

Skript zur Vorlesung

**Physikbezug im
Heimat- und Sachunterricht
der Grundschule
(Freihandexperimente)**

(Wintersemester 2013/14)

Dieses Geheft enthält in kompakter, oft nur stichpunktartig aufzählender Form, die wesentlichen fachlichen und experimentellen Grundlagen, wie sie in der Vorlesung „Physikbezug im Heimat- und Sachunterricht der Grundschule“ vorgestellt werden.

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

S. Hilger

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

<http://www.ku.de/mgf/mathematik/didaktik/didaktik-der-physik/lehre/>

Inhaltsverzeichnis

1	Überblick	5
1.1	Termine	5
1.2	Eine eigene Physik-Sammlung	6
1.2.1	Optiker	6
1.2.2	Elektrobedarf	6
1.2.3	Heimwerkerbedarf	6
1.2.4	KrimsKrams	6
1.2.5	Materialien	7
1.2.6	Physikalische Geräte und Versuche	7
1.2.7	Elektronik	7
1.2.8	Spielen und Lernen, allg. Schulbedarf	7
1.3	Anregungen	8
2	Erfahrungen mit dem einfachen elektrischen Stromkreis	10
2.1	Typen von Stromquellen	10
2.2	Die elektrische Leitfähigkeit	11
2.2.1	Die el. Leitfähigkeit von Wasser	11
2.2.2	Die el. Leitfähigkeit beim Menschen	12
2.2.3	Die el. Leitfähigkeit der Erde	12
2.3	Welche Stoffe leiten den elektrischen Strom?	13
2.4	Wirkungen des elektrischen Stromes	14
2.4.1	Wärmewirkung	14
2.4.2	Lichtwirkung	15
2.4.3	Schmelzwirkung	15
2.4.4	Magnetwirkung	15
2.4.5	Chemische Wirkung	16
2.5	Kleiner Exkurs zum Thema Glühfarbe	17
2.6	Exkurs: Volt — Watt — Ampere — Ohm — Kilowattstunden	18
2.6.1	Volt	18
2.6.2	Ampere — Watt	18
2.6.3	Ohm	19
2.6.4	Aufgaben	20
3	Erfahrungen mit Magneten	22
3.1	Magnetische Kräfte	22
3.2	Dauermagnete	22
3.3	Welche Stoffe sind magnetisch?	23
3.4	Die Pole eines Magneten	24
3.5	Das Erdmagnetfeld	24
3.6	Kompass	25
3.7	Magnetisierung	25
3.7.1	Mikroskopische Deutung	25
3.8	Magnetfelder	26
3.9	Magnetismus und elektrischer Strom	26
3.10	Wirkungen des Magnetismus	26

4	Erfahrungen mit Licht	27
4.1	Lichtquellen (Selbstleuchtende Körper)	27
4.2	Lichtstrahlen	27
4.3	Schattenbildung	27
4.4	Die Lochkamera	28
4.5	Beugung	28
5	Erfahrungen mit Spiegeln	29
5.1	Beobachtungen im ebenen Spiegel	29
5.2	Das Spiegelbild	30
5.3	Besondere Spiegel	30
6	Erfahrungen mit Lupen und Linsen	32
6.1	Brechung	32
6.2	Flimmern und Schlierenbildung	32
6.3	Experimente mit Milchglas	32
6.4	Totalreflexion	33
6.5	Erfahrungen mit Lupen	33
6.6	Erfahrungen mit Zerstreuungslinsen	34
6.7	Andere optische Geräte	35
7	Erfahrungen mit Wasser	36
7.1	Welche Dinge schwimmen, tauchen unter, steigen, sinken, schweben?	36
7.2	Sinken, Steigen <u>im</u> Wasser	37
7.3	Schweben <u>im</u> Wasser	37
7.4	Schwimmen <u>auf</u> dem Wasser	38
7.5	Schweredruck im Wasser	38
7.6	Wasser und Luftdruck	39
7.7	Kräfte zwischen den Wassermolekülen	40
7.7.1	Kohäsionskräfte	40
7.7.2	Adhäsionskräfte	40
7.7.3	Die Oberflächenspannung	40
7.7.4	Kapillarität	40
7.8	Strömendes Wasser kann saugen	41
7.9	Wasserdampf	41
8	Erfahrungen mit Luft	42
8.1	Luft braucht Platz	42
8.2	Luft hat ein Gewicht	43
8.3	Luft „drückt“	44
8.4	Luft kann antreiben	44
8.5	Luft kann rückstoßen	45
8.6	Luft kann bremsen	45
8.7	Luft kann polstern	45
8.8	Strömende Luft kann saugen	46
9	Erfahrungen mit Wärme und Temperatur	47
9.1	Wärme- und Kälteempfindung der menschlichen Haut	47
9.2	Ausdehnung bei Erwärmung	47
9.3	Bau eines einfachen Thermometers	47
9.4	Aufsteigen warmer Flüssigkeiten und Gase	47

9.5	Wärmeleitung	48
9.6	Wärmestrahlung	49
9.7	Erwärmen durch Reibung	49
10	Erfahrungen mit Kerzen	50
10.1	Entzünden der Kerzenflamme	50
10.2	Löschen der Kerzenflamme	50
10.3	Farbe und Temperatur der Flamme	50
10.4	Die Struktur der Flamme	50
10.5	Chemie der Kerze	51
10.6	Wachs und Docht	51
10.7	Luftschlieren	51
10.8	Heiße Luft in der Umgebung	51
10.9	Die Richtung der Flamme	51
10.10	Der Mehlstaubbrand (Vorsicht!)	52
10.11	Das Modell eines Motorkolbens (Vorsicht!)	52
10.12	Der Kerzenkreislauf	53
11	Erfahrungen mit der Zeit	54
11.1	Empfinden und Messen von Zeitspannen	54
11.2	Die astronomischen Zeitläufe	54
11.3	Die Erddrehung	54
11.4	Das Jahr	55
12	Erfahrungen mit Schall	56
12.1	Entstehung von Schall	56
12.2	Geräusche	56
12.2.1	Der Ton einer Stimmgabel	56
12.3	Hören	56
12.4	Schwingungen	56
12.4.1	Schwingende Stangen oder Saiten	56
12.4.2	Schwingende Platten oder Membrane	57
12.4.3	Schwingende Luftsäulen: Pfeifen	57
12.4.4	Resonanz	57
12.4.5	Schwebungen	57
12.4.6	Schallausbreitung	58
12.4.7	Schallgeschwindigkeit	58

1 Überblick

1.1 Termine

23.4. El. Strom I

30.4. El. Strom II

7.5. Magnetismus

14.5. Licht/Spiegel

21.5. Lupen/Linsen

1.6. Wasser

11.6. Luft

18.6. Wärme/Temperatur

2.7. Kerzen

9.7. KLAUSUR?

16.7. Zeit/Astronomie

23.7. Schall

1.2 Eine eigene Physik-Sammlung

Die folgenden Gegenstände sollten Sie im Laufe der Zeit erwerben und parat haben.

1.2.1 Optiker

- Gute (große, kreisförmige) Lupe,
- Kompass,
- Guter Dauermagnet.

1.2.2 Elektrobedarf

- Netzgerät für Kleinspannungen (bis 20 V), Gleich- und Wechselspannung.
- Einige Experimentierkabel mit 4 mm-Steckern, Krokodilklemmen.
- Multimeter Es gibt ...
 - analoge: mit Zeiger und Skala, sie sind eindrucksvoller.
 - digitale: Sie sind bequemer handzuhaben und billiger.
- Etwas stärkere Taschenlampe, Leuchtstofflampe mit Griff, Baulampe.
- Laser-Pointer.
- Einzelne Kochplatte.
- Bunsenbrenner (für Camping-Gaskartuschen).
- Stopp-Uhr

1.2.3 Heimwerkerbedarf

- Fliesenspiegel.
- Zimmerspiegel (rechteckig, ohne Rahmen).
- Klare Glühlampe mit Fassung.
- Hand-Leuchtstofflampe.
- Große durchsichtige Wanne (Plastik oder altes Aquarium).
- Glasscheibe (vielleicht aus einem billigen Foto-Wechselrahmen).

1.2.4 KrimsKrams

- Luftballons aller Art und Größen.
- Rolle Alupapier.
- Einige einfache Werkzeuge, Taschenmesser.
- Bastelmaterial aller Art: Schere, Klebstoffe, Schnüre, Zwirn, Karton, Styropor, Pappe, Gummiringe, Plakatkarton,...
- Nützliches Kleinzeug: Schlüsselringe, kleine Karabinerhaken.
- Streichhölzer, Feuerzeug.

1.2.5 Materialien

- Holz,
- Verschiedene Metallteile: Eisen, Stahl, Zinn, Messing, Kupfer, in Form von Nägeln, Schrauben, Drähten, Figuren.
- Glasplatten, Korkplatte.
- Brennspritus, Essig, Kochsalz,
- Seifenblasenlösung (Einfache Herstellung aus Wasser, Seife und Zucker).

Sammeln Sie kleine (oder bei Lagermöglichkeit auch größere) Alltagsgegenstände aller Art.

1.2.6 Physikalische Geräte und Versuche

<http://www.conatex.com> (Conatex–Didaktik, Neunkirchen, Saarland)
<http://www.cornelsen-experimenta.de/> (Cornelsen–Experimenta)
<http://www.leybold-didactic.de> (Leybold, Hürth)
<http://www.mekruphy.com/> (Mekruphy, Pfaffenhofen/Ilm)
<http://www.phywe.de> (Phywe, Göttingen)
<http://www.wiemann-lehrmittel.de/> (Wiemann)

1.2.7 Elektronik

<http://www.conrad.de>
<http://www.pollin.de>
<http://www.reichelt.de>

1.2.8 Spielen und Lernen, allg. Schulbedarf

<http://www.lms.de> (Fa. Späth, Bad Ditzgenbach)
<http://www.opitec.de> (Lernen, Technik)

<http://www.jakoo.de>
<http://www.kosmos.de> (vergleichsweise teuer)
<http://www.wehrfritz.de> (Kindergarten- und Schuleinrichtung, Sport)

1.3 Anregungen

Wenn Sie die Fragen nicht beantworten können, dann diskutieren Sie sie mit Ihren Freunden, schlagen Sie im Lexikon oder Sachbuch nach, befragen Sie Wikipedia oder führen Sie selbst Beobachtungen oder kleine Experimente durch!

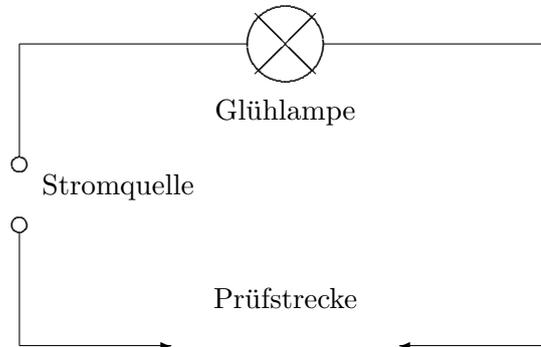
1. Sie sehen die Mondsichel am Abend hoch über dem Himmel stehen. Welche Seite ist außen, handelt es sich um den zu- oder abnehmenden Mond?
Wie schauen die Mondphasen in Australien aus?
Wie schauen die Mondphasen am Äquator aus?
2. Was ist schwerer? Sie selbst oder die Luft in Ihrem Zimmer?
3. Sie lassen über Nacht die Kühlschranktür offen stehen. Müssen Sie sich zum Frühstück in der Küche warm anziehen?
4. Sie sehen einen Regenbogen. Wo steht die Sonne? Welche Farben treten im Regenbogen auf? In welcher Reihenfolge?
5. Im Spiegelbild sind „Rechts“ und „Links“ vertauscht. Warum nicht „Oben“ und „Unten“?
6. Am 11. August 1999 war in Süddeutschland eine Sonnenfinsternis zu sehen (Sehr selten). Was ist das? Worin unterscheidet sich dieses Phänomen von einer Mondfinsternis?
7. Warum ist der Himmel blau?
8. Warum ist es im Juli wärmer als im Januar?
9. Ist Wachs brennbar?
10. Warum kann man auf einer Eisfläche, nicht aber auf einem ebenen Fußboden Schlittschuh laufen?
11. Kann man einen Lichtstrahl sehen?
12. Was hört man, wenn man auf zwei gleichen, aber leicht unterschiedlich gestimmten Musikinstrumenten den gleichen Ton anschlägt?
13. Wieviele Anschlußpole hat eine Steckdose?
14. Wie schnell fällt Wasser, ein Stein, ein Fallschirmspringer?
15. Bei welchen Gelegenheiten kann man Wasserdampf sehen?
16. Sie halten in der Badewanne einen Arm unter Wasser? Erscheint er nach oben oder nach unten geknickt?
17. Sie betrachten die Gesichtskante eines Brillenträgers. Erscheint sie im Bereich der Brille nach außen oder nach innen versetzt?
18. Ist Aluminium elektrisch leitfähig?
Ist Wasser elektrisch leitfähig?
Ist der menschliche Körper elektrisch leitfähig?
Stellen Sie eine Liste elektrisch leitfähiger Stoffe auf!
19. Schwimmt Aluminium?
Schwimmt ein Ei?
Stellen Sie eine Liste schwimmfähiger Stoffe (Körper?) auf!

20. Ist Edelstahl magnetisch?
Stellen Sie eine Liste magnetischer Stoffe auf!
21. Welche Farben haben die Leuchtpunkte auf einem Fernseh- oder Computerbildschirm?
22. Wieviele Stränge hat eine Überlandleitung?
23. Warum ist die Mantelfläche von Keramikisolatoren in der Hochspannungstechnik oder bei Zündkerzen wellig geformt?
24. Warum sind Kanaldeckel rund?
25. Sie ziehen am Faden einer liegenden Zwirnrolle. In welche Richtung rollt sie?
26. Würde ein Helium-Ballon auch auf dem Mond aufsteigen?
27. Schwimmen Eier?
28. Was wiegt mehr? 1 kg Eisen oder 1 kg Federn?
29. Was wiegt mehr? 1 ℓ Eisen oder 1 ℓ Federn?

2 Erfahrungen mit dem einfachen elektrischen Stromkreis

★ Verwenden Sie bitte nur Spannungen bis 24 V! ★

Bauen Sie einen (offenen) einfachen el. Stromkreis gemäß folgendem Schaltbild auf:



- Als Stromquelle verwendet man eine Haushaltsbatterie (gut geeignet wegen der Anschlüsse: 4, 5 V-Flachbatterie) oder einen Kleinspannungstrafo (Wenige Volt Gleich- oder Wechselspannung).
- Glühlampe: Aus Fahrradgeschäft oder Modellbau, als Fassung (meist E10) verwende ein Fahrradlicht oder einen extra Sockel; Achte darauf, daß die Spannung der Stromquelle die zulässige Höchstspannung des Lämpchens nicht überschreitet.
- Kabel: Fahrradkabel, Modellbahnkabel, Collegenblock-Spiraldraht oder Kabel mit 4 mm-Steckern.
- Prüfkontakte: Metallstäbe (große Nägel oder Schrauben), 4 mm-Stecker oder einfach die offenen Enden des Drahtes.

2.1 Typen von Stromquellen

- Taucht man zwei Elektroden (Metallstifte) aus unterschiedlichen Metallen in eine Säure oder Lauge (oder ein säure- oder laugehaltiges Medium), so tritt an ihnen eine elektrische Spannung auf.

Dies kann man auch mit Haushaltsmaterialien erreichen: Stahlmesser und Silbergabel werden in eine Zitrone (oder Apfel) gesteckt. An den Enden tritt eine kleine Spannung auf. Sie kann allerdings nur mit einem empfindlichen Voltmeter gemessen werden.

Dieses Prinzip ist in Batterien aller Art (Haushaltsbatterien, Knopfzellen, Autobatterien) verwirklicht.

- Generatoren (oder: Dynamos, Lichtmaschinen) Hier wird eine Spule im Feld eines Dauermagneten gedreht oder — umgekehrt — ein Dauermagnet in einer Spule gedreht. Dadurch entsteht an den Enden der Spule eine elektrische (Wechsel-)Spannung.
- Solarzellen sind Halbleiterkristalle (aus Silizium, Germanium oder bestimmten Legierungen), die in hochkomplizierten Verfahren gezielt durch Atome anderer chemischer Elemente (Aluminium-Phosphor, Gallium-Arsen) „verunreinigt“ werden. Fällt Licht auf die „Breitseite“ eines solchen Kristalls, so entsteht an der „Längsseite“ eine elektrische Spannung. Man nennt diese Art der Stromerzeugung mittels Lichtenergie Photovoltaik (im Gegensatz zur Solarthermie, wo Sonnenlicht direkt Wasser erwärmt). (Man kann Solarspielzeug in vielen Modellbau- oder Elektronik-Läden erwerben.)

- Netzgeräte sind eigentlich keine Stromquellen, sondern Transformatoren, die die Wechselspannung aus dem Netz ($U = 230\text{ V}$) herabsetzen und evtl. „gleichrichten“.

So benötigen die elektronischen Komponenten in Elektrogeräten (Computer, Hifi-Anlagen, Digitalwaagen, . . .) im allgemeinen eine Spannung zwischen 5 V und 12 V.

Je nach Bauweise sind Netzgeräte entweder direkt in den Gehäusen eingebaut (als Netzteile) oder sie sind bereits im Netzstecker (schwer und i.a. schwarz) integriert.

Ü Lesen Sie die Aufdrucke auf Netzteilen!

2.2 Die elektrische Leitfähigkeit

Die strikte Unterscheidung leitfähig — isolierend ist problematisch. Es kommt letztlich immer auf die angelegte Spannung und die davon abhängige Stromstärke an. Besser ist die Begriffsbildung (sehr) gute und (sehr) schlechte Leiter. „Sehr sehr“ schlechte Leiter heißen auch Nichtleiter oder Isolatoren.

Weitere Ideen für Teststoffe:

- Stanniolpapier (gewalztes Zinn),
- Bleistiftstrich auf dem Papier,
- blanke Collegenblockspirale, Lametta,
- Holz (Kochlöffel, Lineal), Papier, Pappe,
- Plastik (evtl. Metallimitation, Verpackungsmaterialien, CD-Scheibe),
- Styropor,
- Glas (Spiegel), Keramik,
- Luftballondraht,
- Bernstein.

2.2.1 Die el. Leitfähigkeit von Wasser

- Die elektrische Leitfähigkeit von Wasser ist deutlich geringer als die von Metallen, aber viel höher als die von Luft oder anderen sogenannten „Nichtleitern“. Deshalb leuchtet bei unserem Versuch das Lämpchen nicht auf.

Wasser hat eine mittlere elektrische Leitfähigkeit.

- Beim Stromfluß durch Wasser tritt grundsätzlich *Elektrolyse* auf. Vielleicht sieht man kleine Gasbläschen an den Elektroden aufsteigen. Am Minuspol („Kathode der Elektrolysezelle“) scheidet sich Wasserstoff, am Pluspol („Anode der Elektrolysezelle“) scheidet sich Sauerstoff ab. Ist im Wasser Kochsalz enthalten, so scheidet sich am Pluspol Chlor (grünliche Färbung) ab.
- Trotz der geringeren Leitfähigkeit kann
 - bei höheren Spannungen,
 - großflächigen Kontakten,
 - dünnen Schichten

im Wasser eine hohe Stromstärke auftreten, die dann lebensgefährlich, sogar tödlich, sein kann:

- Föhn in der Badewanne,
- defekte Wassergeräte (Kaffeemaschine),
- Blitzschlag in Gewässern.

2.2.2 Die el. Leitfähigkeit beim Menschen

Der menschliche Körper ist ebenfalls mittelmäßig elektrisch leitfähig. Deshalb stellt man diese Leitfähigkeit erst fest, wenn . . .

- hohe Spannungen auftreten: Das ist im allgemeinen gefährlich.
- oder wenn man die bei Anlegen geringer Spannungen auftretenden geringen Stromstärken feststellen kann. Dazu benötigt man empfindliche Instrumente:
 - Meßgerät mit Meßverstärker oder
 - ein Ohmmeter (Widerstandsmessgerät) oder
 - das Pieps-Küken: Ein Spielzeug-Küken, dessen eingebaute Elektronik bei geringem Stromfluß zwischen den beiden Kontakten auf der Unterseite ein Piepen erzeugt.
 - Die Zunge: Berühren Sie die Pole einer 4, 5 V-Flachbatterie gleichzeitig mit der Zunge (Hygiene beachten!).
 - Wenn Sie einen *Phasenprüfer* (Schraubenzieher mit einer integrierten Glimmlampe) in den Phasenleiter-Pol einer Steckdose (es kann keine Normierung über „Rechts“ oder „Links“ geben) stecken und die andere Seite mit dem Finger berühren, so fließt ein sehr geringer Strom aus der Phase über Sie in die Erde ab. Es wird dabei der „Stromkreis“

Kraftwerk — Erde — Mensch —(*)— Phase der Steckdose — Kabel/Leitung —
Kraftwerk

geschlossen. Dies wird durch ein schwaches Leuchten der Glimmlampe angezeigt.

Die „Leitfähigkeit des menschlichen“ Körpers wird durch feuchte oder großflächige Kontakte vergrößert. (Beides ist beim „Föhn in der Badewanne“ der Fall).

2.2.3 Die el. Leitfähigkeit der Erde

Die Erde als Ganzes ist ein (halbwegs guter) elektrischer Leiter. Eine der leitenden Verbindungen vom Kraftwerk zur Steckdose im Haushalt wird über die Erde hergestellt. Deshalb ist die gleichzeitige direkte Berührung der Phase der Netzsteckdose und der Erde (beispielsweise über Wasserleitung, Wasserstrahl, Badewanne, feuchten Fußboden, . . .) äußerst gefährlich.

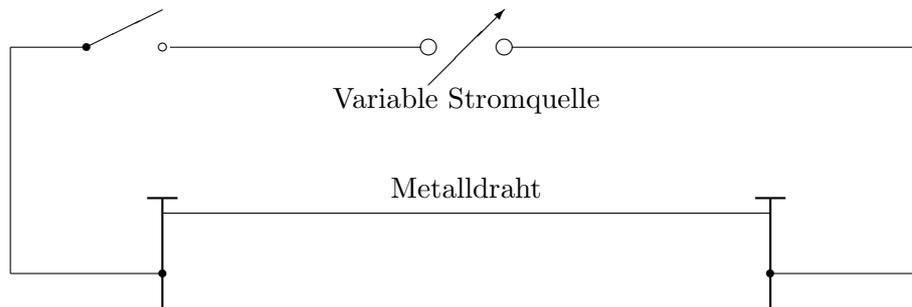
2.3 Welche Stoffe leiten den elektrischen Strom?

J Sehr gut! N Sehr schlecht! ... oder mein Kommentar.

Stoff	Ich vermute:	Ich habe getestet:
Eisen(-nagel)		
Stahl(-schere)		
Kupfer(-draht)		
Aluminium(-papier)		
Zinn(-figur)		
Messing(-figur)		
Silber(-löffel)		
Blei(-platte)		
Graphit (Bleistiftmine)		
Kohle(-stift)		
Rostiges Metall		
Lackiertes Metall		
Kunststoff(-lineal)		
Keramik(-becher)		
Tafelkreide		
Destilliertes Wasser		
Leitungswasser		
Salzwasser		
Der Mensch		
Glas		
Flüssiges Glas		
Windungen einer „Elektro-Spule“		
Halbleiterdiode		
Luft		
Vakuum		

2.4 Wirkungen des elektrischen Stromes

Bauen Sie eine Schaltung gemäß folgendem Schaltbild auf:



Als Stromquelle verwende man ein Kleinspannungs-Netzgerät (0...12 V Wechsel- oder Gleichspannung, evtl. aus der Physik-Sammlung). Material und Größe des Drahtes sollten sich in etwa nach der folgenden Tabelle richten:

Material	Länge	Durchmesser	Querschnitt
Konstantan	20 cm	0,1 mm	0,2 mm ²
Kupfer	50 cm	2 mm	3 mm ²

Der Draht läßt sich am besten mit Isolierstützen und Rändelschrauben befestigen; es genügen aber auch große Schrauben oder Nägel, die mit dicken Büchern beschwert werden.

Man regle die Spannung nach und nach bis 12 V hoch und beobachte jeweils die Auswirkungen auf den Draht.

2.4.1 Wärmewirkung

- Halten Sie die Hände in die Nähe des Drahtes oder umhüllen Sie den Draht mit der hohlen Hand.
- Man kann verschiedene Materialien auf den Draht legen, die die Wärmewirkung anzeigen: Wachskügelchen schmelzen, Seidenpapier, Papierstreifen, Kartonstreifen glimmen oder verbrennen, Luftballons, die den Draht berühren, platzen.
- Aus Styropor können Stücke sauber ausgeschnitten werden.

Zusatzbeobachtung: Der anfangs gespannte Draht entspannt sich bei Erwärmung. Nach dem Abschalten des Stromes spannt er sich wieder.

Anwendungen der Wärmewirkung:

- Herde, Elektroöfen,
- Heizelemente in Geschirrspülern oder Waschmaschinen,
- Tauchsieder: Der stromführende Draht ist gegen den Metallmantel durch ein Keramikmaterial elektrisch isoliert.
- LötKolben, Fön, Toaster,
- Elektroschweißen.

2.4.2 Lichtwirkung

(Eventuell ist eine leichte Verdunkelung des Raums nötig) Der Draht leuchtet rötlich bis gelblich auf.

Die Ursache des Leuchtens ist nicht (*primär*) der Stromfluß, es beruht vielmehr (*sekundär*) auf der Wärmewirkung. Dies kann man aufzeigen, wenn man bei gleichbleibender Stromstärke . . .

- den Draht kühlt: Blasen Sie auf den Draht oder halte Sie einen Metallgegenstand auf den Draht!
- die „Wärme aufstaut“: Man wendelt den Draht zu einer Spirale (über einem Stift).

Ein Tauchsieder erwärmt sich (in der Luft) als Folge des Stromflusses so stark, dass er glüht.

2.4.3 Schmelzwirkung

Erhöht man die Spannung noch weiter, so kann ein Durchschmelzen bzw. Verbrennen des Drahtes erfolgen. Dies läßt sich leichter erreichen, indem man ein Gewichtsstück über den Draht hängt. Diese Wirkung ist . . .

- erwünscht bei Schmelzsicherungen (Bei hohen Stromstärken, z.B. infolge Kurzschluß) soll der Stromkreis unterbrochen werden.)
- unerwünscht bei eigentlich allen Elektrogeräten.

Das Problem stellt sich besonders bei Glühlampen. Ein Durchschmelzen der Glühwendel wird dadurch verhindert, daß ein Metall mit hoher Schmelztemperatur (z.B. über 3000 °C bei **OS**mium oder Wolf**RAM**) und eine Edelgasfüllung im Glaskolben verwendet werden.

(Gedankenversuch) Öffnet man während des Betriebs einer Glühlampe deren Glaskolben mit einem Bunsenbrenner, so brennt die Glühwendel sofort durch.

Übrigens: Den Begriff Glüh**birne** verwendet man nur dann, wenn der Glaskolben Birnenform hat.

2.4.4 Magnetwirkung

Lege einen Kompaß unter den Draht mit Nadel parallel zum Draht; beim Einschalten des **Gleichstroms** wird die Kompaßnadel ausgelenkt. Bei Umpolung ändert sich auch die Richtung der Auslenkung. Bei Betrieb mit **Wechselstrom** erfolgt keine Auslenkung: Die Nadel kann aufgrund ihrer Trägheit der hohen Umpolfrequenz ($2 \cdot 50 \text{ Hz} = 100$ pro Sekunde) nicht folgen.

Man kann die Magnetwirkung auch mit ganz einfachen Mitteln demonstrieren. Hält man die beiden Enden eines dicken Kupferdrahts (Länge 30 cm, Durchmesser 3 mm) auf die Pole einer 4,5 V-Flachbatterie, so wird eine Kompaßnadel, die parallel zu dem Draht ausgerichtet ist, ausgelenkt.

Der Elektromagnet (Im wesentlichen: Spule mit Eisenkern).

- Ein einfaches Modell eines Elektromagneten ist leicht zu basteln: Ein Stahlnagel wird mit Modellbahnkabel umwickelt (einige Zig Windungen); hält man die Enden des Drahtes an die 4,5 V-Flachbatterie, so kann eine Büroklammer (aus Eisen!) angezogen werden.
- Elektromagneten werden in allen Bereichen der Elektrotechnik eingesetzt: Relais, ferngesteuerter Schalter (z.B. Elektrische Weiche oder Signal in Modellbahnanlage), Elektrische Klingel, . . . , Magnetkran auf dem Schrottplatz (oder Modellbahn), Magnetsicherungsschalter.

2.4.5 Chemische Wirkung

Elektrolyse, Galvanisieren. (Vergleiche den Überzug an den Nägeln beim Versuch zur el. Leitfähigkeit von Salzwasser).

2.5 Kleiner Exkurs zum Thema Glühfarbe

Jeder Körper gibt elektromagnetische Strahlung (z.B. Licht) ab. Das Frequenzspektrum (Farbe) dieser Strahlung hängt

- nur von der Temperatur,
- nicht von der Stoffzusammensetzung oder anderen Eigenschaften

des Körpers ab.

Die quantitative Formulierung dieses universellen Gesetzes heißt *Planck'sches Strahlungsgesetz*.
Beispiele:

- Bei Zimmertemperatur ist diese Farbe (Frequenz) im wesentlichen Infrarot und daher nicht für das Auge, wohl aber für Nachtsichtgeräte, wahrnehmbar.
- Die modernen Ohrthermometer messen das Frequenzspektrum der vom Blut ausgesandten Strahlung und rechnen es in die Temperatur um.
- Bei Temperaturen im Bereich „Einige Hundert °C“ leuchtet jeder Körper zunächst rötlich bis gelblich auf. Beispiele:
 - Kohlen oder Holz im Feuer,
 - flüssige Lava,
 - Metalle bei der Bearbeitung (Schmieden, Flexen, Schweißen),
 - Ton oder Backsteine im Ofen,
 - Der Autokatalysator nach längerer Fahrt.
- Bei Temperaturen im Bereich „Einige Tausend °C“ leuchtet jeder Körper bläulich-weiß. Beispiele:
 - Metall- oder Kohlefaden in einer Glühbirne,
 - Flüssiger Stahl,
 - Sonne und Fixsterne. Durch Messung der Frequenz der Sonnen- bzw. Sternstrahlung kann so die Temperatur bestimmt werden. Daher weiß man, dass die Temperatur der Sonnenoberfläche etwa 6 000 °C beträgt.

2.6 Exkurs: Volt — Watt — Ampere — Ohm — Kilowattstunden

Beachten Sie bitte, dass die folgenden Erläuterungen zum Teil gegenüber der technischen Realität vereinfacht (elementarisiert) sind.

Anstelle einer systematischen Beschreibung der Grundgrößen der Elektrizitätslehre mit Hilfe physikalischer Sprechweise soll hier versucht werden, diese Größen von Ihrer Bedeutung im Alltag her zu erschließen.

2.6.1 Volt

Die *elektrische Spannung* wird in der Einheit V (Volt) angegeben.

- Die Angabe einer el. Spannung bei einer STROMQUELLE bedeutet, dass diese Spannung zwischen den Polen **tatsächlich vorliegt**. Wir zeigen dies an einigen Beispielen auf:
 - Zwischen den beiden Polen einer Haushaltssteckdose „herrscht“ eine Spannung von 230 V.
 - Zwischen den beiden Polen einer Taschenlampenbatterie besteht eine Spannung von 1,5 V.
 - Zwischen den beiden Polen einer Bastel-Flachbatterie besteht eine Spannung von 4,5 V.
 - Zwischen den beiden Polen des Transformators einer Niedervoltbeleuchtungsanlage liegt ein Spannung von $\frac{1}{2}$ V.
 - Zwischen den beiden Polen eines Netzteils (für elektronische Geräte) besteht — je nach Bedarf — eine Spannung von 6 V bis 30 V.
 - Bei einem Transformator für Modellbahnen oder einem Schul-Netzgerät kann die Spannung in einem Bereich $0 \dots \sim 30$ V variiert werden.
- Die Angabe einer el. Spannung bei einem ELEKTROGERÄT („VERBRAUCHER“) hat die Bedeutung, dass es für den Betrieb bei dieser Spannung **vorgesehen** ist. Es soll an diese Spannung angeschlossen werden.
 - Wird das Gerät an eine deutlich höhere Spannung angeschlossen, so kann das Gerät zerstört werden. (Bei besseren Geräten verhindert eine interne Sicherung einen solchen Schaden.)
 - Wird das Gerät an eine geringere Spannung angeschlossen, so wird es nur vermindert oder gar nicht arbeiten. Bei elektronischen Geräten kann es auch wegen des unklaren Ein/Aus-Zustandes belastet werden.

2.6.2 Ampere — Watt

Bei der Beschreibung von „elektrischen Situationen“ spielen zwei weitere Größen, die *el. Stromstärke* und *Leistung*, eine wichtige Rolle. Sie hängen mit der el. Spannung auf folgenden Weise zusammen:

$$\text{Spannung } U \quad \begin{array}{c} \xrightarrow{\cdot \text{ Stromstärke } I} \\ \xleftarrow{: \text{ Stromstärke } I} \end{array} \quad \text{Leistung } P$$

Für die zugehörigen Einheiten gilt ein entsprechendes Operator diagramm:

$$\text{Volt } V \quad \begin{array}{c} \xrightarrow{\cdot \text{ Ampère } A} \\ \xleftarrow{: \text{ Ampère } A} \end{array} \quad \text{Watt } W$$

Oft wird statt Watt (W) auch Volt–Ampere (VA) geschrieben.

- Je nach Situation und Verwendung ist bei el. Geräten nur einer dieser beiden Größenwerte angegeben.
- Die Angabe des Wertes einer dieser beiden Größen bei einer STROMQUELLE bedeutet, dass dieser Wert **maximal zur Verfügung** steht.
 - Ein Haushaltsstromkreis (umfasst i.a. mehrere Steckdosen in einem Zimmer oder einer Wohnungsteil), der mit einer 16 A–Sicherung abgesichert ist, kann maximal eine Stromstärke von 16 A bzw. eine Leistung von etwa 3 700 W abgeben.
 - Der Aufdruck „Output 1,25 A“ auf einem Netzteil bedeutet, dass diese Stromstärke maximal abgegeben werden kann.
 - Die Angabe 6 A auf einem Schul–Netzgerät heißt, dass diese Stromstärke maximal abgegeben werden kann.

Wird die maximal zur Verfügung stehende Stromstärke überschritten — beispielsweise, wenn zu viele Geräte angeschlossen werden oder ein Kurzschluss auftritt — so kann diese Überbelastung zu einer Beschädigung der Stromquelle führen. Dies sollte durch Sicherungen verhindert werden können.

- Die Angabe des Wertes einer dieser beiden Größen bei einem ELEKTROGERÄT bedeutet, dass dieser Wert bei **Normalbetrieb**, d.h. bei der vorgesehenen elektrischen Spannung, auftritt.
 - Die Angabe 1 200 W bei einem Föhn bedeutet, dass beim Anschluss an 230 V (und Einschalten) eben diese Leistung umgesetzt wird. Die Stromstärke ist demzufolge $\approx 5,2$ A.
 - Der Aufdruck 6 V, 0,5 A auf einem Glühlämpchen informiert darüber, dass beim Betrieb an 6 V ein Strom der Stärke 0,5 A fließt, also eine Leistung von 3 W umgesetzt wird.
 - Zwischenstecker–Messgeräte ermöglichen die Bestimmung der Leistung eines Haushalts–Elektrogerätes.

2.6.3 Ohm

Legt man an ein ELEKTROGERÄT eine Spannung an, so richtet sich die Stärke des dann durch das Gerät fließenden Stromes nach dem *el. Widerstand* des Elektrogerätes. Die obigen Operator–Diagramme können wie folgt ergänzt werden:

$$\text{Widerstand } R \quad \begin{array}{c} \xrightarrow{\cdot \text{ Stromstärke } I} \\ \xleftarrow{: \text{ Stromstärke } I} \end{array} \quad \text{Spannung } U \quad \begin{array}{c} \xrightarrow{\cdot \text{ Stromstärke } I} \\ \xleftarrow{: \text{ Stromstärke } I} \end{array} \quad \text{Leistung } P$$

Für die Einheiten:



- Der oben erwähnte 1 200 W-Föhn hat einen Widerstand von

$$R = \frac{230 \text{ V}}{5,2 \text{ A}} \approx 45 \Omega.$$

- Der Glühlämpchen mit dem Aufdruck 6 V, 0,5 A hat — im Normalbetrieb — einen Widerstand von

$$R = \frac{6 \text{ V}}{0,5 \text{ A}} = 12 \Omega.$$

2.6.4 Aufgaben

Erforschen Sie die Elektro-Daten in „Ihrer Welt“:

- Was steht auf den Sicherungen im Sicherungskasten?
- Lesen Sie die Angaben auf Haushaltsbatterien!
- Welche Spannung liegt zwischen den Polen Ihrer Autobatterie?
- Welche elektrischen Daten können Sie den Modellbezeichnungen, Typenschildern oder Gebrauchsanleitungen von Elektrogeräten entnehmen?
- Lesen Sie den Glas-Aufdruck auf einer Haushaltsglühlampe!
- Lesen Sie die der Fassung einer Fahrrad-Glühlampe eingepprägten Daten!
- Bestimmen Sie „Input“- und „Output“-Daten eines Netzteils (Handy-Ladegeräts)!
- Tragen Sie die ermittelten Werte in die Tabelle auf der nächsten Seite ein!
- Welche Spannungen treten zwischen den Strängen einer Leitung der öffentlichen „Stromversorgung“ auf?

3 Erfahrungen mit Magneten

- ★ **Bringen Sie bitte keine starken Magnete in die Nähe von (medizinischen) elektronischen Geräten oder Magnetstreifen von Scheckkarten usw.** ★

3.1 Magnetische Kräfte

Bezüglich „magnetischer Phänomene“ lassen sich alle Körper im wesentlichen in drei Klassen einteilen, wie in der Tabelle dargestellt:

Kraftwirkung zwischen ... und	Dauermagneten	ferromagnetischen Körpern	Sonstigen Körpern
(Dauer-)Magneten	anziehend oder abstoßend	anziehend	—
ferromagnetischen (magnetisierbaren) Körpern	anziehend	—	—
Sonstigen Körpern	—	—	—

Im Alltag spricht man anstelle von *ferromagnetischen* Stoffen von „magnetisierbaren“ oder — etwas unklarer — von „magnetischen“ Stoffen.

Das Wort „magnetisch“ leitet sich — wie auch das Wort „Magnesium“ — von der kleinasiatischen Stadt Magnesia her. Das chemische Element Magnesium hat mit Magnetismus nicht direkt zu tun!

3.2 Dauermagnete

Dauermagnete (= *Permanentmagnete*) werden auch kurz als Magnete bezeichnet.

Die kennzeichnende abstoßende Wirkung äußert sich bei loser Annäherung von zweien in einer Art kreisender Ausweichbewegung.

- Genauer kann man sie feststellen, wenn man zwei ringförmige Magnete übereinander auf einem Stab (z.B. Schraubenzieher) führt: Der obere Magnet schwebt.
- Montiert man einen Magneten auf einem (Modellbahn-)Wagen, so kann man diesen mit einem anderen Magneten berührungslos anschieben.
- Anwendungen dieser Idee: Magnetschwebbahn, Spiel Levitron.

Welche Teile aus dem Haushalt sind Magnete?

Halteclips, Legeplättchen für Metalltafeln, Aquariumsputzer, Magnetverschluß bei Möbeltüren oder Handtaschen, Angelspiele und andere Geschicklichkeitsspiele, Zauberkasten, Magnetkupplung bei Spielzeugeisenbahnen, Seifenhalter.

Bei all diesen Magneten ist die abstoßende Wirkung wenig ausgebildet. Dies liegt daran, dass die Magnetpolausrichtung streifenförmig wechselt. Damit wird vermieden, dass sich benachbarte Magnete gegenseitig zu stark abstoßen. Die anziehende Wirkung auf ferromagnetische Stoffe wird dadurch nicht beeinträchtigt.

„Echte“ Magnete sind in

Lautsprechern oder Mikrofonen (Telefon)

enthalten.

Starke Magnete können die Magnetisierung von Medien oder in Geräten zerstören oder die Funktion von empfindlichen Elektrogeräten beeinträchtigen: Halte sie fern von Musik- und Videokassetten, Disketten, (Farb-)fernsehröhren, Stromzählern, Herzschrittmachern!

3.3 Welche Stoffe sind magnetisch?

J Ja! N Nein! ...oder mein Kommentar.

Stoff	Ich vermute:	Ich habe getestet:
Eisen(-nagel)		
Stahl(-schere)		
Kupfer(-draht)		
Aluminium(-papier)		
Zinn(-figur)		
Messing(-figur)		
Silber(-löffel)		
Blei(-platte)		
Graphit (Bleistiftmine)		
Kohle(-stift)		
Rostiger Stahl		
Lackiertes Eisen		

Magnetische (genauer: ferromagnetische) Körper oder Stoffe sind dadurch charakterisiert, dass sie

- von einem Magneten (allseitig) angezogen werden,
- untereinander keine Kraftwirkung zeigen,
- magnetisiert werden können.

Genauer könnte man sie auch als ferromagnetisch (wissenschaftlich) oder als magnetisierbar bezeichnen.

Sie bestehen größtenteils aus den Elementen Eisen (Fe), Kobalt (Co), Nickel (Ni) oder bestimmten Legierungen dieser Stoffe. Beispiele sind Stahl (Eisen mit Kohlenstoff), AlNiCo (Aluminium/Nickel/Kobalt), Legierungen mit Chrom (Musikkassetten: CrO_2 , CrFe, ...) oder Kupfer.

Welche Körper sind ferromagnetisch? Zunächst stellt man fest, dass nicht-metallische Gegenstände (Holzstücke, Plastikteile, Glas, Keramik, ...) nicht magnetisch sind.

Teste mit einem guten Magneten, welche der folgenden metallischen Körper magnetisch sind: Münzen, Schere, Zirkel, Blechdosen, Luftballondrähte, Schlüssel, Alupapier (Bedeutung beim Wertstofftrennen), Stein mit Eisenerz. Teste die Beschichtung von (unbespielten) Musik-, Videokassetten, CDs oder Disketten!

Ist die Schultafel oder Wandtafel magnetisch?

Die anziehende Kraftwirkung von Magneten auf ferromagnetische Körper kann auf vielerlei Weise aufgezeigt werden: Modellbahnwägen oder Kugeln aus Eisen/Stahl können mit Magneten berührungslos in Bewegung versetzt, abgelenkt oder gebremst werden.

Trick für das Kugel-ins-Loch-Geduldsspiel: Mit einem (kleinen, starken) Magneten kann man die Kugel in's Ziel steuern.

Die Kraftwirkung setzt sich durch nichtferromagnetische Stoffe (Porzellanteller, Holz, Plastik, Aluminium, ...) fort. Sie kann nur durch ferromagnetische Körper abgeschirmt werden. Magnetische Körper wandern mit „unsichtbarem Antrieb“ auf Tischplatten, Tellern, Kleidung, ...

3.4 Die Pole eines Magneten

Werden zwei Dauermagnete einander angenähert, so stellt man — je nach Lage der Magnete zueinander — Anziehung, Abstoßung oder gar keine Kraftwirkung fest.

Die Richtungen (oder Enden) stärkster Anziehung bzw. Abstoßung innerhalb des Magneten nennt man Magnetpole. Genauer nennt man Pole zweier Magnete

- gleichnamig, wenn sie einander abstoßen,
- ungleichnamig, wenn sie sich anziehen.

Frage: Warum macht man es nicht umgekehrt?

Teile einen langgestreckten Magneten (magnetisierte Stahlstricknadel); es entstehen bei jedem Teil neue Pole.

3.5 Das Erdmagnetfeld

Hängt man einen Dauermagneten um eine senkrechte Achse frei drehbar auf, so stellt sich dieser nach einer Weile in etwa in geographische Nord-Südrichtung ein. (Was bedeutet eigentlich Norden?)

Der in Richtung des geographischen Nord bzw. Südpols weisende Magnetpol heißt dann magnetischer Nord bzw. Süd-pol. Die Polbereiche werden meist mit roter bzw. grüner Farbe gekennzeichnet.

Für die Kraftwirkung auf den drehbaren Magneten ist das Erdmagnetfeld verantwortlich. In der Nähe des geographischen Nord/Süd-Pols befindet sich ein (gedanklicher) magnetischer Süd/Nord-Pol (Schau im Atlas nach: Baffinland/Nordkanada bzw. Antarktis). Das Erdmagnetfeld verändert sich im Laufe von Jahren, manchmal sogar ganz abrupt. Dies hat für die geologische Altersbestimmung eine immense Bedeutung.

3.6 Kompass

In Kompassen sind Dauermagnete in Form von Nadeln gut drehbar eingelagert. Sie gestatten es, den oben beschriebenen Effekt des Erdmagnetfelds bequem zur Bestimmung von Himmelsrichtungen auszunutzen.

Die Farbgebung von Nord- und Südpolen ist bei Kompaßnadeln uneinheitlich. Im allgemeinen ist die Farbe des magnetischen Nordpols auf der „Rose“ (= Stern mit Himmelsrichtungen) erkennbar.

3.7 Magnetisierung

Bringt man in die Nähe eines Dauermagneten einen anderen ferromagnetischen Körper, so wird dieser magnetisiert, d.h. er wird selbst zu einem Dauermagneten. In der Physik spricht man hier von Influenz.

- Taucht man einen Magneten in eine Schachtel mit Stahlnägeln (oder -nadeln), so kann man eine lange Kette von Nägeln aus der Schachtel ziehen. Die Nägel werden unter dem Einfluß des Dauermagneten magnetisiert, d.h. sie werden selbst zu kleinen Magneten.
- Streicht man mit einem Dauermagneten mehrmals immer in gleiche Richtung über eine unmagnetische Stahlstricknadel, so wird diese magnetisch. Man kann dies nachweisen, indem man die Wirkung auf kleine Stahlnägel testet.
- Influenz des Erdmagnetfeldes: Fest installierte Körper aus Eisen (Heizkörper, Stahlträger) sind durch das Magnetfeld magnetisiert. Man kann dies feststellen, indem man mit einem Kompass an dem Körper entlang fährt. (Baubiologie, Stahlbeton).

Bezüglich der Magnetisierbarkeit durch Influenz unterscheidet man ...

- magnetisch harte Stoffe: Dauermagnete und Beschichtungen von Magnetspeichermedien (Kassetten, Disketten) werden aus magnetisch harten Stoffen gefertigt.
- magnetisch weiche Stoffe: Die Eisenkerne von elektromagnetischen Geräten (Elektromagnet, Elektromotor, Generator, Transformator) werden aus magnetisch weichen Stoffen gefertigt. Die Magnetisierung von magnetisch weichen Stoffen kann leicht durch Schütteln oder Erhitzen (bis Rotglut) beseitigt werden.

Die Begriffe „magnetisch weich“, „magnetisch hart“ und Magnetisierung kann man leicht in Analogie zu den Eigenschaften einer Prägeplatte, beispielsweise aus Wachs, bringen: In weiches Wachs läßt sich leicht etwas eingravieren, dafür kann aber die Gravur leicht verwischt oder zerstört werden. Bei hartem Wachs ist es gerade umgekehrt.

3.7.1 Mikroskopische Deutung

Die Elektronen in der Atomhülle verursachen einen kreisförmigen elektrischen Strom, dieser wiederum das Magnetfeld. Sind die „Stromkreisel“ gleichgerichtet, so entsteht eine makroskopische magnetische Wirkung, anderenfalls kompensieren sich die einzelnen magnetischen Wirkungen.

SEP

3.8 Magnetfelder

Mit Hilfe der Influenz kann man Magnetfeldlinien sichtbar machen: Legt man auf einen Magneten eine Glasplatte oder ein Blatt Papier und streut dann Eisenfeilspäne locker auf die Platte, so werden die Späne magnetisiert, sie richten sich (bei leichten Erschütterungen durch Klopfen) entlang der Feldlinien aus.

Alternativ gibt es kleine „Magnetfeldplättchen“: Zwischen zwei Plastikstreifen eingeschweißt befinden sich sehr kleine Eisenspäne, die sich in einem Ölfilm bewegen können. Bringt man einen Magneten in die Nähe, so bildet sich ein Muster aus, das das Magnetfeld oder zumindest die Magnetpole anzeigt. Teste das Plättchen mit den kleinen Magneten, Magnettafelclips oder dem Magnetläufer aus einem Fahrraddynamo.

3.9 Magnetismus und elektrischer Strom

- Elektromagnet: Vergleiche Wirkungen des el. Stromes.
- Elektromotor: Schickt man durch ein Kabel in einem Hufeisenmagneten einen starken Strom (Akku als Stromquelle), so wird es „aus dem Magneten gedrängt“ (Lorentzkraft).
- „Der einfachste Elektromotor der Welt“.
- Bilderzeugung in Röhren von Fernseh- oder Computermonitoren: Die Elektronen werden auf ihrem Weg zur Leuchtschicht abgelenkt.
- Läßt sich Licht durch Magnete ablenken? Nein!

3.10 Wirkungen des Magnetismus

- Biologische Wirkung: Zugvögel, Tauben und Haie orientieren sich mit Hilfe des Erdmagnetfeldes.
- Kalkablagerungen in Wasserleitungen können durch bestimmte Magnetanordnungen um die Leitung verhindert werden.

4 Erfahrungen mit Licht

4.1 Lichtquellen (Selbstleuchtende Körper)

- Anregung durch hohe Temperaturen (Siehe Exkurs: Glühfarbe): Sonne, Flammen, Glühlampen.
- Auch nach dem Auftreffen von Elektronen (oder Ionen) können bestimmte Stoffe Licht aussenden (Hauptbeispiel: Mattscheibe beim Fernseher; Nachleuchten bei Dunkelheit). Auch Luft und andere Gase tun dies, besonderes bei geringen Dichten bzw. Drucken. Dies wird in Glimmlampen (Nachlicht, Phasenprüfer) oder in Leuchtstoffröhren direkt ausgenutzt.
Leuchtstoffröhren sind mit einem Edelgas (Bsp. Neon) gefüllt, das durch hindurchfliegende Elektronen zum Leuchten (Bläulich schimmernd) angeregt wird. Auf der Innenwand ist ein Leuchtstoff aufgebracht, der dadurch seinerseits zum Leuchten in einem (halbwegs) angenehmen Weiß angeregt wird. Auch hier kann man nach dem Verlöschen ein Nachleuchten beobachten.
- Leuchtdioden (**L**ight **E**mitting **D**iodes) sind Halbleiterdioden (gezielt „verunreinigte“ Silizium- oder Germanium Kristalle), die aufgrund von bestimmten Stromleitungsvorgänge im Inneren zum Leuchten angeregt werden.
- Anregung durch atomphysikalische Vorgänge: LASER (**L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation) sind Lichtquellen, die aufgrund von atomphysikalischen Vorgängen Licht ganz besonderer Qualität (hochgradig gebündelt, monochromatisch und kohärent) aussenden.
- Phosphoreszenz: Beleuchtet man phosphoreszierende Schichten mit intensivem Licht oder UV-Licht (Fliegenlampe, Bräunungslampe, Geldscheinprüfer), so leuchten sie nach Wegnehmen der äußeren Beleuchtung (evtl. Verdunkelung) nach. Dies findet man beispielsweise bei
 - Lichtschaltern
 - Klebebildchen aller Art
 - Spielfiguren.

4.2 Lichtstrahlen

Ein Lichtstrahl (oder –kegel) ist unsichtbar. Man kann ihn erst durch Einstreuen von Kreidestaub, Zigarettenrauch oder Wasserdampf sichtbar machen. Lichtstrahlen bzw. –kegel durchdringen sich ohne gegenseitige Beeinflussung.

4.3 Schattenbildung

Zur Beobachtung von Schatten halte man bereit:

- Zwei klare Glühlampen (60 W),
- Flächenhafte Lichtquellen: Matte Glühlampen, Bau-Halogen-Lampen oder Scheinwerfer.
- Schattenwerfende Gegenstände: Kartonstreifen oder Kartonfiguren, Teppichklopfer, Fliegenpatsche.
- Ein scharf begrenzter Schatten wird von einer punktförmigen Lichtquelle erzeugt.

- Das Phänomen von Kern- und Halbschatten kann man bei Beleuchtung mit zwei oder wenigen punktförmigen benachbarten Lichtquellen in geringem Abstand vom Gegenstand beobachten.
- Ein Übergangsschatten (stetiger Übergang von Schatten zu Licht) entsteht bei Beleuchtung eines Gegenstandes mit einer flächenhaften Lichtquelle (Matte Glühlampe, Leuchtstofflampe).

4.4 Die Lochkamera

Die Lochkamera heißt auch *Camera obscura*. Sie kann mit einfachen Mitteln realisiert werden, dadurch dass man in die eine Querseite eines Schuhkartons eine Öffnung (3 mm) sticht, in die gegenüberliegende Seite eine Mattscheibe aus Pergamentpapier einklebt.

Stellt man in einem abgedunkelten Raum vor die Öffnung eine Kerze, so kann man auf der Mattscheibe ein kopfstehendes und seitenvertauschtes Bild der Kerzenflamme erkennen.

4.5 Beugung

- Schaue bei abgedunkeltem Raum durch einen Spalt (Zwei Daumen oder Kartons) dicht vor den Augen auf eine Kerzenflamme oder erleuchteten Türspalt! Wird der Spalt enger, so erscheinen mehrere Flammen nebeneinander.
- Mit einem sehr feinen Spalt (Rasierklingen in Kartonstreifen verkleben oder verstellbare Spaltblende aus der Physiksammlung) kann man sogar die Farbaufspaltung erkennen.
- Betrachte eine Leuchtstoffröhre durch ein Stück „Prinzessinnenstoff“. Man erkennt leicht eine Farbaufspaltung.
- Spaßbrille aus der Fernsehzeitschrift.

5 Erfahrungen mit Spiegeln

5.1 Beobachtungen im ebenen Spiegel

- Es wird ein Bleistift mit der Spitze nach oben in eine Spitzerdose gesteckt und vor einem (ebenen) Spiegel aufgestellt. Betrachten Sie — einäugig und ohne mit dem Kopf zu wackeln — das Bild der Bleistiftspitze im Spiegel.
 - Markieren Sie mit einem (wasserlöslichen) OH-Stift die Stelle auf dem Spiegel!
 - Wie verändert sich diese Stelle, wenn Sie sich bewegen?
 - Wie verändert sich die Stelle, wenn das andere Auge sieht?
 - Wie verändert sich die Stelle, wenn der Gegenstand bewegt wird?
 - Wie verändert sich die Stelle, wenn der Spiegel gedreht wird?
 - Wo genau sehen Sie Ihr offenes Auge?
- Betrachten Sie jetzt verschiedene Gegenstände in dem Spiegel und beschreiben Sie, was Sie sehen!
 - Sich selbst! Auf welcher Seite erscheint der Scheitel im Spiegelbild? An welchem Arm trägt Ihr Spiegelbild die Armbanduhr? Wo befinden sich das Herz oder der Blinddarm Ihres Spiegelbildes? Mit welcher Hand schreibt oder isst Ihr Spiegelbild?
 - Einen Text! Spiegelschrift
 - Gegenstände! Sie erscheinen seitenvertauscht! Bei welchen Gegenständen wird dies besonders deutlich? (Anordnung der Farben im Wasserfarbkasten oder Buntstiftkasten, Uhr, Klinke der Zimmertür, Fahrradlenkstange, Situationen im Straßenverkehr, Font eines Autos, Drehrichtung beim Bleistiftspitzen, Tischgedeck, Bilder von vertrauten Landschaften oder Stadtszenen). Warum erscheinen Gegenstände seitenvertauscht, aber nicht kopfstehend? (Oder: Was bedeuten eigentlich die Begriffe „rechts“ und „links“?) Vgl. Vorlesung Optik.
 - Eine Kugel, die auf dem Spiegel liegt.
- Jetzt schauen zwei Personen in den Spiegel.
 - An welcher Stelle sehen Sie ihr eigenes offenes Auge? (Markierung)
 - An welcher Stelle sehen Sie das offene Auge des anderen? (Markierung)
 - Betrachten Sie die Markierungen, was fällt auf?
 - An welcher Stelle sehen Sie jeweils den gleichen Gegenstand?

5.2 Das Spiegelbild

Es wird eine Glasplatte (als halbdurchlässiger Spiegel) **senkrecht** auf einem Tisch aufgestellt. Als Halterung kann man Stative aus der Physiksammlung oder schwere Bücher verwenden. Zwei genau gleiche Plastikfiguren (Playmobil, Lego o.ä.) werden auf beiden Seiten der Glasscheibe so aufgestellt, dass beim Blick von vorne das Spiegelbild der vorderen Figur und die hintere Figur zur Deckung kommen. Eventuell sollte man auf die Beleuchtung achten. Unter Umständen treten lästige Doppelreflexionen (an Vorder- und Rückseite der Glasplatte) auf.

Beobachtungen:

- Die Situation ist (fast) unabhängig davon, von wo aus man in den Spiegel schaut.
- Die beiden Plastikfiguren stehen ebenensymmetrisch zueinander. Man kann von Achsensymmetrie sprechen, wenn man die Situation auf die Tischebene reduziert. Die Achse ist die Schnittgerade von Glasplattenebene und Tischebene.
- Die Längen, Abstände und Winkel sind auf beiden Seiten gleich.
- Die Orientierung (Drehsinn) ist umgekehrt.
- Die Kerze im Wasserglas: Hinter der Glasplatte wird ein wassergefülltes Glas, vor der Glasplatte eine brennende Kerze aufgestellt. Wenn man dies geeignet arrangiert, entsteht beim Blick durch die Glasplatte der Eindruck, als würde die Kerze im Wasser brennen.

5.3 Besondere Spiegel

- Spiegelkabinett: Betrachten Sie einen kleinen Gegenstand (Radiergummi, Kreide), der zwischen zwei parallel einander zugewandten Spiegeln aufgestellt wird, über die eine Spiegelfläche hinweg. Es werden zahlreiche (scheinbar unendlich viele) Spiegelbilder sichtbar.
- Ein Periskop kann man in Spielzeuggeschäften kaufen oder auch selbst bauen (Rechteckspiegel und TetrapackTüte).

Wie erscheint die Umgebung im Periskop? Versetzt (um die Ecke geschaut), verkleinert.

A: Periskope werden in U-Booten eingesetzt. Die Besatzung eines U-Bootes unterhalb der Wasseroberfläche kann damit unauffällig beobachten, was oberhalb der Wasseroberfläche vor sich geht.

- Das Kaleidoskop: Kauf oder Selbstbau.
- Ein Tripelspiegel besteht aus drei paarweise senkrecht angeordneten ebenen Spiegeln (Fliesenspiegel stabil zusammenkleben!). Einfallendes Licht wird durch diese Anordnung immer — etwas versetzt — in die Richtung, aus der es kommt, reflektiert.
 - Schauen Sie in den Tripelspiegel und bewege Sie sich oder den Spiegel!
 - Im Spiegel kann man drei reale und drei gespiegelte) Kanten in einer Sechs-Stern-Anordnung erkennen.
 - Betrachten Sie ein Katzenauge: Man erkennt viele kleine Sechs-Sterne. Das Tripelspiegel-Prinzip wird im Katzenauge angewandt, da auftreffendes Scheinwerferlicht in die gleiche Richtung zurückgeworfen werden soll.
 - In einer Ecke des Klassenzimmers wird eine starke Lampe aufgestellt, in der anderen werden Katzenaugen aufgestellt. Wenn man im Klassenzimmer umhergeht und in Richtung der Katzenaugen schaut, so leuchten diese nur auf, wenn man sich in der Nähe der Lampe befindet.

- Schottischer Adventskranz: Stellt man eine Kerze in den Tripelspiegel, so erscheint sie vervierfacht.
- Hochpräzise Tripelspiegel werden auf dem Mond (und Planeten) aufgestellt. Von der Erde eintreffende Lichtsignale werden in die gleiche Richtung reflektiert. Man kann über Laufzeitmessungen die Entfernung exakt bestimmen.
- Tripelspiegel werden auch bei der Landvermessung benutzt (vgl. Foto).
- Hohlspiegel:
 - Es handelt sich — im Prinzip — um den Ausschnitt einer innen verspiegelten Kugelfläche.
 - Hohlspiegel zeigen eine vergrößernde Wirkung: Rasier- oder Kosmetikspiegel.
 - Hohlspiegel zeigen eine fokussierende Wirkung: Augenspiegel des Arztes. Beim Entzünden des Olympia-Feuers wird ein Brennspiegel benutzt.
 - Parallelsierende Wirkung: Auskleidung der Rückwand eines Scheinwerfers.
 - Betrachte Sie sich oder Ihr Auge in einem spiegelnden Suppenlöffel, im Deckel eines Kosmetikglases.
- Wölbspiegel:
 - Es handelt sich — im Prinzip — um den Ausschnitt einer außen verspiegelten Kugelfläche.
 - Wölbspiegel zeigen eine verkleinernde Wirkung, sie erhöhen deshalb das Gesichtsfeld: Verkehrsspiegel, Kontrollspiegel in Läden, kleine Zusatzaußenspiegel am Auto zur Einsicht in den toten Winkel.
 - Christbaumkugel.
- Zerrspiegel oder „Vervielfachungsspiegel“ aller Art (IKEA, Jahrmarkt).
- Katakaustik in Ringen: Fällt ein Bündel paralleler Lichtstrahlen (von einer entfernten Lichtquelle, Sonne) schräg in einen Ring oder in ein flaches Schälchen (Keksdose), so kann man auf der Unterlage ein herzförmiges Lichtmuster erkennen, das von der Reflexion an der Ringinnenwand herrührt.

6 Erfahrungen mit Lupen und Linsen

- ★ **Schauen Sie bitte nicht durch Linsen oder andere optische Geräte in die Sonne oder intensive Lichtquellen!** ★

6.1 Brechung

- Ein Lineal oder gerader (Luftballon-)Draht, der ins Wasser eintaucht, erscheint bei schrägseitlicher Betrachtung geknickt.
- Befestige mit doppelseitigem Klebestreifen eine Münze am Boden eines undurchsichtigen Gefäßes. Zunächst schaue man schräg über die Kante in das Gefäß, so dass die Münze gerade nicht sichtbar ist. Füllt man Wasser ein, so erscheint die Münze. Sie erscheint angehoben. Man spricht deshalb auch von *optischer Hebung*.
- Fischfang mit dem Speer: Am Boden eines Wasserbeckens wird eine Münze (oder Plastillin-Fisch) befestigt. Ein gerades Rohr oberhalb der Wasseroberfläche wird so ausgerichtet, dass man beim Hindurchblicken das Auge des Fisches genau erkennt. Schießt man nun einen Pfeil (Stab) durch das Rohr, so verfehlt er sein Ziel.
- Der Schützenfisch (*Toxotes jaculatrix*, bis 25 cm langer Bartfisch, hauptsächlich im Brackwasser der Flußmündungen Südostasiens und Australiens) spuckt einen kräftigen Wasserstrahl auf Insekten in Ufernähe, die dadurch herabfallen und erbeutet werden. Zur Bestimmung der Spuckrichtung müssen sie die Brechung „miteinrechnen“.

6.2 Flimmern und Schlierenbildung

Wird in einem durchsichtigen Medium (Luft oder Wasser) stellenweise die Brechzahl verändert (Erhitzung, Beimengung eines durchsichtigen Stoffes) so werden hindurchtretende Lichtstrahlen leicht gebrochen. Tritt eine Strömung auf, so erscheint dies als Flimmern (in Luft) oder als Schlierenbildung (in Flüssigkeiten)

- Heiße Luft über Landstraßen oder Eisenbahnschienen im Sommer,
- aufsteigende heiße Luft über Kerzenflammen oder Herdplatte,
- aufsteigendes heißes Wasser in einem Glas,
- Benzindampf beim Tanken.

6.3 Experimente mit Milchglas

Scheiben „aus“ Milchglas sind Glasscheiben, die (meist auf nur einer Seite) fein-uneben sind. Auf dieser Seite werden Lichtstrahlen in alle Richtungen gebrochen, so dass die Scheibe blickdicht (nicht: lichtdicht) wird.

- Schaue durch eine Milchglasscheibe hindurch: Die Umgebung ist nur in groben Konturen (beleuchtet — unbeleuchtet) erkennbar.
- Lege eine Milchglasscheibe auf einen Text. Er erscheint klar oder leicht verschwommen, je nach dem, ob die matte Oberfläche unten oder oben ist.
- Durch einen Wasserfilm auf der matten Oberfläche wird die Unebenheit ausgeglichen. Deshalb kann man plötzlich den vorher verschwommenen Text deutlich lesen. Ist der Wasserfilm dünn, so kann man auch die Umgebung durch die Scheibe betrachten.

- Taucht man eine Flasche aus Milchglas (z.B. Freixenet) ins Wasser, so kann man den Inhalt (z.B. Geheimbotschaft) deutlich erkennen.
- Klebt man einen Klebefilm auf die Milchglasscheibe, so wird sie „durchsichtig“. Der Klebefilm „glättet“ die Oberfläche.

6.4 Totalreflexion

- Schaue von unten auf die Wasserfläche in einem wassergefüllten Glasgefäß. Die Wasserfläche spiegelt.
- Hält man luftgefüllte durchsichtige Gefäße (Trichter, Vasen, Plastiktüten) unter Wasser, so erscheint ihre Oberfläche spiegelnd.
- Hat ein durchsichtiger Körper (Glaskugel, Superball o.ä.) im Inneren einen Sprung, so erscheint dieser Sprung spiegelnd.
- Eine Münze unter einem Wasserglas mit gewölbtem Boden ist „verschwunden“.
- Spiegelungen auf der heißen Landstraße (Im Wüstensand: Fata Morgana).
- Lichtleiter leiten Licht — auch krummlinig — über große Entfernungen weiter, da das Licht an den Innenwänden immer wieder totalreflektiert wird.

Anwendungen: Glasfasertechnik, Endoskopie, Lichter einer Modellbahnlokomotive, Dekor-Zimmerlampe.

6.5 Erfahrungen mit Lupen

Eine Lupe ist im wesentlichen eine Sammellinse, also ein glattgeschliffenes Glas, das in der Mitte dicker ist als am Rand:

- Lupen aus dem Haushalt, aber auch:
- Kugelige Gläser oder Vasen (Schusterkugel),
- Ein Wasser- oder Klebstofftropfen auf einer Glasscheibe zeigt Linsenwirkung.
- Tauche die Metall- oder Plastikspange eines Heftstreifens ins Wasser. Es bleibt ein Wasserfilm zurück, der Linsenwirkung zeigt.
- Brillen für Weit/Übersichtige können als Lupen verwendet werden. Man erkennt diesen Brillentyp auch daran, dass beim schrägen Blick von außen die Gesichtskante des Brillenträgers nach außen versetzt erscheint. Das geht auch beim Betrachten des Spiegelbildes.
- Linsen in vielen optischen Geräten (Projektoren aller Art (TLP), Fotoapparat, Fernrohr, Mikroskop)

V Versuche mit Lupen:

- Mit einer Lupe kann man kleine Gegenstände (etwas Kleingedrucktes, ein Muster auf einem Stoff, einen Käfer) vergrößert sehen. Dazu muss man die Lupe nahe an den Gegenstand halten.
- Halte die Sammellinse „senkrecht“ zwischen die (strahlende) Sonne und ein Blatt Papier. Bei einer bestimmten Entfernung zwischen Lupe und Papier, der *Brennweite*, tritt ein *Brennpunkt* auf.

Hält man einen Streichholzkopf in den Brennpunkt, so kann er sich entzünden. Man kann so auch Papier entzünden oder weiches Plastik (beispielsweise einen Kaffeeautomatenbecher) schmelzen. (VORSICHT)

- Betrachte das Zimmer um dich herum (deine Freunde und Freundinnen) durch die Lupe! Alles erscheint kopfstehend und seitenverkehrt (mathematisch: punktgespiegelt) und verkleinert.
- „Abbildung“ mit Sammellinsen: Halte die Lupe zwischen eine Kerzenflamme und ein Blatt Papier. Bei den „richtigen“ Abständen erscheint auf dem Papier ein Bild der Kerzenflamme. Dass das Bild kopfstehend und seitenverkehrt ist, kann man dadurch überprüfen, dass man die Kerze verschiebt oder seitlich in die Flamme bläst. (VORSICHT) Anstelle des Papiers kann man auch eine matte Glasscheibe oder Pergamentpapier verwenden.

6.6 Erfahrungen mit Zerstreuungslinsen

Eine Zerstreuungslinse ist ein glattgeschliffenes Glas, das in der Mitte dünner ist als am Rand:

- Zerstreuungslinsen aus der Physiksammlung,
- Brillen für Kurzsichtige: Man erkennt diesen Brillentyp auch daran, dass beim schrägen Blick von außen die Gesichtskante des Brillenträgers nach innen versetzt erscheint.
- Fresnel-Zonen-Linse auf der Heckscheibe von Kleinbussen.

Beim Durchschauen durch Zerstreuungslinsen erscheint die Welt „richtig“ und verkleinert. Das bedeutet aber auch, dass man mehr (einen größeren Winkelbereich) überblickt.

6.7 Andere optische Geräte

In praktisch allen optischen Geräten finden sich Sammellinsen:

- Fotoapparat: Öffnet man einen (alten) Fotoapparat und bringt in der Filmebene ein Pergamentpapier an, so kann man ein kopfstehendes seitenvertauschtes (punktgespiegeltes) Bild der Umgebung erkennen.
- Fernrohr: Schaue durch zwei Sammellinsen, die hintereinander aufgestellt sind und variere ihre Entfernung! Wenn die beiden Brennpunkte zwischen ihnen zusammenfallen, so erscheint ein scharfes Bild der Umgebung. Das Verhältnis der beiden Brennweiten (Objektiv/Okular) bestimmt, ob das Bild vergrößert oder verkleinert erscheint.
- Tageslichtprojektor: Im Kopf des TLP befindet sich eine Sammellinse (hohe Qualität) und ein Spiegel. Über diese Anordnung wird der Gegenstand (die leuchtende Schreibfläche) auf die Projektionswand abgebildet. Im Prinzip ist das das gleiche wie bei der Abbildung mittels einer Sammellinse (*) oben.

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

7 Erfahrungen mit Wasser

7.1 Welche Dinge schwimmen, tauchen unter, steigen, sinken, schweben?

Trage jeweils zuerst die Vermutung mit Bleistift ein und schreibe nach dem Test das Ergebnis mit Tinte daneben!

Ding	auf dem Wasser		unter Wasser		
	schwimmt	taucht unter	steigt auf	sinkt ab	schwebt
Stein					
Metall (Münze)					
Glas (Murmel)					
Seife					
Plastik (GEO-Dreieck)					
Holz (Bleistift)					
Strohalm					
Styropor					
Kork					
Tischtennisball					
Wachs (Kerze)					
Aluminiumwürfel					
Klumpen aus Alupapier					
Streifen Alupapier					
Büroklammer					
Rasierklinge					
Leeres Glas-Fläschchen					
Volles Glas-Fläschchen					
Plastillinkugel					
Plastillinschiffchen					
Nuss-Schale					
Glas-Schale					
Eis-Würfel					
Speiseöl-Tropfen					
Sirup-Tropfen					
Rohes Ei (mit Schale)					
Gekochtes Ei (o. Schale)					
Der Mensch					

7.2 Sinken, Steigen im Wasser

Zunächst wird eine Schüssel oder Wanne (oder Planschbecken im Schulhof) aufgestellt und mit Wasser gefüllt. Verschiedene Körper werden vorsichtig unter Wasser gedrückt. Welche Körper sinken ab oder steigen auf?

Es lassen sich einige Besonderheiten feststellen:

- Eis steigt im Wasser auf; das ist anders als bei (fast) allen anderen Stoffen; als Festkörper gehen sie in ihrer Schmelze unter. Diese Sonderrolle von Wasser bzw. Eis ist von großer Bedeutung für das Überwintern von Wasserlebewesen. Ein Teich oder See gefriert von oben her zu, die Eisschicht bildet eine Wärmeisolation und verhindert so ein starkes Zufrieren über die gesamte Tiefe.
- Ein zusammengeknülltes Stück Alufolie steigt im Wasser auf. Erst, wenn man es stark — mit einer Flachzange — zusammenpresst, sinkt es ab.
- Taucht man ein Stück Alufolie unter Wasser, so sinkt es ab!
- Der *Cartesische Taucher* ist eine luftgefüllte Figur aus einem flexiblen Material. Sie muß (zunächst) eine etwas geringere Dichte als Wasser haben. Beispiele sind . . .
 - der „Flaschenteufel“ (eine im Spielzeughandel oder -versand erhältliche Plastikfigur),
 - eine mit ein oder zwei Büroklammern beschwerte Filstiftkappe,
 - ein Stück Orangen- oder Zitronenschale,
 - ein Parfümprobefläschchen, mit der Öffnung nach unten.

Diese Figur wird in eine randvoll mit Wasser gefüllte Plastikflasche (PET) gesetzt, die Flasche wird verschlossen. Drückt man nun auf die PET-Flasche, so wird aufgrund des erhöhten Drucks im Wasser die Figur zusammengedrückt (bzw. es dringt Wasser in das Innere der Figur ein), wodurch sie eine größere Dichte bekommt und deshalb nach unten sinkt.

- Wie kann erreicht werden, dass ein U-Boot sinkt, steigt, schwebt?
- Sowohl rohe als auch gekochte Eier (mit Schale) sinken im Wasser ab. Gekochtes Ei ohne Schale ???
- In einer Mischung von Speiseöl und Wasser entmischen sich nach und nach die Stoffe.

Den beobachteten Phänomenen liegt das folgende (einfache?) Gesetz zugrunde:

Ein Körper unter Wasser sinkt / schwebt / steigt genau dann, wenn seine Dichte größer / gleich / kleiner ist als die Dichte des Wassers ($\approx 1 \frac{\text{kg}}{\ell}$).

In diesem Fall ist die auf den Körper wirkende Gewichtskraft größer / gleich / kleiner als die vom umgebenden Wasser verursachte Auftriebskraft. Die Nettokraft ist nach-unten-gerichtet / Null / nach-oben-gerichtet, weshalb der Körper in diese Richtung beschleunigt wird.

7.3 Schweben im Wasser

Grundsätzlich ist es sehr schwierig zu erreichen, dass ein Körper im Wasser schwebt. Man kann versuchen, ein Glasfläschchen so mit Wasser zu füllen, dass es gerade schwebt.

- Taucherausrüstungen (Brille, Flossen) sollten möglichst im Wasser schweben; dadurch treten keine unerwünschten Steig- oder Sinkkräfte auf.
- Schwimmblase von Fischen.

7.4 Schwimmen auf dem Wasser

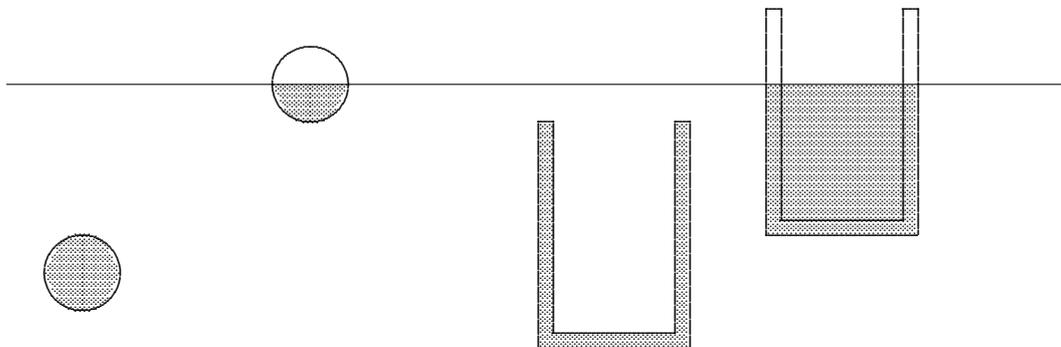
Verschiedene Körper werden auf die Wasseroberfläche gesetzt.
Welche Körper schwimmen?

- Grundsätzlich: Alle Körper, die eine geringere Dichte als Wasser aufweisen, steigen nach oben, tauchen auf und schwimmen dann — unabhängig von ihrer Lage und Form.
 - Der menschliche Körper schwimmt: „Toter Mann“. Warum geht dies besser, wenn man viel Luft einatmet, also eigentlich schwerer ist?
- Aber auch viele Körper, die eine größere Dichte als Wasser aufweisen, schwimmen. Dies hängt dann von einer speziellen Form des Körpers und seiner Lage gegenüber der Wasseroberfläche ab.
 - Schiffchen, Schälchen oder Flaschen aus Plastillin, Metall oder Glas.
 - Drückt man das Plastillinschiffchen zu einer Kugel zusammen (Veränderung der Form), so sinkt es nach unten.
 - Kippt man das Plastillinschiffchen zur Seite (Veränderung der Lage), so sinkt es nach unten.
 - Schwimmen im Toten Meer: Der hohe Salzgehalt erhöht die Dichte des Meerwassers und damit die Auftriebskraft. Das Schwimmen ist leichter.

Dem Schwimmen liegt das folgende Gesetz (Archimedes-Prinzip) zugrunde:

Ein Körper schwebt oder schwimmt (ruhig) gerade dann, wenn seine Masse gleich groß ist wie die Masse des von ihm *verdrängten* Wassers.

Das *verdrängte* Wasser (durch Punkt-Schattierung angedeutet) ist genau das Wasser, das „da wäre, wenn der Körper nicht da wäre“.



7.5 Schweredruck im Wasser

Da Wasser selbst eine Gewichtskraft erfährt, üben höhergelegene Wasserschichten auf die tiefergelegenen einen Druck aus. Dieser Druck ist umso größer, je dicker die obenliegende Schicht ist.

- In verschiedenen Höhen einer hohen Plastikflasche oder Metalldose (für Tennisbälle) werden Löcher gebohrt. Füllt man Wasser ein (am besten durch Untertauchen), so strömt dies je nach Höhe in verschieden weiten Strahlen aus.
- Kommunizierende Röhren: Sind Flüssigkeiten (durch einen gefüllten Schlauch, Röhren oder ähnliches) verbunden, so gleicht sich der Flüssigkeitsspiegel aus.

- Schlauchwaage: Die beiden „Wasserpegel“ an den beiden Enden eines transparenten gefüllten Schlauches befinden sich in gleicher Höhe. Dadurch kann man Höhen über größere Entfernungen (verschiedene Zimmer, unübersichtliches Gelände) abgleichen. Dieses Gerät wird beispielsweise von Estrich-Legern benutzt.
- Wasserflaschenwippe: Bewegt man zwei wassergefüllte Flaschen, die durch einen wassergefüllten Schlauch verbunden sind, auf und ab, so fließt immer Wasser von der Flasche mit dem höher gelegenen Wasserspiegel zu der anderen.

Diese Anordnung aus zwei Flaschen und Verbindungsschlauch muss man „unter Wasser“ befüllen, anderenfalls würde Luft in dem Schlauch bleiben.

- Anwendung für Wasserstandsanzeiger in Kaffeemaschinen, Wasserkochern, Warmwasserboilern oder Tanks.
- Das Siphonstück in einem Waschbeckenabflußrohr ist U-förmig gebogen, so dass immer das letzte Abwasser die Rohrleitung ganz verschließt. So verhindert man, dass der unangenehme Geruch aus der Abwasserkanalisation durchdringt. Steht im Siphon kein Wasser (Reinigung, Verdunstung bei Nichtbenutzung im Urlaub), so kann man diesen Geruch wahrnehmen.
- Wannentleerung: Befindet sich in einer schweren Wanne (oder Faß, Regentonne, Aquarium, Tank) kein Bodenablauf, so kann man das Wasser (Benzin, Öl) über einen Schlauch, dessen anderes Ende tiefer liegt als der Wasserspiegel in der Wanne, auslaufen lassen. Der Schlauch muß dazu mit Wasser gefüllt sein (Ansaugen!)
- Artesische Brunnen.

Mit dem Luftdruck haben all diese Experimente nicht zu tun. Sie würden in luftleerer Umgebung das gleiche Ergebnis hervorbringen.

7.6 Wasser und Luftdruck

- Man kann Flüssigkeiten „heben“, indem man den umgebenden Luftdruck ausnutzt. Stech- oder Weinheber, Saug- oder Winkelheber, Pipette (z.B. für Nasentropfen), Kolbenprober, Spritzen.
- Flaschentornado: Will man eine Flasche mit engem Hals ausschütten, so geht dies am schnellsten mit dem Tornadotricks: Man muß die Flasche mit dem Hals nach unten kräftig kreisen; dann kann in der Mitte des Halses die Luft gleichmäßig ohne Blubbern einströmen. Mit dem „Tornadorohr“ (Physik-Spielzeug) ist dieser Versuch einfacher, aber weniger lebensnah.

Die echten Tornados, beispielsweise in Amerika, kommen dadurch zustande, dass heiße Luft über dem Boden nach oben, die kühlere Luft in höheren Schichten nach unten strömen will. Dies geht am schnellsten, wenn sich — wie bei der Flasche — ein Wirbel ausbildet.

7.7 Kräfte zwischen den Wassermolekülen

Aufgrund des Dipolcharakters der Wassermoleküle entwickeln diese Bindungskräfte ...

- untereinander: *Kohäsionskräfte* oder
- zu den Teilchen der Gefäßwände: *Adhäsionskräfte*.
- Betrachtet man die Kohäsionskräfte an der Oberfläche, so spricht man — nicht ganz korrekt — von *Oberflächenspannung*.
- Der Effekt, der durch die Adhäsionskräfte in Kapillaren („Haarröhrchen“) verursacht wird, heißt *Kapillarität*.

7.7.1 Kohäsionskräfte

- Pappdeckelverschluß: Verschiebt man ein bis zum Rand gefülltes Glas mit einem Pappdeckel und dreht es vorsichtig um, so verschließt der Pappdeckel das Glas: Er fällt nicht herunter, das Wasser fließt nicht aus.

7.7.2 Adhäsionskräfte

Man kann sie als Ansteigen des Wassers an den Gefäßwänden und –kanten von Glasgefäßen oder Aquarien beobachten.

7.7.3 Die Oberflächenspannung

- Setzt man eine Rasierklinge (oder einen Streifen Alupapier) auf das Wasser, so schwimmt sie. Gibt man einen Schuß Spülmittel in das Wasser, so geht sie unter.
- Ein Glas mit großer Öffnung (Sektschale) wird randvoll mit Wasser gefüllt. Man staunt, wieviele Nadeln, Büroklammern oder Münzen noch hineingegeben werden können, ohne dass das Wasser überläuft.
- Träufeln Sie Wasser auf eine Münze!
- Beobachten Sie einen Quecksilbertropfen in einem Glasfläschchen.
- Anwendung in der Natur: Wasserläufer (*Gerris lacustris*).
- Irrtümlich wird oft gesagt, das Wasser bilde eine „Haut“ auf der Oberfläche.
- Schiffchenversuch! (Mit Pfeffer)

7.7.4 Kapillarität

- Dieser Effekt erlaubt das Emporsteigen von Flüssigkeiten in Kapillaren entgegen der Schwerkraft oder äußeren Druck. Beispiele dafür sind das Emporsteigen von ...
 - Wasser in Pflanzengefäßen.
 - Blut in feinen Adern, Venen.
 - Flüssiges Wachs im Kerzendocht.

- Setze Löschpapier oder „saugfähige“ Stoffe (Schwamm, Waffeltuch, Kaffeefilterpapier o.ä.) mit einer Kante in Wasser!

Idee der Chromatographie: Bemale mit Filzstiften (übereinander) ein Rechteck auf Lösch- oder Filterpapier! Wenn das Papier über Kante auf das Wassergesetzt wird, so nimmt das aufsteigende Wasser die Farben unterschiedlich gut mit. Damit ist eine Trennung der Farben möglich.

- Wasser steigt in porösen Stoffen (Mauerwerk, Beton, Holz) auf. Dies muß beim Bau von Häusern, Hütten usw. berücksichtigt werden:
 - Unter der Betonbodenplatte eines Hauses befindet sich eine Schotterschicht.
 - Holzpfähle werden auf Stahlspießen montiert.
 - Als Bett von Bahngleisen wird Schotter verwendet.
- Die Rose von Jericho.
- Papierblüten: Die Ecken eines Papierquadrats werden zum Mittelpunkt eingeschlagen. Setzt man es auf das Wasser, so gehen die Ecken als „Blütenblätter“ auf.

7.8 Strömendes Wasser kann saugen

- „Staudruck“ heißt der durch strömendes Wasser verursachte Unterdruck, es entsteht eine Saugwirkung. Dieses Prinzip liegt dem Heron'schen Brunnen zugrunde.
- Man benutzt in Labors Wasserstrahlpumpen (Wasserhähne mit seitlicher Ansaugöffnung) zum Absaugen von Gasen.
- Anwendung: Schaummittelzumischer bei der Feuerwehr.
- Der gleiche Effekt tritt auf bei strömender Luft (siehe dort).

7.9 Wasserdampf

Wasserdampf ist **unsichtbar**, sichtbar dagegen ist Nebel. Nebel ist flüssiges Wasser in Form von kleinsten Tröpfchen (Wolkenbildung).

Wird Wasser in einem Gefäß verdampft, so gerät es unter großen Druck. Dies kann man mit dem Wasserdampf-Rückstoß-Boot (Spielzeuggeschäft) zeigen.

8 Erfahrungen mit Luft

Worin unterscheidet sich Luft von „Nichts“?

Diese Frage ist insofern schwierig zu beantworten, als die Erfahrung von „Nichts“ nicht alltäglich ist. Das Nichts heißt in der Physik „Vakuum“, es ist bestenfalls nur abstrakt vorstellbar (Welt-raum) oder technisch aufwändig herstellbar (Vakuumpumpe).

Da das „Nichts“ so wenig erfahrbar ist, sind wir geneigt, im Alltagssprachgebrauch „Luft“ mit „Nichts“ gleichzusetzen:

- Du bist für mich Luft!
- In dem Trinkglas ist nichts mehr drin.
- Das Luftschloss.

Wir wollen dennoch erfassen, dass Luft etwas ist, wir können einigen ihrer Eigenschaften nachspüren.

8.1 Luft braucht Platz

- Luftballon, Wasserball, luftgefüllte Spritze, Luftverpackungen: Versuche, die eingeschlossene Luft zusammenzudrücken oder sich ausdehnen zu lassen.
- Bläst man eine Papiertüte (oder Mülltüte, Tetrapack mit Schraubverschluss) auf und preßt die Öffnung mit den Fingern zusammen, so kann man sie nicht zusammendrücken. Die Tüte platzt. (Je fester die Tüte ist, desto größer muß der zum Platzen nötige Druck sein; dafür ist aber der Knall lauter.)
- Beim Öffnen einer Tür in einem Raum (Zimmer, Klassenzimmer, Auto) bewegt sich eine andere angelehnte Tür.

Luft kann aber mit viel Kraft — im Gegensatz zu Flüssigkeiten oder festen Körpern — zusammengepresst werden.

Dabei erwärmt sie sich. Man stellt dies beispielsweise fest, wenn man einen Fahrradreifen aufpumpt. Die Erwärmung hier wird nur fälschlicherweise einer vermeintlich auftretenden Reibung zugeordnet.

Umgekehrt: Dehnt sich zusammengepreßte Luft (oder ein Gas) aus, so kühlt sie sich ab. Das kann man feststellen beim

- Einschrauben einer N_2O -Patrone in einen Sahnesyphon,
- wenn Feuerzeuggas — beispielsweise aus der Nachfüllflasche — ohne Verbrennung auströmt,
- wenn Haarspray längere Zeit aus der Dose strömt.

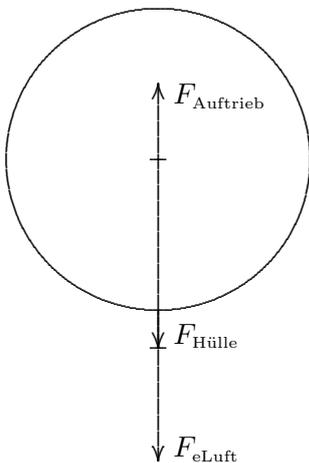
oder

8.2 Luft hat ein Gewicht

- Legt man auf eine sehr genaue Waage nacheinander einen leeren und dann einen aufgeblasenen Luftballon, so kann man einen Gewichtsunterschied feststellen.
- Das gleiche kann man auch mit einem Fußball anstelle des Ballons durchführen.
- An einem Hebel (z.B. Kleiderbügel oder Plastikstange + Wäscheklammer) werden zwei luftgefüllte Ballons befestigt und austariert. Den Hebel hängt man am besten in einen Haushaltsgummi (kein Verrutschen) und diesen mit einem Faden an einen Haken an der Decke oder an einem Gestell. Sticht man (mit Nadel oder Zirkelspitze) in einen der beiden Ballons ein Loch (das Platzen kann man durch einen Klebestreifen verhindern), so kippt der Hebel in Richtung des luftgefüllten Ballons.

Unter Umständen kann man einen Nebeneffekt beobachten: Beim seitlichen Ausströmen der Luft fängt die Luftballonwaage an, sich um die Aufhängeachse zu drehen.

Die Deutung dieses Ergebnisses ist (leider) nicht so einfach und naheliegend, wie es den Anschein hat. Wir wollen uns die Kräfte auf einen Ballon etwas genauer anschauen:



Auf den Ballon wirken im wesentlichen drei verschiedene Kräfte ein:

- Die Gewichtskraft $F_{\text{Hülle}}$ der Ballonhülle ist nach unten gerichtet,
- die Gewichtskraft F_{eLuft} der eingeschlossenen Luft ist ebenfalls nach unten gerichtet.
- die durch die umgebende Luft verursachte Auftriebskraft F_{Auftrieb} ist nach oben gerichtet.

Die Gesamtkraft auf den vollen Ballon ist also:

$$F_{\text{voll}} = F_{\text{Hülle}} + F_{\text{eLuft}} - F_{\text{Auftrieb}}.$$

Wird die Luft aus dem Ballon ausgelassen, so fallen die beiden letztgenannten Kräfte weg, es gilt dann

$$F_{\text{leer}} = F_{\text{Hülle}}$$

der Unterschied zwischen den Gewichtskräften von vollem und leerem Ballon ist

$$F_{\text{voll}} - F_{\text{leer}} = F_{\text{eLuft}} - F_{\text{Auftrieb}}.$$

- Bei einer naiven (redlichen?) Argumentation wird man die Auftriebskraft außer Acht lassen und behaupten

$$F_{\text{voll}} - F_{\text{leer}} = F_{\text{eLuft}}.$$

Der Nachweis, dass die im Ballon eingeschlossene Luft ein Gewicht hat, wäre — vermeintlich — erbracht.

- Genauer muß man aber den Auftrieb mitberücksichtigen: Da die Luft im Ballon zusammengepresst ist, ist ihr Gewicht vom Betrag her größer als die durch die Umgebungsluft ausgeübte Auftriebskraft

$$F_{\text{eLuft}} > F_{\text{Auftrieb}}$$

Deshalb ist auch hier

$$F_{\text{voll}} - F_{\text{leer}} = F_{\text{eLuft}} - F_{\text{Auftrieb}} > 0,$$

damit haben wir den eigentlichen Grund für das Versuchsergebnis gefunden.

- Wäre die Luft im Ballon nicht zusammengepresst, so wäre

$$F_{\text{eLuft}} = F_{\text{Auftrieb}},$$

da die Dichte der eingeschlossenen Luft gleich der der Umgebungsluft ist. In diesem Fall ist also

$$F_{\text{voll}} - F_{\text{leer}} = 0.$$

Man würde keinen Unterschied beim Wiegen eines luftgefüllten und eines leeren Ballons feststellen.

8.3 Luft „drückt“

- Eine Glasplatte (oder Spiegel) wird auf verschiedene Unterlagen (Tisch, Korkplatte, Karton, andere Glasplatte, evtl. mit Wasserfilm) gelegt. Versuche, die Glasplatte anzuheben, mit den Fingerkuppen, mit einem Saugnapf (Abflusstopfer).
- Zwei Abflußstopfer werden aufeinander gepreßt. Sie lassen sich kaum voneinander trennen (Magdeburger Halbkugeln).

Anwendung: Saugnäpfe, Glasgriffe.

- Setzt man einen Plastikbecher (kleine Öffnung, geringes Gewicht) auf den Mund und saugt ihn aus, so bleibt er haften.
- Vorstellung: Die Luft auf der Erde ist wie ein riesiges Meer, an dessen Grund wir leben. Die Luftschichten über uns „drücken“ (→ Hoch, Tief beim Wettergeschehen, Druckausgleich durch Winde).

8.4 Luft kann antreiben

- Windmühlen,
- Windräder (selbst basteln!),
- Segelboote, Surfing.

8.5 Luft kann rückstoßen

- Ein gefüllter offener Luftballon saust durch den Raum, sein Flug kann durch Papierbänder (5 cm lang, in der Nähe der Öffnung angeklebt) stabilisiert werden.
- Dieser Versuch kann noch professioneller aufgezo-gen werden, indem man den Luftballon auf einem Wagen montiert. Diese Anordnung gibt es auch fertig als Physik-Spielzeug.
- Luftballon-Zeppelin: An einem (zigarrenförmigen) Luftballon wird längsseitig ein Strohhalm befestigt, durch den eine Drachenschnur geführt ist. Strömt Luft aus dem Ballon, so saust er entlang der Schnur davon.

8.6 Luft kann bremsen

- Fährt man mit der Hand durch die Luft, so spürt man eine leichte Hemmung der Bewegung.
- Viel besser kann man das spüren beim schnellen Fahrrad- oder Motorradfahren.
- Laß ein Blatt Papier fallen — erst offen und dann zusammengeknüllt!
- Unerwünscht: Luftwiderstand bei Fahrzeugen aller Art.
- Erwünscht: Fallschirm (Selbst basteln aus Müllsack), Flugzeuglandung.
- Papierflugzeuge (vgl. „Spezialliteratur“).

8.7 Luft kann polstern

- Reibung kann durch Luftpolster verhindert werden.
- Dies wird bei Luftkissenfahrzeugen ausgenutzt. Dieses Prinzip kann mit einem Luftballongleiter (Physik-Spielzeug) demonstriert werden.
- Luftblasenfolie.

8.8 Strömende Luft kann saugen

In der Umgebung von strömender Luft entsteht ein Unterdruck, er heißt Staudruck. Es tritt eine Saugwirkung auf.

- Zwei gekrümmte Kartons werden mit der Wölbung aneinander gehalten; bläst man zwischen ihnen hindurch, so werden die beiden Kartons aneinandergedrückt statt, wie man zunächst erwarten würde: auseinander.
- Bringt man einen Tischtennisball in den vertikal aufsteigenden Luftstrom eines Föns, so fällt er nicht heraus. Fällt der Ball auf eine Seite, so wird auf der Gegenseite der Luftstrom stärker, so dass der Ball wieder in Richtung Mitte gesaugt wird. Die Druckverhältnisse im Luftstrom halten den Ball also stabil.
- Wenn Luft aus einem Luftballon ausströmt, so hört man ein Flattergeräusch: Die ausströmende Luft saugt die Gummihaut am Auslass an. Dadurch wird der Luftstrom verringert und der Auslass öffnet sich wieder. Der Luftstrom wird wieder stärker . . . und das Spiel beginnt von neuem. Alle Luftflattergeräusche (bei höherer Frequenz: Pfeifen, Blasinstrumente) beruhen letztlich auf diesem Effekt (Fahrrad- oder Motorradfahren mit weiter Jacke).
- Starke Winde können Dächer abdecken.
- Das Zuschlagen von Türen beruht darauf.
- „Wetten dass“ Sendung am 10.10.98: Bläst man einen kräftigen Luftstoß über eine Münze, so hüpfte sie in ein dahinter stehendes Trinkglas.
- Anwendungen in der Technik: Flugzeugtragfläche, Vergaser beim Benzinmotor, Heckflügel von Rennautos.
- Liegt eine CD (mit dem Label nach unten) auf einer glatten Unterlage, so kann man sie dadurch anheben, dass man darüber bläst.
- Liegt ein Tischtennisball in einem engen Glas, so kann man ihn durch „Darüberblasen“ aus dem Glas heben.

9 Erfahrungen mit Wärme und Temperatur

9.1 Wärme- und Kälteempfindung der menschlichen Haut

- Drei Glasschüsseln mit heißem, lauem und (eis-)kaltem Wasser werden nebeneinander aufgestellt. Taucht man die beiden Hände zuerst in das heiße und kalte Wasser und dann beide zugleich in das laue, so empfindet man vermeintlich unterschiedliche Temperaturen.
- Berührt man ein Holz- und ein Eisenstück gleicher hoher (oder sehr niedriger) Temperatur, so wird das Eisenstück als heißer (kälter) empfunden als das Holzstück. Der Grund dafür ist, dass Eisen eine höhere Wärmeleitfähigkeit hat als Holz und daher wesentlich mehr Energie an die Haut abgibt (von der Haut aufnimmt) als Holz. Es ist gerade die Höhe der übertragenen Energie (und damit erst sekundär die Temperatur), die für unser Wärme- und Kälteempfinden maßgeblich ist.

9.2 Ausdehnung bei Erwärmung

- Zwei Nägel werden so in ein Holzbrett geschlagen, dass eine Münze ihren Zwischenraum genau passieren kann. Wird die Münze mit dem Feuerzeug oder Bunsenbrenner erwärmt, so kann sie die Lücke nicht mehr passieren.
- Ein Bimetall besteht aus zwei Metallstreifen unterschiedlichen Wärmeausdehnungsverhaltens, die aufeinander gewalzt oder gelötet sind. Wird das Bimetall erwärmt, so dehnen sich die beiden Streifen unterschiedlich stark aus, so dass es zu einer Krümmung des Bimetalls kommt.
- Eine leere Flasche (z.B. 2 Liter), die vorher nicht in der Sonne oder auf der Heizung gestanden haben darf, wird mit einer Seifenblase, einem Luftballon oder einem Pfennigstück verschlossen. Bei Erwärmung der Flasche (z.B. mit mehreren Händen) wölbt sich die Seifenblase, der Luftballon füllt sich, der Pfennig wird hochgedrückt.
- Das Schröpfglas: Erwärmt man die Luft in einem Kröpfglas (oder Schnapsglas) über einer Feuerzeugflamme und stülpt dann die Öffnung auf die Haut, so haftet das Glas. Die Haut wird in das Glasinnere gesaugt.
- Erinnern Sie sich an die Wirkungen des el. Stromes?

9.3 Bau eines einfachen Thermometers

Auf einen Erlenmayerkolben (oder ein anders bauchiges Glasgefäß) wird ein durchbohrter Kork- oder Gummistopfen gesetzt. Durch die Bohrung wird ein Glasröhrchen geführt. Das Gefäß wird randvoll mit (Tinten-)Wasser gefüllt. Wird nun das Wasser erwärmt (Stelle es längere Zeit in die Sonne oder tauche es in siedendes Wasser), so steigt infolge der Ausdehnung der Wassermenge das Wasser im Röhrchen hoch.

9.4 Aufsteigen warmer Flüssigkeiten und Gase

Im allgemeinen sinkt bei Flüssigkeiten oder Gasen bei steigender Temperatur die Dichte ab (Man sagt, sie werden „leichter“), weshalb warme Schichten eine Auftriebskraft in der kühleren Umgebung erfahren:

„Warme Flüssigkeiten oder Gase steigen auf“

Beispiele:

- Das Wettergeschehen: Die Auftriebskraft ist letztlich die Ursache für vielerlei Luftströmungen: Thermik, Land- und Seewind, globale Winde,
- Zentralheizungen: Das Wasser in den Rohrleitungen muss „unten“ (im Keller) erwärmt werden.
- Heizkörper in einem Raum werden möglichst weit unten angebracht (beispielsweise in Treppenhäusern).
- Das Galileithermometer: Exakt abgewogene wassergefüllte Glaskugeln befinden sich in einer „Wasserumgebung“. Wird das umgebende Wasser erwärmt, so vermindert sich seine Dichte, während die Dichte der Kugeln gleich bleibt. Wenn die Dichte des umgebenden Wassers kleiner wird als die Dichte einer bestimmten Kugel, so sinkt diese ab. Insgesamt wird eine höhere Temperatur angezeigt.
- Eine Delle in einem Tischtennisball kann man dadurch ausbeulen, dass man den Ball in siedendes Wasser taucht und etwa eine Minute wartet.
- Kartonkamin: Ein zum Zylinder geformter Plakatkarton wird über eine Herdplatte gestellt. Stülpt man (schnell) eine Mülltüte darüber, so sorgt der Auftrieb der warmen Luft für ein Aufsteigen der Mülltüte. Der Aufstieg kann durch Anbringen von Heft- oder Büroklammern am unteren Rand der Tüte stabilisiert werden.
- Karussell mit Warmluftantrieb: Eine Papierspirale wird wie eine Wendeltreppe auseinandergezogen und im Mittelpunkt an der Decke so befestigt, dass sie 50 cm über einem Tisch schwebt. Stellt man unterhalb eine Wärmequelle (Kerzen, Herdplatte o.ä.) auf, so dreht sich die Spirale. Dieser Effekt wird bei der Weihnachtspyramide ausgenutzt.
- Teebeutel verbrennen. Schneide einen Doppelkammer-Teebeutel an der verklammerten Seite ab, leere ihn aus und stelle das entstandene Papierröhrchen senkrecht auf einen Teller. Zündet man das obere Ende an, so steigt nach einiger Zeit das Röhrchen schnell auf. Selbst wenn der Teller auf den Boden gestellt wird, steigt der verbrannte Teebeutel bis zur Zimmerdecke auf.
- Heißluftballon, Chinesische (fliegende) Lampions.

9.5 Wärmeleitung

- Auf einen horizontal befestigten Metallstab (Z.B. Kupferrohr aus dem Baumarkt) werden oberhalb Wachsstückchen geklebt. Erwärmt man das eine Stabende, so fallen die Wachsstückchen der Reihe nach herunter. Vergleiche verschiedene Metalle und evtl. andere Materialien!
- Wasser kann im Pappbecher gekocht werden. Das gut wärmeleitende Wasser führt die Energie der Herdplatte schnell ab, weshalb die Entzündungstemperatur für Pappe nicht erreicht wird.
- Ein (Silber-)Löffel im Glas begünstigt ein schnelleres Abkühlen eines heißen Getränks.
- Fett auf der Suppe verhindert den Wärmeabzug durch die Luft.
- Eine Suppe ist am Tellerrand kühler als in der Tellermitte, da am Rand Wärme besser abgeleitet werden kann.

- Wassertropfen tanzen auf der Herdplatte, da sich an ihrer Oberfläche eine (wärmedämmende) Dampfschicht ausbildet (Leidenfrost'sches Phänomen).

9.6 Wärmestrahlung

Hält man die Hand berührungsfrei in eine Blechdose, so kann man die von den Händen ausgehende und von den Wänden reflektierte Wärmestrahlung spüren.

Mit einer Infrarotlampe bestrahlt man aus 1 bis 2 Meter Entfernung weißes glattes Papier und schwarzes rauhes (Sand-)Papier: Das schwarze Papier wird schneller warm.

Stellt man ein Glasröhrchen mit klarem Wasser und ein mit Tintenwasser gefülltes Glasröhrchen nebeneinander in die Sonne, so erwärmt sich das Tintenwasser schneller.

9.7 Erwärmen durch Reibung

Berührt man nach dem Sägen, Hämmern oder Bohren die bearbeitete Stelle, so kann man eine Erwärmung feststellen.

10 Erfahrungen mit Kerzen

10.1 Entzünden der Kerzenflamme

- Direkt mit Hilfe einer anderen Flamme.
- Ein (Sicherheits-)Streichholz kann nicht durch Reibung auf einem Sandpapier entzündet werden. Ein auf die Reibfläche einer Streichholzschachtel aufgebracht chemischer Stoff ist zusätzlich notwendig.
- Bei Sonnenschein kann man ein Streichholz auch dadurch anzünden, daß man den Kopf in den Brennpunkt einer Sammellinse (Lupe) hält, durch das das Sonnenlicht senkrecht einfällt.
- Direkt nach dem Verlöschen einer Kerze kann eine Kerze erneut entzündet werden, indem man eine Flamme (Streichholz oder andere Kerze) in den aufsteigenden Kerzenrauch hält.

10.2 Löschen der Kerzenflamme

- Ausblasen (Warum funktioniert das?)
- Löschen mit nassen Fingern (Wasser, Spucke). Der Kerzenrand sollte nicht zu stark überstehen.
- Kupferspirale: Kupfer (Metalle) sind gute Wärmeleiter; bringt man sie in die Umgebung einer Kerzenflamme, so fehlt die abgeführte Wärme für das Verdampfen von weiterem Wachs. Die Kerze erlischt (wenn man Glück hat, ansonsten wird zumindest die Flamme sehr klein).
- Stülpt man eine Haube (Marmeladeglas) über die Flamme, so verlöscht sie.

10.3 Farbe und Temperatur der Flamme

- In der Kerzenflamme sind drei farblich unterscheidbare Bereiche zu erkennen. Die Färbung der Bereiche hängt von den jeweiligen Temperaturen ab (\rightarrow Glühfarbe, Abschnitt 2.5). Die drei Bereiche sind der dunkle (kühle) Kern (ca. 400°C), der gelbe Mantel (ca. 800°C), bei Dunkelheit kann man den blauen Saum erkennen.
- Mit einem elektronischen Thermometer können die Temperaturen ausgemessen werden.
- Hält man einen Streichholzkopf nacheinander in den Kern bzw. in die Flamme, so kann man beobachten, daß sich der Kopf im Kern später entzündet als der im Mantel.
- Beim Verbrennen von Propangas oder Magnesium zu Magnesia („Turn-Pulver“) werden wesentlich höhere Temperaturen erreicht, weshalb die Flammen auch blau bis leuchtend weiß erscheinen.

10.4 Die Struktur der Flamme

- Die Struktur der Flamme kann man erkennen, wenn man eine Glasplatte waagrecht in die Flamme hält und die Flamme von oben betrachtet.
- Wenn man ein Holzstäbchen in halber Höhe durch die Flamme führt, so kann man sehen, dass die Flamme im Randbereich stärker glüht.

10.5 Chemie der Kerze

- Hält man eine Glasplatte, Porzellanschüssel, Löffel o.ä. über die Kerzenflamme, so bildet sich eine schwarze Rußschicht. Es handelt sich um unverbrannten Kohlenstoff.
- Hält man das eine Ende eines etwa 5 cm langen Glasröhrchens (Durchmesser 3 mm) in den Kern der Flamme, so kann man — mit etwas Glück — den nach einiger Zeit auf der anderen Seite austretenden Rauch entzünden. Man nennt dies die Tochterflamme.
- Stülpt man eine Haube über die Flamme (es genügt bis zur Höhe des Doctes), so verlöscht sie. Dies deutet auf den fehlenden Sauerstoff hin. Das beim Verbrennen entstehende Kohlendioxid hat eine geringere Dichte als Sauerstoff und steigt deshalb empor (Auftrieb). (Der Nachweis von Kohlendioxid wäre durch Kalkwasser möglich.)

10.6 Wachs und Docht

Wachs (in fester oder flüssiger Form) allein brennt nicht. Auch ein Docht (sofern nicht mit Wachs getränkt) brennt kaum. Infolge der Temperatur der Kerzenflamme schmilzt Wachs in der Umgebung des Doctes in der Kerze, das flüssige Wachs strömt zum Docht (das kann man sehen, wenn sich Schmutzteilchen im flüssigen Wachs befinden) und steigt (aufgrund der Kapillarität, vgl. Erfahrungen mit Wasser) nach oben.

An der Oberfläche des Doctes verdampft das flüssige Wachs. Der Wachsdampf tritt aus dem Docht aus. Beim Ausblasen einer Kerze wird der Wachsdampf wieder fest, er macht sich als Rauch bemerkbar.

10.7 Luftsclieren

Betrachte den „Schatten“ einer Kerzenflamme (z.B. im Licht des OH-Projektors) Anstelle eines Schattens sind Luftsclieren sichtbar, die aufgrund des durch die Hitze veränderten Brechungsindex der Luft zustande kommen.

10.8 Heiße Luft in der Umgebung

Bedecke den Boden eines flachen Tellers mit einer etwa 1 cm dicken Wasserschicht und stelle eine Kerze in der Mitte des Tellers auf. Stülpt man nun ein Trinkglas so über die Kerze, dass es an der Unterseite ganz in das Wasser eintaucht, nicht aber gegen das Wasser dicht abschließt, so beobachtet man nach dem Verlöschen der Flamme einen Anstieg des Wassers im Gläschen. Dies liegt daran, dass sich nach dem Verlöschen die Luft in dem Glas stark abkühlt. Aufgrund des geringer werden Luftvolumens entsteht ein Unterdruck, der das Wasser ansaugt.

Verwendet man anstelle der Kerze ein Teelicht, so schwimmt es auf dem angesaugten Wasser

10.9 Die Richtung der Flamme

- Auch bei schräg gehaltener Kerze ist die Flamme senkrecht nach oben — also immer genau entgegengesetzt zur Schwerkraft — gerichtet. Der Grund dafür sind die Auftriebskräfte der heißen Gase gegenüber der Umgebung.
- Eine Kerze wird in ein genügend hohes zylinderförmiges Glas gestellt (zur Verhinderung von Luftzug) und dann im Kreis bewegt. Die Flamme neigt sich zur Mitte hin. Erklärung: Die Flamme richtet sich immer entgegen der Richtung einer Kraft auf Massen (Schwerkraft, Trägheits- oder Zentrifugalkraft) aus.

- Eine frei fallende Kerze unterliegt nicht der Schwerkraft. Die Flamme bildet eine Kugelgestalt aus und verlöscht schließlich.

10.10 Der Mehlstaubbrand (Vorsicht!)

In einer Metallschüssel, deren (flacher) Boden mit einer Mehlschicht bedeckt ist, wird eine Kerze aufgestellt. Bläst man (z.B. mit Hilfe eines Schlauches) Luft über die Mehlschicht, so entzündet sich — eindrucksvoll — die mitgewirbelte Wolke aus Mehlstaub (Vorsicht!)

10.11 Das Modell eines Motorkolbens (Vorsicht!)

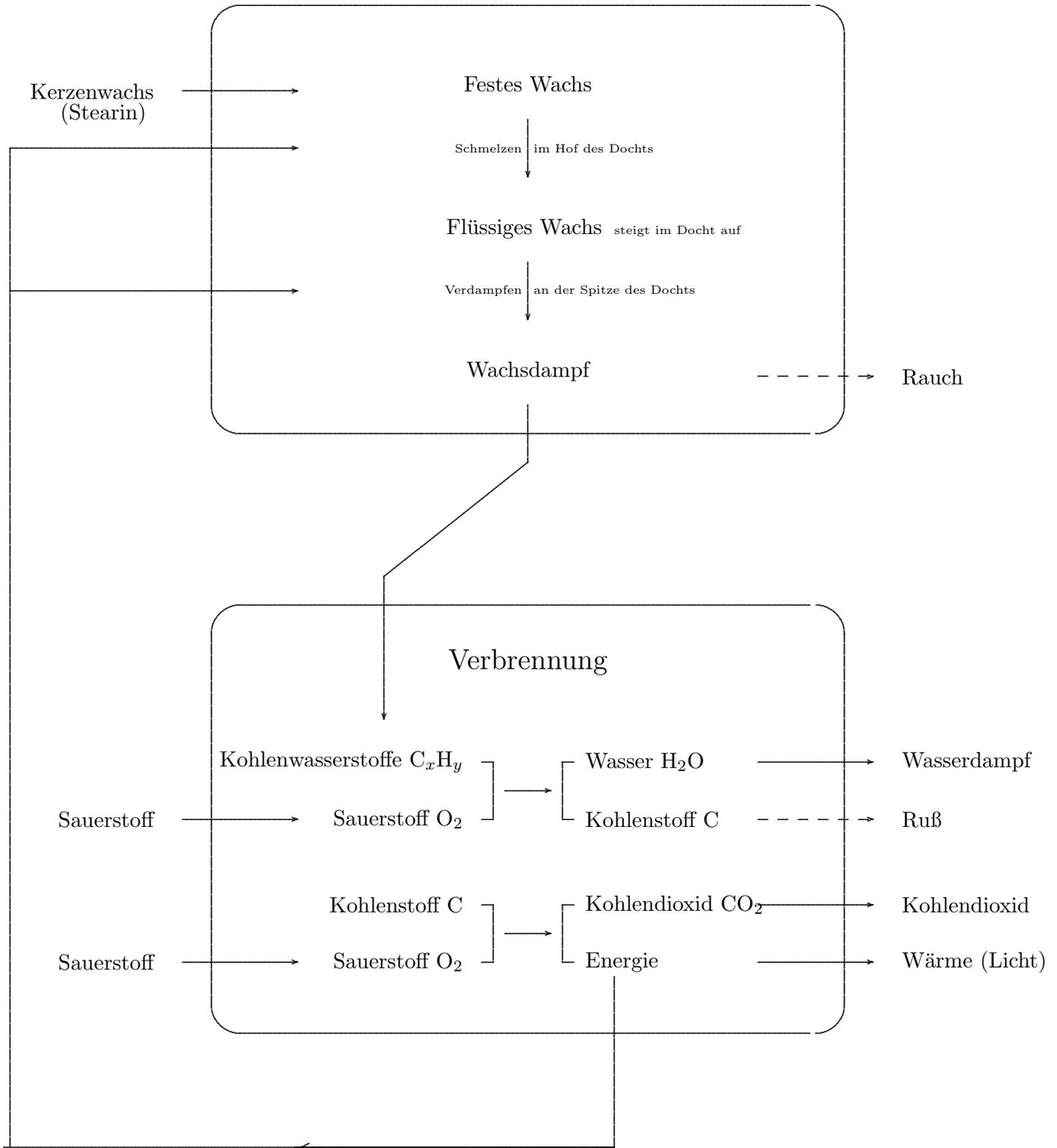
Modellversuch Benzinverbrennung in einer Pappröhre.

- In einer Pappröhre (zum Versenden von Posters) befindet sich seitlich — etwa 5 cm vom Boden entfernt — ein Loch von etwa 5 mm Durchmesser.
- Es werden mehrere mit Benzin beträufelte Korkstückchen in die Pappröhre gelegt. Diese wird dann senkrecht auf den Boden gestellt und mit dem zugehörigen Plastikdeckel verschlossen.
- Führt man ein brennendes Streichholz in die seitliche Öffnung, so entzündet sich das inzwischen verdunstete Benzin innerhalb der Pappröhre. Der Deckel schießt senkrecht nach oben.

10.12 Der Kerzenkreislauf

Aufnahme

Abgabe



11 Erfahrungen mit der Zeit

11.1 Empfinden und Messen von Zeitspannen

- Das 2-Sekunden-Pendel: Hängt man einen Gegenstand (Schlüssel) an eine 1 m lange Schnur, so ist die Schwingungsdauer (Periode: Zeit für eine Hin- und Herbewegung) ziemlich genau 2 s. Dies ist unabhängig von der Amplitude (Maximalweite der Pendelbewegung), zumindest, wenn diese nicht zu groß ist.
- Reaktionsstab: Bringt man an einem Besenstiel gemäß folgender Tabelle Zeitmarken an, so geben diese genau die Zeit an, die der Besenstiel braucht, um diese Höhe zu durchfallen.

Höhe über dem unteren Ende in cm	5	20	45	80	125	180	h
Falldauer in s	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	$\sqrt{\frac{h}{500}}$

Man hält nun den Besenstiel senkrecht über die zu einem Ring geformte Hand eines Schülers/einer Schülerin und lässt ihn dann überraschend fallen. Die (Reaktions-)Zeit, die bis zum Zugreifen verstreicht, kann dann am Besenstiel abgelesen werden.

11.2 Die astronomischen Zeitläufe

Die astronomischen Konstellationen kann man mit Hilfe von Modell-Bewegungsspielen veranschaulichen. Man braucht einen Globus, Taschenlampe oder Diaprojektor und einen hellen Ball (z.B. Volleyball oder aus Styropor). Bei einigen der Spiele muss das Klassenzimmer verdunkelt werden.

Zur Vorführung kann man auch verschiedene kleinere Bälle, Äpfel oder Orangen verwenden.

11.3 Die Erddrehung

- *Tag und Nacht* entstehen, weil sich die Erde um die eigene Achse — in Richtung Osten — dreht. Die gedachte Erdachse verläuft durch die geographischen Pole der Erde. Die Ebene senkrecht zur Drehachse durch den Erdmittelpunkt heißt Äquatorebene, ihr Schnitt mit der Erdoberfläche Äquator.
- *Sonnenuhr* Die Erddrehung kann man mittelbar erfahren, wenn man einen Stab aufstellt und über den Tag hinweg den Schatten beobachtet

Eine einfache Sonnenuhr kann man bauen, in dem man einen Stab in dem Loch eines umgedrehten Blumentopfs befestigt. Auf die dann oben liegende Bodenfläche kann eine Scheibe zur Markierung der Zeiten gelegt werden.

In Eichstätt kann man Sonnenuhren an der Südseite der Johanniskirche (neben der Dom-Apotheke) oder am Giebel eines Hauses gegenüber der St. Walburg-Schule sehen.

- *Äquatordämmerung*: In äquatoriellen Gebieten geht die Sonne viel schneller auf und unter. Dies liegt daran, dass sie dort sehr steil (fast senkrecht) den Horizont passiert.

11.4 Das Jahr

- Die Erde bewegt sich als ganzes in einem Jahr auf einer elliptischen (nahezu kreisförmigen) Bahn um die Sonne. Die Geschwindigkeit beträgt etwa 30 km pro Sekunde. Die Erdbahn verläuft in einer Ebene, der sogenannten Ekliptik.
- Tierkreiszeichen: Das (aktuell nicht sichtbare) Sternbild, vor dem die Sonne steht, ist das des Tierkreises.
- Während eines Jahres sind die folgenden astronomischen und meteorologischen Veränderungen zu beobachten:
 - Veränderung der Tages- bzw. Nachtlänge, Zeitpunkt des Sonnenaufgangs bzw. Sonnenuntergangs, Tag- und Nachtgleiche.
 - Sonnenhöchststand.
 - Die jahreszeitlichen Temperatur- und damit Wetterveränderungen kommen daher, dass aufgrund des veränderten Sonnenhöchststandes der Einstrahlwinkel von Sonnenlicht größer und kleiner wird.
 - Wendekreise, Polarkreise, Mitternachtssonne.

Die Ursache dafür ist nun die folgende „geometrisch-räumliche“ Konstellation:

Die Erddrehachse schließt mit dem Lot auf die Ekliptik einen Winkel von $23,5^\circ$ ein. Diese Richtung innerhalb des Weltraums (gegenüber dem Fixsternhimmel) bleibt während des Jahreslaufs der Erde um die Sonne — im wesentlichen — unverändert.

12 Erfahrungen mit Schall

12.1 Entstehung von Schall

12.2 Geräusche

- Ein Papier raschelt oder wird zusammengeknüllt,
- Eine aufgeblasene Papiertüte knallt.
- Knackfrosch.
- Luftballon:
 - Die Luft strömt frei heraus,
 - Die Öffnung wird breit gezogen,
 - In die Öffnung wird ein kreisrundes Stück Plastik eingesetzt.
- Ratsche

12.2.1 Der Ton einer Stimmgabel

Sie erzeugt einen (reinen, natürlichen, harmonischen) Sinus-Ton. Er kann auch elektronisch (auf dem PC, Funktionsgenerator) erzeugt werden.

- Halten Sie die Zinken einer schwingende Stimmgabel an die Lippen.
- Berühren Sie mit den Zinken eine Wasseroberfläche.
- Schreibstimmgabel: Ein an der Stimmgabel angebrachter Zeiger hinterlässt eine Sinusspur:
 - Metallblattfeder oder befestigter Draht auf rußgeschwärzter Glasplatte
 - Bleistift auf Papier, weiche Unterlage.

12.3 Hören

- Aufbau des Ohrs (Rb29).
- Richtungshören: Rb71.

12.4 Schwingungen

12.4.1 Schwingende Stangen oder Saiten

- Stimmgabel (siehe oben).
- Die schwingende Stricknadel (Lineal): Eine Seite wird auf die Tischplatte gepresst, die andere über die Tischkante ragende Seite wird angezupft. Durch verschiedene Längenaufteilungen können verschieden hohe Töne erzeugt werden.
- Monochord: Abhängigkeit der Tonhöhe von Länge, Spannung und Dichte der Saite.

12.4.2 Schwingende Platten oder Membrane

- Chladni'sche Klangfiguren: Rechteckige Metallplatten werden mit Hilfe einer Schraube in der Mitte fest eingespannt. Die Metallplatte wird mit (nicht zu feinem) Quarzsand oder Zucker bestreut. Streicht man mit dem Geigenbogen den Rand der Platte an unterschiedlichen Stellen an, so entstehen gemäß den Schwingungen der Metallplatte verschiedene Muster.
- Anstreichen (kreisend mit den Fingern oder mit dem Geigenbogen) von gefüllten Weingläsern.
- Zahnrad-Orgel: Es werden Zahnräder auf die Achse eines Elektromotors montiert. Schleifen die Zähne an einem Stück Karton, so werden Töne erzeugt.
- Glocken: Tontopfglockenspiel.
- „Kugel-Musikspiel“.

12.4.3 Schwingende Luftsäulen: Pfeifen

- Pfeifen auf der Bierflasche oder Luftpumpe, Querflöte,
- Strohhalmtröte: Ein Strohhalm wird auf 12 cm gekürzt. Das eine Ende wird auf etwa 3 cm flachgedrückt und dann mit der Schere abgerundet. Wird das flache Ende des Strohhalms in den Mund gesteckt und mit den Lippen fest umschlossen, so ertönt beim Anblasen ein Brummtön. Dieses Zungenpfeifen-Prinzip wird bei Oboe, Klarinette und Fagott angewandt.
- Lippenpfeifen: Blockflöte, Orgelpfeifen, Galtonpfeife.
- Luftflattern bei geöffnetem Fenster oder geöffnetem Schiebedach.
- Hindemith-Orgel: Eine Lochscheibe wird auf die Achse eines Elektromotors montiert. Bläst man (mit Hilfe eines Schlauchs) Luft durch die rotierende Scheibe, so wird ein Ton erzeugt. Anwendung: Warnsirene, Heulpfeife.
- Trillerpfeife

12.4.4 Resonanz

- „Meeresrauschen“ mit Muschel oder hohem, engerem Glas (Spargelglas, Babytrinkflasche).
- Hält man eine Stimmgabel auf einen Resonanzboden, so verstummt sie viel schneller als wenn man sie nicht darauf setzt.
- Resonanz- oder Helmholtzkugeln.

12.4.5 Schwebungen

Stimmgabeln schwingen mit benachbarten Frequenzen, Modellversuch Schwebung. Reine und wohltemperierte Stimmung.

12.4.6 Schallausbreitung

- Ein Tamburin wird angeschlagen. Das Fell eines wenig entfernten zweiten Tamburins schwingt mit. Dies kann auch mit Hilfe einer leichten an einem Faden aufgehängten Kugel sichtbar gemacht werden: Sie wird von dem Fell weggeschleudert.
- Schnurtelefon: In die Böden von zwei Keksdosen werden Löcher gestanzt. Die beiden Enden einer etwa 8 m langen Schnur werden von unten in die Dosen geführt und dann mit je einem Streichholz quer gebunden.

Die beiden Dosen werden so gehalten, dass die Schnur dazwischen gespannt ist. Eventuell kann die Schnur durch einen Türspalt geführt werden. Schließen Sie die „Sprechdose“ beim Sprechen mit der Hand.

- Eine Schallwelle verlöscht eine Kerze.

12.4.7 Schallgeschwindigkeit

- Auf dem Sportplatz wird eine Starterklappe betätigt. In genügend großer Entfernung (B: 100 m) kann man feststellen, dass zwischen der optischen und akustischen Wahrnehmung eine kurze Zeit (B: 0,3 s) vergeht. Eine Messung dieser Zeit ist ungenau.
- Zwischen Blitz und Donner vergeht einige Zeit. Sie wird vom Donner-Schall (zusätzlich) benötigt, um die Entfernung zurückzulegen.

Teile die Zahl der Sekunden durch 3 und Du erhältst die Entfernung in Kilometern.

- Die Schallgeschwindigkeit ist etwa $v_{\text{Schall}} \approx \frac{1}{3} \frac{\text{km}}{\text{s}}$. Ein Kilometer wird also in drei Sekunden zurückgelegt.