diesem Zusammenhang? Ist die Antwort auf Schulsysteme, die besseren Unterricht halten, nicht eine sehr subjektive, oder gibt es vielleicht allgemeingültige Kriterien hierfür, wie Rhythmisierung, Entzerrung der Lehrpläne, Bildungsstandards usw.

Eine Behauptung, es gäbe ganze Schulsysteme, an denen schlechter Unterricht gehalten wird, trifft nicht zu. Mit so einer generalisierten Behauptung macht es sich die Gesellschaft zu leicht. Dies würde bedeuten, dass ein geändertes Schulsystem automatisch zu gutem Unterricht führt. Nachdem allerdings die Lehrer die gleichen bleiben, entspricht die Auffassung dass jede Schulform bzw. jedes Schulsystem nur so gut ist wie ihre Lehrer, eher der Realität. Was bedeutet das für einen angehenden Lehrer einer staatlichen Schule?

Als angehender, aber auch als bereits etablierter Lehrer, steht man selbst in der Pflicht, sich bestmöglich aus- bzw. weiterzubilden. Die Frage, ob bessere Schulformen oder Schulsysteme, mit mehr Bildungsausgaben erreicht werden können, ist aus Sicht eines Lehrers eine völlig falsche. Es muss gefragt werden: „Könnte man z. B. aus anderen Schulformen wie den *Freien Waldorfschulen* für den eigenen Unterricht Erkenntnisse ziehen und übernehmen?

Wie der Titel „Physikunterricht an Waldorfschulen – Beobachtung und Durchführung einer Unterrichtsepoche der Klassenstufe 8“ bereits andeutet, wurde an der *Freien Waldorfschule Würzburg* hospitiert, um den Unterrichtsstil innerhalb des Fachs Physik zu untersuchen. Es wurde die 8. Klasse der *Freien Waldorfschule Würzburg* im Physikunterricht beobachtet und außerdem eine Woche vom Beobachter selbst in Physik unterrichtet.

Im Folgenden Text werden die Unterrichtsbeobachtungen aufgezeichnet und die persönliche Unterrichtserfahrung dargestellt. Am Ende dieser Phase wird eine Bewertung zur Wahrnehmung des Physikunterrichts durchgeführt. Diese Bewertung kann anhand

eines Fragebogens durchgeführt werden, der von der Waldorfschulklasse wie von einer staatlichen Schulklasse bearbeitet wurde. Die Auswertung der Ergebnisse ist ebenfalls in dieser Arbeit enthalten. Den Schluss der Arbeit bildet der Versuch, obige Frage zu klären. Vorangestellt ist eine Einführung in die Waldorfpädagogik und die Struktur der Waldorfschulen.

II Waldorfpädagogik

Im Folgenden werden die Grundzüge der Waldorfpädagogik aufgezeigt. Angefangen bei Rudolf Steiner, dem Begründer der Waldorfschulen, über die Anthroposophie, auf der die Waldorfpädagogik gründet, bis hin zur Strukturierung des Unterrichts an einer Waldorfschule. Insbesondere wird die Struktur des Physikunterrichts untersucht.

1 Rudolf Steiner

Rudolf Lorenz Josef Steiner, Philosoph, Anthroposoph und Gründer der Waldorfschulen, wurde am 27. Februar 1861 in Kraljevec, im heutigen Kroatien, geboren. Sein Vater, Johann Steiner (1829 – 1910), war Stationsvorsteher bei der österreichischen Südbahn. Seine Mutter, Franziska Steiner (1834 – 1918), geb. Blüh, wird von ihm als eine sehr stille Frau bezeichnet, „die ganz in der Besorgung der häuslichen Angelegenheiten und der kleinen Wirtschaft aufging.“[LIN 88, S. 25 in: Lg9] Er hatte noch zwei Geschwister: Seine Schwester, Leopoldine Steiner (1864 – 1927), war Näherin und lebte bis zu ihrem Tod bei den Eltern. Sein Bruder, Gustav Steiner (1866 – 1941), war taubstumm. [vgl. LIN 88, S. 25 ff.]

Bereits in der Grundschule beginnt Steiner sich selbst Wissen anzueignen. So entdeckt er in der *Neudörfler Grundschule* ein Geometriebuch, das er förmlich verschlang. Des Weiteren wird er dort hinsichtlich des Zeichnens gefördert, was seine Aufnahme in das Realgymnasium im Stadtteil Wiener-Neustadt 1872 erleichtert. Rudolf Steiners Zeit an der Real- und Oberrealschule in Wien (1872 – 1879) war für ihn nach eigenen Angaben eine schwere Zeit. Er beschreibt sie in einem Brief: „(...) [I]ch habe Dir (...) doch manchmal von meiner schweren Zeit in den Jahren erzählt, wo ich elf bis siebzehn Jahre alt war. Das gab reichlich Gelegenheit, gerade meine Gesundheit abzuhärten.“[LIN 88, S. 39], [vgl. LIN 88, S. 35 ff.]

Sein Studium an der *Technischen Hochschule Wien* beginnt Rudolf Steiner im Oktober 1879 in den Fächern Mathematik, Physik, Botanik, Zoologie und Chemie mit dem Ziel, Realschullehrer zu werden. Er besucht daneben Veranstaltungen der Philosophie, Literatur und Geschichte. 1883 muss er aus finanziellen Gründen sein Studium ohne Abschluss abbrechen. In den kommenden Jahren ist er Herausgeber der naturwissen-

schaftlichen Schriften Johann Wolfgang von Goethes. Außerdem arbeitet er als Privatlehrer und später im *Goethe-Archiv* in Weimar.[vgl. LIN 88, S. 49 ff.]

In seiner Zeit als Privatlehrer beschäftigt er sich bereits mit den „(...) Seelenkräften des Menschenwesens und seinem physiologischen System (...)“.[ANG 94, S. 62] Er war damals Lehrer eines Kindes, das an Hydrozephalie litt. In dieser Zeit wurde ihm bewusst, „(...) wie Erziehung und Unterricht zu einer Kunst werden müssen, die in wirklicher Menschen-Erkenntnis ihre Grundlage hat.“[ANG 94, S. 62], [vgl. ANG 94, S. 62]

Erst im Jahr 1890 promoviert er an der Universität Rostock und erhält damit den Titel „Dr. phil.“ Sein Dissertationsthema ist *Die Grundfrage der Erkenntnistheorie mit besonderer Rücksicht auf Fichtes Wissenschaftslehre. – Prologema zur Verständigung des philosophierenden Bewußtseins mit sich selbst*. Seine umfangreichste Arbeit in diesem Jahr ist allerdings die Fertigstellung der Einleitung zum dritten Band von Goethes naturwissenschaftlichen Schriften. Darin sind im Umriss die Grundlagen seiner, von ihm später vertretenen, Anthroposophie dargestellt.[vgl. LIN 88, S. 32 ff., S. 68, S. 95]

Er verfasst weitere philosophische Schriften, darunter auch sein 1893 veröffentlichtes Hauptwerk *Philosophie der Freiheit*. Dieses „Werk kann als eine philosophische Anthropologie bezeichnet werden(...)“.[LIN 88, S. 118], [vgl. LIN 88, S. 118]

Er gibt ebenfalls verschiedene literarische Zeitschriften heraus und bewältigt eine Fülle von Vortragstätigkeiten, u. a. für die *Freie Hochschule Berlin*, die *Arbeiterbildungsschule Berlin* sowie für die *Theosophische Gesellschaft*. 1913 trennt er sich von seiner Vortragstätigkeit innerhalb der *Theosophischen Gesellschaft*, um in der von seinen Anhängern gegründeten *Anthroposophischen Gesellschaft* weiter zu wirken. Am 7. September 1919 gründet Rudolf Steiner zusammen mit Emil Molt, Direktor der *Waldorf-Astoria-Zigarettenfabrik*, die erste Waldorfschule in Stuttgart. Unter der Leitung Steiners wird sie in den kommenden Jahren als Modellschule weiter ausgebaut. Ähnliche Gründungen in Deutschland sowie im Ausland schließen sich an. Nach dem Ausbruch einer schweren Krankheit 1924 stirbt Rudolf Steiner am 30. März 1925.[vgl. LIN 88, S. 165, S. 227 ff., S. 420, S. 554 f., S. 618 f.]

2 Prinzipien der Waldorfpädagogik

Die Waldorfpädagogik beruht im Wesentlichen auf der anthroposophischen Menschenkunde Rudolf Steiners. So kann man sie durchaus als anthroposophische Pädagogik bezeichnen. Sie wird oft missverstanden, weshalb man die Pädagogik an Waldorfschulen als Alternativpädagogik ansieht. Allerdings verstand Steiner sie als eine „(...) Erweiterung und Ergänzung, indem sie Wahrnehmungsgebiete zu erschließen versucht, die dem Menschen zwar prinzipiell zugänglich sind, aber in der traditionellen Wissenschaft noch nicht berücksichtigt werden.“[LEB 92, S. 43], [vgl. LEB 92, S. 42 f.]

In der Anthroposophie geht es um die Verknüpfung von Seelenkräften mit der Physiologie. Es werden drei Seelenkräfte beschrieben, die die menschlichen Aktivitäten beherrschen: 1. die *Kraft des Wollens*, in der der Bewegungs- und Handlungsdrang liegt. 2. die *Kraft des Denkens*. Mit ihr wird erwogen, beobachtet oder auch berechnet. 3. die *Kraft des Fühlens*, die auf Basis von Sinneswahrnehmungen die Reaktion auf Erfahrungen und die Bildung moralischer Werte beschreibt. Die Kräfte sind verknüpft mit der Physiologie des Körpers und spiegeln sich in den drei, in der Anthroposophie genannten, grundlegenden Systemen wider. Diese sind das *Stoffwechselsystem*, das *Sinnes-Nerven-System* und das *rhythmische System des Kreislaufs und der Atmung*. [vgl. ANG 94, S. 63]

Grundlage für die Entwicklung des Tatendrangs und der Willenskraft ist das Stoffwechselsystem. Das Gehirn und das Nervensystem sind verantwortlich für die kognitiven Prozesse, die in der Anthroposophie das menschliche Bewusstsein widerspiegeln. Träger der Gefühls- und Empfindungsprozesse ist das rhythmische System, das im Blutkreislauf verankert ist. Somit sind die Seelenkräfte immer mit einem Teil der Physiologie verbunden. „Diese Systeme handeln nicht getrennt voneinander; es besteht ein dauerndes Zusammenspiel der drei Kräfte(...). Die Fähigkeit zu wollen und die Fähigkeit zu denken stehen immer in Polarität zueinander(...). Doch es ist immer jenes dritte Element vorhanden, das zwischen beiden vermittelt(...). Dieses vermittelnde Element ist [das] (...) Gefühlsleben(...). [ANG 94, S. 65 in: Ebd.] Daher ist die Koordination der Willenskraft und des Drangs zum Handeln sowie die Anwendung der Urteilskraft ein wichtiges Ziel in der Erziehung an Waldorfschulen. Gefördert wird diese Koordination durch die *Kraft des Fühlens*, die nach anthroposophischer Ansicht durch das rhythmische System transportiert wird. Instrumentalspiel, Gesang, Gymnastik und Eurythmie (siehe 3.2) aktivieren das rhythmische System und pflegen so die Gefühlskräfte. Dadurch wird zwi-

schen der *Kraft des Denkens* und der *Kraft des Wollens* ein Gleichgewicht hergestellt.
[vgl. ANG 94, S. 64 f.]

Ein weiteres Grundprinzip der Anthroposophie ist die Einteilung der Kindheit und Jugend in unterschiedliche Stadien. Es werden drei Ereignisse im Prozess der Kindheit und Jugend genannt, die auf entscheidende Veränderungen hinweisen. Innerhalb dieser Ereignisse macht das Kind in vielerlei Hinsicht Veränderungen durch, die eine Veränderung des ganzen Wesens nach sich zieht. In der Anthroposophie gibt es vier Elemente des menschlichen Wesens: den physischen Leib, den Ätherleib, den Astralleib und den Ich-Leib. Jeder dieser vier Leiber wird hinsichtlich der bereits genannten Veränderungen „geboren“. Steiner nennt diese Wendepunkte relativ genau. Der erste Wendepunkt ist die Geburt selbst, während des siebten Lebensjahres geschieht das zweite Ereignis. In der Pubertät, also um das vierzehnte Lebensjahr, folgt der dritte Wendepunkt.
[vgl. ANG 94, S. 66]

„Die Anthroposophie sieht den Menschen als physisch-seelisch-geistiges Wesen, das aus der geistigen Welt auf die Erde herabgestiegen ist, um hier zu leben und Erfahrungen zu sammeln und um dann seine Existenz in der geistigen Welt fortzusetzen. In jedem Menschen liegt ein Ewigkeitselement.“[ANG 94, S. 71 in: Hugo Bergmann, Rudolf Steiners Concept of Education, in: Yearbook in Memory of A. Arnon, Jerusalem (hebräisch), ins Englische übersetzt von M.Bartura, S. 654]

Mit der Geburt aus der physischen Mutterhülle kann die physische Welt nun unmittelbar auf das Kind wirken. Der physische Leib ist geboren. Wie durch die physische Mutterhülle, bis zum Geburtszeitpunkt, ist der Mensch bis zu seinem zweiten Zahnwechsel – mit etwa sieben Jahren – von einer Ätherhülle und einer Astralhülle umgeben. Die Ätherhülle entlässt den Ätherleib mit dem Zahnwechsel. So bleibt noch eine Astralhülle bis zur Geschlechtsreife. Zu diesem Zeitpunkt wird auch der Astral- oder Empfindungsleib frei, genau wie bereits der physische Leib und der Ätherleib. Die vierte Komponente des menschlichen Wesens, der Ich-Leib, enthält das sogenannte Unsterbliche. Dieser Ich-Leib verkörpert sich im Neugeborenen, lebt aber nach dem Tod weiter, während die anderen drei Leiber absterben.[vgl. ANG 94, S. 71]

Nach Steiner beruht die richtige Grundlage der Erziehung und auch des Unterrichts auf der Kenntnis dieser Entwicklungsgesetze. Die *harmonische Ausbildung aller Kräfte und Anlagen* wie sie Humboldt fordert, sind für Steiner zu allgemeine Formeln, um für eine Erziehungskunst zu taugen. Für ihn „(...) handelt es sich (...) [bei der] Erziehungskunst um eine Kenntnis der Glieder der menschlichen Wesenheit und deren Entwicklung im

einzelnen.“[ANG 94, S. 67 in: Rudolf Steiner, a. a. O. (Anm. 17), S. 324], [vgl. ANG 94, S. 67]

Auf diesen Grundprinzipien der Menschenkunde von Steiner basiert die Waldorfpädagogik.

3 Die Strukturierung des Unterrichts an Waldorfschulen

Der Unterricht an Waldorfschulen ist anders strukturiert als an staatlichen Schulen. Im Zentrum steht immer eine künstlerische Untermalung des Unterrichts. Rudolf Steiner begründet dieses Unterrichtswesen so, dass es einer künstlerischen Gestaltung der Lehre bedarf, um damit den ganzen Menschen in Anspruch zu nehmen. „Zu den Hauptkennzeichen der Waldorfpädagogik gehört der Haupt- und Epochenunterricht, der seinen Ursprung in den Konzentrationsbestrebungen (...) der Pädagogik des (...) [19.] (...) Jahrhunderts hat.“[KRÄ 87, S.130 f.] Im Epochenunterricht wird mehrere Wochen lang dasselbe Fach unterrichtet, das ein Fach des Hauptunterrichts ist. Die beiden ersten Stunden bilden dabei eine geschlossene Einheit, den oben genannten Hauptunterricht. Damit wird erreicht, dass man nahtlos an die Kenntnisgewinnung vom Vortag anknüpfen kann und somit eine Stückelung des Unterrichts vermieden wird. Es soll so das Nebeneinander einzelner Fächer aufgehoben werden, damit sich die Schüler auf ein Fach des Hauptunterrichts fokussieren können. Eine Auflistung der Fächer, die zu den Hauptunterrichtsfächern zählen, zeigt die Tabelle in Punkt 3.2. In den ersten Schuljahren gehen die Unterrichtsepochen über einen längeren Zeitraum. Später pendeln sich diese auf drei bis vier Wochen ein.[vgl. KRÄ 87, S.131]

Die Gliederung des Hauptunterrichts kennzeichnet eine rhythmische Bewegung, die dem Ein- und Ausatmen gleicht. Der Unterrichtstag beginnt immer mit dem sogenannten Rhythmusteil, an dessen Anfang der Morgenspruch (siehe Anhang, 4) steht. Dieser Morgenspruch ist mit einem Gebet zu vergleichen. Nicht etwa im religiösen Sinn, sondern er dient zur Besinnung. Die Morgensprüche der Unterstufe und der Mittel- und Oberstufe sind unterschiedlich. Dies ist auf die unterschiedliche Entwicklung der Wesenszüge der Kinder zurückzuführen, die die Anthroposophie nennt. Auf den Morgenspruch folgen gemeinsame musikalische Übungen mit einfachen Instrumenten wie Flöte oder Glockenspiel. Es wird gemeinsam gesungen. Nach dem Rhythmusteil beginnt der Arbeitsteil in Gestalt des Hauptunterrichts. Er knüpft an den Stoff des Vortages an. Was

die Kinder zu Hause erinnert und bedacht haben, wird zusammengetragen und geordnet. Nun soll neuer Stoff erlebnismäßig vermittelt werden. Dies geschieht beispielsweise im Physikunterricht durch sehr viele Experimente, die die Kinder zum Teil selbst durchführen. Am Ende des Hauptunterrichts steht die täglich erzählte Geschichte. Nach dem Hauptunterricht werden diejenigen Fächer unterrichtet, die nicht zu den Hauptunterrichtsfächern zählen, wie beispielsweise Fremdsprachen, Religion, Handarbeit und Werken, Musik und Theaterspiel (siehe II 3.2).

Waldorfschulen sind Gesamtschulen, in denen es keine Leistungsgliederung, wie etwa im dreigliedrigen Staatsschulsystem in Bayern mit Haupt-, Realschule und Gymnasium, gibt. Die Klassen sind heterogen bezüglich der Leistungsniveaus der Schüler zusammengestellt. An Waldorfschulen gibt es keine Schulbücher, sondern die Schüler schreiben sogenannte Epochenhefte. In diesen ist der gesamte Unterrichtsstoff einer Epoche in einer künstlerischen Heftführung festgehalten. Das Epochenheft wird in jedem Unterrichtsfach geführt und soll das Schulbuch ersetzen.

Innerhalb des Hauptunterrichts und seiner Abläufe nimmt der sogenannte Klassenlehrer der Waldorfschule eine besondere Rolle ein.

3.1 Der Klassenlehrer

Während an staatlichen Schulen ein Klassenlehrer seine Klasse gewöhnlich zwei bis drei Jahre führt, werden die Kinder an Waldorfschulen von der ersten bis zur achten Klasse vom Klassenlehrer begleitet. Bei diesem Acht-Jahres-Zyklus, der in der Grundschule beginnt, hat der Klassenlehrer die Verantwortung für die Kinder. Der enge Kontakt mit den Familien und die Förderung von Schülern mit Lernschwierigkeiten oder einer besonderen Begabung gehören genauso zu seinen Aufgaben wie der Hauptunterricht am Anfang des Schultages.[vgl. ANG 94, S. 38]

In den ersten Jahren lernt der Lehrer das Zuhause der Kinder kennen. Der persönliche Kontakt mit den Eltern ist eine besondere Komponente der Waldorfschule und wird durch die regelmäßigen Elternabende, die mindestens dreimal im Jahr stattfinden, unterstützt. Bereits in den ersten Jahren gibt es neben dem Klassenlehrer auch sogenannte Fachlehrer. Sie unterrichten unter anderem Fremdsprachen, Eurythmie, Musik und handwerkliche Fächer. Klassen- und Fachlehrer gestalten gemeinsam das Unterrichtsleben der Schüler und treffen sich regelmäßig zu Besprechungen. Der Klassenlehrer

übernimmt alle Fächer des Hauptunterrichts. Diese sind im ersten Jahr Schreiben, Lesen und Rechnen. Der Klassenlehrer erweitert dieses Spektrum mit den Jahren und unterrichtet dann zusätzlich Literatur und Grammatik, Geographie und Geschichte, Mathematik und Biologie, Physik und Chemie. An einen Klassenlehrer werden hohe fachliche Anforderung gestellt, da er sich eine Fülle von Fachwissen erarbeiten muss.[vgl. ANG 94, S. 39]

Die Begründung für einen solchen Klassenlehrer, der die Schüler die ersten acht Jahre ihres Schullebens begleitet, ist einsichtig, wenn man die Entwicklung des Kindes in solche Zyklen einteilt wie das die Anthroposophie lehrt. In dieser Phase seines Lebens „(...) braucht das Kind einen Menschen, dem man vollkommen vertrauen kann und dessen Autorität es von ganzem Herzen akzeptiert.“[ANG 94, S. 39]

In der Oberstufe haben Klassenlehrer völlig andere Aufgaben. Die Aufgaben verteilen sich von der neunten Klasse an. Es ist nun nicht mehr die Aufgabe der Klassenlehrer alle Themen der Hauptunterrichtsepochen zu übernehmen. Verschiedene Fachlehrer teilen sich, je nach Ausbildung, den Unterricht dieser Epochen. Einer dieser Fachlehrer ist dann gleichzeitig Klassenlehrer. Hier herrscht, im Gegensatz zu den ersten acht Jahren, eine vollständig andere Beziehung zwischen Klassenlehrer und Schülern. Die Rolle des Klassenlehrers war in den unteren Klassen eher mit der eines Vaters oder einer Mutter zu vergleichen. Der Klassenlehrer in der Oberstufe ist eher als Ratgeber zu erklären. Er wird hier auch nicht mehr Klassenlehrer genannt, sondern Klassenbetreuer. Die Schüler werden von ihm auf Exkursionen und Klassenfahrten begleitet. Viele Betreuer bereiten auch die traditionelle Schulaufführung mit ihren Klassen vor. Allerdings birgt der plötzliche Wechsel von der Autorität des Klassenlehrers zu der eher maßvollen und zurückhaltenden Führung des Klassenbetreuers auch Schwierigkeiten und Unannehmlichkeiten. Diese äußern sich durch Nachlassen der Disziplin bei den Schülern, die die neue Situation austesten möchten. Eine Möglichkeit diesem plötzlichen Wechsel entgegenzuwirken könnte sein, dass bereits in der siebten oder achten Klasse einige Aufgaben des Klassenlehrers an andere Lehrer delegiert werden. Somit hätte man eine Übergangsphase, die für Lehrer und Schüler von Vorteil wäre.[vgl. ANG 94, S. 41 f.]

3.2 Über den Lehrplan der *Freien Waldorfschulen*

An den Waldorfschulen werden die Lehrpläne der Bundesländer nicht berücksichtigt. Daher ist ein Wechsel von einer staatlichen Schule auf eine Waldorfschule und umgekehrt nicht ganz unproblematisch. Die Waldorfschulen unterrichten nach einem Lehrplan, den Rudolf Steiner in der Zeit von 1919 – 1925 erarbeitet hat und den E. A. Stockmeyer 1955 zusammengestellt hat. Dieser Lehrplan existiert nicht als fertiges Literaturwerk oder als ein Lehrplan, der minutiöse Angaben über Stoff und Verlauf des Unterrichts macht, sondern er lebt von den zahllosen Angaben, Forderungen, Ratschlägen und Hinweisen, die Rudolf Steiner für den Unterricht gegeben hat. Dieser Lehrplan ist ein „lebendiger“ Lehrplan, der dem Lehrer nicht den Stoff und die Methode vorschreibt, sondern lediglich Anregungen gibt.[vgl. KRÄ 87, S. 133]

Es werden Vorschläge der Wochenstundenzahlen des Epochen- und Hauptunterrichts für die einzelnen Fächer gegeben. Die folgende Tabelle soll illustrieren, wie der Unterricht an Waldorfschulen aufgeteilt ist:

Deutsch (Sprechen, Schreiben, Lesen usw.)	Klasse 1 bis 3 je 14 Wochen Klasse 4 bis 5 je 12 Wochen Klasse 6 bis 8 je 10 Wochen Klasse 9 bis 12 je 6 Wochen	Hauptunterricht
Kunstunterricht (Ästhetik u. Kunstgeschichte)	Vom 9. bis zum 12. Schuljahr je 5 bis 6 Wochen	Hauptunterricht
Sprach-Unterricht Französisch u. Englisch	1. bis 5. Schuljahr je 3 Std. 6. bis 8. Schuljahr je 2 Std. 9. bis 12. Schuljahr je 3 Std.	für jede Sprache in der Woche
Latein und Griechisch	Vom 5. bis zum 9. Schuljahr je 4 gemeinsame Stunden für beide Sprachen Vom 9. Schuljahr an je 3 Std. in der Woche	An diesem Unterricht nehmen alle Schüler teil, die fähig erscheinen, neben den neueren Sprachen noch die beiden alten im Rahmen des Waldorfschullehrplans möglichen Ausmaß zu lernen. Die Entscheidung trifft die Schule im Einvernehmen mit den Eltern. Vom 9. Schuljahr werden die Schüler vor die Wahl gestellt, entweder die beiden neueren Sprachen neben Latein zu treiben oder die beiden alten Sprachen und Französisch. Die beiden alten Sprachen erhalten dann je 3 Std. in der Woche .

Stenographie	Im 9. und 10. Schuljahr je 2 wöchentliche Stunden	
Rechnen und Mathematik	1. bis 5. Schuljahr je 12 Wochen 6. bis 8. Schuljahr je 10 Wochen 9. bis 12. Schuljahr je 8 Wochen	Hauptunterricht
Sachunterricht in den Unterklassen	1. bis 3. Schuljahr je 10 Wochen	Hauptunterricht
Geschichte	Vom 4. Schuljahr an in jedem Jahr 6 Wochen	Hauptunterricht
Erdkunde	Vom 4. bis zum 6. Schuljahr je 4 Wochen Vom 7. bis zum 12. Schuljahr je 3 Wochen	Hauptunterricht
Feldmessen	In einem Kurs von einer Woche, während der die 10. Klasse eine Jugendherberge oder eine ähnliche Unterkunft in geeigneter Gegend bezieht, wird in ganztägiger Arbeit Feldmessen betrieben.	
Naturkunde	4. bis 6. Schuljahr je 4 Wochen 7. bis 12. Schuljahr je 3 Wochen	Hauptunterricht
Physikunterricht	6. Schuljahr 4 Wochen 7. u. 8. Schuljahr je 3 Wochen 9. bis 12. Schuljahr wieder je 4 Wochen	Hauptunterricht
Chemieunterricht	7. bis 9. Schuljahr je 3 Wochen 10. Schuljahr 2 Wochen 11. u. 12. Schuljahr wieder je 4 Wochen	Hauptunterricht
Gartenbau	6. bis 10. Schuljahr je 2 Std. in der Woche	
Erste Hilfe in Unglücksfällen	Im 10. Schuljahr 2 Wochen zu je 6 Stunden am Nachmittag	
Lebenskunde u. Technologie	10. Schuljahr 9 Wochen 11. u. 12. Schuljahr je 3 Wochen	zu je 4 Std. nachmittags
Musik Gesang	in allen Schuljahren je 1 Stunde in der Woche	
Flöte u. Geige	Flöte, klassenweise, und bei genügender Begabung. Geige: vom 1. bis zum 4. Schuljahr je 2 Stunden für beide Instrumente	
Instrumentalchor	von geeigneten Kindern des 5. bis 8. Schuljahres: 2 Stunden in der Woche	

Schulorchester	aus geeigneten Schülern und Schülerinnen des 9. bis 12. Schuljahres: 2 Stunden in der Woche	
Gemischter Chor	aus Kindern aller Klassen	
Eurythmie	1. bis 4. Schuljahr je 1 Std. in der Woche 5. bis 12. Schuljahr je 2 Std. in der Woche	
Turnen und Gymnastik	Vom 1. bis zum 4. Schuljahr je 1 Stunde in der Woche, vom 5. Schuljahr an je 2 Stunden	
Malen, Plastizieren u. Zeichnen	vom 1. bis zum 8. Schuljahr einmal in der Woche je 2 Std. vom 9. bis zum 12. Schuljahr in die nachmittägliche Werkunterrichtsepoche von 6 Wochen je 3 Doppelstunden eingegliedert und dort behandelt	Im Rahmen des Hauptunterrichts und wo irgend möglich in der Hand des Klassenlehrers
Handarbeit u. Buchbinden	vom 1. bis zum 4. Schuljahr je 2 Stunden (Doppelstunde) vom 5. bis zum 7. Schuljahr je 1 Stunde im 8. Schuljahr 2 Stunden im 9. und 10. Schuljahr wieder je 1 Stunde in der Woche im 11. und 12. Schuljahr je 6 Wochen zu 4 Stunden	
Werkunterricht (Handfertigkeit)	vom 6. bis zum 8. Schuljahr je 2 Stunden wöchentlich vom 9. bis zum 12. Schuljahr während 6 Wochen des Jahres je 6 Stunden nachmittags	
Religionsunterricht	in allen Klassen je 2 Stunden in der Woche	

[KRÄ 87, S. 133 - 135.]

Man sieht, dass musikalische und künstlerische Fächer eine große Bedeutung an Waldorfschulen haben. Die Geisteswissenschaften nehmen ebenso ein breites Spektrum ein. Die naturwissenschaftlichen Fächer wie Physik und Chemie haben nicht diese Bedeutung. Das hängt mit der Behauptung Rudolf Steiners zusammen, eine neue Sicht der Geisteswissenschaften begründet zu haben: die Anthroposophie. Wie bereits in 3.1 erwähnt, übernehmen die Klassenlehrer bis Anfang der 9. Klasse alle Fächer des Hauptunterrichts (siehe obige Tabelle). Die Fächerauswahl ist eine deutlich andere als

an staatlichen Schulen. Es gibt sehr viele künstlerisch-handwerkliche Fächer wie Gartenbau, Handarbeit und Buchbinden, Malen, Zeichnen und Plastizieren oder den Werkunterricht. Außerdem gibt es ein Fach, das den staatlichen Schulen völlig fremd sein dürfte: die Eurythmie. Die Eurythmie ist ein Bewegungstanz. Dieser wird in besonderen Räumen und speziellen Gewändern ausgeführt. Bei diesem Bewegungstanz sollen Geist, Seele und Körper des Menschen harmonisch zusammenwirken und durch spezielle Bewegungsabläufe geschult werden.[vgl. KRÄ 87, S. 139]

Ziel des Lehrplans ist es, soziale Kompetenzen zu entwickeln und die Klassengemeinschaft zu fördern. Deshalb wird ein notenorientiertes Lernen abgelehnt. Der Leistungsgedanke zählt hier nicht. Die Schüler sollen sich gegenseitig helfen und so ihre Kooperationsfähigkeit steigern.

3.3 Abschlüsse und Zeugnisse

An *Freien Waldorfschulen* können folgende Abschlüsse erreicht werden:

- Hauptschulabschluss
- Realschulabschluss/Mittlere Reife
- Fachhochschulreife (in einigen Bundesländern)
- Abitur

Die Waldorfschulzeit endet normalerweise mit dem Abschluss der 12. Jahrgangsstufe. Für Schüler, die die Fachhochschulreife oder das Abitur erreichen möchten, wird noch eine 13. Klasse angeboten. Diese bereitet speziell auf den jeweiligen Abschluss vor. Allerdings ist das Alter der Schüler, in welchem sie ihren Abschluss erreichen, deutlich höher als an staatlichen Schulen. So wird der Hauptschul- bzw. Realschulabschluss erst nach der 12. Klasse abgelegt. Spezielle Kurse bereiten die Schüler auf den einen oder anderen Schulabschluss vor. Die Fachhochschulreife oder das Abitur werden nach der 13. Klasse abgelegt. Die Prüfungen können von einer staatlichen Prüfungskommission abgenommen werden. In Bayern ist es mittlerweile üblich, dass die Prüfungen extern abgelegt werden, d. h. auch die Waldorfschüler müssen das in Bayern praktizierte Zentralabitur schreiben.[vgl. KRÄ 87, S. 129 f.]

Das Jahreszeugnis an der Waldorfschule enthält keine Zensuren – außer in den bereits genannten Abschlussklassen. Es enthält aber einen detaillierten Bericht über die Arbeit des Kindes und beschreibt seine erreichten Lernziele. Die Berichte ähneln einer Charakterisierung des Kindes, die die Lehrer für ihre unterrichteten Fächer vornehmen. Somit wird der Schüler nicht nur durch seine erreichten Lernziele beurteilt, sondern auch seine menschlichen Qualitäten und Schwierigkeiten kommen darin zum Ausdruck. Auch entfällt das Sitzenbleiben aufgrund der fehlenden Bewertungen *mangelhaft* und *ungenügend*. Im Übrigen wäre das Sitzenbleiben ein großer Widerspruch des von Steiner konzipierten Unterrichts mit Blick auf die Altersstufen. Einem schwachen Schüler soll geholfen werden, er soll nicht noch durch ein „Zurücklassen“ bestraft werden. Das Zeugnis wird hier nicht als „urteilfällendes Benotungszertifikat“ verstanden, sondern es soll dem Schüler eine Stütze und Hilfe sein, um seine eigenen Qualitäten zu verbessern.[vgl. ANG 94, S. 124 ff.]

3.4 Die Struktur des Physiklehrplans

Der Physiklehrplan an *Freien Waldorfschulen* richtet sich nicht, wie es an staatlichen Schulen üblich ist, nach der strengen Inhaltsstruktur des Fachgebietes, sondern die seelisch-geistige Entwicklung des Jugendlichen prägt den Lehrplan. Der Physikunterricht beginnt in der 6. Klasse. Er ist drei Konzepten der Naturbetrachtung untergeordnet. In der 6. und 7. Klasse, in den Altersstufen der Vorpubertät, herrscht ein phänomenologisch-bildhafter Unterricht. Hier werden Experimente durchgeführt, in die sich die Schüler „hineinerleben“, und es werden keine quantitativen Aussagen gemacht, sondern nur Beobachtungen beschrieben. Die Herangehensweise an den Stoff selbst ist eine andere. Zum Beispiel wird in der Wärmelehre darauf verzichtet die mechanische Bewegung gegenständlicher Teilchen bei der Erwärmung zu betrachten. Es wird vielmehr das Erleben der inneren Beweglichkeit bei Erwärmungsvorgängen vorangestellt.[vgl. KRÄ 87, S. 198]

In den Klassenstufen acht bis zehn, in der Zeit der Pubertät und ihres Abklingens, geht man dann zu einem kausalanalytischen, d. h. konventionell wissenschaftlich-technischen, Unterricht über. „Die Schüler sollen dem begegnen, was um sie herum als Erzeugnis der Ehe von Verstand und Bequemlichkeit in der Welt ausgebreitet ist – der öf-

fentlichen Technik, den Errungenschaften für jedermann.“[KRÄ 87, S. 199], [vgl. KRÄ 87, S. 199]

Das erkenntnistheoretische und goetheanistische – den Erscheinungen vertrauende – Konzept wird in den Klassen elf und zwölf praktiziert.[vgl. KRÄ 87, S. 195]

Allerdings steht im Vordergrund jeder Klassenstufe immer das Phänomen, nicht etwa die Mathematik, innerhalb der Physik. In den Experimentierteil des Unterrichts sind die Schüler meist sehr eingebunden, indem sie dem Lehrer zur Hand gehen oder selbst experimentieren dürfen. Manfred von Mackensen schlägt in seinem für Klassenlehrer konzipierten Buch *Klang, Helligkeit und Wärme – Phänomenologischer Unterricht in den Klassen 6 bis 8 an Waldorfschulen* folgende Ordnung der physikalischen Teilgebiete in der Mittelstufe vor:

6. Klasse

- Akustik I (Tonleiter u. a.)
- Optik I (Das Sehen u. a.)
- Wärmelehre I (Die Urwärme u. a.)
- Elektrizitätslehre I
- Magnetismus

7. Klasse

- Akustik II (Die Stimmgabel u. a.)
- Optik II (Spiegelercheinungen u. a.)
- Wärmelehre II (Wärmeausdehnung u. a.)
- Elektrizitätslehre II (Der Galvanismus u. a.)
- Magnetismus II
- Mechanik (Der Hebel, Kräfte an einer Achse u. a.)

8. Klasse

- Optik III (Das Prisma u. a.)
- Wärmelehre II (Konvektion u. a.)
- Elektromagnetismus II (Klingel, Elektromotor u. a.)
- Hydraulik (Kraft und Druck u. a.)
- Aeromechanik (Der Sog u. a.)
- Akustik (Die Schallgeschwindigkeit u. a.)

Diesem Buch liegen die Empfehlungen Steiners für die jeweiligen Jahrgangsstufen des Physikunterrichts zu Grunde. Es versteht sich als Ratgeber, Hilfe und Anhaltspunkt, keinesfalls sollen die darin genannten Teilgebiete und deren Unterpunkte als zu erfüllendes Soll gelten. Dem Lehrer wird somit eine Auswahl aufgezeigt, in der die physikalischen Teilgebiete behandelt werden können. Im Anhang werden die einzelnen Teilgebiete bezüglich Klassenstufen genauer ausgeführt.

Auch wenn sich die physikalischen Teilgebiete, die an Waldorfschulen unterrichtet werden von denen der staatlichen Schulen nicht absetzen, ist innerhalb der Teilgebiete ein deutlicher Unterschied zu erkennen. Während sich staatliche Schulen streng an der Fachwissenschaft Physik orientieren, tut das die Waldorfschule nicht. Sie geht zum Teil unkonventionelle Wege und schafft Verbindungen zwischen der Physik und anderen Fächern. So wird die Akustik in der 6. Klasse aus der Musik und dem Musikunterricht abgeleitet. Es werden die *Oktave* und die *Tonleiter* durchgenommen. Es werden Instrumente hergestellt und mit Grundlage der Biologie wird der *Kehlkopf* im Physikunterricht behandelt. In der Optik beginnt man mit dem, was man alltäglich sieht. So ist ein Thema *Der Morgen*. Ein weiterer großer Unterschied zu staatlichen Schulen im Bereich Optik ist *Goethes Farbenlehre*. Sie spielt im Optikunterricht an Waldorfschulen eine zentrale Rolle, während sie an staatlichen Schulen nicht gelehrt wird. In den höheren Klassen beginnen sich die Inhalte wieder zu gleichen. So wird z. B. in der 8. Klasse an Waldorfschulen und an staatlichen Schulen der *Elektromotor* behandelt. Auch das *Archimedische Prinzip* ist in beiden Schulformen ein Thema. Dennoch stehen an Waldorfschulen immer Anwendungen und Alltägliches im Mittelpunkt des Interesses.

3.5 Der Physikunterricht in der Theorie

Im Physikunterricht an Waldorfschulen soll es nicht nur um das Kennenlernen verschiedener physikalischer Phänomene oder um das reine Lernen eines physikalischen Gesetzes gehen. Im Unterricht soll es um die Entwicklung der Erkenntnisfähigkeit gehen. Diese kann nach der *Philosophie der Freiheit* – das Werk Steiners, das seine Weltanschauung beschreibt – nur durch Wahrnehmen, Beobachten und Denken entwickelt werden.[vgl. BRE 08, S. 828 f.]

Im Physikunterricht kommt daher ein sogenannter Dreischritt zum Zuge:

1. Experimente	}	1. Tag
2. Erinnerung „recht bildlich“	}	1. Tag
3. Betrachtung „denkerisch“	}	2. Tag
zu den Gesetzen führen, befestigen	}	2. Tag

Dieser Dreischritt soll das Wahrnehmen, Beobachten und Denken schulen. Am Anfang steht immer das Experiment, das von den Schülern wahrgenommen wird. Ob die Schüler das Experiment selbst durchführen oder aber dem Lehrer nur Hilfestellung leisten, ist dabei unerheblich. Allerdings wird von Steiner auf die Gefahr eines übermäßigen Experimentierens hingewiesen. Seiner Meinung nach führt es zu einer Art „Überanstrengung des ganzen Wesens“[BRE 08, S.825] oder zu einem inneren Chaos. Zu viel experimentieren führt dazu, dass die Schüler überfüttert sind und sich einen anderen Ausgleich schaffen. Vom bloßen Wahrnehmen muss man aber zum tatsächlichen Beobachten kommen. Das Beobachten lässt sich nicht durch das Wiederholen von Experimenten schulen. Das Problem liegt üblicherweise nicht an dem Beobachteten, gesehen wurde von jedem das Gleiche. Es liegt nach Steiner an der Wahrnehmung des Beobachteten. Dies könnte man durch ein sprachliches Feilen, im Sinne des Präzisierens des Gesehenen, erreichen. Steiner spricht hier von einem recht bildlichen Erinnern. Dieses Erinnern wird erreicht, indem die Schüler das aufgebaute Experiment zu Hause in ihr Epochenheft malen und das Erlebte beschreiben. Das wichtigste für das sprachliche Feilen ist die Reflexion der Schüler über das Gesehene bzw. das Erlebte. Die Schüler beschreiben, was sie gesehen haben, so wie sie es wahrgenommen haben. Vom Lehrer wird nichts vorgegeben. Dies alles geschieht am ersten Tag. Über Nacht soll sich das Gese-

hene sowie das Beschriebene im Schlaf verankern. Das ist eine wichtige Eigenheit des Unterrichts an Waldorfschulen. Die Verankerung der Unterrichtsinhalte während des Schlafs.[vgl. BRE 08, S.825 ff.]

Am zweiten Tag muss es dem Lehrer gelingen die gedankliche Arbeit, d. h. den Rückblick, interessant zu gestalten. Dieser Teil soll nicht nur als Verzögerung vor weiteren Experimenten von den Schülern wahrgenommen werden. Daher ist es wichtig, dass dieser zweite Teil einen gewissen Entdeckungscharakter hat. Über das Denken sollen schließlich neue Erkenntnisse entdeckt werden. Es gibt hierfür kein allgemeingültiges Rezept. Jeder Lehrer muss, um dieses Denken bei den Schülern zu erreichen, seinen eigenen Weg finden. Es gibt dennoch Wege, die vielversprechend und gut erprobt sind. Da wäre die Analogiebildung an der Tafel. In diesem Fall wird vom Lehrer mit den Schülern zusammen eine Liste erstellt. Bereits bekannte Phänomene lassen sich auf das Beobachtete übertragen. Ein Beispiel hierfür wäre die Analogie von Blutstrom und elektrischem Strom. Eine weitere Möglichkeit ist das Erarbeiten am Modell. Dort wird ein besonders markanter Versuch nochmals aufgebaut und im Lehrer-Schüler-Gespräch evtl. ein Gesetz o. ä. abgeleitet. Das hat den Vorteil, dass die Schüler in dieser Phase weiterhin Kontakt zum Objekt haben und nicht mehr nur auf den nächsten Versuch warten.[vgl. BRE 08 S. 829 ff.]

III Die Physikepoche an der *Freien Waldorfschule Würzburg*

Die Waldorfpädagogik wurde in ihren Grundzügen dargestellt. Der folgende Punkt beinhaltet die Aufarbeitung der bereits erwähnten Hospitation an der *Freien Waldorfschule Würzburg*. Hier werden die Unterrichtsbeobachtungen und der selbstgestaltete Unterricht geschildert. Begonnen wird mit einer fachwissenschaftlichen Einführung der Unterrichtsthemen, die in dieser Physikepoche unterrichtet wurden.

1 Fachwissenschaftliche Einführung der Unterrichtsthemen

In dieser Unterrichtsepoche wurden gemäß des Stoffes der 8. Klasse (siehe 3.4) verschiedene Teilgebiete der Physik unterrichtet. Es handelt sich hierbei um die Akustik, die Hydrostatik und den Elektromagnetismus. Diese Gebiete umfassen in der universitären Physik ein wesentlich größeres Pensum als in der Schule. Daher werden die folgenden Einführungen und Herleitungen nur die an der Waldorfschule behandelten Themen aufgreifen und unter fachwissenschaftlichen Aspekten beleuchten.

1. Akustik

In der Akustik wird die Entstehung, die Ausbreitung und die Messung von mechanischen Schwingungen und Schallwellen behandelt. Eine harmonisch-akustische Welle, wird durch folgende Wellengleichung beschrieben:

$$\xi = A \cdot \cos(\omega t - k z) \quad .[\text{DEM 06, S. 399}]$$

Da in der Schule lediglich der Schall in Gasen, d. h. Luft, behandelt wird, wird man sich hier darauf beschränken. In Gasen sind nur longitudinale Wellen möglich (da Schermodul gleich Null), während es in festen Körpern sowohl longitudinale als auch transversale Wellen gibt. Eine Kopplung von benachbarten Schichten unterschiedlicher Geschwindigkeiten wird zwar durch die Viskosität des Gases erreicht, diese Kopplung hat aber nur Dämpfungscharakter und führt nicht zu einer rücktreibenden Kraft.[vgl. DEM 06, S. 398 f.] Zu folgenden Herleitungen vergleiche [DEM 06, S.377 f.].

Eine Druckerniedrigung in den Druckmaxima bzw. -minima wirkt bei Longitudinalwellen als Kopplungsmechanismus. Man betrachtet ein Volumen $V = A \cdot dz$ (siehe Abb. 1). Durch dieses läuft eine longitudinale Welle in z-Richtung. In der Schicht $z = z_0$ sei die Schwingungsamplitude der Teilchen ξ . Die der Schicht $z = z_0 + dz$ ist dann

$$\xi(z + z_0) = \xi(z_0) + \frac{\partial \xi}{\partial z} dz \quad .$$

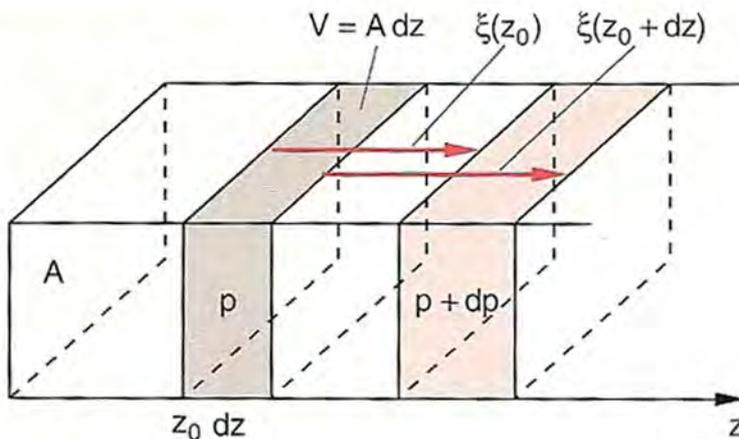


Abbildung 1: Ausbreitung einer ebenen Schallwelle in Gasen

Quelle: [DEM 06, S. 377]

Das Volumen V ändert sich dabei um $dV = A \frac{\partial \xi}{\partial z} dz$. Gemäß dem *Boyle-Mariotteschen Gesetz* wird dadurch in einem isothermen Gas eine Druckänderung erzeugt:

$$dp = -p \frac{dV}{V} = -p \frac{\partial \xi}{\partial z} \quad .$$

Diese Druckänderung führt wegen $\vec{F} = \text{grad } p dV$ zu einer Kraft, mit z-Komponente, auf die Masse $dm = \rho \cdot V = \rho A \cdot dz$:

$$F_z = -A \cdot dz \frac{\partial}{\partial z} (dp) = pA \frac{\partial^2 \xi}{\partial z^2} dz \quad .$$

Daraus folgt die Newtonsche Bewegungsgleichung:

$$pA \frac{\partial^2 \xi}{\partial z^2} = \varrho \cdot A \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2}$$

$$\rightarrow \boxed{\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = \frac{p}{\varrho} \frac{\partial^2 \xi}{\partial z^2}} .$$

Das ist eine Wellengleichung mit der Auslenkung ξ der Gasschichten in einem Gas, der Dichte ϱ und dem Druck p . Aus der Bedingung für die Phasengeschwindigkeit

einer Welle $v_{Ph} = \frac{\omega}{k} = f \cdot \lambda$ und aus der Bedingung für Wellengleichungen allgemeiner

Darstellung $\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \xi}{\partial z^2}$ folgt daraus für die Wellen- bzw. Schallgeschwindigkeit:

$$\boxed{v_{Ph} = \sqrt{\frac{p}{\varrho}}} .$$

Die Schallgeschwindigkeit ist abhängig von der Temperatur des Gases. Bei konstantem

Druck p ergibt sich mit $\varrho = \frac{const}{T}$:

$$v_{Ph} = v_{Ph}(T_0) \sqrt{\frac{T}{T_0}} .$$

Im Anhang findet sich eine Tabelle mit Schallgeschwindigkeiten verschiedener Gase bei unterschiedlichen Temperaturen. Schall wird durch eine Druckänderung im menschlichen Ohr und den dadurch erzeugten Schwingungen im Trommelfell wahrgenommen. Das menschliche Ohr hört im Frequenzbereich zwischen 16Hz und 16kHz, die Frequenzskala von Schallwellen geht allerdings weit darüber hinaus. Man kann eine grobe Einteilung in vier Bereiche vornehmen:

Infraschall	$f < 16\text{Hz}$
hörbarer Schall	$16\text{Hz} < f < 16\text{kHz}$
Ultraschall	$f > 16\text{kHz}$
Hyperschall	$f > 10\text{MHz}$

[vgl. DEM 06, S.399]

Schallwellen werden durch freie oder erzwungene Schwingungen fester Körper erzeugt. Dabei wird ihre Schwingungsenergie an die Umgebung abgegeben. Beispiele hierfür sind Lautsprecher, Stimmgabeln, schwingende Saiten usw. Zur Messung von mechanischen Schwingungen und Schallwellen werden sogenannte Schalldetektoren verwendet. Diese messen, genau wie das menschliche Ohr, Druckschwankungen. Sie können aber auch funktionieren, indem sie die Schwingungen des Schallmediums nachweisen. Mikrofone sind Schalldetektoren, die jeder kennt. Der Piezo-Druckdetektor wird im Ultra- und Hyperschallbereich verwendet.[vgl. DEM 06, S. 401 f.]

2. Hydrostatik

Die Hydrostatik beschäftigt sich mit ruhenden Flüssigkeiten und den Effekten, die bei diesen auftreten, wie z. B. der statische Druck, der Schweredruck u. a. Zu folgenden Herleitungen vergleiche [DEM 06, S. 176 f.]

Aus der Tatsache, dass das Schubmodul G , oft auch Schermodul oder Torsionsmodul genannt, einer idealen Flüssigkeit gleich Null ist, folgt, dass an der Oberfläche einer idealen Flüssigkeit keine Tangentialkräfte auftreten. Daher ist die Gesamtkraft an der Oberfläche einer idealen Flüssigkeit gleich Null, und es wirken nur senkrechte Kräfte auf die Flüssigkeitsoberfläche. Ein Gefäß, das eine Flüssigkeit enthält, sei mit einem beweglichen Kolben der Fläche A geschlossen. Auf die Kolbenfläche soll eine senkrechte Kraft \vec{F} wirken. Dann wird analog zum Druck p auf einen festen Körper der Druck p einer Flüssigkeit als Quotient der senkrecht auf den Kolben gerichteten Kraft \vec{F} und der Fläche A des Kolbens definiert:

$$p = \frac{F}{A} \quad \text{mit} \quad F = |\vec{F}|$$

Innerhalb dieser Flüssigkeit wird nun ein beliebiges quaderförmiges Element mit dem Volumen $dV = dx \, dy \, dz$ betrachtet (siehe Abb. 2). Auf das Flächenelement $dy \, dz$

wirkt der Druck p . Auf der Gegenfläche wirkt der Druck $p + \frac{\partial p}{\partial x} \cdot dx$, wenn sich der Druck in x-Richtung ändert. Man erhält dann eine resultierende Kraftkomponente in x-Richtung:

$$F_x = p \cdot dydz - (p + \frac{\partial p}{\partial x} dx) dydz = - \frac{\partial p}{\partial x} dV .$$

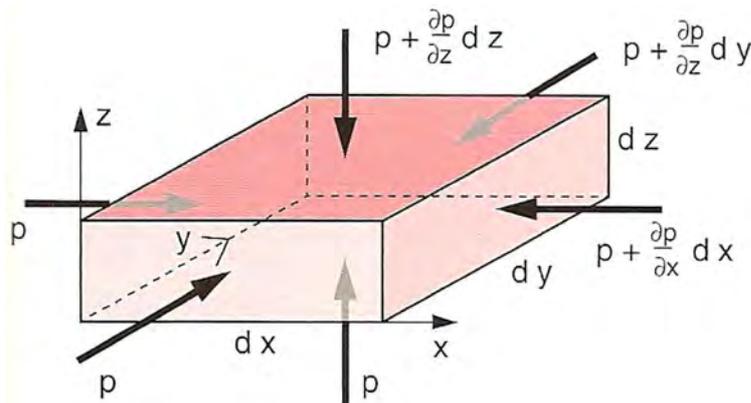


Abbildung 2: Kräfte- und Druckzusammenhang auf der Oberfläche eines Flüssigkeitselements

Quelle: [DEM 06, S. 177]

Für die Kraftkomponenten in y- und z-Richtung erhält man analog

$$F_y = - \frac{\partial p}{\partial y} dV \quad \text{und} \quad F_z = - \frac{\partial p}{\partial z} dV .$$

Fasst man die Gleichungen für die Komponenten x, y und z zusammen, erhält man die Vektorgleichung

$$\vec{F} = - \text{grad } p \cdot dV .$$

Die Gesamtkraft auf ein ruhendes Volumenelement muss aufgrund der freien Beweglichkeit der Flüssigkeitsmoleküle gleich Null sein. Bei Vernachlässigung des Eigengewichtes der Flüssigkeit bedeutet das $\text{grad } p = 0$. Daraus folgt, dass der Druck im gesamten Flüssigkeitsvolumen konstant ist. Daher kann man sagen, dass auf jedes Flächenelement dA der umgebenden Wände in einer ruhenden Flüssigkeit der Druck gleich ist. Anwendungen dieses Prinzips findet man z. B. in der hydraulischen Presse.

Bisher wurde der Fall erörtert, dass auf eine ruhende Flüssigkeit eine von außen wirkende Kraft \vec{F} wirkt. Nun hat jede Flüssigkeit aber auch ein gewisses Eigengewicht, durch das ebenfalls ein Druck p , auch ohne Einwirkung von außen, entsteht. Das ist der sogenannte *Schweredruck*. Vergleiche zu folgenden Herleitungen [DEM 06, S. 178 f.]

Jedes Volumenelement dV einer Flüssigkeit hat im Schwerfeld der Erde ein Eigengewicht $\rho \cdot g \cdot dV$. Daher erzeugt die Flüssigkeit, wie bereits erwähnt, einen Druck. Nimmt man eine Flüssigkeitshöhe H an, so ist der *Schweredruck* am Boden auf einer Fläche A wegen $dV = A \cdot dz$ gleich

$$p(0) = \int_0^H \frac{\rho \cdot g \cdot A}{A} dz = \rho \cdot g \cdot H \quad . \quad 2.1$$

Hierbei wird angenommen, dass die Dichte ρ unabhängig vom Druck p ist. Die

Kompressibilität $\kappa := -\frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial p}$ ist ein Maß für die Druckabhängigkeit der Dichte. Sie gibt die „(...) relative Volumenänderung $\Delta V/V$ bei einer Änderung Δp des äußeren Druckes p (...)“ [DEM 06, S. 178] an. κ ist für Flüssigkeiten allerdings sehr klein, deshalb wird ρ in den meisten Fällen als konstant angenommen. Man kann daher für den Druck in einer Höhe z und bei einer Flüssigkeitshöhe H aus 2.1 folgern:

$$p(z) = \rho \cdot g \cdot (H - z) \quad .$$

Pascal ist die SI-Einheit für den Druck $1\text{Pa} = 1\text{N/m}^2 = 10^{-5} \text{ bar}$. Der Schweredruck ist folglich nur von der Höhe H der Flüssigkeit und der Höhe z , in der der Druck gemessen wird, abhängig. Er ist dagegen nicht, wie man annehmen könnte, von der Form des Gefäßes abhängig, in dem sich die Flüssigkeit befindet \rightarrow *hydrostatisches Paradoxon*.

Zuletzt wird noch geklärt, warum Gegenstände in Flüssigkeiten schwimmen, bzw. warum sie einen Auftrieb erfahren. Vergleiche hierzu [DEM 06, S. 179]. Dazu tauche man ein Quader, das die Grundfläche A und die Dichte ρ_K besitzt, in eine Flüssigkeit. Es entsteht ein Druckunterschied $\Delta p = \rho_{Fl} \cdot g \cdot \Delta h$ zwischen Ober- und Unterseite des Körpers. Die nach unten gerichtete Gewichtskraft des durch den Körper verdräng-

ten Flüssigkeitsvolumens ist entgegengesetzt zu einer nach oben gerichteten Auftriebskraft:

$$\vec{F}_A = \Delta p A \vec{e}_z = \rho_{Fl} g A \Delta h \vec{e}_z = -\vec{G}_{Fl} .$$

Damit erhält man das *Archimedische Prinzip*, das besagt: „Durch den Auftrieb verliert ein eingetauchter Körper (scheinbar) so viel an Gewicht, wie die von ihm verdrängte Flüssigkeit.“[DEM 06, S.179]

Dieses Prinzip gilt für Körper, die beliebig geformt sind. Falls die Dichte der Flüssigkeit ρ_{Fl} größer als die Dichte des Körpers ρ_K ist, wirkt eine Auftriebskraft \vec{F}_A , die bei vollständigem Eintauchen größer als die Gewichtskraft \vec{G}_K des Körpers ist. Der Körper schwimmt.

3. Elektromagnetismus

Grundsätzlich kann man feststellen, dass sich Elektromagnete und Permanentmagnete in ihrer Wirkung gleichen.

Es gibt ein paar grundlegende Experimente, um die magnetische Wirkung und das magnetische Feld eines Permanentmagneten zu verdeutlichen. Wird z. B. eine Glasplatte auf der ein Stabmagnet positioniert ist, mit Eisenfeilspänen bestreut, so richten sich die Eisenfeilspäne aus. Sie richten sich in Form von konzentrischen Linien, den magnetischen Feldlinien, analog zu den Feldlinien eines elektrischen Feldes aus. Diese Feldlinien laufen an den zwei Endpunkten des Stabmagneten zusammen. Diese Punkte bezeichnet man als magnetische Pole. Ein weiteres Experiment besteht darin, dass der Permanentmagnet in seinem Schwerpunkt drehbar aufgehängt wird. Man wird feststellen, dass ein Pol nach Norden zeigt und der andere Pol nach Süden. Den Pol, der sich nach Norden ausrichtet, nennt man magnetischer Nordpol. Den der sich nach Süden ausrichtet, nennt man magnetischer Südpol. Bringt man einen anderen Permanentmagneten in die Nähe des aufgehängten, so zeigt sich der Effekt, dass sich die gleichnamigen Pole abstoßen und die ungleichnamigen Pole anziehen. Man kann formulieren: „Gleichnamige Pole stoßen sich also ab und ungleichnamige Pole ziehen sich an, völlig analog zur Wechselwirkung zwischen elektrischen Ladungen in der Elektrostatik.“[DEM 09, S. 86] Es gibt jedoch einen großen Unterschied zur Elektrostatik. Wird beispielsweise ein Stabmagnet auseinandergebrochen, gibt es keine isolierten magnetischen Pole.

Es bildet sich bei jedem Bruchstück wieder ein magnetischer Dipol. Diese Teilung kann immer fortgesetzt werden. Daher kann man sagen: „Es gibt keine isolierten magnetischen Pole. In der Natur kommen Nord- und Südpol immer gemeinsam vor, nie einzeln.“ [DEM 09, S. 85] Ein weiterer Unterschied von elektrischem und magnetischem Feld besteht darin, dass elektrische Feldlinien immer von positiven zu negativen Ladungen verlaufen. Dagegen sind die magnetischen Feldlinien immer geschlossen. Sie geben, genau wie die elektrischen Feldlinien, an jedem Punkt die Richtung des Feldes an. Analog zum elektrischen Kraftfluss Φ_{el} wird der magnetische Kraftfluss definiert:

$$\Phi_m = \int \vec{B} \cdot d\vec{A} \quad , \quad [\Phi_m] = 1 \frac{Vs}{m^2} \quad .$$

\vec{B} ist dabei die magnetische Kraftflussdichte, die die Fläche A durchsetzt. Diese hat die Einheit $[B] = 1 \text{Vs m}^{-2} := 1 \text{Tesla} = 1 T$. $d\vec{A}$ ist der Normalenvektor der Fläche. [vgl. DEM 09, S. 85 f.]

Des Weiteren werden Magnetfelder betrachtet, die durch stationäre Ströme entstehen. Es gibt den bekannten Versuch von Oersted. Man schickt durch einen geraden Draht den Strom I . Unterhalb des Drahtes befindet sich eine Kompassnadel. Diese wird immer so abgelenkt, dass sie sich tangential zu konzentrischen Kreisen um den Draht ausrichtet. Daraus kann man folgern, dass elektrischer Strom ein Magnetfeld bedingt. Die Richtung von \vec{B} entspricht beim Blick in Stromrichtung einer Rechtsschraube. Bei einer Stromrichtungsänderung ändert sich auch die Richtung des B-Feldes. Betrachtet man eine zylindrische Spule, so beobachtet man ein analoges Verhalten wie bei einem Stabmagneten. Es existiert ebenfalls ein Dipolfeld. Folgend werden Gesetze und Relationen hergeleitet, die es zunächst erlauben Magnetfelder von speziellen Stromverteilungen zu berechnen: das *Ampèresche-Gesetz*. Durch das *Biot-Savart-Gesetz* lassen sich dann Magnetfelder beliebiger Stromverteilung berechnen. Zu diesen Herleitungen vergleiche [DEM 09, S. 87 ff.].

Wie bereits erwähnt, sind alle Magnetfeldlinien geschlossen. Daher ist der gesamte magnetische Fluss durch eine geschlossene Oberfläche eines Volumens V gleich Null, da ebensoviele Magnetfeldlinien ein- und austreten. Deshalb gilt:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} \equiv 0 \quad .$$

Dieses Oberflächenintegral wird umgewandelt in ein Integral, „(...) über das von der Oberfläche A eingeschlossenen Volumen[s] V (...)“.[DEM 09, S. 88] Nach dem *Gausschen Satz* ergibt sich daher:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = \int \operatorname{div} \vec{B} dV \equiv 0 \Rightarrow \operatorname{div} \vec{B} = 0 .$$

Diese mathematische Formulierung entspricht der physikalischen Tatsache, dass es keine magnetischen Monopole gibt. Im Gegensatz zum elektrischen Feld, bei dem das Integral über einen geschlossenen Weg gleich Null ist: $\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} \equiv 0$. Man findet bei einem magnetischen Feld experimentell das *Ampèresche-Gesetz*:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 \cdot \vec{I} . \quad 3.1$$

Dieses besagt, dass das Integral für ein magnetisches Feld entlang eines geschlossenen Weges nicht Null ist. Das *Ampèresche Gesetz* gilt, „(...) wenn der Integrationsweg eine Fläche umschließt, die von einem Strom \vec{I} durchflossen wird.“[DEM 09, S. 88] μ_0 ist eine Konstante. Man nennt sie magnetische Induktionskonstante:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am} .$$

Mit Hilfe der Definition für den elektrischen Strom $\vec{I} = \int \vec{j} \cdot d\vec{A}$ und dem *Stokesschen Satz* kann man 3.1 umformen:

$$\mu_0 \cdot \int \vec{j} \cdot d\vec{A} = \oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \int \operatorname{rot} \vec{B} \cdot d\vec{A} .$$

Dies gilt für beliebige Integrationswege. Daher folgt daraus für den Integranden:

$$\operatorname{rot} \vec{B} = \mu_0 \cdot \vec{j} . \quad 3.2$$

Mit Hilfe dieser Grundlagen lassen sich spezielle Magnetfelder, wie beispielsweise das von einem geraden Stromleiter, berechnen. Für die folgende Herleitung werden die Gleichungen für das Vektorpotential als gegeben angenommen:

$$\operatorname{rot} \vec{A} = \vec{B} \quad \text{und} \quad \operatorname{div} \vec{A} = 0 \quad \text{.[DEM 09, S. 90]}$$

Es ist zu beachten, dass dieses \vec{A} ungleich dem Flächenvektor \vec{A} ist. Mit Gleichung 3.2 und $\vec{B} = \operatorname{rot} \vec{A}$ folgt:

$$\nabla \times (\nabla \times \vec{A}) = \operatorname{grad} \operatorname{div} \vec{A} - \operatorname{div} \operatorname{grad} \vec{A} = \mu_0 \cdot \vec{j} \quad .$$

Mit der Gleichung des Vektorpotentials $\operatorname{div} \vec{A} = 0$ und $\operatorname{div} \operatorname{grad} \vec{A} = \Delta \vec{A}$ erhält man

$$\Delta \vec{A} = -\mu_0 \cdot \vec{j} \quad . \quad 3.3$$

Mit der Äquivalenz der Komponentenschreibweise von 3.3 $\Delta A_i = -\mu_0 \cdot j_i$, $i = x, y, z$ zur *Poissongleichung* $\Delta \Phi_{el} = -\rho / \epsilon_0$ müssen auch deren Lösungen äquivalent sein. Daher erhält man für das Vektorpotential $\vec{A}(\vec{r}_1)$ im Punkt $P(\vec{r}_1)$

$$\vec{A}(\vec{r}_1) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{\vec{j}(\vec{r}_2) dV_2}{r_{12}} \quad ,$$

wobei gilt: $r_{12} = |\vec{r}_1 - \vec{r}_2|$ und über das gesamte stromführende Volumen V_2 integriert wird. Man hat das Vektorpotential berechnet und kann mit Hilfe der Gleichung $\vec{B} = \operatorname{rot} \vec{A}$ das Magnetfeld im Punkt $P(\vec{r}_1)$ durch Differentiation berechnen. Es muss jedoch beachtet werden, dass über die Koordinaten des Punktes P differenziert wird. Jedoch erfolgt die Integration über das Volumen. Es ergibt sich:

$$\vec{B}(\vec{r}_1) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \nabla \times \frac{\vec{j}(\vec{r}_2) dV_2}{r_{12}} \quad .$$

Nun gilt mit $r_{12} = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2}$ und der darüber ausgeführten Differentiation:

$$\vec{B}(\vec{r}_1) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{\vec{j}(\vec{r}_2) \times \vec{e}_{12}}{r_{12}^2} dV_2 .$$

Für den Einheitsvektor gilt: $\vec{e}_{12} = \vec{r}_{12} / r_{12}$. Obige Relation gilt für beliebige Leitergeometrien. Nimmt man an, dass der Strom nur in dünnen Drähten fließt, so gilt:

$$\vec{j} \cdot dV = \vec{j} \cdot d\vec{A} \cdot d\vec{s} = \vec{I} \cdot d\vec{s} .$$

Dies ist erlaubt, da der Integrand \vec{j} annähernd konstant auf der Querschnittsfläche $d\vec{A}$ ist. Die Integration wird über $d\vec{A}$ ausgeführt. Somit kann man das dreidimensionale Volumenintegral auf ein Linienintegral zurückführen:

$$\vec{B}(\vec{r}_1) = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \vec{I} \cdot \int \frac{\vec{e}_{12} \times d\vec{s}}{r_{12}^2} .$$

Diese Gleichung nennt man das *Biot-Savart-Gesetz*. Mit diesen Relationen kann man Magnetfelder von beliebigen Stromverteilungen berechnen. Eine technische Anwendung von Magnetfeldern, die durch stationäre Ströme entstehen, ist der Elektromagnet. Dieser besteht im Wesentlichen aus einer Spule, in der sich ein Eisenkern (ferromagnetisches Material) befindet. Durch den Eisenkern wird das Magnetfeld der Spule um ein Vielfaches verstärkt. Zu folgenden Herleitung vergleiche [DEM 09, S. 111 f.].

Man betrachtet eine stromdurchflossene Spule der Länge L und der Windungszahl N . Mit der Windungsdichte $n = N/L$, die klein gegenüber der Länge L ist, wird das innere Magnetfeld der Spule im Vakuum beschrieben durch:

$$\vec{B}_0 = \mu_0 \cdot n \cdot \vec{I} . \text{ [DEM 09, S. 89]}$$

Oft ist auch die magnetische Erregung $\vec{H} = \vec{B} / \mu_0$ ein Charakteristikum für das Magnetfeld. Wird der Innenraum der Spule mit einer Materie gefüllt, so ändert sich der magneti-

sche Kraftfluss $\vec{\Phi}_m = \int \vec{B} \cdot d\vec{A}$ um einen Faktor μ . Die Fläche A ist konstant geblieben. Daher muss für die magnetische Kraftflussdichte \vec{B} gelten:

$$B_{Materie}^{\vec{}} = \mu B_{Vakuum}^{\vec{}} = \mu \mu_0 H_{Vakuum}^{\vec{}} .$$

μ ist eine dimensionslose Materialkonstante und heißt relative Permeabilität. Die Änderung des magnetischen Kraftflusses ist durch die Einwirkung des Magnetfeldes auf die Atome bzw. Moleküle des Stoffes zu erklären. Genau wie im elektrischen Feld, in dem durch Ladungsverschiebung induzierte elektrische Dipole erzeugt oder vorhandene Dipole ausgerichtet werden und dadurch eine dielektrische Polarisierung hervorgerufen wird, ist im Magnetfeld eine magnetische Polarisierung festzustellen. Diese Polarisierung entsteht durch sogenannte atomare magnetische Momente:

$$\vec{p}_m = \frac{q}{2m} \cdot \vec{L} .$$

Obige Relation beschreibt den Zusammenhang zwischen dem atomaren magnetischen Moment \vec{p}_m eines Teilchens der Masse m , das sich auf einer Kreisbahn bewegt, und dem Bahndrehimpuls \vec{L} . Ein äußeres Magnetfeld \vec{B}_a trägt entweder zur Entstehung solcher atomarer magnetischer Momente bei oder es richtet diese aus. Makroskopisch werden diese durch die Magnetisierung \vec{M} beschrieben:

$$\vec{M} = \frac{1}{V} \sum_V \vec{p}_m , \quad [M] = 1 \frac{A \cdot m^2}{m^3} = 1 \frac{A}{m} .$$

Die Magnetisierung \vec{M} gibt das magnetische Moment pro Volumeneinheit an, d. h. die Vektorsumme der atomaren magnetischen Dipolmomente \vec{p}_m pro m^3 . Die Maßeinheit der magnetischen Erregung \vec{H} ist gleich der der Magnetisierung \vec{M} . Man erhält für die magnetische Feldstärke der mit Materie gefüllten Spule:

$$\vec{B} = \mu_0 \cdot (\vec{H}_0 + \vec{M}) = \mu_0 \cdot \mu \cdot \vec{H}_0 \quad \text{mit} \quad \vec{H}_0 = H_{Vakuum}^{\vec{}} .$$

Die relative Permeabilität μ liegt bei Eisen, je nach Vorbehandlung, zwischen 500 und 10 000.

Allgemein lässt sich feststellen, dass Erscheinungsformen des Magnetismus' durch das magnetische Moment von Elementarteilchen als Folge ihres Spins erklärt werden.

2 Klassensituation und physikalisches Vorwissen der Schüler

Die beobachtete bzw. unterrichtete Schülergruppe ist die 8. Klasse der *Freien Waldorfschule Würzburg*. Sie besteht aus 22 Mädchen und 14 Jungen, also aus 36 Schülern. Die Mitarbeit in dieser Klasse ist durchschnittlich. Von einigen Ausnahmen abgesehen, sind die Schüler eher zurückhaltend und äußern sich nur nach Aufforderung. Einige Jungen zeigen aber bei technischen Anwendungen der Physik großes Interesse, was sich vor allem in weiterführenden Gesprächen nach der Unterrichtsstunde mit der Lehrkraft sowie mit Mitschülern äußert. Die Schüler verhalten sich meist diszipliniert, wobei es zwei Jungen gibt, die immer wieder für Unruhe innerhalb der Klasse sorgen. Wie bereits in Punkt 3.4 erwähnt, beginnt der Physikunterricht mit der 6. Klasse. Innerhalb der Unterrichtsthemen dieser Epoche – Akustik, Hydrostatik, Elektromagnetismus – verfügen die Schüler über folgendes Vorwissen:

Akustik:

Die Akustik wurde mit Musikinstrumenten und der Tonleiter eingeführt. Mit den sogenannten *Chladnifiguren* wurden Schwingungsphänomene in der Akustik verdeutlicht. Diese wurden in Versuchen mit einer Stimmgabel noch vertieft. Es ist bekannt, dass sich Schall in der Luft ausbreitet. Den Schülern ist die Einheit *Hertz* als Anzahl der Schwingungen pro Sekunde geläufig.

Magnetismus:

Den Schülern ist bekannt, dass Metalle von einem Permanentmagneten angezogen werden. Die Schüler wissen, dass Magnete immer zwei Pole besitzen und dass sich die gleichnamigen Pole abstoßen und die ungleichnamigen Pole anziehen. Ebenfalls ist den Schülern bewusst, dass es ein Magnetfeld gibt.

Elektrizitätslehre:

Den Schülern sind die Begriffe *Spannung* und *Strom* geläufig. Sie wissen, was ein Stromkreis ist. Die Schüler haben Spannung und Stromstärke bereits gemessen und kennen deren Einheiten – *Ampere* und *Volt*.

Die Hydrostatik ist den Schülern noch nicht bekannt, da sie erst in der 8. Klasse unterrichtet wird.

3 Allgemeine Bemerkungen zum beobachteten Unterricht

Die Physikepoche an der *Freien Waldorfschule Würzburg* fand vom 8. Oktober 2009 bis 29. Oktober 2009 statt. Zur Vorbereitung auf den selbstgestalteten Unterricht zum Thema Elektromagnetismus wurde zunächst der Unterricht zu den Themenkomplexen Akustik und Hydrostatik beobachtet. Die inhaltliche Aufbereitung der drei Themen wird in den Punkten 4, 5, und 6 näher erläutert. Die Unterrichtsbeschreibungen dieser Punkte werden anhand von Protokollen, die während der Hospitation geführt wurden, aufgezeichnet (siehe Anhang, 1).

Der Hauptunterricht, der in dieser Zeit das Fach Physik beinhaltete, begann montags bis donnerstags um 7.50 Uhr und endete um 9.30 Uhr. Freitags begann der Unterricht versetzt, d. h. Hauptunterrichtsbeginn war um 9.45 Uhr und -ende um 11.15 Uhr. Der Hauptunterricht begann täglich mit Sprechübungen. Das bedeutet, dass alle Schüler aufstehen und der Lehrer, der dabei vor der Klasse steht, verschiedene Worte und Laute vorspricht. Diese werden von den Schülern im Chor wiederholt. Beispiele hierfür sind *hahm, hiehm, hohm, huhm...* oder *sturz strenge stützen!*. Nach Auffassung des Lehrers werden die Schüler dadurch in Geist und Seele geöffnet, sodass sie für die kommenden Unterrichtsinhalte offener sind. Nach diesen Sprachübungen wurde der gemeinsame Morgenspruch aufgesagt. Dieser Morgenspruch ähnelt dem morgentlichen Gebet an staatlichen Schulen. Als Abschluss des sogenannten Rhythmusteils wurde gemeinsam musiziert. Entweder wurde ein Lied gesungen, oder die Schüler spielten gemeinsam ein Flötenstück.

Bevor der Arbeitsteil des Hauptunterrichts begann, fielen meist noch Verwaltungsarbeiten an. Auch das Theaterstück, das jede 8. Klasse an einer Waldorfschule am Jahresende vorführt, wurde in Teilen besprochen. Die Schüler wurden dann vom Lehrer aufge-

fordert ihren Text vor der Klasse aufzusagen, während er auf die Betonung achtete. Das Theaterstück war allerdings kein täglicher Bestandteil des Hauptunterrichtsgeschehens. Danach folgte der Physikunterricht. Er endete meist um 9.15 Uhr, freitags um 11.00 Uhr. Die Schüler durften dann frühstücken, und der Klassenlehrer las ihnen bis 9.30 Uhr aus dem Buch *Die Geschichte der Welt* vor.

Die folgende Tabelle beinhaltet die Stundenanzahl (60-Minuten-Stunden), die für die einzelnen Teilgebiete Akustik, Hydrostatik und Elektromagnetismus verwendet wurden. Die Spalte *effektive Unterrichtszeit* gibt die tatsächliche Zeit des Physikunterrichts an, während die Spalte *Hauptunterrichtszeit* die komplett zur Verfügung stehende Unterrichtszeit angibt:

<u>Themengebiete</u>	<u>Hauptunterrichtszeit in Std.</u>	<u>effektive Unterrichtszeit in Std.</u>
Akustik	3,30	2,25
Hydrostatik	11,70	7,40
Elektromagnetismus	8,30	5,6

Die effektive Unterrichtszeit in dieser Physikepoche entsprach 15,25 Stunden, wobei 23,30 Stunden zur Verfügung standen. Es wurden somit ca. 65% der Hauptunterrichtszeit für den Physikunterricht genutzt.

Die Physikepoche endete mit einer Abschlussübung zur Physik. Diese Abschlussübung entspricht einer Schulaufgabe an staatlichen Schulen, die allerdings nicht benotet wird. Sie soll dem Schüler klar machen, was er können müsste und was sein tatsächlicher Wissensstand nach der Epoche ist. In Punkt 7 wird näher auf diese spezielle Abschlussübung der Physikepoche eingegangen.

4 Das Thema „Akustik“ in der Physikepoche

Der Kerninhalt dieses Themas war die Schallgeschwindigkeit. Genauer beinhaltete es eine Messung der Schallgeschwindigkeit sowie verschiedene Aufgaben, in denen mit der Schallgeschwindigkeit gerechnet wurde. Die Messung der Schallgeschwindigkeit war Abschluss der Physikepoche in der 7. Klasse. Dennoch wird diese hier mit aufgenommen, da die Nachbearbeitung der Messung den Anfang der Physikepoche der 8. Klasse darstellte. Das Vorgehen bei der Messung der Schallgeschwindigkeit konnte durch Befragungen der Schüler und in einem Gespräch mit dem Lehrer nachvollzogen werden.

4.1 Messung der Schallgeschwindigkeit

Der Lehrer bereitete die Schüler am Tag zuvor darauf vor, dass sie einen Ausflug in die Weinberge unternehmen würden. Dort würde eine Feldmessung stattfinden.

Am Tag der Messung werden verschiedene Gegenstände in die Weinberge mitgenommen. Zwei große Topfdeckel, ein langes Maßband und zwei Stoppuhren. In den Weinbergen wird ein geradlinig verlaufender, langer Weg gesucht. Der Lehrer erklärt den Schülern, dass sie die Schallgeschwindigkeit messen werden. Er erinnert dabei daran, dass sich Schall in der Luft ausbreitet und, dass diese Ausbreitung mit einer speziellen Geschwindigkeit vonstattengeht. Ein Schüler bemerkt, dass man dann im Weltraum nichts hören dürfte, da es dort keine Luft gibt. Die Bemerkung wird unter den Schülern heftig diskutiert. Nun wird die Versuchsanordnung und -durchführung mit den Schülern geklärt. Es werden verschiedene Gruppen gebildet, die jeweils andere Aufgaben haben. Eine Schülergruppe misst eine Strecke von 300 Metern ab. Am Ende der Strecke wird eine Gruppe postiert, in der ein Schüler die Aufgabe hat die Topfdeckel zusammenzuschlagen. Andere Schüler bedienen die Stoppuhren. Die Topfdeckel werden zusammengeschlagen und mit den Stoppuhren wird ein Zeitunterschied gemessen. Genauer ist das der Zeitunterschied zwischen dem Sehen, dass die Topfdeckel zusammengeschlagen wurden und dem Hören des Tons. Die Messung wird mehrmals wiederholt und die Ergebnisse werden mitprotokolliert. Es ergibt sich ein Zeitunterschied von durchschnittlich einer Sekunde. Der Lehrer diskutiert mit den Schülern die Messergebnisse

und man versucht das Ergebnis zu interpretieren. Schließlich wird mit Hilfe des Lehrers herausgefunden, dass sich der Schall „300 Meter in der Sekunde“ fortbewegt. Somit ist die Schallgeschwindigkeit nach den Messungen 300m/s. Dieser Versuch wird, wie bereits in Punkt 3.5 erwähnt, in der nächsten Unterrichtszeit aufgegriffen und nochmals „denkerisch“ betrachtet.

4.2 Einfache Berechnungen zur Schallgeschwindigkeit

Als Einstieg hält der Lehrer zunächst einen Erzählteil zum Wetter ab. Er erklärt den Schülern wie Hochdruck- und Tiefdruckgebiete und die daraus resultierenden Winde zustande kommen. Die Entstehung von Wolken und Unwettern wird schülergerecht dargestellt. Dabei greift der Lehrer auf ein eigenes Erlebnis zurück, in dem er bei einer Bergwanderung von einem Unwetter überrascht wurde. Er erzählt dabei von Donner und Blitz und stellt die Frage „Wie weit ist das Gewitter entfernt, wenn Blitz und Donner eine Sekunde versetzt sind?“ (siehe Anhang, 1).

Die Schüler sind anfangs ratlos. Der Lehrer leistet Hilfestellung, indem er den Versuch zur Messung der Schallgeschwindigkeit aufgreift. Er erinnert an die gemessene Schallgeschwindigkeit von 300m/s und erklärt, dass man den Blitz, also Licht, ohne Zeitverzögerung sieht. Daraufhin kommt von vielen Schülern die richtige Antwort. Es wird nun geklärt, dass die Schallgeschwindigkeit in Luft nicht 300m/s beträgt, sondern etwa 340m/s. Der Unterschied der beiden Schallgeschwindigkeiten wird mit Messungenauigkeiten begründet. Eine weitere Aufgabe wird gestellt, die der Lehrer an die Tafel schreibt. Die Schüler tragen die Aufgabe in ihr Epochenheft ein: „Vor einer Felswand höre ich mein Echo mit einer Verzögerung von einer halben Sekunde. Wie weit bin ich von der Felswand entfernt?“ (siehe Anhang, 1) Der Lehrer erarbeitet diese Aufgabe in einer Diskussion mit den Schülern zusammen. Während dieser Erarbeitung leitet er die Formel „Geschwindigkeit = Weg / Zeit“ her, mit der die Aufgabe an der Tafel gelöst wird. Am Ende der Unterrichtszeit schreiben die Schüler das Tafelbild ab.

Am Folgetag beginnt der Lehrer den Unterricht, indem er laut in die Hände klatscht. Die Schüler werden angewiesen genau darauf zu achten, was sie nach dem Händeklatschen hören. Einige Schüler und der Lehrer hören ein Echo. Schüler, die es selbst ausprobieren wollen, dürfen vor die Klasse treten und auch in die Hände klatschen. Es entwickelt sich eine heftige Diskussion darüber, ob tatsächlich ein Echo zu hören ist. Die

Diskussion wird vom Lehrer mit der Frage „Hört der Astronaut auf dem Mond ein Echo?“(siehe Anhang, 1) beendet. Die Antwort, dass man auf dem Mond kein Echo hört, da es dort keine Luft gibt, kommt von mehreren Schülern. Daraufhin wird besprochen, wie gut sich Schall in verschiedenen Medien ausbreitet, wie etwa in Holz oder Wasser. Es werden Alltagserfahrungen der Schüler zum besseren Verständnis herangezogen, z. B. das Hören unter Wasser im Schwimmbecken. In einem Erzählteil über das *Wesen der Stoffe* werden die unterschiedlichen Geschwindigkeiten des Schalls innerhalb der Materialien Luft, Wasser und Holz erklärt. Luft wird hier als weicher Stoff bezeichnet, in dem sich die Schallwellen nicht schnell ausbreiten können. Am Ende des Erzählteils schreibt der Lehrer die Schallgeschwindigkeiten von Luft, Wasser und Holz an die Tafel:

- Schallgeschwindigkeit in Luft 332m/s
- Schallgeschwindigkeit in Wasser 1.480m/s
- Schallgeschwindigkeit in Holz 4.800m/s

Die aufgeführten Schallgeschwindigkeiten müssen ins Epochenheft eingetragen werden. Als Hausaufgabe werden folgende Aufgaben, deren Verbesserung an den Folgetagen stattfindet, diktiert:

- „1. Wie vielen Stundenkilometern entspricht die Schallgeschwindigkeit (in Luft) von 332m/s?
2. Von der Wetterwarte aus sieht man bis zum 11km entfernten Eibelstadt. Dort zuckt ein Blitz in die Kirchturmspitze. Wie lange dauert es, bis der Wetterwart dumpfes Grollen hört?
3. Im Wasser breitet sich Schall schneller aus als in der weichen Luft – 1.480 Meter pro Sekunde. Ein Echolot „horcht“ auf ein Signal, das von einem Schiff zum Meeresboden gesandt wird und misst dann die Zeit, die es braucht, um das Echo zu „hören“. Welchen Zeitunterschied registriert das Echolot bei einer Tiefe des Meeres von 2.400 Metern?“ (siehe Anhang, 1)

5 Das Thema „Hydrostatik“ in der Physikepoche

Der Lehrer behandelte zum Thema Hydrostatik den *Schweredruck in Wasser*, den *Auftrieb in Wasser* und den *Druck als abgeleitete Größe*. Der Unterricht fand nicht in einem Physiksaal statt, sondern es wurde ausschließlich im Klassenzimmer unterrichtet. Die dargestellten Experimente des Lehrers wurden auf einer Erhöhung am Lehrerpult aufgebaut, wodurch alle Schüler die physikalischen Phänomene sehen konnten. Die Beschreibung des Unterrichts zu diesem Thema ist nicht streng chronologisch, da es keine klare Abgrenzung der oben genannten Lerninhalte gab. Die Beschreibung wird in vier Blöcken stattfinden, die als didaktisch strukturiert angesehen werden können.

5.1 Einführungsversuche zum Schweredruck in Wasser

Zum Einstieg in das Thema werden in einem Lehrervortrag über das Element „Wasser“ verschiedene physikalische Eigenschaften des Wassers erwähnt. Der Lehrer nennt die Oberflächenspannung und die Kugelform eines Tropfens. Im Anschluss werden einige Freihandversuche vom Lehrer durchgeführt. Diese werden direkt hintereinander ausgeführt, während die Schüler nur beobachten sollen.

Versuch 1:

Der Lehrer befüllt ein großes Wasserglas mit blau gefärbtem Wasser. Er kippt das Wasserglas in eine schräge Lage (siehe Abb. 3).

Beobachtung: Der Wasserspiegel ist auch in der schrägen Lage immer gleich hoch. Der Versuch wird in den verschiedensten Schräglagen wiederholt. Der Wasserstand ist in jeder Lage gleich hoch.



Abbildung 3: Einführungsversuch 1 zum Schweredruck in Wasser

Quelle: Epochenhefteintrag (siehe Anhang, 2)

Versuch 2:

Das blau gefärbte Wasser wird in ein U-Rohr gefüllt. Der Lehrer spricht hier von einem unterbrochenen Wasserspiegel. Auch in diesem Versuch wird das Gefäß gekippt (siehe Abb. 4).

Beobachtung: Es kommt zum gleichen Effekt wie in Versuch 1.



Abbildung 4: Einführungsversuch 2 zum Schweredruck in Wasser

Quelle: Epochenhefteintrag (siehe Anhang, 2)

Versuch 3:

Es wird ein Schlauch mit dem farbigen Wasser gefüllt. Der Lehrer verknötet den Schlauch. Er hält die beiden Schlauchenden zwar parallel zueinander, aber nicht auf gleicher Höhe (siehe Abb. 5).

Beobachtung: Auch hier ist der Wasserspiegel gleich hoch.



Abbildung 5: Einführungsversuch 3 zum Schweredruck in Wasser

Quelle: Epochenhefteintrag (siehe Anhang, 2)

Versuch 4:

Ein Schüler setzt auf das eine Ende des Schlauchs einen Trichter. Während der Lehrer den Schlauch hält, wird er mit Wasser gefüllt. Der Schlauch wird so gehalten, dass der Wasserspiegel in den Trichter reicht (siehe Abb. 6).

Beobachtung: Wieder macht man die gleiche Beobachtung wie in den Versuchen zuvor.

Anmerkung: Die Schüler sind verwundert, dass, obwohl das eine Schlauchende mit dem Trichter viel breiter ist als das andere, der Wasserstand gleich bleibt. Es wurde erwartet, dass der Wasserstand an dem Ende ohne Trichter höher ist als der Wasserstand an dem Ende mit Trichter.



Abbildung 6: Einführungsversuch 4 zum Schweredruck in Wasser

Quelle: Epochenhefteintrag (siehe Anhang, 2)

Versuch 5:

Bei diesem Versuch verwendet der Lehrer die sogenannten *kommunizierenden Röhren*. Diese Röhren bestehen aus Gefäßen mit unterschiedlicher Geometrie, die miteinander verbunden sind. Diese werden ebenfalls mit Wasser gefüllt (siehe Abb. 7).

Beobachtung: Das Wasser verteilt sich so, dass es in allen Gefäßen die gleiche Höhe hat.

Anmerkung: Der Lehrer fragt die Schüler vor der Versuchsdurchführung, in welchem Teil der *kommunizierenden Röhren* das Wasser am höchsten stehen wird. Die meisten Schüler tippen auf den schmalsten Teil.

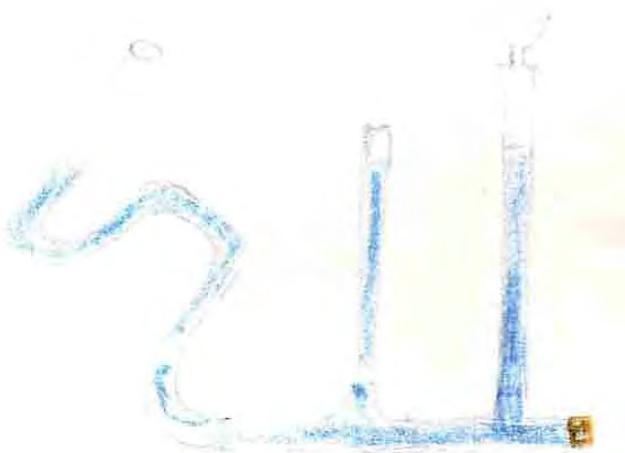


Abbildung 7: Einführungsversuch 5 zum Schweredruck in Wasser

Quelle: Epochenhefteintrag (siehe Anhang, 2)

Versuch 6:

Auf dem Lehrerpult wird eine große, durchsichtige, mit Wasser gefüllte Wanne aufgebaut. Der Lehrer nimmt einen Schlauch und will damit ein Wasserglas in die Wanne gießen.

Beobachtung: Hält der Lehrer den Schlauch so, dass die Höhe des Wasserspiegels in der Wanne immer niedriger als die Höhe des Wasserspiegels im Schlauch ist, dann fließt das Wasser in die Wanne. Sobald der Schlauch auf die Höhe des Wasserspiegels in der Wanne gebracht wird, fließt kein Wasser mehr in die Wanne.

Anmerkung: Die Schüler nehmen diese Beobachtung mit großer Überraschung auf. Es wird heftig diskutiert.

Mit diesen Versuchen soll den Schülern die gleichmäßige Ausbreitung des Drucks in Wasser verdeutlicht werden. Wird Wasser in eines der verbundenen Gefäße gefüllt, steht das Wasser anfangs in diesem Gefäß etwas höher. Dort herrscht wegen der größeren Höhe auch ein größerer Schweredruck. Aufgrund des Druckunterschiedes strömt das Wasser aus diesem Gefäß in die anderen Gefäße, bis es in allen Gefäßen die gleiche Höhe hat und somit der gleiche Druck herrscht.

Das Beobachtete wird an diesem Tag nicht erklärt. Die Schüler sollen die Versuche in ihr Epochenheft zeichnen und eine Beschreibung des Erlebten zu jedem Versuch machen. Am nächsten Tag werden die Versuche mit den Schülern reflektiert. Jeder Versuch wird nochmals beschrieben und diskutiert. Der Lehrer stellt Fragen wie z. B. „Wie verhält sich das Wasser immer?“(siehe Anhang, 1). Den Schülern werden die gesehnen Phänomene so erklärt, dass das Wasser innerhalb der Schwerkraft der Erde immer den horizontalen Ausgleich sucht. Es werden folgende Merksätze diktiert:

„Der Wasserspiegel will immer glatt und horizontal sein. Wenn Gefäße unterschiedlichster Art untereinander verbunden sind, dann ist der Wasserspiegel des darin befindlichen Wassers überall gleich hoch. Das nennt man das Prinzip der *kommunizierenden Röhren*; dieses findet Anwendung beim Wasserturm und in den Rohren der Haushalte.“(siehe Anhang, 2)

Als Abschluss und Anwendungsbeispiel wird mit den Schülern eine *Schlauchwaage* gebastelt. Eine *Schlauchwaage* ist ein Gerät, mit dem man überprüfen kann, ob Gegenstände gerade stehen. Das Prinzip ist das gleiche wie bei einer Wasserwaage. Allerdings wird bei der *Schlauchwaage* ein Schlauch mit Wasser gefüllt, und die beiden Enden des Schlauchs werden zum Vermessen des Gegenstandes verwendet. Es wird die gleichmäßige Ausbreitung des Wassers genutzt.

Die Schüler markieren mit dieser Schlauchwaage jeweils einen Punkt an gegenüberliegenden Seiten des Klassenzimmers. Sie markieren genau dort, wo sich die Höhe des Wasserspiegels befindet. Der Lehrer erklärt ihnen, dass man nun ein Seil quer durch das Klassenzimmer spannen könnte, welches einen waagerechten Verlauf hätte.

5.2 Der Schweredruck in Wasser

Zu Beginn des Unterrichts baut der Lehrer ein großes Wasserbecken aus Glas auf. Mehrere Schüler befüllen das Becken mit Wassereimern. Der Lehrer stellt die Frage, ob der Druck in dem Becken überall gleich ist. Es findet eine Abstimmung statt. Die Klasse ist geteilter Meinung. Daraufhin findet eine Versuchsreihe statt. Mit den nachfolgenden Versuchen wird das Phänomen gezeigt, dass in geringerer Wassertiefe der Wasserdruck kleiner ist als in größerer Tiefe.

Versuch 1:

a) Der Lehrer führt ein Rohr, dessen Öffnung mit einer losen Acrylplatte abgedeckt ist, in das Becken ein (siehe Abb. 8). Während der Eintauchphase drückt er die Platte an das Rohr. In einer willkürlich festgelegten Tiefe lässt er die Platte los.

Beobachtung: Die Platte wird an das Rohr gedrückt, ohne dass der Lehrer Hand anlegen muss.

b) Er dreht das Rohr mit der Platte im Kreis, drückt es nach unten oder schwenkt es hin und her (siehe Abb. 8). Er bewegt das Rohr auch nach oben.

Beobachtung: Die Platte sitzt bei der Kreisbewegung und der Bewegung nach unten am Rohr fest. Sobald er aber das Rohr nach oben bewegt, löst sich die Platte.

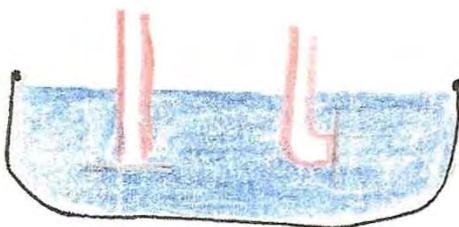


Abbildung 8: Versuch 1 zum Schweredruck in Wasser

Quelle: Epochenhefteintrag (siehe Anhang, 2)

Versuch 2:

Es wird eine abgeschnittene Plastikflasche mit Wasser gefüllt. In der unteren Hälfte befindet sich ein Loch (siehe Abb. 9).

Beobachtung: Man kann beobachten, dass der Wasserstrahl durch das Loch am größten ist, wenn der Wasserstand relativ hoch ist. Mit abnehmendem Wasserstand wird der Strahl schwächer.

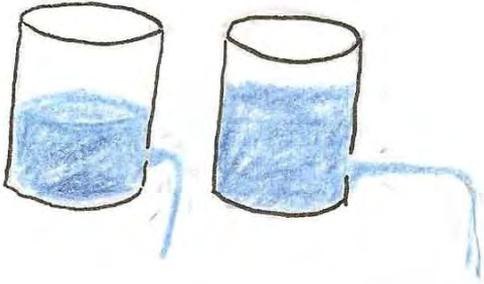


Abbildung 9: Versuch 2 zum Schweredruck in Wasser

Quelle: Epochenhefteintrag (siehe Anhang, 2)

Versuch 3:

In eine große Plastikflasche werden untereinander, im Abstand von ca. 1cm, Löcher gestochen (siehe Abb. 10). Während die Flasche von einem Schüler mit Wasser aufgefüllt wird, halten andere Schüler die gestochenen Löcher zu.

Beobachtung: Sobald die Löcher offen sind, sieht man, dass der Wasserstrahl aus den Löchern größer ist, die einen größeren Abstand zur Wasseroberfläche haben.

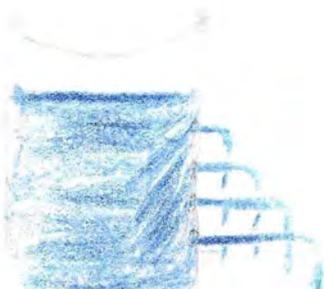


Abbildung 10: Versuch 3 zum Schweredruck in Wasser

Quelle: Epochenhefteintrag (siehe Anhang, 2)

Am Unterrichtsende wird die Aussage getroffen, dass der Druck in der Tiefe zunimmt. Die Schüler sollen als Hausaufgabe sogenannte Hausexperimente durchführen. Diese Hausexperimente sollen als Versuch 4 und 5 innerhalb der Versuchsreihe bezeichnet werden. Versuch 4 soll nochmals deutlich machen, dass auf jedes Flächenelement in einem Gefäß derselbe Druck wirkt. Die gleichmäßige Druckausbreitung wird noch einmal in Versuch 5 experimentell veranschaulicht.

Versuch 4:

In eine Plastikflasche werden zwölf Löcher, die sich alle gleichmäßig um die Flasche verteilen, mit einer Nähnadel gestochen. Die Flasche wird mit Wasser gefüllt und verschlossen. Sie wird nun von Hand zusammengedrückt.

Beobachtung: Beim Zusammendrücken der Flasche entstehen Wasserflecken auf dem Boden. Diese Wasserflecken sind in einem Kreis angeordnet, in dessen Zentrum sich die Flasche befindet.

Versuch 5:

Es wird eine Flasche mit Wasser gefüllt. Diese Flasche wird *kopfüber* in eine Schale mit Wasser gesteckt.

Beobachtung: Der Wasserstand in beiden Gefäßen bleibt gleich.

Diese Hausversuche sind wie die oben beschriebenen Versuche ins Epochenheft zu zeichnen und die Phänomene zu beschreiben. Am darauffolgenden Tag findet die Reflexion der gesehenen Versuche statt, und die Schüler dürfen ihre Erlebnisse bei den Hausexperimenten schildern. Die Ergebnisse werden zusammengetragen. Der Lehrer erklärt den Schülern, dass der Wasserdruck in der Tiefe zunimmt und dass der Wasserdruck auf die Wände eines geschlossenen Gefäßes überall gleich ist.

Das erworbene Wissen wird in einem „Weitpinkel-Wettbewerb“ angewendet. Es werden drei Gefäße aufgestellt. Die Gefäße haben unterschiedliche Durchmesser und unterschiedliche Höhen. Das Gefäß, das am höchsten ist, hat den kleinsten Durchmesser und das Gefäß, das am niedrigsten ist, den größten. Die Schüler dürfen nun Wetten abschließen, welches Gefäß wie weit „pinkelt“. Wie erwartet „pinkelt“ das höchste Gefäß am weitesten, während das niedrigste Gefäß nicht sehr weit „pinkelt“.

Den Abschluss des Schweredruckes in Wasser bildet eine Erklärung über die Druckverhältnisse bei einem Staudamm und beim Schnorcheln in großen Tiefen.

5.3 Auftrieb in Wasser

Den Unterricht zum Auftrieb beginnt der Lehrer mit einem Erzählteil über das Schwimmen in einem See. Er erzählt, dass man sich dabei federleicht fühlt oder fast schwerelos. Mit dieser Überleitung kommt er auf Geschichtliches über Archimedes zu sprechen. Die Schüler werden gebeten ihre Erfahrungen beim Baden zu erzählen. Am Ende des Erzählteils stellt der Lehrer die Behauptung auf, dass Gegenstände im Wasser leichter werden. Diese Behauptung soll durch folgendes Experiment quantitativ bestätigt werden:

Versuchsaufbau/-durchführung:

Eine Digitalwaage wird auf eine brückenförmige Stütze gestellt. Unter der Stütze befindet sich ein Messbecher aus Glas, der mit Wasser gefüllt ist. An die Auflageplatte der Waage wird eine Schnur gebunden, an die mit Haken verschiedene Gegenstände gehängt werden können (siehe Abb. 11). Hängt man jetzt eine Messprobe an die Schnur, so kann man dessen Gewicht in Luft an der Waage ablesen.



Abbildung 11: Quantitatives Experiment zum Auftrieb in Wasser

Quelle: Epochenhefteintrag (siehe Anhang, 2)

Führt man den Messbecher, der mit Wasser gefüllt ist, so an die Messprobe, dass diese Probe vollständig in das Wasser eingetaucht ist, kann man das Gewicht im Wasser an

der Waage ablesen. Außerdem lässt sich an der Skala des Messbechers die Wasserverdrängung ablesen, die beim Eintauchen der Messprobe entstanden ist.

Folgende Messproben werden für den Versuch verwendet: Stein, Eisen, Blei, Messing und Aluminium. In einer Tabelle werden alle Messungen von den Schülern aufgenommen. Es werden das Gewicht in Luft, das Gewicht in Wasser, der Gewichtsverlust und die Wasserverdrängung gemessen (siehe Tabelle).

Gegensatz	Gewicht in Luft	Gewicht in Wasser	Gewichtsverlust	Wasserverdrängung
Stein	103g	65g	38g	37ml
Eisengewicht	489g	420g	69g	75ml
Blei	425g	384g	41g	35ml
Messing	373g	335g	38g	45ml
Aluminium	259g	178g	81g	80ml

(siehe Anhang, 2)

Ergebnis: Jede der fünf Messproben verliert in Wasser an Gewicht. Es besteht ein Zusammenhang zwischen Gewichtsverlust und Wasserverdrängung.

Dieses Experiment beansprucht die ganze Unterrichtszeit an diesem Tag. Der nächste Unterrichtstag beginnt mit einer Erklärung des Lehrers zur Wasserverdrängung. Es wird erklärt, dass Wasser ein Stoff ist, der gerne nachgibt. Dementsprechend sind Stoffe, die man als hart auffasst, solche die „stur“ sind und nicht nachgeben. So lässt sich das Wasser verdrängen. Es folgen einige Experimente zum Auftrieb:

Versuch 1:

In eine durchsichtige, mit Wasser gefüllte Wanne werden nacheinander ein Holzstück und eine Styroporkugel gelegt.

Beobachtung: Die Gegenstände schwimmen im Wasser.

Versuch 2:

Der Lehrer drückt einen Tischtennisball unter Wasser und lässt ihn dort los (siehe Abb. 12).

Beobachtung: Sobald der Lehrer den Tischtennisball loslässt, schnellt er nach oben und aus dem Wasser heraus.

Anmerkung: Während der Lehrer den Ball nach unten drückt, beschreibt er den Schülern, was er fühlt. Der Ball wird von einer Kraft nach oben gedrückt, er will wieder an die Oberfläche.

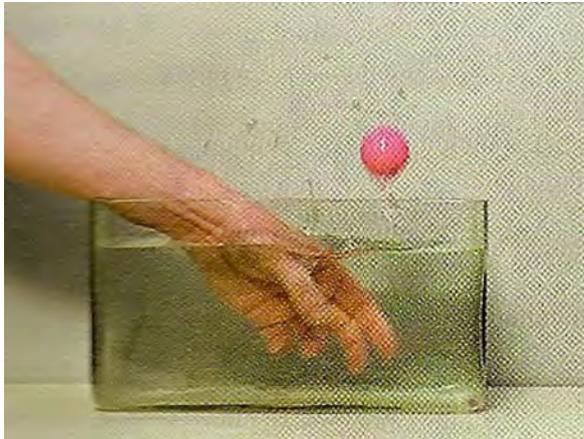


Abbildung 12: Versuch 2 zum Auftrieb in Wasser

Quelle: [GEI 04, S. 126]

Mit Versuch 2 wird eine Überleitung zu dem Experiment am Vortag geschaffen. Das Experiment wird mit der Klasse besprochen und das Ergebnis diskutiert. Als Grund für den Gewichtsverlust der Messproben vom gestrigen Versuch und der eben gemachten Versuchsbeobachtungen nennt der Lehrer die Auftriebskraft. Er erklärt, dass die Auftriebskraft der Schwerkraft entgegenwirkt, sodass Gegenstände in Wasser leichter werden oder sogar schwimmen. Diese Aussage des Lehrers beschließt den Unterricht.

Am Folgetag lässt der Lehrer verschiedene blecherne Gegenstände in der Wasserwanne schwimmen. Er fragt, warum stählerne Schiffe schwimmen. In eine Dose werden so viele Gewichte gelegt, dass sie Tiefgang bekommt. Die Schüler sollen eine Schätzung abgeben, bei wie viel Zuladung die Dose untergeht. Nachdem die Schüler ihre Schätzwerte abgegeben haben, behauptet der Lehrer, dass man das zulässige Zuladegewicht auch berechnen kann. In einem Lehrervortrag erläutert er den Schülern das *Archimedische Prinzip*. Er erklärt, dass die Auftriebskraft, die im Wasser auf einen Körper wirkt, so groß ist wie das Gewicht des durch ihn verdrängten Wassers. Außerdem stellt er die Gleichung auf:

„Zahlenwert der Auftriebskraft = Zahlenwert des Volumens“ (siehe Anhang, 1).

Am Ende wird auf das Gewicht des Wassers eingegangen (1kg/l) und danach das zulässige Zuladegewicht der Blechdose über die Volumenformel eines Zylinders berechnet. Es werden Aussagen getroffen wie z. B.: „Wenn ich also 1l verdrängen kann, kann ich also 1kg zuladen!“(siehe Anhang, 1)

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse der letzten Tage, die der Lehrer den Schülern ins Epochenheft diktiert, bildet den Schluss des Themas *Auftrieb in Wasser*.

5.4 Der Druck als abgeleitete Größe

Zum Einstieg in dieses Thema nimmt der Lehrer die Druckverhältnisse beim Schnorcheln und in einem Staudamm sowie die Erklärung des Gewichtes von Wasser aus dem vorigen Punkt wieder auf.

Er erklärt den Schülern, dass der Druck von der Fläche abhängig ist. Dazu misst er den Brustkorb eines Schülers aus. Er misst ca. 25cm mal 25cm. Die Schüler sollen sich vorstellen, dass dieser Schüler auf den Grund eines Sees taucht und sich dort auf den Rücken legt. Sie sollen sich weiter vorstellen, dass er mit Hilfe eines Schnorchels atmet, welcher bis an die Wasseroberfläche reicht. Mit dem Wissen über das Wassergewicht (1kg/l) und der ungefähren Brustkorbfläche (625cm²) wird das Wassergewicht ausgerechnet, welches auf der Brust des Schülers lastet. Es sind ungefähr 120kg. Den Schülern wird damit klar, dass es mit einem solchen Schnorchel nicht mehr möglich ist unter Wasser zu atmen.

In einem Erzählteil des Lehrers werden Tauchgänge mit Sauerstoffflaschen erklärt und warum es den Tauchern dabei möglich ist, in großen Tiefen zu atmen. Es liegt an dem Druck innerhalb der Sauerstoffflasche, die den Sauerstoff mit einem gewissen Druck in die Lunge pumpt. Nach dem Erzählteil greift der Lehrer das Ergebnis der obigen Berechnung auf. Es wird so interpretiert, dass auf eine Fläche von 625cm² ein Gewicht von 120kg lastet. Der Lehrer erklärt den Schülern: „Man misst den Druck nach dem Gewicht, das auf eine bestimmte Fläche drückt.“(siehe Anhang, 1). Es wird die Formel $p = g / cm^2$ (siehe Anhang, 1) in das Epochenheft diktiert. Es folgen einige Berechnungen mit dieser Formel. Am Ende wird das Prinzip einer hydraulischen Presse durch einen Versuch geklärt:

Versuch:

Es werden zwei mit Wasser gefüllte Glasspritzen mit verschiedenen Querschnittsflächen durch einen Schlauch verbunden (siehe Abb. 13). Auf die Stempel werden Wägestücke mit gleicher Masse gelegt.

Beobachtung: Der breitere Kolben wird durch den schmaleren Kolben nach oben gedrückt. Um das zu erreichen, muss weniger Kraft aufgewendet werden als umgekehrt.

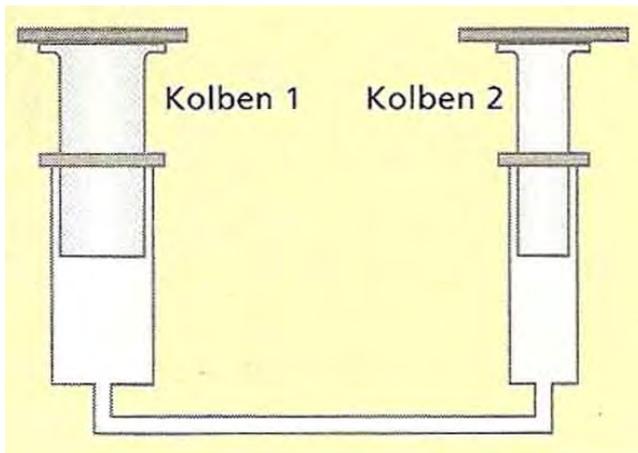


Abbildung 13: Versuch zum Druck als abgeleitete Größe

Quelle: [GEI 04, S. 110]

Dazu wird eine Rechenaufgabe an der Tafel gelöst:

„Wir wollen ein Auto von 1200kg mit einer hydraulischen Pumpe anheben. Der Druckkolben (D) hat \varnothing 10cm; der Hebekolben (H) hat \varnothing von 50cm. Wie groß muss die Kraft bei D sein, um das Auto bei H zu heben?“(siehe Anhang, 2) Es wird folgende Relation hergestellt:

$$p = \frac{K_D}{F_D} = \frac{K_H}{F_H} = p \quad (\text{siehe Anhang, 2}).$$

Dabei sind K_D und K_H keine Kräfte, sondern Massen. F_D und F_H sind die Flächen der Kolben. Als Ergebnis wird formuliert:

„Ich muss nur 48kg Kraft aufwenden, um das schwere Auto zu heben.“(siehe Anhang, 2)

6 Selbstgestaltete Unterrichtswoche zum Thema

„Elektromagnetismus“

Ähnlich wie bei Permanentmagneten rufen stromdurchflossene Leiter in ihrer Umgebung eine magnetische Wirkung hervor. Dieses Wissen wurde den Schülern durch Einführungsversuche vermittelt. Es wurde gezeigt, dass sich die magnetische Wirkung mit Spulen, also dem Aufwickeln eines Leiters, verstärken lässt. Die magnetische Wirkung von Spulen wurde mit und ohne Eisenkern betrachtet. Abgeschlossen wurde das Thema Elektromagnetismus durch einige technische Anwendungen, bei denen der Elektromagnetismus eine Rolle spielt: die Klingel und der Elektromotor. Die Schüler zeichneten nach jedem Unterrichtstag die vorgeführten bzw. selbstdurchgeführten Experimente in ihr Epochenheft und haben dazu die erlebten physikalischen Phänomene geschildert, wie es innerhalb des Dreischritts im Physikunterricht an Waldorfschulen üblich ist.

6.1 Klassische Einführungsversuche zum Elektromagnetismus

Man versteht unter Elektromagnetismus die magnetische Wirkung, die um einen stromdurchflossenen Leiter entsteht. Diese magnetische Wirkung lässt sich mit relativ einfachen Versuchen zeigen. Es wurden drei klassische Einführungsversuche zu diesem Thema vorgeführt, bei denen die Schüler zum Teil mitwirken konnten. Es stand dabei die Beobachtung im Vordergrund.

Der erste Versuch schafft einen Übergang von der Wirkung eines Permanentmagneten zu der elektromagnetischen Wirkung. Die darauf folgenden Versuche bauen auf diesem Versuch auf und zeigen Erweiterungen.

Versuch 1:

Es wird mit einem Permanentmagneten über einen Eisenstab gestrichen.

Beobachtung: Hält man den Eisenstab nach dem Bestreichen an eine Magnetnadel, wird diese von dem Eisenstab abgestoßen. Der Eisenstab wird so kurzfristig magnetisiert.

Anmerkung: Es werden mehrere Permanentmagnete, Eisenstäbe (große Nägel) und Magnetnadeln an die Schüler ausgeteilt, sodass sie mitexperimentieren können.

Versuch 2: (Oersted-Versuch)

Ein Kupferdraht wird in N-S-Richtung aufgestellt. Im Stromkreis, bestehend aus Spannungsquelle, Kupferdraht und Glühlampe, stellt die Glühlampe den Stromindikator dar. Unterhalb des Kupferdrahtes wird eine Kompassnadel aufgestellt, die sich, solange kein Strom fließt, parallel zum Kupferdraht ausrichtet (siehe Abb. 14).

Beobachtung: Schließt man den Stromkreis, so dreht sich die Kompassnadel aus der N-S-Richtung. Polt man an der Spannungsquelle um, so dreht sich die Kompassnadel in die entgegengesetzte Richtung. Wird der Stromkreis unterbrochen, kehrt die Kompassnadel in ihre Ursprungslage zurück.

Anmerkung: Die Schüler sind sehr erstaunt über die magnetischen Wirkung des Kupferdrahtes. Sie sprechen von einem Geist, der die Magnetnadel bewegt.

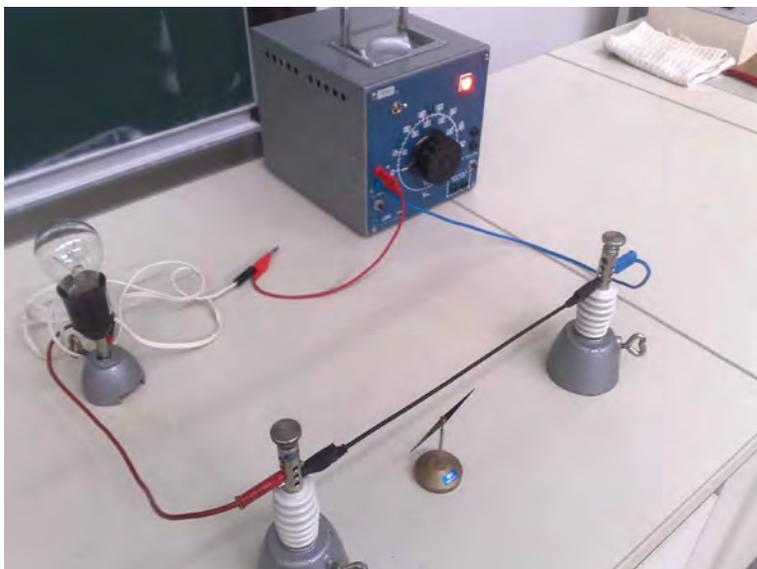


Abbildung 14: Oersted-Versuch

Quelle: eigene Aufnahme

Versuch 3:

Zwei lange Kabel werden jeweils mit einer Spannungsquelle verbunden. An jedem Kabel wird eine Magnetnadel platziert. Ein Schüler wird gebeten ein Kabel zu einem einfachen Kreis zu wickeln (siehe Abb. 15), ein zweiter Schüler wird gebeten das andere Kabel mehrmals aufzuwickeln (siehe Abb. 16).

Beobachtung: Schaltet man die Spannungsquellen ein und hält die beiden gewickelten Kabel an die Magnetnadeln, so stellt man fest, dass sie die Nadeln abstoßen. Allerdings

ist die magnetische Wirkung des mehrmals gewickelten Kabels sehr viel stärker als die des einfach gewickelten Kabels.

Anmerkung: Die Schüler feuern die Experimentierenden an. Es entsteht ein „Aufwickelwettbewerb“ mit dem Ziel, eine möglichst starke magnetische Wirkung zu erzielen.

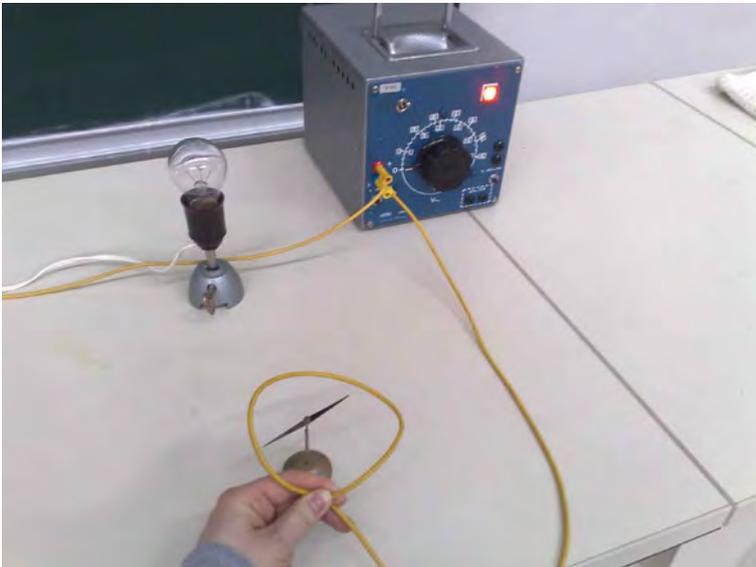


Abbildung 15: Spulewickeln a)

Quelle: eigene Aufnahme



Abbildung 16: Spulewickeln b)

Quelle: eigene Aufnahme

Mit diesem Wettbewerb endet die Unterrichtszeit an diesem Tag.

6.2 Experimentieren mit einem „selbstgebauten“ Elektromagneten

Der Unterricht beginnt mit einer Reflexion der Versuche vom Vortag. Die gesehenen Phänomene werden mit den Schülern erörtert. Die Magnetisierung aus Versuch 1 wird durch die Ausrichtung von Elementarmagneten erklärt. Diese richten sich nach dem Bestreichen mit einem Permanentmagneten im Eisen aus. Das Eisen wird durch diese kollektive Ausrichtung magnetisch. Das entspricht einer schülergerechten Erklärung für die Ausrichtung der *Weisschen Bezirke* beim Ferromagnetismus. Der Elektromagnetismus wird ohne tiefere Erklärung als Phänomen dargestellt. Den Schülern wird lediglich erklärt, dass ein Stromfluss die Ursache des Elektromagnetismus ist. Als Zusammenfassung werden den Schülern einige Sätze ins Epochenheft diktiert.

Um den Unterricht zum physikalischen Phänomen des Elektromagnetismus' nicht zu theoretisch zu gestalten, sollen die Schüler selbst einen kleinen Elektromagneten „bauen“. Für das Experiment werden folgende Materialien benötigt: eine Spannungsquelle, kleine Nägel, Büroklammern und Kompassnadeln, ein langer isolierter Kupferdraht (ca. 50m), eine Glühlampe (Stromindikator) und einige Kabel. Die Schüler sollen innerhalb dieses Versuchs die Wirkung von Spulen mit und ohne Eisenkern kennenlernen.

Versuchsaufbau:

Es wird ein Stromkreis durch die Schulbänke der ganzen Klasse verlegt (siehe Abb. 17). Dieser Stromkreis besteht aus der Spannungsquelle, der Glühlampe als Stromindikator und dem langen Kupferdraht. Der Kupferdraht wird so durch die Klasse verlegt, dass immer zwei Schüler ein etwa ein bis zwei Meter langes Stück des Kupferdrahtes zum Experimentieren haben. Jede Zweiergruppe bekommt einen Eisennagel sowie eine kleine Kompassnadel und mehrere Büroklammern.

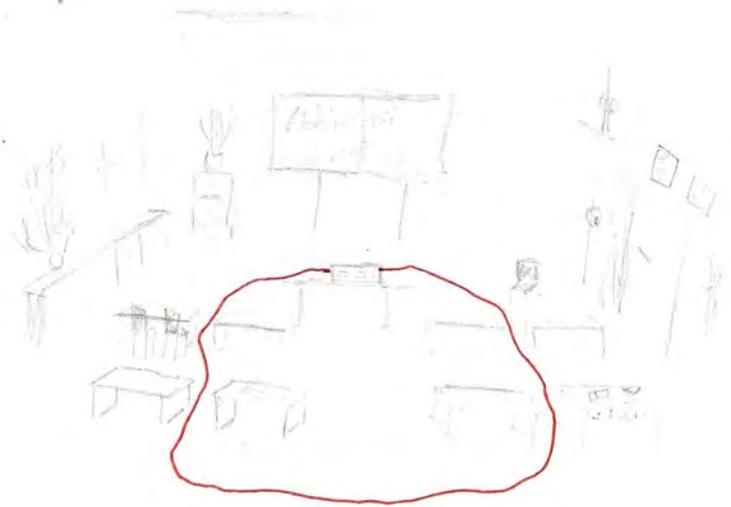


Abbildung 17: Klassenversuch zum Bau eines Elektromagneten

Quelle: Epochenhefteintrag (siehe Anhang, 2)

Versuchsdurchführung:

a) Nach Anweisung wickeln die Schüler den Kupferdraht etwa 20 mal um einen Stift. Es entsteht so eine kleine Spule mit der Windungszahl 20. Der Stift wird aus der Spule entfernt. Die Spannungsquelle am Lehrerpult wird eingeschaltet. Die Schüler dürfen eigenständig experimentieren und sollen dabei eine magnetische Wirkung der Spule feststellen.

Ergebnis: Es ist eine schwache magnetische Wirkung festzustellen. Das Magnetfeld der Spule ist zu schwach, um eine oder gar mehrere Büroklammern zu heben. Allerdings kann eine abstoßende Wirkung auf die Magnetnadel festgestellt werden.

Anmerkung: Bei einigen Gruppen ist die magnetische Wirkung sehr schwach, fast nicht bemerkbar. Das liegt daran, dass sie die Spule sehr langgezogen gewickelt haben. Den Schülern ist die indirekte Proportionalität von B-Feld und Spulenlänge nicht bekannt. Dadurch kann diese Problematik aufgegriffen und den Schülern qualitativ erklärt werden.

b) In die Spule wird ein Eisennagel eingeführt. Wieder soll die magnetische Wirkung durch die Schüler experimentell festgestellt werden.

Ergebnis: Die magnetische Wirkung der Spule mit Nagel ist wesentlich stärker als die aus Versuchsteil a). Es können damit mehrere Büroklammern gehoben werden. Eine Auslenkung der Magnetnadel ist sehr leicht zu erreichen. Wird der Nagel aus der Spule genommen, ist er magnetisiert. Dieser Effekt ähnelt dem aus Versuch 1 in Punkt III 6.1.

Anmerkung: Die Schüler wissen aus den Versuchen vom Vortag, dass die magnetische Wirkung von Spulen mit steigender Windungszahl größer wird. Dadurch entwickelt sich bei einigen Gruppen automatisch die Situation, dass die Schüler selbstständig die Windungszahl ihrer Elektromagneten erhöhen. Die Schüler wollen immer stärkere Magneten bauen.

Die Schüler dürfen bis zum Unterrichtsende selbstständig experimentieren.

6.3 Die Wirkung von Spulen mit und ohne Eisenkern

Nachdem das Experiment zum selbstgebauten Elektromotor mit den Schülern in einer Diskussion besprochen wurde, wird das Ergebnis daraus schriftlich festgehalten:

„Wir können uns einen Magneten bauen, indem wir uns eine Spule um einen Nagel wickeln und durch diese Spule Strom leiten. So einen Magneten nennt man ELEKTROMAGNETEN.“(siehe Anhang, 2)

Das Wissen um die Wirkung von Spulen wird durch drei weitere Experimente vertieft. Der folgende Versuch soll den Schülern deutlich machen, dass stromdurchflossene Spulen, genau wie Permanentmagnete, einen Nord- und Südpol besitzen.

Versuch 1:

a) Es wird ein Stromkreis aus einer Experimentierspule mit 500 Windungen und einer Spannungsquelle gebildet. Ein kleiner Experimentierwagen wird mit einem Stabmagneten ausgerüstet. Der Wagen wird so vor der Spulenöffnung platziert, dass der Stabmagnet mit seinem Nordpol auf eine Öffnung der Spule zeigt. Diese muss ebenfalls dem Nordpol entsprechen. Man beachte hier die korrekte Schaltung der Spule in den Stromkreis (siehe Abb. 18).

Beobachtung: Beim Schließen des Stromkreises wird der Wagen von der Spule abgestoßen.

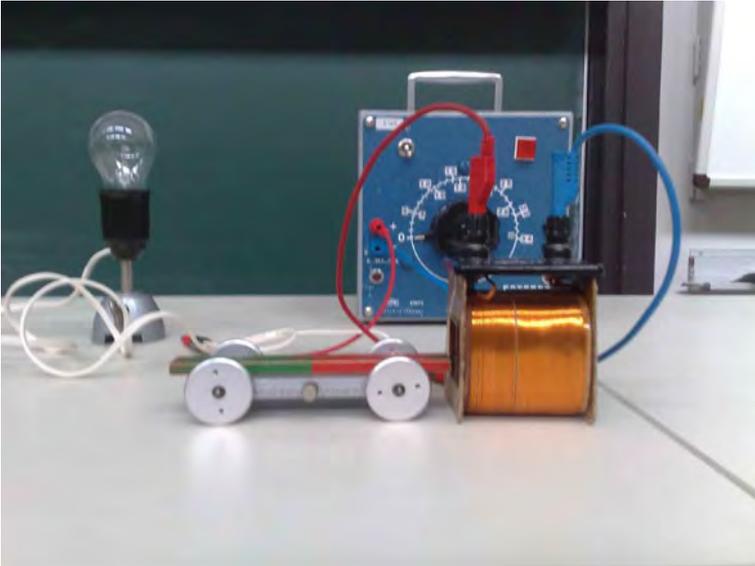


Abbildung 18: Nachweis der magnetischen Pole bei einem Elektromagneten a)

Quelle: eigene Aufnahme

b) Der Experimentierwagen wird an das andere Ende der Spule gestellt. Auch hier zeigt der Nordpol des darauf platzierten Stabmagneten in Richtung der Spulenöffnung (siehe Abb. 19). An dieser Öffnung der Spule befindet sich der Südpol.

Beobachtung: Beim Schließen des Stromkreises wird der Wagen von der Spule angezogen.

Anmerkung: Die Schüler sind erstaunt, dass die Pole auch bei der stromdurchflossenen Spule klar definiert sind.

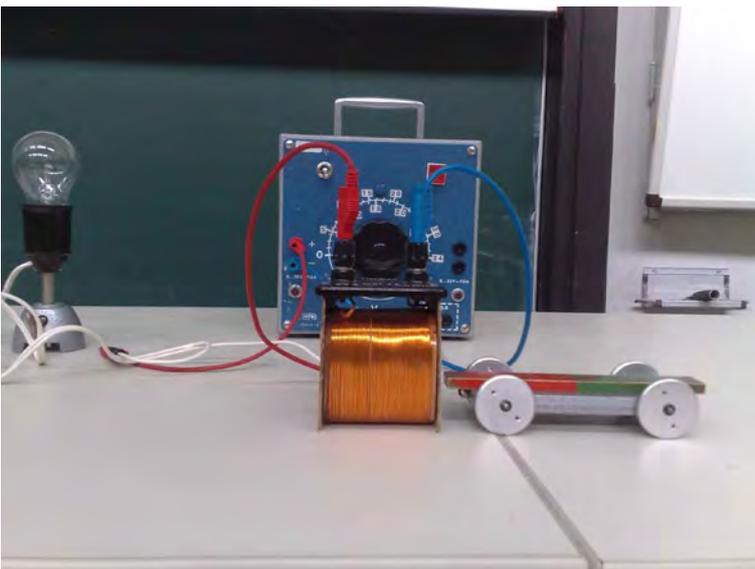


Abbildung 19: Nachweis der magnetischen Pole bei einem Elektromagneten b)

Quelle: eigene Aufnahme

Versuch 2 zeigt die magnetische Wirkung von Spulen mit und ohne Eisenkern. Es wird eine „Wagenrennen“ veranstaltet.

Versuch 2:

Um eine freie Rennbahn zu ermöglichen, müssen die Schüler ihre Tische an den Rand des Klassenzimmers stellen. Zwei Spulen mit je 500 Windungen werden im Abstand von etwa einem Meter nebeneinander gestellt (siehe Abb. 20). Beide Spulen sind mit einer Spannungsquelle verbunden. Jedoch wird in eine Spule ein zusammengebundenes Bündel von Eisennägeln, die den Eisenkern darstellen, eingeführt. Dadurch soll eine Verbindung zum Versuch vom Vortag hergestellt werden, wo bei dieser Versuchsanordnung ein Nagel den Eisenkern darstellte. Der mit dem Stabmagnet ausgerüstete Experimentierwagen wird vor die Spule ohne Eisenkern gestellt. Der Stromkreis wird geschlossen und der Wagen wird von der Spule abgestoßen (Schaltung der Spule beachten). Eine Schülergruppe markiert die Fahrweite des Wagens. Der Versuch wird wiederholt, indem der Wagen vor die Spule mit Eisenkern gestellt wird. Die Fahrweite wird wieder markiert. Der Versuch wird mit Spulen der Windungszahl 1000 wiederholt.

Beobachtung: Die Fahrweite des Wagens, als er von der Spule mit Eisenkern abgestoßen wird, übertrifft die andere Fahrweite um ein Vielfaches. Die Fahrweiten erhöhen sich bei der Spule mit 1000 Windungen in beiden Versuchsteilen.

Anmerkung: Vor der Versuchsdurchführung dürfen die Schüler wieder Wetten abgeben, wie weit der Wagen fährt. Einige Schüler sind sehr überrascht, dass die magnetische Wirkung einer Spule mit Eisenkern so viel stärker ist als die magnetische Wirkung einer Spule ohne Eisenkern. Auch sind einige Schüler überrascht über die Beobachtungen, die beim Erhöhen der Windungszahl gemacht werden konnten. Viele Schüler können aber auch das Wissen vom Versuch in Punkt 6.2 übertragen und bemerken gleiche Phänomene wie am Vortag.

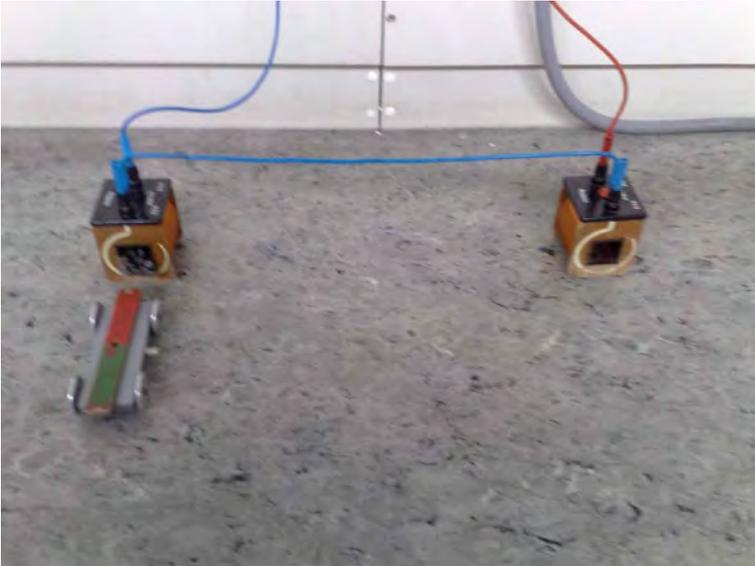


Abbildung 20: „Rennbahn-Experiment“

Quelle: eigene Aufnahme

Den Abschluss bildet ein Versuch, bei dem die Wirkweise eines Schrottplatzkrans demonstriert wird.

Versuch 3:

Eine Spule (500 Windungen) mit einem U-förmigen Weicheisenkern wird mit einer Spannungsquelle verbunden. Das eine Ende des Weicheisenkerns wird über Eisenschrott gehalten. Der Stromkreis wird geschlossen. Der Versuch wird anschließend ohne Weicheisenkern wiederholt.

Beobachtung: Die magnetische Wirkung der Spule mit Weicheisenkern ist so groß, dass der Eisenschrott komplett angezogen wird. Man kann alles hoch über den Boden halten und nichts fällt herunter. Hingegen werden bei der Spule ohne Weicheisenkern nur kleine Teile des Schrotts angezogen.

Die Reflexion und Besprechung der obigen Versuche findet am nächsten Unterrichtstag statt.

6.4 Technische Anwendungen zum Elektromagnetismus

Als technische Anwendungen zum Elektromagnetismus wurden die *Klingel* und der *Elektromotor* unterrichtet. Es wurde innerhalb dieser physikalischen Inhalte zum Elektromagnetismus aufgrund von Zeitmangel auf den Dreischritt beim Unterrichten verzichtet. Die Klingel sowie der Elektromotor nahmen jeweils an einem Unterrichtstag die Hauptunterrichtszeit in Anspruch. Die Hauptunterrichtszeit konnte für den Physikunterricht nicht voll beansprucht werden. Beide Unterrichtsinhalte wurden aus diesem Grund nur knapp und theoretisch besprochen.

1. Die Klingel

Zum Einstieg in das Thema werden Gruppen gebildet. Jede Gruppe erhält eine Experimentierklingel, eine große 9V-Batterie sowie diverse Kabel (siehe Abb. 21). Die Schüler dürfen selbstständig experimentieren, d. h. die Klingel zum Läuten bringen. Sie sollen dabei ihre gemachten Beobachtungen notieren. Es wird folgende Beobachtung gemacht: Sobald Strom fließt, schlägt ein Klöppel auf einen Klangkörper. Dadurch entsteht das Läuten.

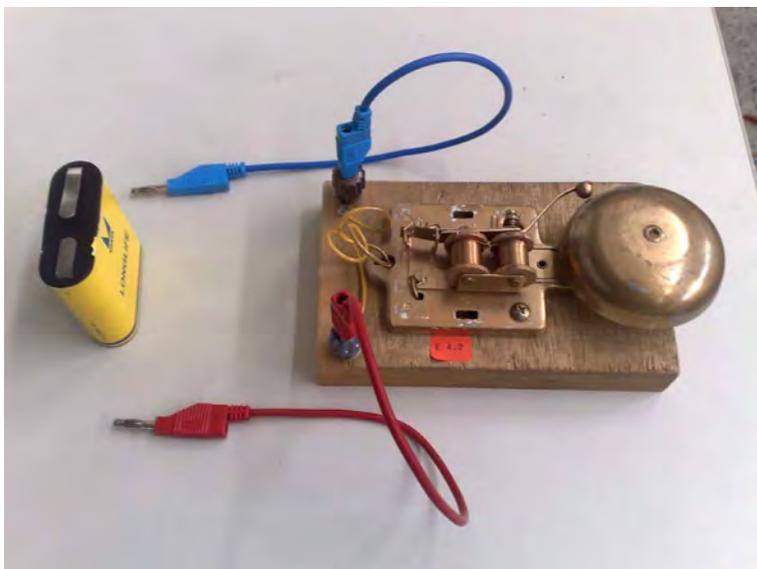


Abbildung 21: Experimentieren mit einer Klingel

Quelle: eigene Aufnahme

In einem Erzählteil wird den Schülern Geschichtliches zur Klingel erläutert. Es wird den Schülern erklärt, dass die Klingel Mitte des 19. Jahrhunderts in Deutschland erfunden wurde. Damaliger Zweck war es seinem Personal klingeln zu können.

Nach dem Erzählteil wird der Aufbau einer Klingel mit den Schülern an der Tafel besprochen (Aufbau einer Klingel, siehe Abb. 22). Die Klingel besteht aus einem *Metallklöppel* und einem *Klangkörper*. Diese beiden Teile sind für die Tonerzeugung verantwortlich. Weitere Bestandteile sind eine *Spule*, der *Unterbrecherkontakt* und ein *Taster*. Die Funktionsweise der Klingel wird in drei Schritten und anhand von Zeichnungen erklärt. Innerhalb dieser drei Schritte werden auch die Bedeutung der Spule als Elektromagnet, des Unterbrecherkontakts und des Tasters erklärt.

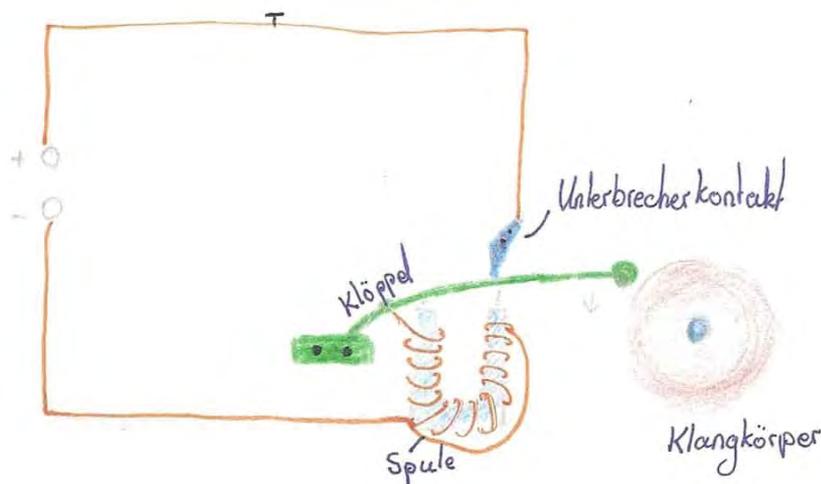


Abbildung 22: Aufbau einer Klingel

Quelle: Epochenhefteintrag (siehe Anhang, 2)

1. Schritt:

Der Taster ist offen, es fließt kein Strom. Der Taster schließt somit den Stromkreis. Dadurch ist der Elektromagnet nicht magnetisch und der Klöppel bleibt in seiner Ausgangslage. In dieser berührt der Klöppel den Unterbrecherkontakt (siehe Abb. 23).

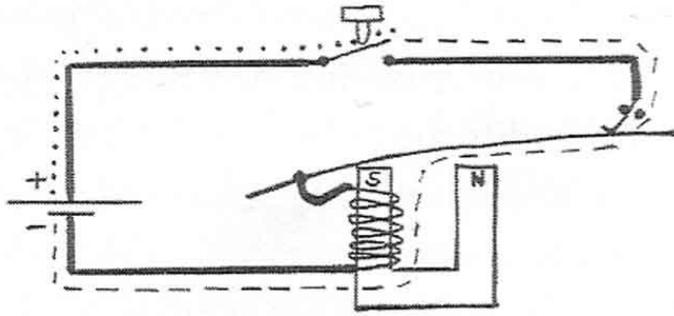


Abbildung 23: Schema 1 zur Erklärung der Funktionsweise einer Klingel

Quelle: [MAC 05, S. 158]

2. Schritt:

Der Taster ist geschlossen, es fließt Strom. Dadurch zeigt der Elektromagnet eine magnetische Wirkung → Der Klöppel wird vom Elektromagnet angezogen (siehe Abb. 24).

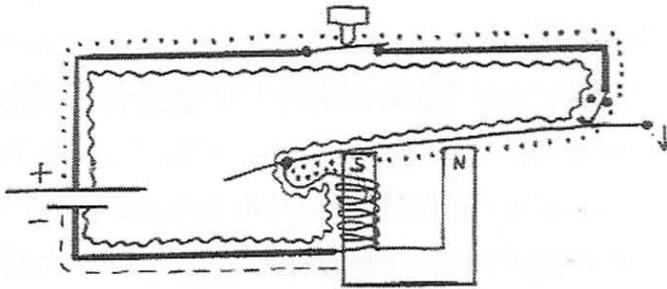


Abbildung 24: Schema 2 zur Erklärung der Funktionsweise einer Klingel

Quelle: [MAC 05, S. 158]

3. Schritt:

Wurde der Klöppel vom Elektromagnet angezogen, schlägt er auf den Klangkörper und die Klingel erzeugt einen Ton. Allerdings wird der Klöppel, sobald er angezogen wird, vom Unterbrecherkontakt getrennt. Der Stromkreis ist offen. Somit verliert der Elektromagnet seine magnetische Wirkung und dadurch schnellst der Klöppel wieder in seine Ausgangslage zurück. So wird der Stromkreis wieder geschlossen und man befindet sich erneut in der Situation „2. Schritt“ (siehe Abb. 25).

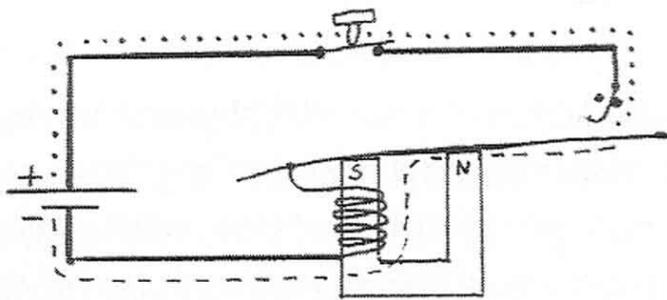


Abbildung 25: Schema 3 zur Erklärung der Funktionsweise einer Klingel

Quelle: [MAC 05, S. 158]

Bleibt der Taster geschlossen, wird sich dieser Vorgang ständig wiederholen. Dadurch klingelt die Klingel. Die obigen Erklärungen werden zusammengefasst am Ende ins Epochenheft eingetragen.

2. Der Elektromotor

Vor Unterrichtsbeginn wurde ein großer Gleichstrommotor am Lehrerpult aufgebaut. Dieser wird, sobald die Schüler ihre Plätze eingenommen haben, angeworfen. Die Schüler dürfen ans Pult kommen und dieses noch unbekannte Gerät beobachten und untersuchen. Diese Vorgehensweise weckt das Interesse der Schüler am Gegenstand. Als die Schüler den Elektromotor untersuchen, erkennen sie Bauteile des Motors wieder, z. B. einen Hufeisenmagneten und eine Spule mit Eisenkern. Die Schüler erkennen sofort, dass es sich beim sogenannten Anker um einen Elektromagneten handelt. Anschließend werden die Bauteile des Motors an der Tafel in einem Lehrer-Schüler-Gespräch erarbeitet (siehe Abb 26). Der Polwender wird noch nicht genannt.

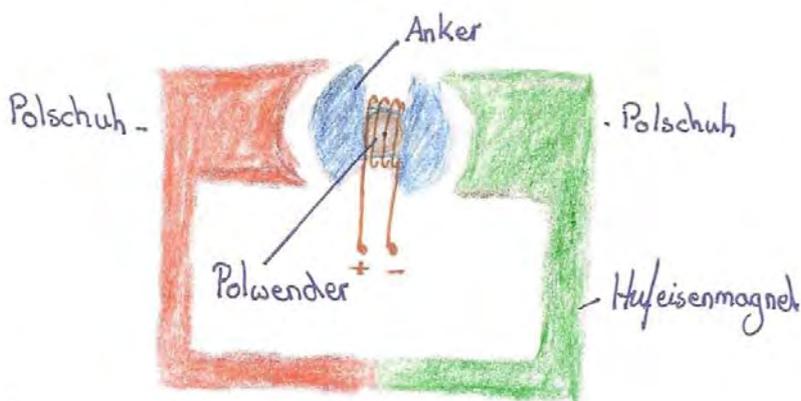


Abbildung 26: Aufbau eines Gleichstrommotors

Quelle: Epochenhefteintrag (siehe Anhang, 2)

Bei der Erklärung zur Funktionsweise des Elektromotors wird auf die Polregel zurückgegriffen, d. h. die Drehbewegung des Ankers wird auf die Anziehung der ungleichnamigen Pole von Anker und Stator zurückgeführt. Mit Zeichnungen, die drei verschiedene Stellungen des Ankers zeigen, wird die Drehung des Elektromotors den Schülern nähergebracht. Die Zeichnungen werden an der Tafel festgehalten.

Stellung 1:

Wird der Anker mit einer Spannungsquelle verbunden und der Stromkreis geschlossen, so ist er magnetisch und besitzt einen Nord- und Südpol (siehe Abb. 24). Die ungleichnamigen Pole des Ankers und des Hufeisenmagneten stoßen sich ab. Da in dieser Stellung keine Drehbewegung zustande kommen kann, muss der Anker von Hand ange dreht werden. Dadurch kommt er in Bewegung.

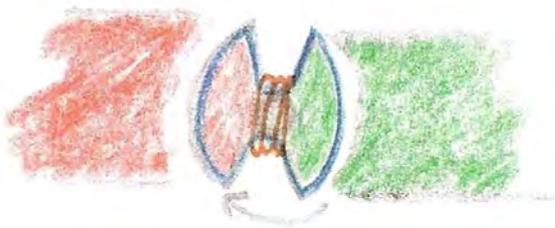


Abbildung 27: Stellung 1 des Ankers

Quelle:Epochenhefteintrag (siehe Anhang, 2)

Stellung 2:

Die ungleichnamigen Pole ziehen sich in dieser Stellung an. Es kommt dadurch zu einer Drehbewegung, ohne dass der Anker von Hand gedreht werden muss (siehe Abb. 25).



Abbildung 28: Stellung 2 des Ankers

Quelle: Epochenhefteintrag (siehe Anhang, 2)

An dieser Stelle wird der Polwender benannt und seine Wichtigkeit für den Elektromotor erklärt. Aufgrund des Zeitmangels wird der Polwender nicht näher betrachtet. Es wird lediglich erklärt, dass er die Stromrichtung ändert und sich dabei die magnetischen Pole des Ankers vertauschen.

Stellung 3:

Hier polt der Polwender um. Dadurch vertauschen sich am Anker Nord- und Südpol (siehe Abb. 26). Die bereits vorhandene Drehbewegung und der daraus resultierende Schwung sorgen dafür, dass der Anker nicht von Hand angedreht werden muss (siehe Stellung 1). Dadurch entsteht die kontinuierliche Drehbewegung des Ankers.

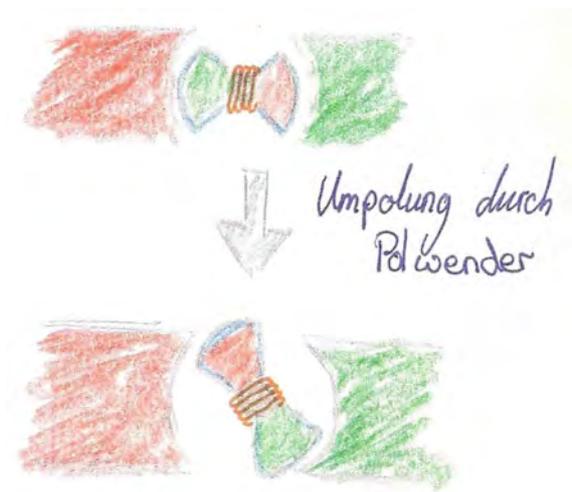


Abbildung 29: Stellung 3 des Ankers

Quelle: Epochenhefteintrag (siehe Anhang, 2)

Die Zeichnungen werden von den Schülern ins Epochenheft übertragen. Zu jeder Zeichnung werden zusammen mit den Schülern Erklärungen formuliert. Als Abschluss werden noch einige Alltagsgegenstände wie Staubsauger, Fön oder DVD-Player genannt, in denen der Elektromotor Anwendung findet.

7. Zusammenfassung

Den Abschluss der Physikepoche bildet eine sogenannte Abschlussübung. Diese Abschlussübung beinhaltet 28 Fragen (siehe Anhang, 3) zu den oben ausgeführten Themen. Die Schüler haben für die Bearbeitung die volle Hauptunterrichtszeit zur Verfügung. Das entspricht 100 Minuten. Am Tag vor dieser Abschlussübung wurden sämtliche Themen noch einmal mit den Schülern reflektiert. Alle gemachten Beobachtungen und Erkenntnisse der Physikepoche wurden zusammen mit den Schülern gesammelt und noch einmal besprochen. In der Abschlussübung gab es sowohl Berechnungsaufgaben wie z. B. „Die Schallgeschwindigkeit in Luft ist etwa 340m/s. Wie weit ist ein Gewitter entfernt, wenn du den Donner 4 Sekunden nach dem Blitz hörst? – Rechne nach der Formel: Geschwindigkeit ist Weg durch Zeit!“ (siehe Anhang, 3) als auch Aufgaben, in denen beschrieben und gezeichnet werden musste: „Zeichne eine Klingel und erkläre.“ (siehe Anhang, 3)

Im dargestellten Unterricht gibt es zwei Kritikpunkte inhaltlicher Art, die zu erwähnen sind. Zum einen wurde den Schülern in Punkt 4.2 folgenden Aufgabe diktiert: „Wie vielen Stundenkilometern entspricht die Schallgeschwindigkeit (in Luft) von 332 m/s?“ (siehe Anhang, 1) Der Begriff „Stundenkilometer“ sollte im Physikunterricht vermieden werden, da es sich hier um keine korrekte physikalische Maßeinheit der Geschwindigkeit handelt. Physikalisch korrekt muss es „Kilometer pro Stunde“ heißen.

Zum anderen wird der Druck und die dazugehörige Formel zwar anschaulich und einseitig für Schüler erklärt, allerdings sollte bei der Lehre des Drucks der Kraftbegriff die zentrale Rolle spielen. Den Schülern wird erklärt, dass der Druck nach dem Gewicht, das auf eine bestimmte Fläche drückt, gemessen wird. Im oben beschriebenen Unterricht ist es das Wassergewicht. Es wird die Formel

$$p = \frac{g}{cm^2}, \text{ mit } g := \text{Gramm}$$

eingeführt. Tatsächlich ist es aber in einer Flüssigkeit so, dass ein Körper, wenn er in Wasser eingetaucht wird, dieses eine Normalkraft \vec{F}_n auf die Körperoberfläche \vec{A} ausübt. Da diese Kraft in jedem Punkt senkrecht zur Oberfläche gerichtet ist, gilt: \vec{F}_n und \vec{A} haben die gleiche Richtung. Der Druck p des Wassers wird durch diese Kraft,

bezogen auf die Einheitsfläche, definiert. Der Druck wirkt in Normalenrichtung der Fläche, sodass für die Definition des Drucks die Normalenkomponente betrachtet wird. Somit gilt:

$$p = \frac{F}{A} \text{ .[vgl. MOS 06, S. 393]}$$

Die SI-Einheit ist entsprechend Newton pro Quadratmeter oder Pascal. Um den Erklärungsansatz des Unterrichts aufzugreifen, wirkt auf den Brustkorb des Schnorchlers nicht ein Gewicht im Sinne einer Wassermasse, sondern es wirkt eine Gewichtskraft $F_g = m g$. In der Ergebnisformulierung zur Aufgabe mit der hydraulischen Presse (siehe III 5.4) wird die Masse mit einer Kraft gleichgesetzt. Es wird formuliert: „Ich muss nur 48kg Kraft aufwenden, um das schwere Auto zu heben.“(siehe Anhang, 2)

Diese inhaltlichen Ungenauigkeiten können später bei den Schülern zu Irritationen hinsichtlich korrekter Verwendung physikalischer Begriffe führen.

Schön ist die Art und Weise wie das Fach Physik unterrichtet wird. Wie man an den Unterrichtsdarstellungen erkennen kann, ist der Physikunterricht geprägt von qualitativen Experimenten. Kein Unterrichtstag endete, ohne dass die Schüler einen Versuch gesehen haben oder aber selbst experimentieren durften. Der Fokus des Physikunterrichts liegt auf einer phänomenologischen Betrachtung der Physik. Die quantitative Beschreibung physikalischer Phänomene wie sie beispielsweise am bayerischen Gymnasium exzessiv betrieben wird, rückt in den Hintergrund. Es ist aber nicht nur dieser phänomenologische Physikunterricht, der diese Schulform von anderen unterscheidet, sondern es ist auch speziell die aktive Mitarbeit der Schüler innerhalb der Versuche zu nennen, die hier gefordert und gefördert wird. Beispiele hierfür sind die Messung der Schallgeschwindigkeit oder das Ausmessen des Klassenzimmers mit der *Schlauchwaage*. Den Schülern wird in dieser Form ein Unterricht zuteil, der Erlebnisse beinhaltet und die Physik interessant macht. Immer wieder wird auch ein Alltagsbezug hergestellt, wodurch die Schüler die Physik nicht als abstrakte Wissenschaft wahrnehmen.

IV Evaluation zur Wahrnehmung des Unterrichtsfachs Physik

Zum Abschluss der Hospitation wurde an die 8. Klasse der *Freien Waldorfschule Würzburg* ein Fragebogen verteilt. Bei der Befragung nahmen 20 Mädchen und 13 Jungen der Klasse teil. Derselbe Fragebogen wurde der Klasse 8a der *Jakob-Stoll-Realschule* in Würzburg vorgelegt. Bei der Befragung dieser Realschulklasse nahmen insgesamt 26 Schüler teil, davon 24 Jungen und zwei Mädchen. Es ist eine Klasse der Wahlpflichtfächergruppe I, d. h. der Unterrichtsschwerpunkt liegt in den Fächern Mathematik, Physik und Chemie. Diese Fächer werden in verstärktem Umfang unterrichtet. Folgende Unterrichtsthemen werden im Fach Physik, laut Lehrplan des Kultusministeriums in Bayern, in einer 8. Klasse der Wahlpflichtfächergruppe I unterrichtet:

Mechanik:

Dichte; Reibung; Arbeit, Energie und Leistung; Bewegungen (z. B. Geschwindigkeit als abgeleitete Größe)

Mechanik der Flüssigkeiten und Gase:

Druck in Flüssigkeiten und Gasen; Schweredruck in Flüssigkeiten; Luftdruck; Gesetz von Boyle-Mariotte; Auftrieb in Flüssigkeiten und Gasen

Astronomie:

Überblick über die verschiedenen Weltbilder; Unser Sonnensystem; Milchstraßensystem – Galaxien – Weltall
(vgl. [ISB])

1 Intention

Diese Evaluation beinhaltete einen Fragebogen, der bei der *Freien Waldorfschule Würzburg* acht Fragen, bei der *Jakob-Stoll-Realschule* sechs Fragen, umfasste. Die Fragen wurden in offener Form gestellt. Die ersten sechs Fragen sind in beiden Fragebögen identisch und zielen auf die Wahrnehmung des Physikunterrichts und die Naturwissenschaft Physik. Die Fragen 7. und 8. der Waldorfschule sind unterrichtsthemenbe-

zogene Fragen. Die unterschiedliche Anzahl der Fragen ist darauf zurückzuführen, dass es keine Überschneidungen von Unterrichtsthemen zu dem Zeitpunkt der Befragung gab. Somit wurden die beiden letzten Fragen im Fragebogen der *Jakob-Stoll-Realschule* weggelassen. Die Befragung wurde anonym durchgeführt. Es wurde lediglich eine Unterscheidung des Geschlechts vorgenommen. Die Schüler sollten in ganzen Sätzen antworten und hatten dafür 45 bzw. 30 Minuten Zeit. An beide Klassen wurden folgende Fragen gestellt:

1. Was verbindest du mit der Naturwissenschaft „Physik“?
2. Welche Bedeutung hat Physik im Alltagsbezug?
3. Welche Bedeutung haben Experimente im Physikunterricht?
4. Sind Formeln wichtig, um Physik zu verstehen?
5. Was macht dir am Physikunterricht Spaß?
6. Was macht dir am Physikunterricht keinen Spaß?

Zusatzfragen für die *Freie Waldorfschule Würzburg*:

7. Was versteht man unter dem physikalischen Begriff „Druck“?
8. Erläutere das „Archimedische Prinzip“!

Ziel der Evaluation ist es, einen Überblick über die Wahrnehmung der Schüler hinsichtlich ihres Physikunterrichts und der Physik selbst zu bekommen. Gibt es unterschiedliche Wahrnehmungen für die Schüler beider Schulformen und wenn, worauf sind diese zurückzuführen?

2 Kategorisierung der Fragen

Die Fragen werden anhand der gegebenen Antworten kategorisiert. Die beiden Klassen werden getrennt betrachtet. Innerhalb der Realschulklasse wird es keine Unterscheidung nach dem Geschlecht geben, da dieser Klasse lediglich zwei Mädchen angehören. Bei der Waldorfschulklasse werden die Antworten nach Geschlecht separiert. Die Antworten der Schüler sind die Originale, die per Computerscanner direkt von den Fragebögen übernommen wurden.

1. Freie Waldorfschule Würzburg

a) Antworten der weiblichen Teilnehmer

zu Frage 1. Was verbindest du mit der Naturwissenschaft „Physik“?

Hier bildet sich ein Antworttyp klar heraus. Die Schülerinnen verbinden mit der Physik ihren Alltag und die darin vorkommenden technischen Geräte und Phänomene.

Typische Antwort:

Das: Ohne Physik könnte man vieles nicht verstehen und auch nicht herstellen

zu Frage 2. Welche Bedeutung hat Physik im Alltag?

Die Schülerinnen sehen die Physik als Bestandteil ihres Alltags:

Physik ist ein wichtiger Bestandteil im Alltag z.B. Strom, Magnetkraft, Elektrizität... usw.

zu Frage 3. Welche Bedeutung haben Experimente im Physikunterricht?

Für die Schülerinnen haben die Experimente die Aufgabe die Theorie verständlicher zu machen, sie zu veranschaulichen. Eine charakteristische Antwort hierfür ist:

Experimente sind dazu da, dass man die Regeln und Gesetze besser verstehen kann.

Lediglich zwei Schülerinnen weichen von dieser allgemeinen Meinung ab. Sie sehen in Experimenten die Möglichkeit, selbstständig eine Erkenntnis zu gewinnen:

Experimente sind dafür da, dass man verschiedene Sachen selbst herausfindet und nicht einfach vom Lehrer sagen lässt.

zu Frage 4. Sind Formeln wichtig, um Physik zu verstehen?

70 Prozent der Schülerinnen finden Formeln wichtig, um Physik zu verstehen. Der Rest der Schülerinnen findet Formeln für das Verständnis nicht wichtig. Eine typische Antwort ist:

Von Physik zu verstehen finde ich Formeln nicht so wichtig. Aber für das Rechnen braucht man sie natürlich...!

zu Frage 5. Was macht dir am Physikunterricht Spaß?

Als Spaßfaktoren werden bei allen Schülerinnen die beobachteten bzw. die selbstdurchgeführten Experimente genannt. Eine hierfür typische Antwort ist:

Die Experimente anzusehen oder selbst auszu-probieren

zu Frage 6. Was macht dir am Physikunterricht keinen Spaß?

Der großen Mehrheit der Schülerinnen machen die Berechnungen mit Formeln keinen Spaß. Eine charakteristische Antwort hierfür ist folgende:

Das mit den Formeln und das Rechnen ist nicht mein Ding.

Einer Schülerin machen die Hausversuche keinen Spaß:

Versuche zu Hause machen zu müssen. Weil die sowieso so gut nicht klappen wie in der Schule.

zu Frage 7. Was versteht man unter dem physikalischen Begriff „Druck“?

Es sind zwei Antworttypen zu kategorisieren.

1. Die Schüler nennen die im Unterricht gelernte Druckformel oder formulieren diese wie folgt:

Druck ist die Kraft, die auf eine Fläche drückt.

2. Es wird das Phänomen des Schweredrucks erklärt:

Der Druck nimmt im Wasser zu je tiefer man geht.

zu Frage 8. Erläutere das „Archimedische Prinzip“!

Das „Archimedische Prinzip“ konnte von 80 Prozent der Schülerinnen mit kleinen Mängeln wiedergegeben werden. Typischerweise wurde wie folgt geantwortet:

Der Auftrieb eines Gegenstandes in einer Flüssigkeit ist gleich dem Volumen des verdrängten Wassers oder sonst einem flüssigen Stoff

b) Antworten der männlichen Teilnehmer

zu Frage 1. Was verbindest du mit der Naturwissenschaft „Physik“?

Es gibt hier zwei gegensätzliche Arten von Antworten:

1. Die Schüler verbinden Experimente mit der Naturwissenschaft „Physik“:

Man verbindet damit Experimente

2. Sie verbinden Gesetzmäßigkeiten mit der Naturwissenschaft „Physik“:

Ich verbinde mit Physik: Gesetze wie die Schwerkraft

zu Frage 2. Welche Bedeutung hat Physik im Alltag?

Alle Schüler sehen die Physik als Bestandteil ihres Alltags, aber auch dazu, um alltägliche Phänomene besser zu verstehen. Eine typische Antwort ist:

Ich weiß wie ein Motor funktioniert, und ich habe im Physikunterricht viel gelernt das mir hilft im Alltag weiter zu kommen.

zu Frage 3. Welche Bedeutung haben Experimente im Physikunterricht?

Zehn von 13 Schülern sehen in Experimenten eine Verständnishilfe. Die Antworten sind von folgendem Typ:

Eine sehr große denn dadurch versteht man alles besser und man kann es mit eigenen Augen sehen

zu Frage 4. Sind Formeln wichtig, um Physik zu verstehen?

Drei Schüler finden Formeln nicht wichtig, um Physik zu verstehen. Die Antworten entsprechen weitestgehend der folgenden:

Teilweise finde ich es leichter es mit Formel zu verstehen
aber man kann es eigentlich auch ohne verstehen

Der Rest ist überzeugt davon, dass Formeln für ein Physikverständnis wichtig sind.

zu Frage 5. Was macht dir am Physikunterricht Spaß?

Elf Schüler nennen als Faktor für den Spaß im Unterricht die Experimente.

Lediglich ein Schüler nennt als Spaßfaktor ein tieferes Verständnis für physikalische Phänomene:

Das ich immer wieder mehr darüber weiß warum etwas
so ist.

zu Frage 6. Was macht dir am Physikunterricht keinen Spaß?

Das Berechnen mit Formeln und das Lernen der Formeln macht neun von 13 Schülern keinen Spaß. Kennzeichnende Antworten für diesen Sachverhalt sind:

Die Mathe mit den Formeln. und
Das viele Berechnen!

Eine davon abweichende Antwort ist:

Eigentlich ist was es eine
Eindeutlich hat alles Spaß gemacht eben durch
die Versuche.

zu Frage 7. Was versteht man unter dem physikalischen Begriff „Druck“?

Auf diese Frage antworten knapp 50 Prozent der befragten Schüler mit der im Unterricht durchgenommenen Druckformel oder der Ausformulierung dieser Formel:

Druck ist Kraft die auf einer Fläche lastet

Die Antworten der restlichen Schüler sind vollkommen unterschiedlich. Hier folgen einige Beispiele:

Man kann Druck messen und ausrechnen den man besonders in Wasser gut sehen und spüren kann

oder

Ich verstehe unter dem Begriff Druck: Last, schwere

zu Frage 8. Erläutere das „Archimedische Prinzip“!

Elf von 13 Schüler konnten dieses physikalische Prinzip ohne grobe Fehler beschreiben. Es wurde wie folgt geantwortet:

Ein Körper hat so viel Auftrieb wie die Menge die er an Wasser verdrängt

2. Jakob-Stoll-Realschule Würzburg

zu Frage 1. Was verbindest du mit der Naturwissenschaft „Physik“?

Bei dieser Frage sind drei Antworttypen zu erkennen.

1. Es gibt Schüler, die mit der Naturwissenschaft „Physik“ Naturereignisse und -phänomene aus ihrem Alltag verbinden. Hier ist eine typische Antwort:

Ich verbinde alle Ereignisse im Alltag der Physik, also z.B. eine Entstehung von einem Regenbogen oder wenn ein Messer auf den Boden fällt (Anziehungskraft usw...)

2. Die Schüler geben Unterrichtsthemen zur Antwort, wie z. B.:

Regenbogen
Hebel
Pflanzchenzug und noch vieles mehr

3. Die Naturwissenschaft Physik wird von Schülern mit Schule verbunden. Antworten sind hier:

Schule und Unterricht

oder

Noten, nicht sehr viel

zu Frage 2. Welche Bedeutung hat Physik im Alltag?

Die Schüler sehen die Physik in ihren Alltag eingebunden.

So sind kennzeichnende Antworten:

Physik ist Alltag, alles was passiert kann man physikalisch deuten.

oder

Physik ~~es~~ erklärt alltägliche Vorgänge und Ereignisse.

zu Frage 3. Welche Bedeutung haben Experimente im Physikunterricht?

Über 80 Prozent der Schüler sehen in Experimenten den Sinn, die Theorie verständlicher zu machen und den Unterricht zu veranschaulichen. Hier eine charakteristische Antwort:

Sie veranschaulichen das Thema und ^{meistens} ~~manchmal~~ versteht man dadurch auch besser um was es geht und wie es geht.

Eine von oben abweichende Antwort eines Schülers lautet:

Sie bestätigen die Theorie die vorher aufgestellt wurde.

zu Frage 4. Sind Formeln wichtig, um Physik zu verstehen?

Für über 85 Prozent der Schüler sind Formeln wichtig, um Physik zu verstehen. Antwortbeispiel:

Ja, auf jeden Fall. Fast das wichtigste. Damit kann man viele Aufgaben in der Physik lösen.

Für vier Schüler sind Formeln keine Notwendigkeit, um Physik zu verstehen. Formeln werden hier nur als Mittel zur Berechnung gesehen:

Nein, weil Formeln nur zum Berechnen sind.

zu Frage 5. Was macht dir am Physikunterricht Spaß?

Alle Schüler geben an, dass ihnen die Experimente im Unterricht Spaß machen. Weitere Spaßfaktoren werden nicht genannt.

Zu Frage 6. Was macht dir am Physikunterricht keinen Spaß?

Den Schülern macht das Lernen physikalischer Formeln und die Berechnungen mit diesen keinen Spaß. Eine typische Antwort ist:

Das wir so viele Formeln lernen müssen.

3 Auswertung

Hier sollen Unterschiede bei den Antworten anhand der obigen Kategorisierung der Fragen festgestellt werden. Zunächst werden die Antwortkategorien von Mädchen und Jungen der Waldorfschule verglichen. Danach folgt der Vergleich der Realschulklasse mit der Waldorfschulklasse.

1. Vergleich innerhalb der Waldorfschulklasse

Bei den Fragen 2., 3., 5., 6. und 8. sind keine signifikanten Unterschiede innerhalb der gegebenen Antworten zu erkennen. So sehen beide Schülergruppen bei Frage 2. die Physik als Bestandteil ihres Alltags. Klassischerweise nennen die Jungen hier technische Anwendungen wie den Elektromotor, während die Mädchen die Gesamtsicht der Dinge im Blick haben. Bei der dritten Frage sehen die Schülerinnen und Schüler den gleichen Sinn in Experimenten. Sie dienen den Schülerinnen und Schülern als Verständnishilfe zur Theorie. Für beide Schülergruppen sind Experimente der Spaßfaktor im Physikun-

terricht, während ihnen das Lernen der physikalischen Formeln und die Berechnungen damit keinen Spaß machen. Bei Frage 8. wurde verlangt ein physikalisches Prinzip, genauer das *Archimedische Prinzip*, wiederzugeben. Dem Großteil der Jungen und Mädchen war es möglich, dieses Prinzip grundlegend zu beschreiben.

Bei Frage 4., bei der man die Gewichtung der gegebenen Antworten betrachten muss, ist auch diese sehr ähnlich. Hier sehen 70 Prozent der Mädchen eine Notwendigkeit darin, physikalische Formeln zu beherrschen, um Physik zu verstehen. Die verbleibenden 30 Prozent sind der Ansicht, dass Formeln nicht wichtig sind, um Physik zu verstehen. Bei den Jungen ist die Gewichtung sehr ähnlich. 75 Prozent der Schüler finden physikalische Formeln wichtig, um Physik zu verstehen, während 25 Prozent der Meinung sind, dass man Formeln nicht braucht, um Physik zu verstehen.

Gemeinsamkeiten, aber auch Unterschiede, gibt es bei der Frage 7. Diese beschäftigt sich mit dem physikalischen Begriff „Druck“. Hier sind folgende Gemeinsamkeiten und Unterschiede festzustellen: Man erkennt eine gemeinsame Kategorie innerhalb der gegebenen Antworten bei Mädchen und Jungen. Die Hälfte beider Schülergruppen nennen die im Unterricht gelernte Druckformel oder formulieren diese aus. Bei der anderen Hälfte der Schüler formulieren die Mädchen das Phänomen des *Schweredrucks in Wasser* während es bei den Jungen keine erkennbare Kategorie gibt.

Signifikante Unterschiede zwischen den Antworten bei Mädchen und Jungen gibt es lediglich bei Frage 1. Diese Frage beschäftigt sich damit, was die Schülerinnen und Schüler mit der Naturwissenschaft „Physik“ verbinden. Während die Jungen Experimente und physikalische Gesetzmäßigkeiten nennen, ist es bei den Mädchen der gesamte Alltagsaspekt, der damit in Verbindung gebracht wird.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Unterschiede der Antworten nicht gravierend sind. Signifikante Unterschiede gab es lediglich bei einer von acht Fragen. Das deutet darauf hin, dass die Wahrnehmung des Physikunterrichts bei Mädchen und Jungen der Waldorfschulklasse die gleiche ist.

2. Vergleich der Waldorfschulklasse mit der Realschulklasse

Bei den Fragen 1., 2., 3., 5., und 6. sind die Antworten der Schüler beider Klassen nahezu gleich. Hier können keine Unterschiede in der Wahrnehmung erkannt werden. Bei Frage 4. ist allerdings die Gewichtung der Schüler, die Formeln wichtig finden, um Physik zu verstehen und derer, die Formeln nicht wichtig finden, um Physik zu verstehen, näher zu betrachten.

Nimmt man innerhalb der Waldorfschulklasse die Antworten der Mädchen und Jungen zusammen, so kommt man auf folgende Gewichtung: 23 Schüler (70 Prozent) finden, dass Formeln wichtig sind, um Physik zu verstehen. Zehn Schüler sind der Meinung, man kann Physik auch ohne Formeln verstehen.

In der Realschulklasse sind dagegen 21 Schüler (85 Prozent) der Meinung, dass Formeln für ein Physikverständnis wichtig sind. Es sind nur fünf Schüler überzeugt davon, dass Formeln nicht wichtig sind, um Physik zu verstehen.

Insgesamt finden doppelt so viele Waldorfschüler wie Realschüler Formeln nicht wichtig, um Physik zu verstehen. Hier kann man einen Unterschied in der Wahrnehmung des Unterrichtsfaches Physik erkennen. Vielen Waldorfschülern ist klar, dass man die Physik auch sehr gut ohne Formeln verstehen kann. Ein Grund hierfür ist sicher der phänomenologische Unterricht an Waldorfschulen. Es wird weniger Wert auf das Rechnen mit Formeln und mehr auf die Beschreibung und Erklärung physikalischer Phänomene gelegt.

V Zusammenfassung und Ausblick

In der Einleitung wurde die Frage aufgeworfen, ob man aus anderen Schulformen z. B. von Waldorfschulen für den eigenen Unterricht an staatlichen Schulen im Fach Physik Erkenntnisse ziehen bzw. übernehmen kann.

Zusammenfassend ist der anschauliche, auf Experimente und Phänomene bauende, Unterrichtsstil zu nennen. Wie bereits im Punkt 7 erwähnt, sind physikalische Experimente, bei denen die Schüler aktiv mitwirken, an Waldorfschulen nicht wegzudenken. Häufig wird an staatlichen Schulen zu viel Wert auf die Mathematik im Fach Physik gelegt und zu wenig auf praktische Erfahrungen mit physikalischen Phänomenen, die in Experimenten gesammelt werden können. Das sollte insbesondere in der Mittelstufe nicht der Fall sein.

In der Hospitation konnte festgestellt werden, dass es für Schüler, nicht zwingend nötig ist, Formeln zu kennen oder Berechnungen durchzuführen um ein Verständnis für Physik zu bekommen. Vielmehr muss den Schülern ein physikalisches Phänomen in Form eines Experiments gezeigt werden. Die Schüler sollten in solchen Experimenten eigene Erfahrungen machen dürfen. Aus diesen praktischen Erfahrungen heraus können dann weiterführende Sachverhalte erörtert werden, auch quantitativer Art. Hinreichend viele Beispiele dazu finden sich im beschriebenen Unterricht. So beispielsweise die Messung der Schallgeschwindigkeit in den Weinbergen. Bei dieser Messung wurden die Schüler direkt mit dem physikalischen Phänomen konfrontiert, und es wurden gleichzeitig verschiedene Kompetenzbereiche geschult, wie Kommunikation, Erkenntnisgewinnung oder Bewertung. Erst nach der Aufarbeitung der Messung und des Phänomens wurden Aufgaben gelöst. Positiv waren auch solche Einführungsstunden, in denen ausschließlich mit den Schülern zusammen experimentiert wurde. Beispiel hierfür sind die Einführungen zum Schweredruck oder zum Elektromagnetismus. Solche Unterrichtseinheiten, die nur Phänomene zeigen, sind auch an staatlichen Schulen durchführbar. Im Wesentlichen kann man den beschriebenen Unterricht, auch hinsichtlich der institutionellen Bedingungen, auf staatliche Schulen übertragen. Ob und wie dies geschieht, muss jeder Lehrer individuell entscheiden.

Man muss sich auch fragen, wie die Zukunft unseres Staatsschulsystems aussehen soll. „Könnten wesentliche Strukturen der Waldorfschule als Vorbild für das staatliche Schulsystem dienen?“ Beispielsweise die Heterogenität der Lerngruppen. Wie erwähnt, sind alle Waldorfschulen Gesamtschulen. Was heißt das? Gesamtschulen sind Schulen,

bei denen die Differenzierung in die Schule verlagert wird. Hier gibt es keine Haupt-, Sonder-, Realschüler oder Gymnasiasten. Es findet innerhalb einer Klasse eine Leistungsdifferenzierung, eine sogenannte innere Differenzierung, statt. Bei dieser geht der Lehrer speziell auf die Bedürfnisse leistungsstärkerer oder -schwächerer Schüler ein. Im klassischen dreigliedrigen Schulsystem ist die Situation anders: In der Grundschule werden die Schüler nach dem Differenzierungskriterium „Alter“ eingeteilt und man bildet Jahrgangsklassen. Dieses Differenzierungskriterium wird durch zwei weitere Kriterien ergänzt:

1. Es gibt ein zu erreichendes Klassenziel, um in die nächsthöhere Klassenstufe aufzusteigen. Wer dieses nicht erreicht, darf nicht vorrücken.
2. Eine Ausgrenzung (Sonderschule) bzw. Trennung (Haupt-, Realschule und Gymnasium) findet durch Ziffernnoten statt.

Ziel dieser Differenzierung ist es, relativ homogene Lerngruppen zu erhalten. Allerdings ist keine empirische Studie bekannt, die bestätigt, dass homogene Lerngruppen sinnvoller und effektiver als heterogene Lerngruppen sind.

In der Hospitation an der *Freien Waldorfschule Würzburg* konnte man den Eindruck gewinnen, dass für die Leistungen des einzelnen Schülers eine heterogene Lerngruppe nicht hinderlich ist. Im Gegensatz dazu muss man sich beim dreigliedrigen Schulsystem Gedanken machen, ob ein Zurücklassen eines Schülers – wenn er das Klassenziel nicht erreicht – oder das Trennen der Schüler ab der vierten Klasse negative psychologische Auswirkungen auf einzelne Schüler hat, wodurch die Schüler in ihrer natürlichen Entwicklung behindert werden. An Waldorfschulen umgeht man dieses Risiko und versucht individuell zu fordern und zu fördern. In dieser Hinsicht könnte die Waldorfschule in Zukunft ein Vorbild für staatliche Schulen sein.

VI Quellenverzeichnis

- [ANG 94]: ANGRESS, J. (1994): Einblick in die Waldorfschule. Erfahrungen einer israelischen Pädagogin. Stuttgart.
- [BRE 08]: BREME, C. (2008): Physik in der sechsten Klasse. Der methodische Dreischritt des Physikunterrichtes. In: Neuffer, H. (Hrsg.): Zum Unterricht des Klassenlehrers an der Waldorfschule. Ein Kompendium. Stuttgart.
- [DEM 06]: DEMTRÖDER, W. (2006): Experimentalphysik 1. Mechanik und Wärme. 4. neu bearbeitete und aktualisierte Auflage. Berlin, Heidelberg, New York.
- [DEM 09]: DEMTRÖDER, W. (2009): Experimentalphysik 2. Elektrizität und Optik. 5. überarbeitete und erweiterte Auflage. Berlin, Heidelberg.
- [FIE 08]: FIEDLER, R. (2008): Der Morgenspruch. Vom täglichen Unterrichtsbeginn in der Waldorfschule. In: Neuffer, H. (Hrsg.): Zum Unterricht des Klassenlehrers an der Waldorfschule. Ein Kompendium. Stuttgart.
- [GEI 04]: GEIPEL, R./REUSCH, W. (2004): Physik 8 II/III. Bamberg.
- [KRÄ 87]: KRÄMER, F. J./SCHERER, G./WEHNES, F. J. (1987): Antroposophie und Waldorfpädagogik. Information, Kritik. Annweiler.
- [LEB 92]: LEBER, S. (1992): Die Pädagogik der Waldorfschule und ihre Grundlagen. 3. überarbeitete Auflage. Darmstadt.
- [LIN 88]: LINDENBERG, C. (1988): Rudolf Steiner. Eine Chronik. 1861 – 1925. Stuttgart.
- [MAC 05]: VON MACKENSEN, M. (2005): Klang, Helligkeit und Wärme. Elektrizität, Magnetismus, Elektromagnetismus, Mechanik, Hydraulik und Aeromechanik. Phänomenologischer Physikunterricht, entwickelt aus Praxis und Theorie der Waldorfschule. Kassel.
- [MOS 06]: MOSCA, G./TIPLER, P. A. (2006): Physik. Für Wissenschaftler und Ingenieure. 2. deutsche Auflage. München.
- [ISB]: <http://www.isb.bayern.de/isb/download.aspx?DownloadFileID=cb001a9eb3247f1af15075b4d4b0d585> (zuletzt aufgerufen am 13.03.2010)

VII Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Ausbreitung einer ebenen Schallwelle in Gasen	S. 23
Abb. 2: Kräfte- und Druckzusammenhang auf der Oberfläche eines Flüssigkeitselements	S. 26
Abb. 3: Einführungsversuch 1 zum Schweredruck in Wasser	S. 41
Abb. 4: Einführungsversuch 2 zum Schweredruck in Wasser	S. 41
Abb. 5: Einführungsversuch 3 zum Schweredruck in Wasser	S. 42
Abb. 6: Einführungsversuch 4 zum Schweredruck in Wasser	S. 42
Abb. 7: Einführungsversuch 5 zum Schweredruck in Wasser	S. 43
Abb. 8: Versuch 1 zum Schweredruck in Wasser	S. 45
Abb. 9: Versuch 2 zum Schweredruck in Wasser	S. 46
Abb. 10: Versuch 3 zum Schweredruck in Wasser	S. 46
Abb. 11: Quantitatives Experiment zum Auftrieb in Wasser	S. 48
Abb. 12: Versuch 2 zum Auftrieb in Wasser	S. 50
Abb. 13: Versuch zum Druck als abgeleitete Größe	S. 52
Abb. 14: Oersted-Versuch	S. 54
Abb. 15: Spulewickeln a)	S. 55
Abb. 16: Spulewickeln b)	S. 55
Abb. 17: Klassenversuch zum Bau eines Elektromagneten	S. 57
Abb. 18: Nachweis der magnetischen Pole bei einem Elektromagneten a)	S. 59
Abb. 19: Nachweis der magnetischen Pole bei einem Elektromagneten b)	S. 59
Abb. 20: „Rennbahn-Experiment“	S. 61
Abb. 21: Experimentieren mit einer Klingel	S. 62
Abb. 22: Aufbau einer Klingel	S. 63
Abb. 23: Schema 1 zur Erklärung der Funktionsweise einer Klingel	S. 64
Abb. 24: Schema 2 zur Erklärung der Funktionsweise einer Klingel	S. 64
Abb. 25: Schema 3 zur Erklärung der Funktionsweise einer Klingel	S. 65
Abb. 26: Aufbau eines Gleichstrommotors	S. 65
Abb. 27: Stellung 1 des Ankers	S. 66
Abb. 28: Stellung 2 des Ankers	S. 66
Abb. 29: Stellung 3 des Ankers	S. 67
Abb. 30: Morgenspruch der Mittel- und Oberstufe an Waldorfschulen	S. 111

Abb. 31: Lehrplanvorschlag für den Physikunterricht der Mittelstufe an Waldorfschulen a)	S. 112
Abb. 32: Lehrplanvorschlag für den Physikunterricht der Mittelstufe an Waldorfschulen b)	S. 113
Abb. 33: Schallgeschwindigkeiten in Gasen und Flüssigkeiten	S. 114

VIII Anhang

1 Protokolle der Physikepoche an der *Freien Waldorfschule Würzburg*

Thema: Akustik (08.10.09)

7.50 Uhr: Unterrichtsbeginn

- Verwaltungsarbeit
- Es werden selbstgemalte Bilder der Schüler angesehen; sind selbstentworfenene Kostüme für ihr Theaterstück; Theaterstück (*Romeo und Julia*) wird besprochen (Wer hat wie viel bzw. welchen Text); Hausaufgabe → Text durchgehen; Bühnenbild wird mit den Schülern durchgesprochen; Schüler sollen das Bühnenbild selbst entwerfen → Es gibt freiwillige Meldungen.

8.08 Uhr: Rhythmusteil

- Sprechübungen z. B. *hahm, hiem, hohm, huhm...* usw.
- Morgenspruch

8.15 Uhr: Beginn Arbeitsteil

- Aufarbeitung zur Messung der Schallgeschwindigkeit
- Erzählteil über Wetterphänomene (Tiefdruck-, Hochdruckgebiet, Unwetter); erzählt Geschichte über Wanderausflug → wurde von Unwetter überrascht, es blitzte und donnerte sehr stark
- Frage an die Klasse: „Wie weit ist das Gewitter entfernt, wenn Blitz und Donner eine Sekunde versetzt sind?“; Schüler sind überfordert, Lehrer hilft mit Andeutung an den Versuch zur Messung der Schallgeschwindigkeit – Schallgeschwindigkeit 300m/s, Blitz (Licht) sieht man sofort → viele Meldungen + Antwort
- Lehrer erklärt, dass Schallgeschwindigkeit von 300m/s nicht exakt ist → Messungenauigkeiten beim Versuch; nennt Schallgeschwindigkeit von 340m/s (ist aber auch nicht richtig)
- Lehrer schreibt Aufgabe an die Tafel: „Vor einer Felswand höre ich mein Echo mit

einer Verzögerung von einer halben Sekunde. Wie weit bin ich von der Felswand entfernt?“ → Schüler übertragen diese ins Epochenheft

- Aufgabe wird im Plenum erarbeitet; Lehrer leitet Formel „Geschwindigkeit = Weg / Zeit“ an der Tafel her. Mit dieser Formel wird die Aufgabe an der Tafel gelöst; Tafelanschrift wird ins Epochenheft übertragen

9.15 Uhr: Ende Arbeitsteil

Bis 9.30 Uhr Besinnung:

Schüler sollen zur Ruhe kommen → dürfen schon etwas essen; Lehrer liest aus dem Buch *Die Geschichte der Welt* vor → **Unterrichtsende**

Notizen zum Gespräch mit Klassenlehrer und Schülern zur Messung der Schallgeschwindigkeit aus der letzten Epoche:

- Ankündigung am Vortag (Weinberge)
- Ss nahmen Topfdeckel, Maßband und zwei Stoppuhren mit
- Lehrer erklärte, was sie machen wollen (Schall breitet sich in Luft aus)
- Schülerbemerkung über Weltraum
- Strecke wurde abgemessen: ca. 300m
- Gruppenbildung (Protokolle, Zeitaufnahme, Tonerzeugung)
- Zeitunterschied wurde nach Zusammenschlagen der Topfdeckel gemessen
- mehrmalige Wiederholung der Messung
- Ergebnis: Schallgeschwindigkeit = 300m/s

Thema: Akustik (09.10.09)

9.45 Uhr: Unterrichtsbeginn → Rhythmusteil

- Sprechübungen: *sturz strenge stützen...*
- Morgenspruch
- mehrstimmiger Gesang

10.03 Uhr: Beginn Arbeitsteil

- Lehrer klatscht mehrmals in die Hände, um Echo im Klassenzimmer zu erzeugen; Schüler hören zunächst nichts; ermahnt sie genau hinzuhören → einige Schüler + Lehrer hören das Echo des Klatschens
- Einige Schüler dürfen nach vorne kommen und auch Klatschen → Diskussion ob man wirklich ein Echo hört; Lehrer schreitet mit Frage ein
- Frage des Lehrers: „Hört der Astronaut auf dem Mond ein Echo?“. Es folgen sofort mehrere Meldungen + Antwort
- Lehrer stößt Diskussion an über die Ausbreitung des Schalls in Wasser bzw. Holz; bezieht sich bei Erklärung auf Alltagsbeispiel der Schüler → Tauchen im Schwimmbad
- Erzählteil über das „Wesen der Stoffe“ (Erklärung der verschiedenen Schallgeschwindigkeiten)
- Tafelanschrift verschiedener Schallgeschwindigkeiten:
Schallgeschwindigkeit in Luft: 332m/s
Schallgeschwindigkeit in Wasser: 1.480m/s
Schallgeschwindigkeit in Holz: 4.800m/s
→ Schüler tragen sie ins Epochenheft ein!
- Lehrer diktiert Aufgaben zur Hausaufgabe:
 1. Wie vielen Stundenkilometern entspricht die Schallgeschwindigkeit (in Luft) von 332m/s?
 2. Von der Wetterwarte aus sieht man bis zum 11km entfernten Eibelsstadt. Dort zuckt ein Blitz in die Kirchturmspitze. Wie lange dauert es, bis der Wetterwart dumpfes Grollen hört?
 3. Im Wasser breitet sich Schall schneller aus als in der weichen Luft – 1.480 Meter pro Sekunde. Ein Echolot „horcht“ auf ein Signal, dass von einem Schiff zum Meeresboden gesandt wird und misst dann die Zeit, die es braucht, um das Echo zu „hören“. Welchen Zeitunterschied registriert das Echolot bei einer Tiefe des Meeres von 2.400 Metern?

11.15 Uhr: Ende Arbeitsteil + Unterrichtsende

Lehrer lässt Klasse allein, um mit mir in den Physikraum zu gehen und Versuche für das Thema „Hydrostatik“ vorzubereiten!

Thema: Hydrostatik (12.10.09)

7.50 Uhr: Unterrichtsbeginn

- Organisatorisches
- Lehrer prüft Hausaufgabe → fünf Schüler haben sie nicht
- Schüler haben einige Aufgaben nicht verstanden
- Hausaufgabe wird mit der Klasse aufgearbeitet
- Lehrer erklärt, wie man m/s in km/h umrechnet

8.19 Uhr: Rhythmusteil

- Morgenspruch
- Sprechübungen
- Gesang
- Zeugnissprüche der Schüler

8.44 Uhr: Beginn Arbeitsteil

- Lehrer erklärt Eigenschaften des Wassers (Kugelform eines Tropfens und Oberflächenspannung)

Freihandversuche:

1. Lehrer hat großes Wasserglas; Wasser ist eingefärbt; Wasserglas wird gekippt; Wasserstand ist überall gleich
2. U-Rohr mit Wasser gefüllt (unterbrochener Wasserspiegel); U-Rohr wird gekippt und der Wasserstand ist gleich
3. Schlauch wird mit farbigem Wasser gefüllt; Schlauch wird verschlungen gehalten; Wasserstand ist gleich hoch
4. Schüler setzt auf Schlauchende einen Trichter; Wasserstand gleich hoch; Schüler sind überrascht
5. *kommunizierende Röhren* werden mit Wasser gefüllt; Lehrer fragt die Klasse, wo das Wasser am höchsten stehen wird; Tipp der Schüler: schmalster Teil; Wasserstand in jedem Teil gleich
6. Wanne wird mit Wasser gefüllt; Lehrer will Wasserglas mit Schlauch in die Wanne gießen; funktioniert nur, bis Wasserstand gleich ist

9.30 Uhr: Ende Arbeitsteil → Unterrichtsende

Thema: Hydostatik (13.10.09)

7.50 Uhr: Unterrichtsbeginn

- Erzählteil über Schwere in einem See
- Geschichtliches über Archimedes → Gegenstände beim Baden leichter

8.08 Uhr: Rhythmusteil

- Sprechübungen
- Morgenspruch
- Gesang

8.26 Uhr: Beginn Arbeitsteil

- Gestrige Versuche werden reflektiert
- Frage: „Wie verhält sich das Wasser immer?“, „Es will immer glatt sein!“
- Merksätze werden diktiert
- Klassenversuch *Schlauchwaage*
- quantitatives Experiment zur Auftriebskraft
- Verschiedene Messproben verlieren Gewicht, wenn sie ins Wasser getaucht werden (Stein, Eisengewicht, Blei, Messing, Aluminium)
- Schüler legen Tabelle an

9.30 Uhr: Ende Arbeitsteil → Unterrichtsende

Thema: Hydrostatik (14.10.09)

7.50 Uhr: Unterrichtsbeginn → Rhythmusteil

- Morgenspruch
- Sprechübungen

- Zeugnissprüche der Schüler

8.07 Uhr: Beginn Arbeitsteil

- Lehrererklärung zur Wasserverdrängung: Wasser ist ein Stoff, der gerne nachgibt; harte Stoffe sind stur und geben nicht nach
- Schlauchwaage wird reflektiert und ins Epochheft geschrieben
- Tabelle von gestern wird ausgearbeitet

Freihandversuche:

1. Holzstück und Styroporkugel in einer Wasserwanne → beides schwimmt
 2. Tischtennisball wird unter Wasser gedrückt; lässt man ihn los, schnell er nach oben; Lehrer beschreibt, was er fühlt
- Mit diesen Versuchen Überleitung zum gestrigen Experiment → Aufarbeitung
 - Gewichtsverlust wird durch die Auftriebskraft erklärt
 - Lehrer erklärt, dass die Auftriebskraft der Schwerkraft entgegenwirkt usw.

9.13 Uhr: Ende Arbeitsteil

Bis 9.30 Uhr Besinnung:

Schüler sollen zur Ruhe kommen → dürfen schon etwas essen; Lehrer liest aus dem Buch *Die Geschichte der Welt* vor → **Unterrichtsende**

Thema: Hydrostatik (15.10.09)

7.50 Uhr: Unterrichtsbeginn → Rhythmusteil

- Morgenspruch
- Zeugnissprüche der Schüler
- Pantomimenspiel im Eurythmieraum

8.24 Uhr: Beginn Arbeitsteil

- Lehrer lässt verschiedene blecherne Gegenstände in einem Wasserbecken schwimmen

- Frage: „Warum schwimmen stählerne Schiffe?“
- lässt Blechdose schwimmen; Dose wird mit Gewichten beladen → Tiefgang
- Schüler dürfen schätzen → zulässiges Zuladegewicht
- Zuladegewicht kann berechnet werden
- Lehrervortrag und Erklärung des *Archimedischen Prinzips*: Die Auftriebskraft, die im Wasser auf einen Körper wirkt, ist so groß wie das Gewicht des durch ihn verdrängten Wassers
- Gleichung: Zahlenwert der Auftriebskraft = Zahlenwert des Volumens
- Berechnung des Volumens der Dose
- Erklärung über das Gewicht des Wassers
- Berechnung des zulässigen Zuladegewichts der Dose
- Lehrer diktiert: „Wenn ich also 1l verdrängen kann, kann ich also 1kg zuladen!“
- Zusammenfassung der Ergebnisse zum Auftrieb
- Lehrer schneidet noch den Tiefendruck an (Taucher Schwimmbad)
- will zeigen, dass der Druck überall gleich ist → klappt aber nicht

9.30 Uhr: Ende Arbeitsteil → Unterrichtsende

Thema: Hydrostatik (16.10.09)

9.45 Uhr: Unterrichtsbeginn → Rhythmusteil

- Morgenspruch
- Sprechübungen
- Gesang

9.58 Uhr: Beginn Arbeitsteil

- Wasserbecken wird von Schülern mit Wasser gefüllt
- Frage des Lehrers: „Ist der Druck in diesem Becken überall gleich?“
- Abstimmung 50:50

Versuchsreihe:

1. Rohr wird mit Acrylplatte abgedeckt und unter Wasser getaucht → Platte sitzt auf

Rohr, ohne dass der Lehrer die Platte festhält; dreht Rohr im Kreis → Platte sitzt fest am Rohr; bewegt Rohr nach oben → Platte löst sich

2. Abgeschnittene Plastikflasche mit Loch wird mit Wasser gefüllt → Wasserstrahl durch das Loch wird mit sinkendem Wasserstand immer geringer
3. Schüler stechen in eine große Plastikflasche untereinander Löcher (ca. 1cm Abstand). Eine Schülergruppe füllt Wasser hinein, eine andere hält die Löcher zu; Löcher werden aufgemacht → Wasserstrahl verlängert sich nach unten

Lehrer sagt, dass der Wasserdruck in der Tiefe zunimmt. Hausaufgabe sind Hausexperimente (Versuch 4 und 5):

- Es sollen in eine Plastikflasche gleichmäßig verteilt zwölf Löcher gestochen werden. Diese soll mit Wasser gefüllt und verschlossen werden. Die Schüler sollen dann die Wasserflasche zusammendrücken und die Wasserfleckenanordnung auf dem Boden beschreiben.
- Es soll eine flache Schale und eine Flasche mit Wasser gefüllt werden. Die Flasche soll kopfüber in die Schale gesteckt werden. Der auftretende Effekt soll beobachtet und beschrieben werden.

Hausversuche ins Epochenheft zeichnen und die Erlebnisse dazu schreiben; Hausaufgabe ist auch, wie immer, die Versuche zu Hause ins Epochenheft zu zeichnen und zu beschreiben.

11.02 Uhr: Ende Arbeitsteil

Bis 11.15 Uhr Besinnung:

Schüler sollen zur Ruhe kommen → dürfen schon etwas essen; Lehrer liest aus dem Buch *Die Geschichte der Welt* vor → **Unterrichtsende**

Thema: Hydrostatik (19.10.09)

7.50 Uhr: Unterrichtsbeginn → Rhythmusteil

- Sprechübungen
- Morgenspruch
- Flötenspiel

8.12 Uhr: Beginn Arbeitsteil

- Reflexion der Versuche
- Erklärung von Lehrer, dass der Wasserdruck in der Tiefe zunimmt
- „Weitpinkel-Wettbewerb“: Gefäße verschiedener Höhen und Breiten werden mit Wasser gefüllt
- Schüler dürfen wetten, welches Gefäß am weitesten „pinkelt“
- Ergebnis ist wie erwartet → Das höchste Gefäß „pinkelt“ am weitesten
- Lehrer erklärt, warum Stauseen nicht von der Wassermenge beeinflusst werden, sondern nur von der Wassertiefe; Druckverhältnisse beim Schnorcheln werden erklärt
- basteln sich am Ende noch ein Barometer → passt überhaupt nicht hier her (Schüler sind verwirrt)

9.30 Uhr: Ende Arbeitsteil → Unterrichtsende

Thema: Hydrostatik (20.10.09)

7.50 Uhr: Unterrichtsbeginn → Rhythmusteil

- Sprechübungen
- Morgenspruch
- Flötenspiel

8.09 Uhr: Beginn Arbeitsteil

- Exkurs zum Luftdruck → Lehrer erklärt ein Barometer
- Lehrer nimmt Staudamm und Schnorchler von gestern wieder auf
- Erklärung, dass der Druck (eigentlich Auflagedruck oder Spanndruck) von der Fläche abhängig ist
- Schüler muss sich auf Schulbank legen; Lehrer legt sich auf ihn drauf (etwas komisch). Er fragt den Schüler, ob er noch gut atmen kann (natürlich nicht)
- Brustkorb des Schülers wird ausgemessen; Ergebnis: 25cm mal 25cm
- Klasse soll sich vorstellen, dass Schüler auf den Grund eines Sees taucht; hat

sehr langen Schnorchel zum Atmen; legt sich auf den Rücken

- Frage des Lehrers: „Wieviel Gewicht lastet auf dem Brustkorb des Schülers?“
- Berechnung findet statt!
- Ergebnisinterpretation: Auf eine Fläche von 625cm^2 lastet ein Gewicht von 120kg
- Erklärung des Lehrers, wie man den Druck misst: Man misst den Druck nach dem Gewicht, das auf eine bestimmte Fläche drückt!
- Es wird die Formel $p = g/\text{cm}^2$ diktiert. Mit dieser Formel folgen Berechnungen
- Erklärt Prinzip der hydraulischen Presse mit Spritzenversuch; Berechnung dazu

9.20 Uhr: Ende Arbeitsteil

Bis 9.30 Uhr Besinnung:

Schüler sollen zur Ruhe kommen → dürfen schon etwas essen; Lehrer ließt aus dem Buch *Die Geschichte der Welt* vor → **Unterrichtsende**

Thema: Elektromagnetismus (21.10.09)

7.50 Uhr: Unterrichtsbeginn → Rhythmusteil

- Morgenspruch
- Sprechübungen
- Gesang

8.12 Uhr: Beginn Arbeitsteil

- Lehrer reflektierte bis 8.30 Uhr seinen Unterricht; danach begann mein Unterricht zum E-magnetismus
- Insgesamt konnte ich drei Versuche durchführen:
 1. Magnetisieren eines Weicheisenstabes
 2. Oersted-Versuch (als Stromindikator Glühlampe)
 3. Leiterschleife einfach und mehrfach gewickelt (als Stromindikator Glühlampe)

Anmerkungen:

zu Versuch 1: Die Schüler experimentierten mit. Es wurden mehrer Nägel und Permanentmagnete ausgeteilt.

zu Versuch 2: Die Schüler waren sehr überrascht. Sie sprachen von einem Geist, der die Magnetrnadel bewegt hat.

zu Versuch 3: Es entwickelte sich ein Aufwickelwettbewerb. Die Schüler wollten eine größere magnetische Wirkung erreichen.

9.15 Uhr: Ende Arbeitsteil

Bis 9.30 Uhr Besinnung:

Schüler sollten zur Ruhe kommen → durften schon etwas essen; Lehrer las aus dem Buch *Die Geschichte der Welt* vor → **Unterrichtsende**

Thema: Elektromagnetismus (22.10.09)

7.50 Uhr: Unterrichtsbeginn → Rhythmusteil

- Sprechübungen
- Morgenspruch
- Gesang, Flötenspiel

8.10 Uhr: Beginn Arbeitsteil

- Reflexion der Versuche vom Vortag (einige Sätze wurden diktiert)
- Erklärung der Magnetisierung (Versuch 1 Vortag) durch das Prinzip der Elementarmagnete; Elektromagnetismus wurde ohne Erklärung als Phänomen dargestellt

Bau eines Elektromagneten:

- vor der Stunde wurde ein langes isoliertes Kabel durch die Schulbänke verlegt; Spannungsquelle und Stromindikator (Glühlampe) am Lehrerpult
- Schüler erhielten einen Nagel, eine Kompassnadel und mehrere Büroklammern
- Schüler sollten um einen Bleistift eine Spule wickeln (20 mal); Spule wurde vom Stift genommen und die Spannungsquelle eingeschaltet → Es war eine schwa-

che magnetische Wirkung festzustellen (nur an Kompassnadel)

Anmerkung:

Bei manchen Schülern trat keine bzw. nur eine sehr schwache magnetische Wirkung auf, da die Spule zu sehr in die Länge gewickelt wurde.

- Schüler sollten die Spule auf den Nagel stecken → magnetische Wirkung ist größer, die Schüler konnten mehrere Büroklammern damit heben

Anmerkung:

Einige Schülergruppen versuchten selbständig die magnetische Wirkung durch ein Erhöhen der Windungszahl zu steigern; ist auf das geschaffene Wissen durch die gestrigen Versuche zurückzuführen (Versuch 3)

9.10 Uhr: Ende Arbeitsteil

Bis 9.30 Uhr Besinnung:

Schüler sollten zur Ruhe kommen → durften schon etwas essen; Lehrer las aus dem Buch *Die Geschichte der Welt* vor → **Unterrichtsende**

Thema: Elektromagnetismus (23.10.09)

9.45 Uhr: Unterrichtsbeginn → Rhythmusteil

- Sprechübungen
- Morgenspruch
- Gesang

10.00 Uhr: Beginn Arbeitsteil

- Reflexion und Aufarbeitung des Versuchs von gestern

Im Anschluss wurden drei Versuche durchgeführt, die das Wissen um die magnetische Wirkung von Spulen vertiefen und festigen sollten.

- Ein Experimentierwagen, der mit einem Permanentmagneten ausgerüstet war, wurde so vor die Spule (500 Windungen) gestellt, dass er von der Spule beim Schließen des Stromkreises abgestoßen wurde. Versuch wurde so wiederholt, dass der Wagen angezogen wurde.

Anmerkung: Schüler waren erstaunt darüber, dass auch die Spule magnetische Pole besitzt.

- Die Schüler mussten für eine „Rennbahn“ im Klassenzimmer Platz schaffen. Zwei Spulen mit gleicher Windungszahl (500 Windungen) wurden nebeneinander auf den Boden gestellt. Eine Spule wurde mit Nägeln (Eisenkern) gefüllt. Der Experimentierwagen wurde von beiden Spulen abgestoßen, und die Schüler markierten jeweils die Fahrweite. Der Versuch wird mit Spulen der Windungszahl 1000 wiederholt.

Anmerkung: Schüler durften wieder wetten. Einige Schüler waren immer noch über das Phänomen überrascht, dass die Spule mit dem Eisenkern den Wagen stärker abstößt. Die meisten konnten ihr bisheriges Wissen transferieren.

- Beim letzten Versuch wurde eine Spule auf einen U-förmigen Weicheisenkern gesetzt. Damit wurde Eisenschrott angezogen → Schrottplatzkran

11.15 Uhr: Ende Arbeitsteil → Unterrichtsende

Thema: Elektromagnetismus (26.10.09)

7.50 Uhr: Unterrichtsbeginn → Rhythmusteil

- Sprechübungen
- Morgenspruch
- Gesang, Flötenspiel
- Organisatorisches

8.30 Uhr: Beginn Arbeitsteil

- Als technische Anwendung zum Elektromagnetismus wurde von mir die *Klingel* unterrichtet
- Die Schüler durften am Anfang selbst mit einer Klingel experimentieren; dabei sollten sie darauf achten, was zu beobachten ist, wenn sie klingelt; Material: mehrere Klingeln, einige 9V-Batterien und Kabel
- Erzählteil über die Geschichte der Klingel
- Der Aufbau einer Klingel wurde an der Tafel mit den Schülern erarbeitet

- Die Funktionsweise einer Klingel wurde anhand von drei Schritten mit Tafelbildern erklärt
- Ergebnisse wurden am Ende ins Epochenheft diktiert

9.30 Uhr: Ende Arbeitsteil → Unterrichtsende

Thema: Elektromagnetismus (27.10.09)

7.50 Uhr: Unterrichtsbeginn → Rhythmusteil

- Sprechübungen
- Morgenspruch
- Gesang

8.12 Uhr: Beginn Arbeitsteil

- Als weitere technische Anwendung zum Elektromagnetismus unterrichtete ich den Elektromotor (Gleichstrommotor) → allerdings nur sehr oberflächlich
- Vor der Stunde baute ich einen großen Gleichstrommotor am Lehrerpult auf. Er wurde angeworfen, und die Schüler durften nach vorne kommen, ihn beobachten und betrachten (Einige Schüler erkannten bekannte Bauteile des E-motors).
- Bauteile des E-motors wurden an der Tafel mit den Schülern erarbeitet und benannt (der Polwender noch nicht).
- Drei Stellungen des Ankers wurden mit den Schülern an der Tafel betrachtet. So wurde ihnen klar, warum sich der Anker dauerhaft drehen kann. Innerhalb dieser Betrachtungen wurde der Polwender erklärt.
- Am Ende wurden den Schülern Anwendungsbeispiele genannt, z. B. CD-Player oder Fön.

9.30 Uhr: Ende Arbeitsteil → Unterrichtsende

28.10.09:

Zusammenfassung und Besprechung der gesamten Physikepoche

29.10.09:

Abschlussübung zur Physik

2 Epochenhefteinträge

HYDROSTATIK

1 Versuch



Wenn ich das Gefäß kippe, bleibt der Wasserspiegel trotzdem waagrecht.

2 Versuch



Auch in einem U-Rohr bleibt der unterbrochene Wasserspiegel beim Kippen in beiden Rohrleitern gleich hoch.

3 Versuch



Selbst in verschlungenen Gefäßen streben Wasserspiegel einen Gleichstand an.

4. Versuch



Obwohl das eine Schlauchende viel höher ist, kann es den anderen Wasserspiegel nicht höher als den eigenen drücken.

5. Versuch



Auch hier bleibt der Wasserspiegel immer auf gleicher Höhe.

Eigenschaften des Wassers

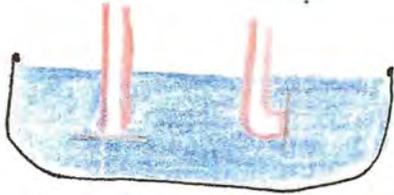
Wir wissen bereits, dass Wasser im Schwerelosfall die kugelige Tropfenform annimmt. In der Schwerkraft der Erde sucht Wasser zwar immer den horizontalen Ausgleich, der aber mit Blick auf die ganze Erde auch auf eine Kugelgestalt der Weltmiese hinausläuft.

Unsere Versuche 1-6 haben uns folgendes gelehrt:

1. Der Wasserspiegel will immer glatt und horizontal sein.
2. Wenn Gefäße unterschiedlichster Art untereinander verbunden sind, dann ist der Wasserspiegel des darin befindlichen Wassers überall gleich hoch. - Das nennt man das Prinzip der „kommunizierenden Röhren“; dieses findet Anwendung beim Wasserturm und in den Rohren der Haushalte.

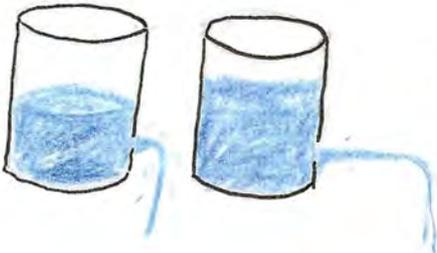
Druckversuche mit Wasser

- ① Wir hielten eine lose Abdeckplatte vor ein Rohr und tauchten es in Wasser.



Der Druck des schweren Wassers hat die Platte gehalten und sie fiel auch nicht herab, wenn sie senkrecht gehalten wurde. - Dies zeigt, der Wasserdruck kommt von allen Seiten gleichmäßig und wird in der Tiefe größer.

②



Durch ein Loch in der Nähe des Bodendeckels spritzt Wasser heraus. Je höher der Wasserstand ist, desto kräftiger ist der Strahl.

③

Je mehr Wasser über der Öffnung, desto größer ist der Druck und umso weiter spritzt der Strahl.



Die Auftriebskraft im Wasser

Wir erfahren mit jedem Bad, dass wir im Wasser leichter werden und nahezu schweben. Auch Steine sind im Wasser leichter; manche Körper schwimmen sogar - alles erfährt im Wasser eine wunderbare Auftriebskraft.

Wir messen, wie diese Kraft auf unterschiedliche Materialien wirkt.

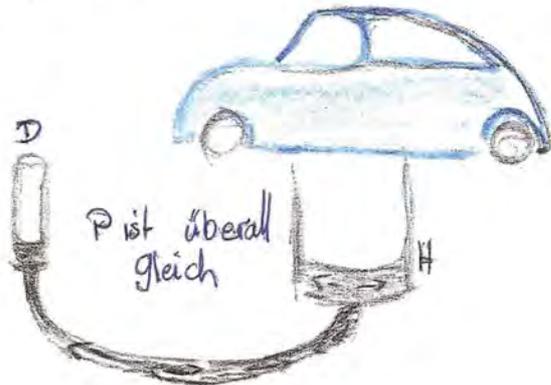


Über die Auflageplatte einer Waage führen wir eine Schnur an die wir verschiedene Dinge hängen. Wir messen das Gewicht in der Luft und im Wasser. Zugleich lesen wir am Messbecherglas die Zunahme des Wasserstandes ab, und haben damit das Volumen (die Raumnahme) im Wasser des Körpers bestimmt.

Gegensatz	Gewicht in Luft	Gewicht in Wasser	Gewichtsverlust	Wasser- verdrängung
Stein	103g	65g	38g	37 ml
Eisengewicht	489g	420g	69g	75 ml
Blei	425g	384g	41g	35 ml
Messing	373g	335g	38g	45 ml
Aluminium	259g	178g	81g	80 ml

Rechnen mit Druck

Wir wollen ein Auto von 1200 kg mit einer hydraulischen Pumpe anheben. Der Druckkolben (D) hat $\varnothing 20\text{cm}$; Der Hebelkolben (H) einen \varnothing von 50cm. Wie groß muss die Kraft bei D sein, um das Auto bei H zu heben?



Gefragt ist die Kraft K_D am kleinen Druckkolben, die der Kraft von 1200 kg am Hebelkolben die Waage hält.

$$p = \frac{K_D}{F_D} = \frac{K_H}{F_H} = p$$

$$\frac{K_D}{F_D} = \frac{K_H}{F_H} \quad || \cdot F_D$$

$$\frac{K_D \cdot F_D}{F_D} = \frac{K_H \cdot F_D}{F_H}$$

$$\frac{12 \cdot 9}{96} = 2 = 48 \text{ kg}$$

$$\frac{12 \cdot 4}{48}$$

Ich muss mit 48 kg Kraft auf
weisen, um das schwere Auto
zu heben.

Elektromagnetismus

Wir legten einen großen Stromkreis durch unsere Klasse, sodass durch jede Reihe ein Leiter ging. Jetzt wickelte jede Reihe den Leiter 15-20 mal um einen Bleistift. Wir zogen den Bleistift heraus, und machten den Strom an. Jede Reihe bekam einen Nagel, eine kleine Kompassnadel und eine Büroklammer. Jetzt durften wir „experimentieren“:

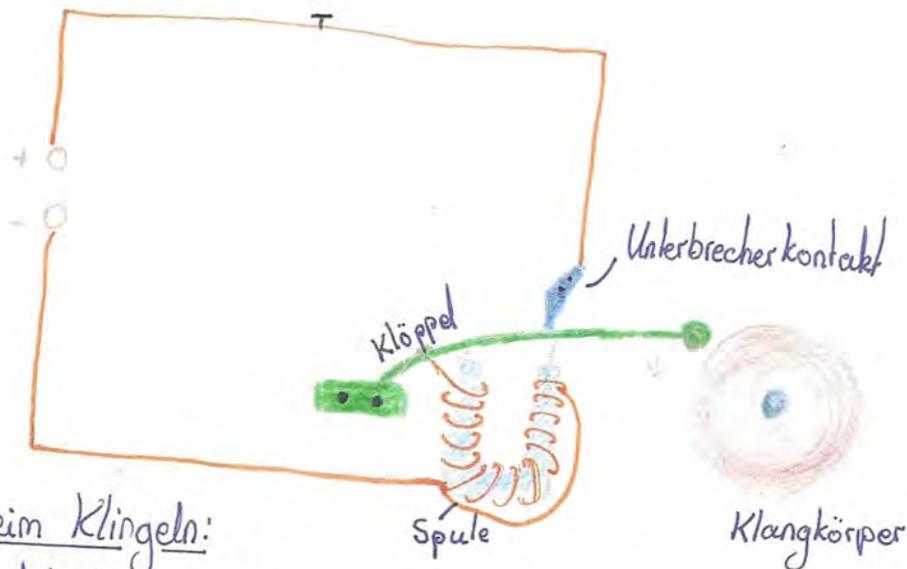


BEOBSACHTUNGEN:

1. Spule ohne Nagel hatte schwachen Magnetismus.
2. Als der Nagel in die Spule eingeführt wurde, war er hinkuchen magnetisiert.
3. Die Magnetwirkung war wesentlich stärker als der Nagel in der Spule war.

Die Klingel

Aufbau einer Klingel:



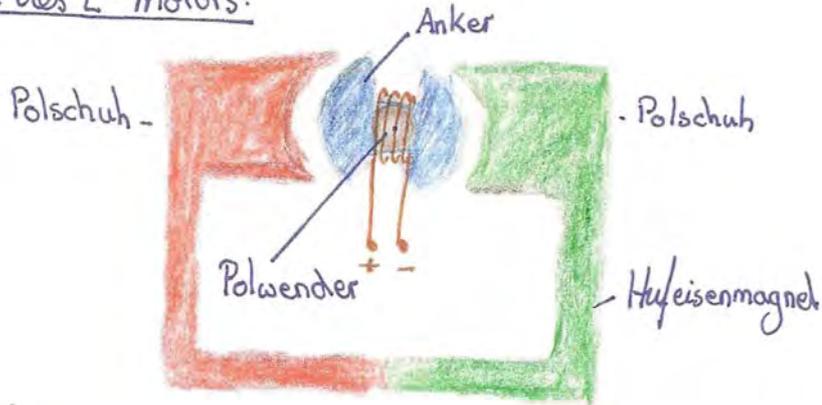
Beobachtung beim Klingeln:

Sobald Strom fließt, schlägt der Klöppel auf den Klangkörper.
Wir hören ein Klingeln!

Sobald Strom innerhalb des Stromkreises fließt, werden die Spulen magnetisch. Darauf hin ziehen sie den Klöppel an und dieser schlägt auf den Klangkörper. Allerdings wird dadurch der Stromkreis durch den Unterbrecherkontakt gestört. Es fließt kein Strom mehr. Der Klöppel wird wieder losgelassen. Dieser Vorgang beginnt nun wieder von vorn.

Der Elektromotor...

Aufbau des E-motors:



Stellung 1:



Die Pole des Ankers und die Pole des Hufeisenmagneten stoßen sich ab. Damit der Anker sich bewegt muss man ihn andrehen.

Stellung 2:



Die ungleichnamigen Pole ziehen sich an. Es kommt dadurch zu einer Drehung, die keine Hilfe von außen benötigt.

Stellung 3:



↓ Umpolung durch Polwender



Der Polwender polt den Anker um, sodass der Anker sich weiter drehen kann. Durch die bereits vorhandene Drehbewegung muss der Anker nicht wieder angelehrt werden er hat noch Schwung. *

* Dadurch entsteht die Kreisbewegung des Ankers.

3 Abschlussübung der Physikepoche

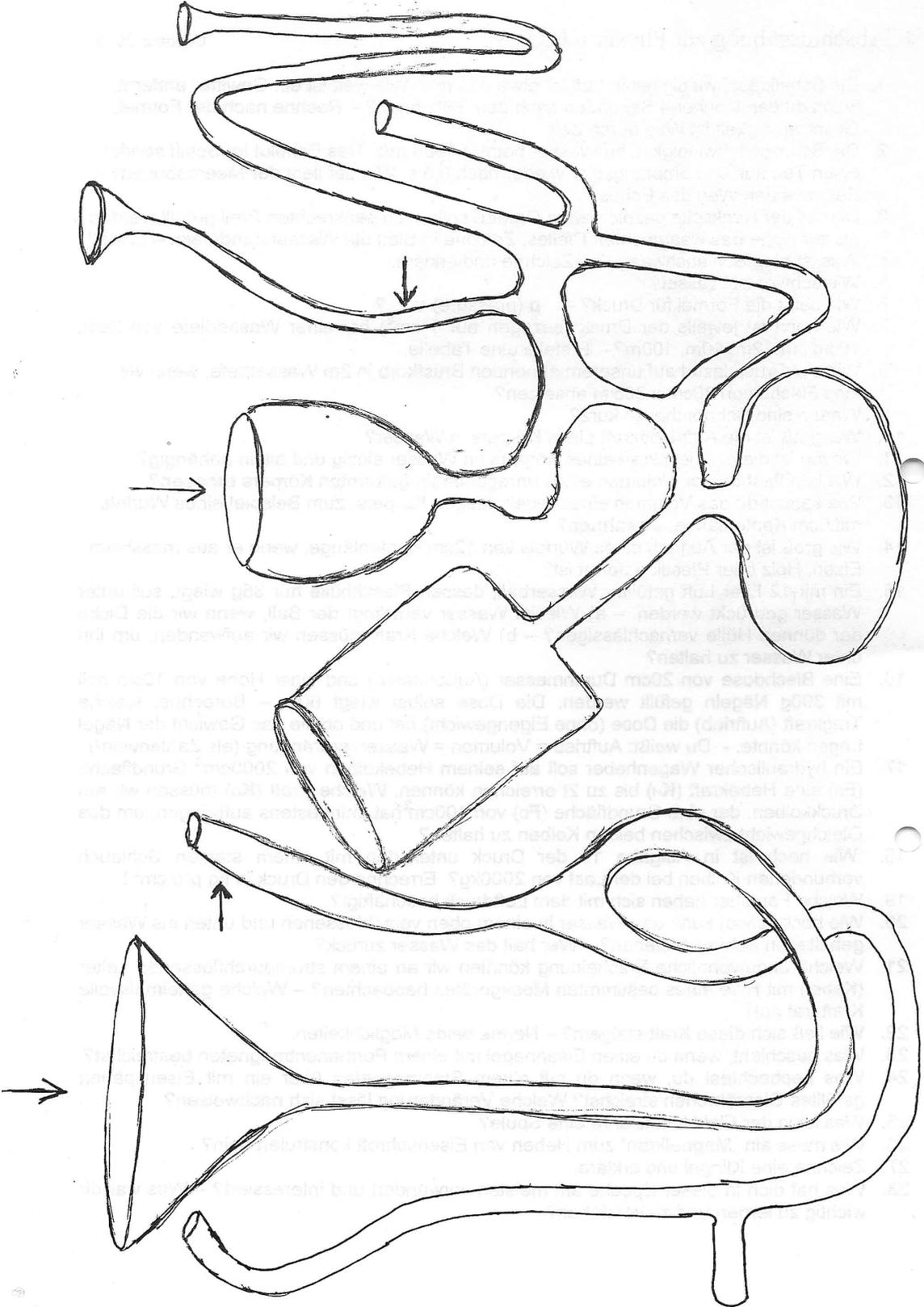
Vorderseite:

Abschlussübung zur Physik Klasse 8

Oktober 2009

1. Die Schallgeschwindigkeit in Luft ist etwa 340 m/s. Wie weit ist ein Gewitter entfernt, wenn du den Donner 4 Sekunden nach dem Blitz hörst? – Rechne nach der Formel: Geschwindigkeit ist Weg durch Zeit!
2. Die Schallgeschwindigkeit im Wasser beträgt 1480 m/s. Das Echolot im Schiff sendet einen Ton aus und empfängt ihn wieder nach 0,5 s. Wie tief liegt der Meeresboden? – Bedenke den Weg des Echos!
3. Die auf der Rückseite gezeichneten Gefäße sollen am senkrechten Pfeil gefüllt werden bis zur Höhe des waagrechten Pfeiles. Zeichne in Blau die Wasserstände ein. – Lineal!
4. Was ist eine Schlauchwaage? – Zeichne und erkläre.
5. Wie schwer ist Wasser?
6. Wie heißt die Formel für Druck? – p (pressure) = ?
7. Wie hoch ist jeweils der Druck (bezogen auf 1 cm^2) bei einer Wassertiefe von 2cm, 10cm, 1m, 2m, 10m, 100m? - Erstelle eine Tabelle.
8. Wie viel Druck lastet auf unserem atmenden Brustkorb in 2m Wassertiefe, wenn wir eine Fläche von $30\text{cm} \times 30\text{cm}$ ansetzen?
9. Warum sind Schnorchel so kurz?
10. Wie groß ist die Auftriebskraft eines Körpers in Wasser?
11. Wovon ist die Auftriebskraft eines Körpers im Wasser einzig und allein abhängig?
12. Wie könntest du das Volumen eines unregelmäßig geformten Körpers **messen**?
13. Wie kannst du das Volumen eines regelmäßigen Körpers, zum Beispiel eines Würfels mit 6cm Kantenlänge, **errechnen**?
14. Wie groß ist der Auftrieb eines Würfels von 12cm Kantenlänge, wenn er aus massivem Eisen, Holz oder Plastik geformt ist?
15. Ein mit 12 Liter Luft gefüllter Wasserball, dessen Plastikhülle nur 35g wiegt, soll unter Wasser gedrückt werden. – a) Wieviel Wasser verdrängt der Ball, wenn wir die Dicke der dünnen Hülle vernachlässigen? – b) Welche Kraft müssen wir aufwenden, um ihn unter Wasser zu halten?
16. Eine Blechdose von 20cm Durchmesser (Außenkante) und einer Höhe von 10cm soll mit 300g Nägeln gefüllt werden. Die Dose selbst wiegt 60g. – Berechne, welche Tragkraft (Auftrieb) die Dose (ohne Eigengewicht) hat und ob sie das Gewicht der Nägel tragen könnte. - Du weißt: Auftrieb = Volumen = Wasserverdrängung (als Zahlenwert!)
17. Ein hydraulischer Wagenheber soll auf seinem Hebekolben von 2000cm^2 Grundfläche (F_H) eine Hebekraft (K_H) bis zu 2t erreichen können. Welche Kraft (K_D) müssen wir am Druckkolben, der eine Grundfläche (F_D) von 100cm^2 hat, mindestens aufbringen, um das Gleichgewicht zwischen beiden Kolben zu halten?
18. Wie hoch ist in Aufgabe 17 der Druck unter den mit einem starken Schlauch verbundenen Kolben bei der Last von 2000kg? Errechne den Druck in kg pro cm^2 !
19. Welche Forscher haben sich mit dem Luftdruck beschäftigt?
20. Wie hoch (etwa) kann das Wasser in einem oben verschlossenen und unten ins Wasser gehaltenen Schlauch stehen? – Wer hält das Wasser zurück?
21. Welche ungewöhnliche Erscheinung könnten wir an einem stromdurchflossenen Leiter (Kabel) mit Hilfe eines bestimmten Messgerätes beobachten? – Welche geheimnisvolle Kraft trat auf?
22. Wie ließ sich diese Kraft steigern? – Nenne beide Möglichkeiten.
23. Was geschieht, wenn du einen Eisennagel mit einem Permanentmagneten bestreichst?
24. Was beobachtest du, wenn du mit einem Stabmagneten über ein mit Eisenspänen gefülltes Glasröhrchen streichst? Welche Veränderung lässt sich nachweisen?
25. Was ist in der Elektrizitätslehre eine Spule?
26. Wie muss ein „Magnetkran“ zum Heben von Eisenschrott konstruiert sein?
27. Zeichne eine Klingel und erkläre.
28. Was hat dich in dieser Epoche am meisten verwundert und interessiert? – Was war dir wichtig zu lernen und zu verstehen?

Rückseite:



4 Morgenspruch der Mittel- und Oberstufe

Ich schaue in die Welt;
In der die Sonne leuchtet,
In der die Sterne funkeln;
In der die Steine lagern,
Die Pflanzen lebend wachsen,
Die Tiere fühlend leben,
In der der Mensch beseelt
Dem Geiste Wohnung gibt;
Ich schaue in die Seele,
Die mir im Innern lebet.
Der Gottesgeist, er webt
In Sonn'- und Seelenlicht,
Im Weltenraum, da draußen,
in Seelentiefen, drinnen. –
Zu Dir, o Gottesgeist,
Will bittend ich mich wenden,
Daß Kraft und Segen mir
Zum Lernen und zur Arbeit
In meinem Innern wachse.

Abbildung 30: Morgenspruch der Mittel- und Oberstufe an Waldorfschulen

Quelle: [FIE 08, S. 70]

5 Lehrplanvorschlag für den Physikunterricht der Mittelstufe an Waldorfschulen

6. Klasse

Akustik in der 6. Klasse

Das Herausgehören der Akustik aus der Musik

1. Hohe und tiefe Streichklänge
2. Erkenntnistheoretische Zwischenbemerkung
3. Hoch und Tief an weiteren Instrumenten
4. Pädagogische Bezüge

Auf dem Weg zu einer Tonleiter

1. Die Oktave
2. Intervalle und Zahlenverhältnisse
3. In Intervallbrücken unterwegs
4. Tonleiter
5. Der Tonleiter-Flügel
6. Das „Geheimnis“ der kleinen ganzen Zahlen

Schwingungsphänomene

1. Chladnifiguren
2. Eigenbauinstrument

Der Kehlkopf

Zusammenfassung und Abschluss

Literatur zur Akustik

Optik in der 6. Klasse

Wie soll Erkenntnis gesucht werden?

Der Anfangsunterricht

1. Der Morgen
2. Nachbilder und Kontrastphänomene
3. Das Mithelle
4. Eigenhelles / Eigendunkles
5. Himmel und Erde
6. Durchsichthelles / Richthelles
7. Zur Methode

Zwei Lichtideen, gegenübergestellt

Das Sehen und die Sonne

1. Wie und warum Lichtlehre?
2. Das Sehen
3. Umfeld und Einzelfleck
4. Sinneslehre
5. Der kosmische Umkreis
6. Weiteres zu Nachbildern und Farben

Schatten

1. Schattenschwärze
2. Schattenkonstruktion
3. Schattenschärfe
4. Gestufter Schatten
5. Fließendes Schattenbild
6. Schatten als Bild des Ganzen

Was ist Licht?

Wärmelehre in der 6. Klasse

1. Die Urwärme
2. Vom Eis zum flüssigen Metall
3. Bilder für die Wärme
4. Wärmeisolation

Elektrizitätslehre in der 6. Klasse

Magnetismus in der 6. Klasse

Abbildung 31: Lehrplanvorschlag für den Physikunterricht der Mittelstufe an Waldorfschulen a)

verändert nach: [MAC 05, Inhaltsverzeichnis]

7. Klasse

Akustik in der 7. Klasse

1. Die Stimmgabel
2. Schwingspur und Frequenz

Optik in der 7. Klasse

Spiegelercheinungen

1. Was erleben wir im Umkreis des Spiegels?
2. Der Mensch vor der Spiegelfläche
3. Wer kennt das Spiegelbild?
4. Die „Jenseitskiste“
5. Das Diesseits verschwindet
6. „Nur das Blut rettet uns“

Bildstrukturen am Spiegel

1. Das Spiegelgesetz in einer Vorform
2. Die Rechts/Links-Umkehr
3. Das Spiegelgesetz im reinen Sehen
4. Kritik des „Jenseits“

Schulphysik

1. Übergang zum konventionellen Spiegelgesetz
2. Didaktische Bemerkungen

Schritte zum Lochbild

1. Stilschatten und Gegenbewegung
2. Die Lochkamera

Wärmelehre in der 7. Klasse

1. Wärme und Umgebung
2. Wärmeausdehnung
3. Technische Thermometer
4. Eisversuche

Elektrizitätslehre in der 7. Klasse

Der Galvanismus

Die Volta-Säule

Der Stromkreis

Das Elektrizitätserlebnis

Magnetismus in der 7. Klasse

Mechanik in der 7. Klasse

1. Der Hebel
2. Kräfte an einer Achse
3. Von der festen Rolle zum Flaschenzug
4. Schiefe Ebene, Schraube

8. Klasse

Optik in der 8. Klasse

1. Methodisches
2. Der Blick ins Wasser
3. Die farbigen Ränder
4. Das Prisma
5. Von der Verrückung bis zur Vergrößerung
6. Verschwimmepunkt und Umkehr
7. Brennweite
8. Lupe und Brille
9. Vom freien Bild zum Fernrohr

Wärmelehre in der 8. Klasse

1. Konvektion – Wärmeströmung
2. Sogenannte Wärmeströmung, Infrarot
3. Wärmemitnahme im Material (Wärmeleitung)
4. Wärmetechnische Apparate
5. Naturbild

Elektromagnetismus in der 8. Klasse

1. Der Elektromagnet
2. Die Telegraphie
3. Die Klingel
4. Die Sicherung
5. Das Messinstrument
6. Elektromotor
7. Der Dynamo
8. Wechselstrom und Steckdose
9. Die elektrifizierte Welt

Hydraulik in der 8. Klasse

1. Kraft und Druck
2. Tiefendruck
3. Das Schwimmen
4. Die Dichte
5. Das Archimedische Prinzip
6. Technische Anwendungen, Übungsaufgaben
7. Tauchen

Aeromechanik in der 8. Klasse

1. Der Sog
2. Die Atmosphäre
3. Die Kraft des Luftdruckes
4. Höhenunterschiede/Druckunterschiede
5. Anwendungsaufgaben

Akustik in der 8. Klasse

1. Luftschwingungen
2. Luftwellen
3. Die Schallgeschwindigkeit
4. Vakuum
5. Tonerleben

Abbildung 32: Lehrplanvorschlag für den Physikunterricht der Mittelstufe an Waldorfschulen b)

verändert nach: [MAC 05, Inhaltsverzeichnis]

6 Schallgeschwindigkeiten in Gasen und Flüssigkeiten

Medium	$v_{\text{Ph}}/\text{m s}^{-1}$ bei 0 °C	$v_{\text{Ph}}/\text{m s}^{-1}$ bei 100 °C
Luft	331,5	387,5
Wasserstoff	1284	1500
Sauerstoff	316	369
Helium	965	1127,1
Argon	319	372,6
CO ₂ -Gas	259	313
Wasser	1402	1543
Methanol	1189	
Pentan	951	
Quecksilber	1450	

Abbildung 33: Schallgeschwindigkeiten in Gasen und Flüssigkeiten

Quelle: [DEM 06, S. 378]

IX. Selbständigkeitserklärung

E r k l ä r u n g

Hiermit versichere ich, dass ich die Arbeit in allen Teilen
selbständig gefertigt und keine anderen als die in der Arbeit
angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Die Zeichnungen, Kartenskizzen und bildlichen Darstellungen
habe ich selbst gefertigt.

Würzburg, den

Unterschrift