

JULIA STEINER

# Physikalische Freihandversuche mit Dosen

---

## Diplomarbeit

**Zur Erlangung des akademischen Grades einer Magistra  
an der Naturwissenschaftlichen Fakultät der Karl-Franzens-  
Universität Graz**

2008

Ao. Univ. – Prof. Dipl. -Ing. Dr. Gernot Pottlacher  
Technische Universität Graz - Institut für Experimentalphysik

*Gewidmet meinem Mann und meinen Dreien -  
Chiara, Felix und Moritz.*

## Danksagung

Mein besonderer Dank gilt:

Dem Betreuer meiner Diplomarbeit, Herrn Ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Gernot Pottlacher, für die Möglichkeit diese Arbeit verfassen zu können, die ausgezeichnete Betreuung, sowie für die zur Verfügungsstellung jeglicher Räumlichkeiten und Gerätschaften.

Herrn Johann Feyferlik, dafür dass er immer ein offenes Ohr für meine Fragen und Wünsche hatte.

Meinem Mann für die tatkräftige Unterstützung während der Zeit in der diese Arbeit entstanden ist. Vor allem aber für das Filmen der Versuche und für die Hilfe beim Erstellen der DVD.

Meiner Mutter für das Korrekturlesen und die vielen aufmunternden Worte.

Meinen Eltern und meinen Schwiegereltern für die finanzielle und tatkräftige Unterstützung während meiner Studienzeit.

## Vorwort

Der Studienplan für das Unterrichtsfach Physik an der Karl-Franzens-Universität Graz sieht vor, dass jede Lehramtsstudentin und jeder Lehramtsstudent die beiden Lehrveranstaltungen „Schulversuche I“ und „Schulversuche II“ besucht. „Schulversuche II“ wird dabei an der technischen Universität Graz unter der Leitung von Ao. Univ.- Prof. Dipl.-Ing. Dr. Gernot Pottlacher durchgeführt. Diese beiden Lehrveranstaltungen dienen dazu, dass die zukünftigen Lehrerinnen und Lehrer einerseits das Experimentiermaterial kennen lernen und andererseits die Scheu vor dem Experimentieren selbst verlieren.

Im Rahmen der Lehrveranstaltung „Schulversuche II“ werden jedes Semester ein oder zwei Versuchsreihen durchgeführt, die von Ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Gernot Pottlacher „Freihandversuchs-Sessions“ genannt werden. Hier sollen die Studentinnen und Studenten jeweils zwei Freihandexperimente selbständig vorbereiten und vorstellen. Zudem werden sie gefilmt um Möglichkeiten der Verbesserung der eigenen Präsentationstechniken aufzuzeigen.

Als sich mir die Möglichkeit bot, das Thema „Physikalische Freihandversuche mit Dosen“ zu bearbeiten, habe ich diese sehr gerne wahrgenommen, da ich darin eine sehr gute Vorbereitung auf meine künftige schulische Laufbahn sehe.

Ziel meiner Arbeit ist es 50 Freihandversuche, die mit Dosen direkt oder indirekt zu tun haben auszuwählen, deren genauen Aufbau zu schildern, die Durchführung und die physikalischen Hintergründe zu beschreiben. Ergänzend zu diesen Beschreibungen gibt es Fotos, die den Versuchsaufbau zeigen und eine DVD mit der Durchführung der Experimente wurde erstellt. So soll es jedem möglich sein, mit Hilfe möglichst exakter und dennoch einfacher Beschreibung, diese Versuche nachzuvollziehen und selbst durchzuführen.

Diese Arbeit ist Teil eines Ringes von Diplomarbeiten, die im Rahmen der Lehrveranstaltung „Schulversuche II“ unter der Betreuung von Ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Gernot Pottlacher entstehen. Da meine Versuche aus verschiedenen Themengebieten der Physik stammen möchte ich an dieser Stelle auch auf diese Arbeiten verweisen. Zu erwähnen wären hier die Arbeiten von Katharina Wiespeiner „Physikalische Versuche zu Schwingungen und Wellen“, Barbara Raschke „Physikalische Freihandexperimente zur Mechanik“, David Auer „Physikalische Freihandversuche aus Optik“, Peter Fleißner „Physikalische Freihandversuche zu Hydrostatik und Hydrodynamik“ und Robert Schantl „Freihandversuche zur Thermodynamik“.

## Inhaltsverzeichnis

|                                                      |     |
|------------------------------------------------------|-----|
| Danksagung.....                                      | I   |
| Vorwort.....                                         | II  |
| Abbildungsverzeichnis.....                           | V   |
| Symbolverzeichnis.....                               | VII |
| 1 Fachdidaktisches.....                              | 1   |
| 1.1 Forderungen des Lehrplanes .....                 | 3   |
| 1.2 Was ist ein Freihandversuch? .....               | 4   |
| 1.3 Fachdidaktisches zum Einsatz von Versuchen ..... | 5   |
| 2 Mechanik .....                                     | 8   |
| 2.1 Das Senger'sche Wasserrad.....                   | 14  |
| 2.2 Die Dose auf der Rutschbahn .....                | 15  |
| 2.3 Ein Kreisel .....                                | 17  |
| 2.4 Die Zentrifugalkraft.....                        | 19  |
| 2.5 Die Archimedische Schraube.....                  | 20  |
| 2.6 Der Kerzenlöscher .....                          | 22  |
| 2.7 Stabilität einer Dose I .....                    | 23  |
| 2.8 Stabilität einer Dose II.....                    | 24  |
| 2.9 Schwerelos im freien Fall I .....                | 25  |
| 2.10 Ein einfaches Modell eines Kugellagers.....     | 26  |
| 2.11 Die magisch rollende Zauberdose .....           | 27  |
| 2.12 Das Dosenfahrzeug.....                          | 29  |
| 2.13 Wie man eine Kugel aufhebt.....                 | 30  |
| 2.14 Die bergauf rollende Dose .....                 | 31  |
| 2.15 Wie man eine Dose abschleppt I .....            | 32  |
| 2.16 Das Konservendosenrennen I .....                | 34  |
| 2.17 Das Konservendosenrennen II .....               | 37  |
| 2.18 Die Kerzenwippe .....                           | 39  |
| 3 Hydrostatik und Hydrodynamik.....                  | 40  |
| 3.1 Warum manche Getränke „light“ sind .....         | 41  |
| 3.2 Der hydrostatische Druck.....                    | 42  |
| 3.3 Die tauchende Dose.....                          | 44  |
| 3.4 Wie man ein Wrack hebt.....                      | 46  |
| 3.5 Das Dosenmanometer .....                         | 47  |
| 3.6 Verknotete Wasserstrahlen .....                  | 49  |
| 3.7 Die widerspenstigen Münzen.....                  | 51  |
| 3.8 Die implodierende Dose I .....                   | 53  |
| 3.9 Die implodierende Dose II.....                   | 54  |
| 3.10 Papier stoppt Wasser .....                      | 55  |
| 3.11 Schwerelos im freien Fall II.....               | 56  |
| 4 Schwingungen-Wellen-Optik.....                     | 57  |
| 4.1 Die Schwingungsdauer eines Fadenpendels I .....  | 59  |

# Physikalische Freihandversuche mit Dosen

---

|     |                                                     |    |
|-----|-----------------------------------------------------|----|
| 4.2 | Die Schwingungsdauer eines Fadenpendels II.....     | 60 |
| 4.3 | Der zeitliche Verlauf einer Schwingung.....         | 61 |
| 4.4 | Das Dosentelefon.....                               | 63 |
| 4.5 | Visualisierung von Schallwellen .....               | 64 |
| 4.6 | Hören an der Dose .....                             | 65 |
| 4.7 | Eine Dose als Lichtleiter .....                     | 68 |
| 4.8 | Eine Dose als Lochkamera.....                       | 69 |
| 5   | Elektrostatik und Magnetismus.....                  | 70 |
| 5.1 | Dosenelektroskop .....                              | 72 |
| 5.2 | Das Innere eines Leiters ist ladungsträgerfrei..... | 73 |
| 5.3 | Wie man eine Dose abschleppt II.....                | 74 |
| 5.4 | Sichtbare Entladung.....                            | 75 |
| 5.5 | Die verzauberte Dose .....                          | 76 |
| 5.6 | Induktionsmotor .....                               | 77 |
| 6   | Thermodynamik.....                                  | 78 |
| 6.1 | Eine Dose als Dampfturbine I.....                   | 80 |
| 6.2 | Eine Dose als Dampfturbine II.....                  | 81 |
| 6.3 | Das Dampfboot.....                                  | 82 |
| 6.4 | Das Düsenboot.....                                  | 84 |
| 6.5 | Wo schmilzt das Wachs schneller? .....              | 85 |
| 6.6 | Der Taupunkt.....                                   | 87 |
| 6.7 | Welche Dose ist wärmer? .....                       | 88 |
| 6.8 | Die Dose im Gefrierfach.....                        | 89 |
| 6.9 | Wasser siedet auf Papier.....                       | 90 |
| 7   | Literatur.....                                      | 91 |
| 7.1 | Internetquellen .....                               | 93 |
| 7.2 | Zeitschriftenquellen.....                           | 94 |
| 8   | Eidesstattliche Erklärung .....                     | 95 |

## Abbildungsverzeichnis

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| Abbildung 1: Das Senger' sche Wasserrad.....                       | 14 |
| Abbildung 2: Verknotete Wasserstrahlen.....                        | 14 |
| Abbildung 3: Die Dose auf der Rutschbahn .....                     | 15 |
| Abbildung 4: Die Dose auf der Rutschbahn II.....                   | 15 |
| Abbildung 5: Ein Kreisel .....                                     | 17 |
| Abbildung 6: Die Spitze des Kreisels .....                         | 17 |
| Abbildung 7: Erscheinungen am Kreisel.....                         | 18 |
| Abbildung 8: Der Kreisel in Bewegung.....                          | 18 |
| Abbildung 9: Der Kreisel hält die Ebene .....                      | 18 |
| Abbildung 10: Die Zentrifugalkraft.....                            | 19 |
| Abbildung 11: Die Archimedische Schraube.....                      | 20 |
| Abbildung 12: Das Wasser wird nach oben befördert.....             | 21 |
| Abbildung 13: Der Kerzenlöscher I.....                             | 22 |
| Abbildung 14: Der Kerzenlöscher II.....                            | 22 |
| Abbildung 15: Stabilität einer Dose I.....                         | 23 |
| Abbildung 16: Steine im Vergleich .....                            | 23 |
| Abbildung 17: Die Rillen dienen der Stabilität.....                | 23 |
| Abbildung 18: Die Stabilität einer Dose II.....                    | 24 |
| Abbildung 19: Die zerstörte Dose.....                              | 24 |
| Abbildung 20: Schwerelos im freien Fall.....                       | 25 |
| Abbildung 21: Modell eines Kugellagers.....                        | 26 |
| Abbildung 22: Die Dose gleitet auf den Kugeln.....                 | 26 |
| Abbildung 23: Die magisch rollende Zauberdose .....                | 27 |
| Abbildung 24: Die magisch rollende Zauberdose, [4] Seite 103 ..... | 27 |
| Abbildung 25: Die verdrehten Gummibänder .....                     | 28 |
| Abbildung 26: Das Dosenfahrzeug.....                               | 29 |
| Abbildung 27: Wie man eine Dose aufhebt.....                       | 30 |
| Abbildung 28: Die bergauf rollende Dose .....                      | 31 |
| Abbildung 29: Die bergauf rollende Dose .....                      | 31 |
| Abbildung 30: Wie man eine Dose abschleppt I .....                 | 32 |
| Abbildung 31: Die Bewegungsrichtung der Dose .....                 | 33 |
| Abbildung 32: Konservendosenrennen I.....                          | 34 |
| Abbildung 33: Konservendosenrennen [4] Seite 181 .....             | 34 |
| Abbildung 34: Vorsprung.....                                       | 36 |
| Abbildung 35: Das Konservendosenrennen II.....                     | 37 |
| Abbildung 36: Die Kerzenwippe .....                                | 39 |
| Abbildung 37: Warum manche Getränke "light" sind.....              | 41 |
| Abbildung 38: Der hydrostatische Druck.....                        | 42 |
| Abbildung 39: Unterschiedliche Weiten.....                         | 43 |
| Abbildung 40: Die tauchende Dose .....                             | 44 |
| Abbildung 41: Die Dose auf Tauchstation .....                      | 44 |
| Abbildung 42: Wie man ein Wrack hebt .....                         | 46 |
| Abbildung 43: Die schwimmende Dose.....                            | 46 |

## Physikalische Freihandversuche mit Dosen

---

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| Abbildung 44: Das Dosenmanometer .....                                  | 47 |
| Abbildung 45: Die Druckanzeige.....                                     | 48 |
| Abbildung 46: Drei Wasserstrahlen.....                                  | 49 |
| Abbildung 47: Die verknoteten Wasserstrahlen .....                      | 49 |
| Abbildung 48: Die widerspenstigen Münzen .....                          | 51 |
| Abbildung 49: Stromlinienbild [4] Seite 346 .....                       | 51 |
| Abbildung 50: Die implodierende Dose I.....                             | 53 |
| Abbildung 51: Die zerstörte Dose.....                                   | 53 |
| Abbildung 52: Die implodierende Dose II .....                           | 54 |
| Abbildung 53: Die zerstörte Dose.....                                   | 54 |
| Abbildung 54: Der Toricelliversuch.....                                 | 55 |
| Abbildung 55: Freier Fall II .....                                      | 56 |
| Abbildung 56: Die Schwingungsdauer eines Fadenpendels I .....           | 59 |
| Abbildung 57: Die Schwingungsdauer eines Fadenpendels II.....           | 60 |
| Abbildung 58: Der zeitliche Verlauf einer Schwingung.....               | 61 |
| Abbildung 59: Das Dosentelefon .....                                    | 63 |
| Abbildung 60: Visualisierung von Schallwellen.....                      | 64 |
| Abbildung 61: Hören an der Dose .....                                   | 65 |
| Abbildung 62: Der planare Wellenleiter [6] Kapitel 07, Seite 1.....     | 67 |
| Abbildung 63: Eine Dose als Lichtleiter .....                           | 68 |
| Abbildung 64: Eine Dose als Lochkamera .....                            | 69 |
| Abbildung 65: Das Dosenelektroskop.....                                 | 72 |
| Abbildung 66: Die entladene Dose .....                                  | 72 |
| Abbildung 67: Elektroskop.....                                          | 73 |
| Abbildung 68: Wie man eine Dose abschleppt II.....                      | 74 |
| Abbildung 69: Sichtbare Entladung .....                                 | 75 |
| Abbildung 70: Der Alustreifen entlädt sich .....                        | 75 |
| Abbildung 71: Die verzauberte Dose.....                                 | 76 |
| Abbildung 72: Der Induktionsmotor I .....                               | 77 |
| Abbildung 73: Der Induktionsmotor II.....                               | 77 |
| Abbildung 74: Dampfturbine [4] Seite 38 .....                           | 80 |
| Abbildung 75: Eine Dose als Dampfturbine I.....                         | 80 |
| Abbildung 76: Eine Dose als Dampfturbine II .....                       | 81 |
| Abbildung 77: Das Dampfboot.....                                        | 82 |
| Abbildung 78: Das Dampfboot in Aktion .....                             | 83 |
| Abbildung 79: Das Düsenboot.....                                        | 84 |
| Abbildung 80: Das Boot bewegt sich .....                                | 84 |
| Abbildung 81: Wo schmilzt das Wachs schneller.....                      | 85 |
| Abbildung 82: Die Münze auf der geschwärzten Seite fällt schneller..... | 85 |
| Abbildung 83: Der Taupunkt .....                                        | 87 |
| Abbildung 84: Die Schrift verschwindet.....                             | 87 |
| Abbildung 85: Temperatur der schwarzen Dose .....                       | 88 |
| Abbildung 86: Temperatur der weißen Dose .....                          | 88 |
| Abbildung 87: Die Dose im Gefrierfach .....                             | 89 |
| Abbildung 88: Wasser siedet auf Papier .....                            | 90 |



## Symbolverzeichnis

|                                                        |                            |
|--------------------------------------------------------|----------------------------|
| A                                                      |                            |
| a...Beschleunigung.....                                | 8                          |
| A...Amplitude.....                                     | 58                         |
| A...Bodenfläche der Dose.....                          | 43                         |
| C                                                      |                            |
| c...spezifische Wärme .....                            | 78                         |
| C...Wärmekapazität .....                               | 78                         |
| E                                                      |                            |
| e...Elementarladung .....                              | 70                         |
| E <sub>aus</sub> ...Energie .....                      | 13                         |
| E <sub>ein</sub> ...Energie.....                       | 13                         |
| E <sub>sys</sub> ...Energie .....                      | 13                         |
| F                                                      |                            |
| F...Kraft .....                                        | 9                          |
| F...Zugkraft .....                                     | 32                         |
| F <sub>G</sub> ...Gewichtskraft.....                   | 40                         |
| F <sub>G</sub> ...Gleitreibungskraft .....             | 12                         |
| F <sub>H,max</sub> ...Haftreibungskraft .....          | 11                         |
| F <sub>N</sub> ...Normalkraft .....                    | 11, 12                     |
| F <sub>R</sub> ...Rollreibungskraft.....               | 12                         |
| F <sub>x</sub> ...Federkraft .....                     | 57                         |
| G                                                      |                            |
| g...Erdbeschleunigung .....                            | 35, 38, 40, 43, 45, 48, 59 |
| H                                                      |                            |
| h...Höhe .....                                         | 35, 43, 45, 48             |
| I                                                      |                            |
| I...Trägheitsmoment.....                               | 10, 35                     |
| I <sub>i</sub> ...jeweiliges Trägheitsmoment .....     | 38                         |
| K                                                      |                            |
| k...Federkonstante .....                               | 57                         |
| K...Kompressionsmodul.....                             | 62                         |
| L                                                      |                            |
| L...Länge der schiefen Ebene .....                     | 35                         |
| l...Länge des Fadenpendels.....                        | 59                         |
| l...Normalabstand .....                                | 9                          |
| M                                                      |                            |
| M...Gesamtmasse der Dose.....                          | 35                         |
| m...Masse.....                                         | 78                         |
| m...Masse der Dose .....                               | 38                         |
| m...Masse der Flüssigkeitssäule .....                  | 43                         |
| m <sub>i</sub> ...Masse .....                          | 10                         |
| N                                                      |                            |
| n <sub>1,2</sub> ...Brechungsindex des Mediums.....    | 66                         |
| P                                                      |                            |
| p...Druck .....                                        | 43, 45, 47                 |
| p <sub>0</sub> ...äußere Luftdruck.....                | 48                         |
| Q                                                      |                            |
| Q...Wärmemenge .....                                   | 78                         |
| r                                                      |                            |
| r...Vektor vom Auflagepunkt bis zum Angriffspunkt..... | 32                         |
| R                                                      |                            |
| r...Radius der Kreisbahn.....                          | 8                          |

# Physikalische Freihandversuche mit Dosen

|                    |                                                       |                |
|--------------------|-------------------------------------------------------|----------------|
| r...               | Radius der Dose .....                                 | 38             |
| r...               | Vektor zwischen Momentenpunkt und Angriffspunkt.....  | 9              |
| r <sub>i</sub> ... | Abstand von der Drehachse .....                       | 10             |
| s                  |                                                       |                |
| s...               | zurückgelegte Strecke.....                            | 35             |
| T                  |                                                       |                |
| T...               | Drehmoment .....                                      | 9, 38          |
| T...               | Schwingungsdauer .....                                | 57, 59         |
| T...               | Temperatur.....                                       | 78             |
| T...               | Trägheitsmoment.....                                  | 32             |
| t...               | Zeit.....                                             | 10             |
| U                  |                                                       |                |
| U...               | innere Energie .....                                  | 79             |
| V                  |                                                       |                |
| v...               | Geschwindigkeit .....                                 | 8              |
| v...               | momentane Geschwindigkeit.....                        | 35             |
| V...               | Volumen der Flüssigkeitssäule.....                    | 43             |
| V...               | Volumen der verdrängen Flüssigkeit, des Körpers ..... | 40             |
| W                  |                                                       |                |
| W...               | Arbeit.....                                           | 79             |
| X                  |                                                       |                |
| x...               | Auslenkung.....                                       | 57             |
| $\alpha$           |                                                       |                |
| $\alpha$ ...       | Neigungswinkel.....                                   | 35, 38         |
| $\alpha$ ...       | Winkelbeschleunigung.....                             | 10, 38         |
| $\delta$           |                                                       |                |
| $\delta$ ...       | Phasenkonstante .....                                 | 58             |
| $\theta$           |                                                       |                |
| $\theta_{1,2}$ ... | Eintritts- , Austrittswinkel.....                     | 66             |
| $\theta_k$ ...     | kritischer Winkel .....                               | 66             |
| $\mu$              |                                                       |                |
| $\mu_G$ ...        | Gleitreibungszahl.....                                | 12             |
| $\mu_H$ ...        | Haftreibungszahl .....                                | 11             |
| $\mu_R$ ...        | Rollreibungszahl .....                                | 12             |
| $\nu$              |                                                       |                |
| $\nu$ ...          | Frequenz.....                                         | 57             |
| $\rho$             |                                                       |                |
| $\rho$ ...         | Dichte.....                                           | 62, 89         |
| $\rho$ ...         | Dichte der Flüssigkeit.....                           | 40, 43, 45, 48 |
| $\varphi$          |                                                       |                |
| $\varphi$ ...      | Drehwinkel.....                                       | 10             |
| $\omega$           |                                                       |                |
| $\omega$ ...       | Kreisfrequenz.....                                    | 58             |
| $\omega$ ...       | Winkelgeschwindigkeit .....                           | 10, 35, 38     |

## 1 Fachdidaktisches

Unser Alltag wird bestimmt durch Geräte und Maschinen, deren Funktionsweisen uns zum größten Teil nicht erschlossen sind. Nicht zuletzt durch die Tatsache, dass die Hersteller diverser Mobiltelefone, Personal Computer und dergleichen darauf bedacht sind, diese möglichst einfach in ihrer Handhabung zu gestalten. Hinter all diesen Wunderwerken der modernen Technik hat sich die Physik gut versteckt. Vor allem bei den Jugendlichen ist dies sehr deutlich zu erkennen. Betrachtet man beispielsweise die wirklich erschreckenden Ergebnisse der Pisastudie<sup>1</sup> aus dem Jahre 2006, so erkennt man, dass vor allem die österreichischen Mädchen nicht daran glauben, dass Physik in Ihrem Leben eine Rolle spielt, oder im Berufsleben einmal von Bedeutung sein wird. Beinahe jeder Schüler und jede Schülerin besitzt ein Mobiltelefon, hat einen Plasmafernseher, Mikrowelle und Internet zu Hause, aber mit Physik hat das alles ihrer Meinung nach nichts zutun. Zweifelsohne gerät die Physik, die diesen Geräten zu Grunde liegt, zusehends in Vergessenheit und die Undurchschaubarkeit des technischen Aufbaus ist ein großer Nachteil.

Wie kann man den Schülerinnen und Schülern vermitteln, dass es im Alltag sehr viel Physik zu entdecken gibt? Durch möglichst praxisnahen Unterricht. Für Versuche sollten tunlichst Gegenstände des täglichen Gebrauches verwendet werden, sie sollen einfach gehalten sein und die Jugendlichen dazu anregen selbst tätig zu werden und selbst Vermutungen anzustellen. So beantworten Didaktiker diese Frage.

Der Auftrag lautet also, dass wir vom klassischen vortragenden Unterricht Abstand nehmen sollten. Die Möglichkeiten der freieren Unterrichtsgestaltung sind zweifelsohne vielfältig und würden den Rahmen dieser Arbeit bei weitem sprengen.

Dennoch möchte ich darauf verweisen, dass das Experiment ein wichtiger Bestandteil des Unterrichts ist, wenn die Physik verstanden beziehungsweise begriffen, im wahrsten Sinne des Wortes, werden will. Der Freihandversuch kann dabei ein leicht einzusetzendes Hilfsmittel sein. Durch den teilweise sehr einfachen Aufbau dieser Experimente soll die Neugier der Zuseher geweckt und oft Vergessenes wieder in Erinnerung gerufen werden. Ein großer Vorteil der Freihandversuche ist, dass die Physik, die ihnen zu Grunde liegt meist offensichtlich ist. Diese sollen keinesfalls als Ersatz für große nur mit aufwendiger Labortechnik zu realisierenden Versuche, die oft mit einem großen Zeitaufwand einhergehen, verstanden werden, sondern als sinnvolle, leicht einzusetzende Ergänzung gesehen werden.

---

<sup>1</sup> <http://www.pisa-austria.at/pisa2006/ergebnisse.htm> [07.02.2008]

Diese einfachen Versuche sollen dazu anregen, dass sich die Schülerinnen oder Schüler, selbst wenn sie das Schulhaus verlassen noch an sie erinnern oder vielleicht sogar zu Hause nachbauen oder nachmachen.

Mit Freude erinnere ich mich an die Zeit meiner Übungsphase am BRG Seebacher unter der Betreuung von Herrn Dr. Erich Reichel. Oft konnte ich hier erleben, wie die Jugendlichen, fasziniert durch die Versuche am nächsten Tag beispielsweise ihre mit Strohhalm durchbohrten Kartoffeln präsentierten.

Auf den Ruf nach Experimenten im österreichischen Lehrplan und darüber, was denn ein Freihandexperiment ist, möchte ich in diesem Abschnitt meiner Diplomarbeit genauer eingehen.

## 1.1 Forderungen des Lehrplanes

Der allgemeine Teil des Lehrplans der Allgemeinbildenden Höheren Schulen fordert folgende Bildungsziele:

*„Die Schülerinnen und Schüler sollen lernen, in altersadäquater Form Problemstellungen zu definieren, zu bearbeiten und ihren Erfolg dabei zu kontrollieren.*

...

*Verständnis für Phänomene, Fragen und Problemstellungen aus den Bereichen Mathematik, Naturwissenschaft und Technik bilden die Grundlage für die Orientierung in der modernen, von Technologien geprägten Gesellschaft.*

*Der Unterricht hat daher grundlegendes Wissen, Entscheidungsfähigkeit und Handlungskompetenz zu vermitteln. Die Schülerinnen und Schüler sind zu befähigen, sich mit den Wertvorstellungen und ethischen Fragen im Zusammenhang mit Natur und Technik sowie Mensch und Umwelt auseinander zu setzen. Als für die Analyse und Lösung von Problemen wesentliche Voraussetzung sind Formalisierung, Modellbildung, Abstraktions- und Raumvorstellungsvermögen zu vermitteln.“<sup>2</sup>*

Der Lehrplan für den Pflichtgegenstand Physik der Allgemeinbildenden Höheren Schulen fordert folgende Bildungsziele:

*„Der Unterricht hat das Ziel, den Schülerinnen und Schülern das Modelldenken der Physik (Realwelt – Modell – Modelleigenschaften – Realwelt) zu vermitteln und physikalisches Wissen in größere Zusammenhänge zu stellen.*

...

*Außerdem hat der Physikunterricht den Schülerinnen und Schülern in Verbindung mit anderen Unterrichtsgegenständen die Vielschichtigkeit des Umweltbegriffs bewusst zu machen. Dadurch soll eine bessere Orientierung in der Umwelt und entsprechend verantwortungsvolles Handeln erreicht werden.*

...

*An geeigneten Inhalten ist den Schülerinnen und Schülern Gelegenheit zu möglichst selbstständigem Untersuchen, Entdecken bzw. Forschen zu geben. Dies bedingt den Einsatz von Schülerversuchen. Altersgemäße Denkwege und Deutungsversuche der Schülerinnen und Schüler sind zu berücksichtigen.“<sup>3</sup>*

---

<sup>2</sup> <http://www.oepu-noe.at/recht/lp/allg/ziel.htm> [06.02.2008]

<sup>3</sup> <http://www.oepu-noe.at/recht/lp/us/pflicht/physik.htm> [06.02.2008]

## 1.2 Was ist ein Freihandversuch?

Der Begriff des Freihandversuches ist nicht so jung, wie man annehmen könnte. So gehörten diese Versuche auch schon in das Repertoire der frühen Gaukler und Zauberer, die ihr Publikum mit Versuchen, die man heute als Freihandversuche bezeichnen würde, beeindruckten. Diese Nähe zu eher unseriöser Zauberei hat diese Experimente leider von jeher mit einem unwissenschaftlichen Beigeschmack versehen. Die älteste bekannte deutsche Sammlung von Freihandversuchen mit dem Titel „Mathematische und philosophische Erquickungsstunden“ wurde bereits im Jahre 1636 von Daniel Schwenter publiziert.

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurde dieser Begriff, zu einem, der einfache und billige Versuche zusammenfassen sollte. Bei diesen, leider bis heute teils immer noch belächelten Versuchen, ist die zu Grunde liegende Physik mit ihren Gesetzen meist gut sichtbar. So sind sie prädestiniert um Interesse zu wecken und physikalische Gesetze an leicht herzustellenden Modellen einem breiten Publikum verständlich zu machen.

Der Begriff Freihandversuche wurde erstmals vom Bernhard Schwalbe, einem Berliner Gymnasialprofessor verwendet, der sich eine Sammlung solcher Versuche zusammengestellt hatte um diese im Unterricht zu verwenden. Die von Schwalbe zusammengestellten Versuche wurden nach dessen Tod von Hermann Hahn [3] systematisch geordnet und 1905 in drei Bänden unter dem Titel „Physikalische Freihandversuche“ publiziert. Mit dieser Sammlung von Freihandversuchen leistete er einen wertvollen Beitrag zur Verbreitung des Begriffes „Freihandversuche“. Hahn definiert in seinem Werk den Begriff Freihandversuch wie folgt:

*„Bei der Lösung meiner Aufgabe war es notwendig, die Freihandversuche gegen die eigentlichen Schülerversuche, die Schülerübungen und die Spiele abzugrenzen. Aufgenommen wurden neben den Versuchen mit den Gegenständen des täglichen Gebrauchs auch Versuche mit einfachen Vorrichtungen, die jeder Lehrer selbst herstellen kann, wenn er die Werkzeuge besitzt, die ein gut ausgestatteter Nagelkasten, wie er in jedem Haushalt vorhanden ist, zu enthalten pflegt.“<sup>4</sup>*

Im Allgemeinen findet man bei einem Freihandversuch folgende Eigenschaften wieder:

Zum Einsatz kommen Gegenstände des täglichen Lebens, der Aufbau ist meist simpel und sie sind mit geringem Zeitaufwand zu realisieren. Durch

---

<sup>4</sup> Hahn H.: Physikalische Freihandversuche, Band 1, 1. Auflage, Seite IV

# Physikalische Freihandversuche mit Dosen

---

diese Versuche ist es möglich quantitative Aussagen über physikalische Gesetzmäßigkeiten zu tätigen.

Es gibt drei verschiedene Arten von Freihandexperimenten, die es zu unterscheiden gilt:

- **Das klassische Freihandexperiment:** Diese Experimente werden ausschließlich mit Gegenständen des täglichen Gebrauchs durchgeführt.
- **Das Sekunden-Experiment:** Die Vorbereitungszeit für diese Experimente ist gering, aber meist benötigt man teure Geräte für die Durchführung.
- **Low-Cost-Experimente:** Diese bedienen sich ausschließlich Gegenständen, die man wirklich zur Verfügung hat und die man nicht extra besorgen muss.

## 1.3 Fachdidaktisches zum Einsatz von Versuchen

Der Einsatz von Experimenten im Physikunterricht wird also durchaus gefordert und ist im Lehrplan verankert. Dennoch sollen Versuche im Unterricht generell keinesfalls unüberlegt zum Einsatz kommen.

Zu allererst sollten Versuche und Experimente dazu dienen den Lehrstoff verständlicher zu machen und die Schüler dazu animieren über die zu Grunde liegenden physikalischen Gesetze nachzudenken.

Folgendes sollte man bei der Planung beachten:

- **Warum?**
- **Wann?**
- **Welche?**

Diese Fragen werde ich versuchen kurz zu beantworten, um den Einsatz von Versuchen im Physikunterricht weiter zu untermauern.

**Warum** sollen Versuche gezeigt werden?

Ein wesentlicher Aspekt ist der, dass das Experiment eine willkommene Abwechslung vom Schulalltag darstellt. Dabei ist es einerlei, ob es sich um einen Versuch handelt bei welchen die Schülerinnen und Schülern selbst Hand anlegen, oder ob es sich um einen von der Lehrerin beziehungsweise dem Lehrer demonstrierten Versuch handelt. Für welche Art von Versuch

## Physikalische Freihandversuche mit Dosen

---

man sich entscheidet, Demonstrationsversuch oder Schülerversuch, bleibt einem selbst überlassen. Über Vor- und Nachteile der beiden Versuchsmethoden muss man sich aber bewusst sein. Natürlich spielt auch eine Rolle, wie diffizil der Versuch ist.

Ein Schülerversuch bietet sich vor allem dann an, wenn man daran interessiert ist, dass die Schüler sich ein Problem selbst erarbeiten. Durch selbständiges Arbeiten ist nicht nur die Motivation, sondern auch der Grad des Verstehens größer. Nur wenn es triftige Gründe dafür gibt, wenn beispielsweise nicht genug Experimentiermaterial vorhanden ist oder der Versuchsaufbau zu kompliziert ist, ist es sinnvoller den Versuch selbst zu demonstrieren.

**Wann** ist der richtige Zeitpunkt um im Unterricht Versuche einzubinden?

Die Frage nach dem wann lässt sich nur mit Blick auf den eigenen Unterricht beantworten. Zudem muss man sich auch die Frage stellen, was man mit dem Experiment veranschaulichen will und ob dieses auch dafür geeignet ist. Wenn die Schüler freies Arbeiten in der Gruppe noch nicht gewohnt sind, oder dieses partout nicht wollen, so sollte darauf Rücksicht genommen werden.

Grundsätzlich sollten Versuche immer dann zum Einsatz kommen, wenn sich durch ihren Einsatz Sachverhalte besser darstellen lassen oder verständlicher werden.

Außerdem sei darauf hingewiesen, dass Versuche und Experimente dabei helfen, den Unterricht spannender und lehrreicher zu gestalten und durch ihren gezielten Einsatz die Aufmerksamkeit der Schüler gesteigert werden kann. Dies kann ein möglicher Weg sein, um die Akzeptanz des Unterrichtsfaches Physik und das Interesse der Schülerinnen und Schüler zu steigern.

**Die Einsatzmöglichkeiten sind vielfältig:**

- **Als Einstieg** in ein neues Thema etwa. Dabei sollte es sich um einen Versuch mit möglichst großem Überraschungseffekt handeln, um bei den Schülerinnen und Schülern die Neugier auf das Thema zu wecken.
- **Als Bestätigung** des erlernten Wissens kann ein Versuch als Bindeglied zwischen Theorie und Praxis fungieren. Dieses Abstraktionsvermögen ist unentbehrlich für echtes Verstehen.
- **Im Schülerexperiment** haben die Jugendlichen den größten Lernerfolg und das Arbeiten in der Gruppe macht den meisten Schülerinnen und Schülern viel Freude. Zudem bietet dies oft die Möglichkeit ein intensiveres Gespräch mit den einzelnen Schülergruppen zu führen. Aus meiner Erfahrung weiß ich, dass die



## Physikalische Freihandversuche mit Dosen

---

Jugendlichen nicht nur einen größeren Lernerfolg haben, sondern auch mehr Fragen stellen, da sie sich dies in einer geschlossenen Gruppe eher trauen als im Klassenverband. Fragen zu stellen ist meiner Ansicht nach der erste Weg zum Wissen.

- **Am Tag der offenen Tür** präsentieren Schulen zusehends öfter Freihandversuche, die die Schülerinnen und Schüler gemeinsam mit der Physiklehrerin oder dem Physiklehrer zusammengestellt und vorbereitet haben. Diese sind beim schulexternen wie beim schulinternen Publikum immer sehr beliebt.
- **Für Projektarbeiten** eignen sich Freihandversuche ebenfalls sehr gut um diese zu unterstützen. Auch bleiben die Projekte den Jugendlichen besser in Erinnerung.

### Doch auch der Einsatz als Kriterium zur Beurteilung ist möglich:

- **Ein Referat** einer Schülerin oder eines Schülers bietet beispielsweise die Möglichkeit, dass diese beziehungsweise dieser, ihr oder sein Experimentiertalent unter Beweis stellen kann. Dabei kann beurteilt werden wie fundiert argumentiert und recherchiert wurde.
- **Bei Stundenwiederholungen** zum Beispiel, bietet sich die Möglichkeit, dass die Schülerin oder der Schüler ein Experiment wiederholt.

### Welche Versuche?

Es gibt eine Unzahl von Experimenten. Solche die mit hohem budgetärem und/oder zeitlichem Aufwand verbunden sind aber auch Versuche die quasi kostenlos oder kostenarm sind. Aus dieser Masse von Experimenten und Versuchen muss die Lehrperson mit Bedacht auswählen um mit möglichst geringen Mitteln einen möglichst großen Nutzen aus der Einbindung des Versuches zu ziehen.

Grundsätzlich sollte beachtet werden,

- dass der Versuch vorbereitend, erklärend oder abschließend zum gerade durchgenommenen Lehrstoff passt.
- dass das Lehrziel im Versuch klar ersichtlich ist.
- dass der Versuch für alle Schülerinnen und Schüler sichtbar ist.
- dass der Schwierigkeitsgrad der Schülerversuche nicht das Können der Jugendlichen übersteigt.

## 2 Mechanik

*„Eine genaue Beschreibung von Bewegungsvorgängen ist wichtig für ein Verständnis der physikalischen Welt.“<sup>5</sup>*

Die Mechanik ist von zentraler Bedeutung für die Entwicklung der Naturwissenschaften. Ein großer Triumph der Newtonschen Mechanik etwa war die Erkenntnis, dass sich die Bewegung der Erde und der anderen Planeten unseres Sonnensystems mit Hilfe einer einzigen Kraft erklären lässt, die zwischen der Sonne und den Planeten wirkt. Die Mechanik beschäftigt sich mit der Beschreibung von Bewegungsvorgängen und ist in weitere Disziplinen unterteilt.

### Grundsätzliches zur Mechanik

Bei der Punktmechanik geht man davon aus, dass Kräfte nur in einem Punkt angreifen, wodurch Translationsbewegungen, also lineare Bewegungen, ausgelöst werden. Dieser Punkt wird beim starren Körper der Massenmittelpunkt genannt.

Greifen Kräfte an verschiedenen Punkten des starren Körpers an, so führt dies zu einer Rotation, also Drehbewegung, mit oder ohne Translation. Man kann alle auf ihn wirkenden Kräfte mittels vektorieller Addition auf eine einzige Kraft oder ein Kräftepaar reduzieren. Der starre Körper führt als Resultat Translation und/oder Rotation aus.

### Kreisbewegungen:

Bewegt sich ein Körper mit einer konstanten Beschleunigung  $a$  auf einer Kreisbahn so gilt für diese:

$$a = \frac{v^2}{r}$$

2.1

$a \left[ \frac{m}{s^2} \right]$  ... Beschleunigung

$v \left[ \frac{m}{s} \right]$  ... Geschwindigkeit

$r [m]$  ... Radius der Kreisbahn

---

<sup>5</sup> Tipler P.A.: Physik, Nachbearbeitung der 1.Auflage 2000, Seite 19, Abschnitt 1

Sie ist in Richtung des Kreismittelpunktes gerichtet. Durch diese gibt es eine Kraft, die in Richtung des Mittelpunktes der Bewegung zeigt. Sie wird Zentripetalkraft genannt und ermöglicht erst die Kreisbewegung.

Ein mitbewegter Beobachter nimmt die nach außen gerichtete Zentrifugalkraft wahr, die auch als Fliehkraft bezeichnet wird und ein Ergebnis von Trägheitseffekten ist.

### Das Drehmoment und das Trägheitsmoment:

Wirkt auf einen Körper, der in einem Punkt festgehalten wird, eine Kraft, so erfährt er eine Drehung um diesen Punkt. Die Größe, die diese Drehbewegung beeinflusst, nennt man Drehmoment  $T$ . Der Punkt, in dem der Körper festgehalten wird, wird Momentenpunkt genannt.

Die primäre Definition des Drehmoments lautet:

$$T = F \cdot l \text{ (Kraft mal Hebelarm)}$$

2.2

$T [Nm]$  ... Drehmoment

$l [m]$  ... Normalabstand: Angriffslinie der Kraft  $F$  und Momentenpunkt

$F [N]$  ... Kraft

Diese Definition kann durch das Hebelgesetz von Archimedes veranschaulicht werden:

$$\text{Kraft} \cdot \text{Kraftarm} = \text{Last} \cdot \text{Lastarm}$$

2.3

Vektoriell lautet die Definition:

$$\vec{T} = \vec{r} \times \vec{F}$$

2.4

$\vec{r} [m]$  ... Vektor zwischen Momentenpunkt und Angriffspunkt

$\vec{F} [N]$  ... Kraft

$\vec{T} [Nm]$  ... Drehmoment

Dreht sich ein starrer Körper um eine Achse, so verschieben sich alle Punkte des Körpers um den gleichen Winkel, den man als Drehwinkel  $\varphi$  bezeichnet.

Wird nun die Änderung des Drehwinkels durch die Zeit  $t$ , die der Körper für die Drehung benötigt, dividiert, so erhält man die Winkelgeschwindigkeit der einzelnen Massenpunkte:

$$\vec{\omega} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt}$$

2.5

$\omega \left[ \frac{rad}{s} \right]$  ... Winkelgeschwindigkeit

$t [s]$  ... Zeit

$\varphi [rad]$  ... Drehwinkel

Daraus folgt für die Winkelbeschleunigung  $\vec{\alpha}$  :

$$\vec{\alpha} = \frac{d\vec{\omega}}{dt} = \frac{d^2\vec{\varphi}}{dt^2}$$

2.6

$\vec{\alpha} \left[ \frac{rad}{s^2} \right]$  ... Winkelbeschleunigung

Bei einem starren Körper ist die Winkelbeschleunigung für alle Teilchen gleich groß, daher ergibt sich für das Trägheitsmoment  $I$ :

$$I = \sum_i m_i r_i^2$$

2.7

$I [kg \cdot m^2]$  ... Trägheitsmoment

$r_i [m]$  ... Abstand des i-ten Teilchen von der Drehachse

$m_i [m]$  ... Masse des i-ten Teilchens

Das Trägheitsmoment ist eine physikalische Größe, die eine Aussage über die Trägheit eines starren Körpers gegenüber einer Änderung seiner Rotationsbewegung ermöglicht. Das Trägheitsmoment eines Körpers ist abhängig von seiner Form, der Massenverteilung und der Drehachse.

## Die Reibung:

Reibung beruht auf der unterschiedlichen Beschaffenheit der Oberflächen von Körpern. Bei rauen Oberflächen benötigt man beispielsweise große Kräfte, um die Körper relativ zueinander zu bewegen. Bei glatten Flächen hingegen genügen geringe Kräfte um diese zu bewegen. Im mikroskopischen Sinn sind beide Körper ineinander "verhakt" oder "halten sich gegenseitig fest". Die verschiedenen Körnungen von Schleifpapier können hier als leicht nachvollziehbares Beispiel genannt werden.

Ist die Bewegung erst einmal in Gang gekommen, ist der Flächenkontakt der Körper nicht mehr so groß. Die notwendige Verschiebekraft wird kleiner als zu Beginn. Es ist erst von Haftreibung und dann von Gleitreibung die Rede. Die aufgewendete Energie wird letztlich in Wärme umgewandelt. Reibung zeichnet für Abrieb oder Verschleiß verantwortlich. Wird zusätzlich eine Flüssigkeit zwischen die Kontaktflächen gebracht, so hat diese eine glättende Wirkung. Es entsteht eine flüssige Trennschicht zwischen den beiden Körpern, diese nennt man Schmierfilm.

## Haftreibung:

Drückt man beispielsweise mit einer nicht zu großen horizontalen Kraft gegen eine auf dem Boden liegende Kiste, dann bewegt sich diese nicht, solange die horizontale Haftreibungskraft  $F_H$ , die der Boden ausübt größer ist als die Kraft die man auf die Kiste ausübt. Die Reibung entsteht durch die Wechselwirkung der Moleküle der Kiste mit denen des Bodens, wo diese beiden Oberflächen in Kontakt sind. Diese Reibungskraft ist der äußeren Kraft entgegen gerichtet.

$$F_{H,max} = \mu_H \cdot F_N$$

2.8

$F_{H,max}$  [N] ... Haftreibungskraft

$\mu_H$  ... Haftreibungszahl, hängt von der Oberflächenstruktur ab

$F_N$  [N] ... Normalkraft, steht normal auf die Oberfläche

## Gleitreibung:

Ist die Kiste erst ein Mal in Bewegung, so werden die molekularen Wechselwirkungen zwischen den beiden Oberflächen ständig aufgebaut und wieder getrennt. Dabei „brechen“ kleine Teile der Oberfläche „ab“. Dies ist ebenfalls auf eine Kraft zurückzuführen, die der Bewegung entgegenwirkt. Sie wird Gleitreibungskraft genannt. Will man die Kiste mit

einer konstanten Geschwindigkeit schieben, so muss man eine Kraft aufbringen, die betragsmäßig gleich der Gleitreibungskraft ist.

$$F_G = \mu_G \cdot F_N$$

### 2.9

$F_G[N]$  ... Gleitreibungskraft

$\mu_G$  ... Gleitreibungszahl, abhängig von Relativgeschwindigkeit der Oberflächen

$F_N[N]$  ... Normalkraft

### Rollreibung:

Sie tritt auf, wenn sich beispielsweise ein Reifen, mit konstanter Geschwindigkeit auf einer horizontalen Straße bewegt. In diesem Fall treten weder Haft- noch Gleitreibung auf, aber dennoch wird eine Kraft benötigt, um das Rad am Rollen zu halten.

Beim Rollen werden die Oberflächen der Straße und des Reifens verformt, während ständig dafür Kraft aufgebracht werden muss, um die beiden Oberflächen voneinander zu trennen.

Die Rollreibungszahl gibt das Verhältnis zwischen der Kraft, die benötigt wird, um das Rad in Bewegung zu halten, und der Normalkraft an.

$$\mu_R = \frac{F_R}{F_N}$$

### 2.10

$\mu_R$  ... Rollreibungszahl

$F_R [N]$  ... Rollreibungskraft

### Die Energieerhaltung:

Der Energieerhaltungssatz ist einer der wichtigsten Erhaltungssätze der Physik. Dieser sagt aus, dass die Gesamtenergie eines abgeschlossenen Systems nicht verändert werden kann. Unter einem abgeschlossenen System versteht man ein System ohne Energie-, Informations- oder Stoffaustausch und ohne Wechselwirkung mit der Umgebung.

Durch Prozesse, die innerhalb des betrachteten Systems stattfinden, kann Energie zwischen Energieformen umgewandelt werden. Zum Beispiel kann Bewegungsenergie in Wärme umgewandelt werden. Allerdings ist es unmöglich, innerhalb des Systems Energie zu erzeugen oder zu vernichten. Die Energie zählt damit zu den Erhaltungsgrößen.

*„Die Zu- und Abnahme der Energie eines abgeschlossenen Systems lässt sich immer durch das Auftreten oder Verschwinden von Energie gleich welcher Art an irgendeiner Stelle des Systems erklären.“<sup>6</sup>*

$$E_{\text{ein}} - E_{\text{aus}} = \Delta E_{\text{sys}}$$

### 2.11

$E_{\text{ein}} [J]$  ... Energie die in das System hineinfließt

$E_{\text{aus}} [J]$  ... Energie die das System verlässt

$E_{\text{sys}} [J]$  ... Energie des Systems

Die Gesamtenergie in einem abgeschlossenen System bleibt also konstant, solange am System keine Arbeit verrichtet wird.

---

<sup>6</sup> Tipler P. A.: Physik, Nachbearbeitung der 1. Auflage 2000, Seite 163

## 2.1 Das Senger'sche Wasserrad

### Material:

- leere Getränkedose
- Faden
- Wanne
- Messer
- Wasser (ev. zur besseren Sichtbarkeit eingefärbt)



Abbildung 1: Das Senger'sche Wasserrad

### Aufbau und Durchführung:

In die leere Getränkedose werden mit dem Messer knapp über dem Boden der Getränkedose zwei Schlitze gestoßen. Diese sollten einander gegenüber liegen und werden mit dem Messer leicht aufgebogen, so dass sie tangential zum Zylindermantel laufen. An einem Faden hängt man die Dose über der Wanne auf. Der Verschluss kann hier als Aufhängöse verwendet werden. Man hält mit zwei Fingern die Schlitze zu und befüllt die Dose mit Wasser. Hält man die Dose nun über der Wanne am Faden fest, so beginnt das Wasser tangential aus der Dose zu spritzen. Die Dose beginnt sich zu drehen.

### Erklärung:

Das Wasser spritzt tangential aus den beiden Schlitzen (Actio) und versetzt durch Rückstoß die Dose in schnelle drehende Bewegung (Reactio).

### Bemerkung:

Da die Dose am unteren Rad nach innen gewölbt ist, werden die Wasserstrahlen ab einem gewissen Wasserpegel in Richtung Dosenmittelpunkt abgelenkt. Hier treffen sich die beiden Strahlen und man kann beobachten wie sie sich auf Grund der Oberflächenspannung verknoten. Vergleiche „Verknotete Wasserstrahlen“ Seite 49. vgl. [11]



Abbildung 2: Verknotete Wasserstrahlen



## 2.2 Die Dose auf der Rutschbahn

### Material:

- Konservendose
- ein Glas, welches in die Konservendose passt
- Brett mit glatter Oberfläche
- Klotz oder Stativ
- Hammer und Nagel



Abbildung 3: Die Dose auf der Rutschbahn

### Aufbau und Durchführung:

Der Klotz wird so unter ein Ende des Brettes gelegt, dass eine schiefe Ebene entsteht. Alternativ kann auch ein Stativ verwendet werden. In den Boden der Konservendose werden mit Hammer und Nagel einige Löcher geschlagen. Die Löcher sollten von Außen nach Innen geschlagen werden, damit keine Krater entstehen, die das Rutschen der Dose behindern. Danach wird die Dose auf die schiefe Ebene gestellt.

In die Dose stellt man nun das mit Wasser gefüllte Glas und vergrößert den Neigungswinkel  $\alpha$  der schiefen Ebene derart, dass die Konservendose zu rutschen beginnt. Dann verkleinert man den Neigungswinkel der schiefen Ebene wieder derart, dass die Dose nicht mehr rutscht..

Schüttet man nun den Inhalt des Glases in die durchlöchernte Konservendose und setzt das leere Glas anschließend wieder hinein (das leere Glas schwimmt quasi in der Dose), so beginnt diese auf einem Wasserfilm nach unten zu gleiten.



Abbildung 4: Die Dose auf der Rutschbahn II

### **Erklärung:**

Die Normalkraft mit welcher die Dose auf die schiefe Ebene gedrückt wird ist lediglich von der Gewichtskraft der Dose und dem Neigungswinkel  $\alpha$  abhängig. Steht die Dose auf der schiefen Ebene, so erfährt die Dose eine Haftreibung, die immer größer ist als die Gleitreibung, die beim hinab Gleiten entsteht.

Füllt man nun das Wasser aus dem Glas in die Dose, so kann dieses durch die Löcher im Dosenboden austreten und es bildet einen Wasserfilm zwischen Dosenboden und Brettoberfläche. Durch den Wasserfilm ist einzig und alleine die Verschiebbarkeit der Wassermoleküle untereinander ausschlaggebend für die Reibung. Diese innere Reibung ist sehr viel kleiner, als die Reibung die zwischen Dose und Brett. Durch das Wasser wird also die Haft- und Gleitreibung herabgesetzt. Es dient quasi als Schmiermittel.  
vgl. [4]

## 2.3 Ein Kreisel

### Material:

- eine schlanke leere Spraydose (mit einer möglichst großen Wölbung im Boden)
- eine leere niedrige Konservendose
- Plastilin / Knetmasse
- große Blechdose mit einem Durchmesser von ca. 20 cm
- Bohrer (6 mm)
- Unterlegscheibe
- Gewindestab M6 (etwa 10 cm lang) + 2 passende Muttern
- 2-Komponentenklebmasse (z.B.: Patex, Uhu)



Abbildung 5: Ein Kreisel

### Aufbau und Durchführung:

Die umgedrehte Spraydose wird in die kleine Dose gestellt, so dass ihr gewölbter Boden nach oben zeigt und mit Knetmasse fixiert. Die Knetmasse dient der Stabilität der Konstruktion. Der konkav gewölbte Dosenboden bildet die Auflagefläche für den Kreisel.

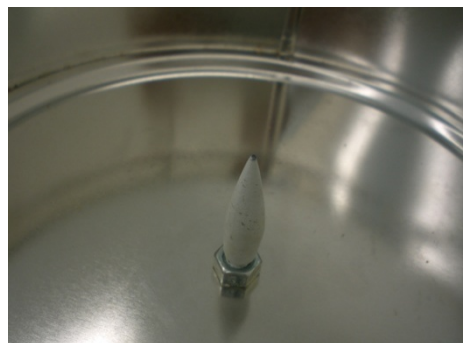


Abbildung 6: Die Spitze des Kreisels

Durch ihre Form besitzt die große Blechdose (hier eine Keksdose) ein sehr großes Trägheitsmoment. An einem Ende des Gewindestabes wird mit Zweikomponentenklebmasse eine spindelförmige Spitze geformt, die bei Bedarf nach dem Aushärten (je nach verwendeter Zweikomponentenklebmasse schon nach ca. 30 Minuten) mit feinkörnigem Schleifpapier in noch exaktere Form gebracht werden kann. Auf den Gewindestab wird nun eine Schraubenmutter bis direkt vor die Spitze aufgeschraubt. In die Mitte des Dosenbodens bohrt man ein Loch mit 6 mm Durchmesser. In die Bohrung steckt man den ca. 10 cm langen Gewindestab mit der aufgeschraubten Mutter, sodass seine Spitze in die Dose hineinragt. Mit einer zweiten Mutter wird der Stab fixiert. Die Länge des Gewindestabes wird so gewählt, dass die Dose nach dem Aufsetzen auf die Spraydose in jeder Lage im Gleichgewicht ist. Hierzu kann mit Hilfe der zwei Muttern, die aus der Dose ragende Länge des Gewindestabes, justiert werden um die Gleichgewichtslage zu erreichen.

## Versuche zur Mechanik

Der Kreisel wird von Hand in schnelle Drehbewegung versetzt, wobei die Achse des Kreisels vertikal stehen sollte. Anschließend übt man eine kleine Kraft auf den Kreisel aus, sodass dieser in Schräglage versetzt wird, diese bleibt dabei in jedem eingestellten Winkel erhalten.

Die schlanke Spraydose ermöglicht auch große Schräglagen, da der Mantel des Kreises die Auflage nicht berührt.

Ist der Schwerpunkt der Anordnung zu hoch, so neigt sich die Achse des Kreisels. Liegt er dagegen zu niedrig, so nimmt der Gewindestab eine stabile vertikale Lage ein. Das Austarieren kann mit Hilfe der zwei Muttern erfolgen. So kann mit der Höhe dieser Muttern der Schwerpunkt der Konstruktion variiert werden bis die Gleichgewichtslage annähernd realisiert ist.

### Erklärung:

Einen starrer Körper, der sich um eine Achse dreht, wird als Kreisel bezeichnet. Bei der Rotation  $R$  können Kräfte auftreten, die die Bewegung des Kreisels beeinflussen und zu Präzession  $P$  und zur Nutation  $N$  führen.

Als Präzession bezeichnet man die Abweichung der Achse eines rotierenden Kreisels. Die Nutation beschreibt die Bewegung der Rotationsachse um die Achse des Drehimpulses.

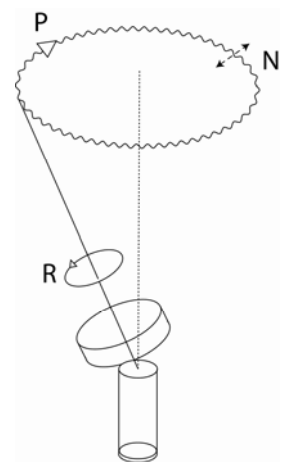


Abbildung 7: Erscheinungen am Kreisel



Abbildung 8: Der Kreisel in Bewegung



Abbildung 9: Der Kreisel hält die Ebene

## 2.4 Die Zentrifugalkraft

### Material:

- eine leere große PET-Flasche
- eine leere Dose
- Bohrer
- Hammer und Nagel
- nasses Tuch oder Schwamm
- Bindfaden



Abbildung 10: Die Zentrifugalkraft

### Aufbau und Durchführung:

Von der PET-Flasche wird der obere Teil entfernt. Mit dem Bohrer werden oben zwei kleine Löcher gebohrt, die einander gegenüber liegen und gegebenenfalls mit Klebeband verstärkt werden. In den Dosenboden werden mit Hammer und Nagel Löcher geschlagen. Die Dose findet ihren Platz anschließend im Inneren der PET - Flasche. An den Löchern der Flasche wird der Faden fest verknotet. Der Faden sollte so lange sein, dass die Flasche bequem daran festgehalten werden kann.

Das nasse Tuch kommt in das Innere der Dose und man beginnt die Flasche am Faden mit schnellen Kreisbewegungen zu schleudern. Man kann beobachten, wie das Wasser durch die Löcher in der Dose in die Flasche läuft.

### Erklärung:

Versetzt man die PET - Flasche in schnelle Drehbewegung, so wirkt auf das Tuch/den Schwamm die Zentrifugalkraft. Da die Wassermoleküle klein genug sind um durch die Löcher in der Dose zu kommen, fließt das Wasser – Zuzfolge der Zentrifugalkraft - aus dem nassen Schwamm beziehungsweise Tuch in die PET - Flasche und sammelt sich am Flaschenboden.

## 2.5 Die Archimedische Schraube

### Material:

- vier leere Dosen
- Messingstab (z.B.: alte Küchenvorhangstange)
- Bohrer (entsprechend dem Durchmesser des Stabes)
- Zweikomponentenklebmasse
- Gewebeklebeband
- Kunststoffschlauch (im Durchmesser etwa 2 cm)
- zwei Gefäße
- eventuell Tinte/Lebensmittelfarbe zum Einfärben des Wassers
- drei Kabelbinder



Abbildung 11: Die Archimedische Schraube

### Aufbau und Durchführung:

Die vier leeren Konservendosen werden zentral sowohl auf der Ober- sowie auf der Unterseite durchbohrt. Die Bohrung sollte im Durchmesser dem verwendeten Stab entsprechen. Nun fädelt man die Dosen auf den Messingstab und klebt sie mit Gewebeklebeband zusammen. Die erste und die letzte Dose werden mit Zweikomponentenklebmasse so am Stab fixiert, dass sie nicht mehr verrutschen können. Das untere Ende des Stabes sollte in etwa 8 cm aus der letzten Dose herausragen.

Um die Dosen wird der Gummischlauch in Form einer Schraube mit etwa 7 bis 10 Gängen gewickelt. Der Schlauch wird mit Hilfe dreier Kabelbinder befestigt. Jeweils einer wird am unteren und einer am oberen Ende befestigt. In der Mitte verbessert ein Kabelbinder die Stabilität der Konstruktion.

Das untere Ende der Schraube wird in einer Wanne mit gefärbtem Wasser platziert. Die andere Wanne wird unter dem oberen Ende des Gummischlauches platziert. Wenn gewünscht, kann die obere Wanne mit Hilfe von Dosen erhöht werden.

Dreht man nun am oberen Ende der Archimedischen Schraube, so sieht man wie das Wasser nach oben transportiert wird. Durch das gefärbte Wasser kann man dies noch schöner beobachten.

### Erklärung:

Die Archimedische Schraube ist auch unter dem Namen Schneckenförderer oder Schneckenpumpe bekannt. Ihr wesentliches Bauteil besteht aus einer Schraube mit ausgeprägten Gewindeflächen, die auch als „Schnecke“ bezeichnet wird. In unserem Fall ist dies der Schlauch, der um die Dosen gewickelt wurde. Flüssigkeiten oder Schüttgüter, die sich am unteren Ende des Rohres befinden, werden durch die rotierenden Flächen vorwärtsgeschoben. Damit kann das Wasser entgegen der Schwerkraft gefördert werden.



Abbildung 12: Das Wasser wird nach oben befördert

## 2.6 Der Kerzenlöscher

### Material:

- Blechdose
- Hammer und Nagel
- Luftballon
- Schere
- Gummiringe / Kabelbinder
- Kerze

### Aufbau und Durchführung:

In die offene und gesäuberte Dose wird mit Hammer und Nagel ein kleines Loch in den Dosenboden geschlagen. Über die offene Seite spannt man die Ballonhaut und fixiert diese mit einem Gummiring oder Kabelbinder. Man richtet das kleine Loch auf die Kerzenflamme und zupft leicht an der Membran. Die Kerzenflamme geht aus.



Abbildung 13: Der Kerzenlöscher I



Abbildung 14: Der Kerzenlöscher II

### Erklärung:

Beim Zupfen an der Membran entsteht an der Dosenöffnung ein verwirbelter Luftstrom in Form eines Ringes. Durch diesen Luftwirbel erlischt die Kerze.

### Bemerkung:

Die Luftwirbel können sichtbar gemacht werden indem man die Dose mit Rauch füllt. vgl. [9]



## 2.7 Stabilität einer Dose I

### Material:

- zwei leere Konservendose mit Rillen im Mantel
- ein Blatt Papier
- einige kleine Gegenstände (zum Beispiel Glassteine)

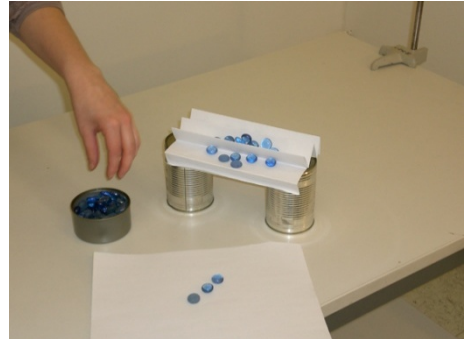


Abbildung 15: Stabilität einer Dose I

### Aufbau und Durchführung:

Die beiden Dosen werden nebeneinander auf den Tisch gestellt und das Blatt Papier wie eine Brücke darübergelegt. Man legt nun nach und nach Gegenstände auf das Blatt Papier. Schon nach wenigen Steinen gibt das Blatt nach und die Gegenstände landen auf dem Tisch. Die Gegenstände, die das Stück Papier noch tragen konnte werden gezählt.

Nun faltet man das Stück Papier wie einen Fächer und legt dieses wie gehabt auf die beiden Dosen. Man wiederholt das Experiment in dem man wieder nach und nach die gleichen Gegenstände darauf legt. Nun kann die Papierbrücke weit mehr Gewicht tragen.

### Erklärung:

Durch die Falten erhält das Papier viel mehr Stabilität. Die Last verteilt sich in diesem Fall auf die einzelnen schräg gestellten Papierwände, wodurch eine größere Druck- und Zugfestigkeit erreicht wird. Bei Wellblech oder Wellpappe zum Beispiel wird die Stabilität durch denselben Mechanismus enorm erhöht. Auch haben manche Konservendosen aus diesem Grund Rillen. Diese geben ihnen mehr Stabilität.



Abbildung 16: Steine im Vergleich



Abbildung 17: Die Rillen dienen der Stabilität

## 2.8 Stabilität einer Dose II

### Material:

- eine leere Konservendose
- Hammer



Abbildung 18: Die Stabilität einer Dose II

### Aufbau und Durchführung:

Die leere Dose stellt man auf den Boden und stellt sich darauf, um zu demonstrieren wie stabil diese ist. Indem man darauf hüpfte kann man dies noch weiter hervorheben.

Nun schlägt man mit dem Hammer eine Delle in die Seitenwand der Dose. Die eingedellte Dose nimmt wieder ihren Platz auf dem Boden ein. Doch verfährt man nun gleich wie im ersten Teil des Versuches, so gibt die Dose sofort nach.

### Erklärung:

Die Rillen in der Dose verleihen dieser viel Stabilität. Siehe Stabilität einer Dose I.

Durch die Delle in der Dose kann die Kraft nicht mehr gleichmäßig verteilt werden. Wie bei einer Kette, gibt nun „das schwächste Glied“ nach und die Dose verliert ihre Stabilität.



Abbildung 19: Die zerstörte Dose

## 2.9 Schwerelos im freien Fall I

### Material:

- leere Dose
- eine Büroklammer
- zwei gleich große Gummiringe
- Faden
- 2 Gewichtstücke (z.B. Münzen oder Metallkugeln)
- Klebeband
- Hammer und Nagel



Abbildung 20: Schwerelos im freien Fall

### Aufbau und Durchführung:

Zu Beginn wird mit Hammer und Nagel ein Loch in den Boden der Dose geschlagen. Durch dieses werden die zwei Gummiringe gezogen und mit der Büroklammer befestigt und so dafür gesorgt, dass sie nicht ins Doseninnere zurückrutschen. An das andere Ende der Gummiringe werden jeweils Fäden geknotet, an deren Enden die Gewichte mit Klebeband befestigt werden. Alternativ kann man, wie im Versuchsaufbau hier ersichtlich, jeweils zwei Münzen pro Gummibande mit Klebemasse zusammenkleben und den Gummi dazwischen legen.

Der Rand der Dose wird mit dem Klebeband derart beklebt, dass es keine scharfen Kanten mehr gibt. Lässt man nun die Dose aus einer Höhe von etwa 2-3 Metern fallen, so kann man beobachten, wie die Gewichte ins Doseninnere gezogen werden. Vor allem aber hört man das Geräusch mit dem die Gewichte am Dosenboden Aufschlagen noch bevor die Dose den Boden erreicht.

### Erklärung:

Im ruhenden Zustand befinden sich die Gewichtskräfte und die Spannung der Gummibänder gerade im Gleichgewicht. Im beschleunigten System der frei fallenden Dose wirkt nun die Gewichtskraft der Münzen nicht mehr auf den Rand der Dose und die Spannkraft der Gummibänder zieht die Gewichte ins Innere der Dose.

### Bemerkung:

Der Aufprall der Dose sollte mit einer Decke oder ähnlichem abgefedert werden.

## 2.10 Ein einfaches Modell eines Kugellagers

### Material:

- zwei leere Dosen mit Rand (z.B. leere Farbdosen)
- mehrere gleich große Kugeln oder Murmeln, die in den Rand der Dose passen und überstehen



Abbildung 21: Modell eines Kugellagers

### Aufbau und Durchführung:

Eine Dose wird auf den Tisch gestellt und in deren Rand werden die Kugeln gegeben. Die zweite Dose wird nun umgedreht und derart auf die erste Dose gestellt, dass die Kugeln in den Rand der zweiten Dose überstehen. Die Dose ist nun auf den Kugeln gelagert und lässt sich sehr leicht drehen. Außerdem lässt sich beobachten, dass sich die Dose auch sehr lange dreht. Zum Vergleich kann der Versuch ohne Kugeln wiederholt werden.



Abbildung 22: Die Dose gleitet auf den Kugeln

### Erklärung:

An den Berührungsflächen der Dosen und der Kugeln kommt es zu Rollreibung, die bedeutend geringer ist als die Gleitreibung, die ohne Kugeln auftritt.

## 2.11 Die magisch rollende Zauberdose

### Material:

- 2 Gummiringe (Umfang ca. 13 cm)
- leere Blechdose (Durchmesser mindestens 8 cm; die Gummiringe sollten in der Diagonale gespannt, auf 10 - 18 cm gedehnt werden)
- Streichhölzer oder dicker Draht
- Gewicht von etwa 65 g
- Faden (etwa 10 cm lang)
- Nagel und Hammer



Abbildung 23: Die magisch rollende Zauberdose

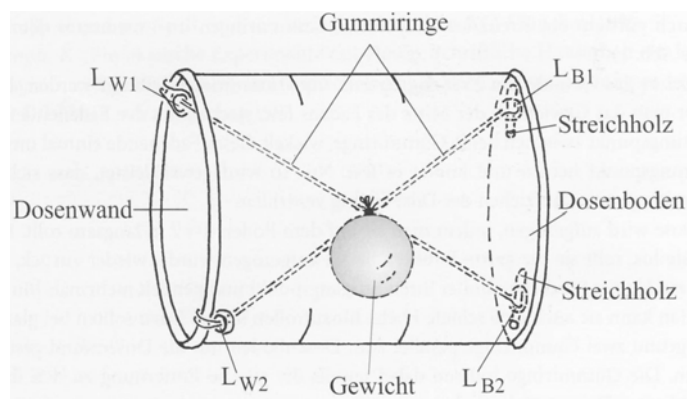


Abbildung 24: Die magisch rollende Zauberdose, [4] Seite 103

### Aufbau und Durchführung:

In den Rand des Dosenbodens schlägt man mit Hammer und Nagel zwei Löcher, die einander gegenüber liegen (LB1 und LB2). In die Wand der Dose werden ebenfalls zwei Löcher geschlagen. Diese sollen sich am oberen Rand der Dose und senkrecht über den Löchern im Dosenboden befinden (LW1 und LW2). Man sollte dabei den Nagel an der Innenwand der Dose ansetzen, da man die Dose leicht eindrücken kann, wenn man den Nagel an der Außenwand ansetzt. Um ein holpriges Rollen der Dose zu vermeiden, dadurch geht nämlich sehr viel Energie verloren, ist es möglich diese Löcher statt in der Dosenwand in den Dosenboden zu schlagen und die Gummibänder zu befestigen indem man Streichhölzer durch die Enden steckt.

Durch jedes der beiden Löcher in der Dosenwand wird ein Gummiring gesteckt. Nun befinden sich jeweils außerhalb und innerhalb der Dosen

Schlaufen der Gummiringe. Die Schlaufen im Inneren werden jetzt durch die äußeren gezogen um die Gummiringe auf diese Weise zu befestigen. Es sollten nun beide Gummischlaufen in die Dose hängen. Die Enden dieser Gummischlaufen werden durch das jeweils schräg gegenüberliegende Loch im Dosenboden gezogen und mit einem Stück Streichholz oder Draht derart befestigt, dass diese nicht wieder zurückrutschen können.

Die Gummibänder kreuzen sich in der Mitte der Dose und genau an diesem Kreuzungspunkt wird das Gewicht befestigt. Dazu befestigt man zunächst das Gewicht in der Mitte des Fadens und knotet es am Kreuzungspunkt fest. Damit gewährleistet wird, dass sich die beiden Gummibänder beim Aufziehen auch verdrillen, wird eines der beiden Fadenenden durch die Gummibänder geführt und anschließend fest verknotet.

Die Dose wird „aufgezogen“ indem man sie 4 - 7 m am Boden rollt. Lässt man sie danach los, so rollt die Dose über eine Strecke, die in etwa der Länge der Strecke über der sie aufgezogen wurde entspricht, wieder zurück.

### Erklärung:

Durch das Aufziehen der Dose verdrillen sich die beiden Gummibänder im Inneren der Dose und werden dadurch gespannt. Dadurch wird die kinetische Energie in Form von potentieller Energie gespeichert („Spannenergie“). Durch das Loslassen der Dose wandelt sich die potentielle Energie der Gummibänder wieder in kinetische um, dabei geht ein kleiner Teil der Energie, auf Grund der Reibung, als Wärme verloren. vgl. [4]



Abbildung 25: Die verdrillten Gummibänder

## 2.12 Das Dosenfahrzeug

### Material:

- leere Getränkedose
- Hosengummi (6 mm breit und 30 cm lang)
- Stück Draht
- mehre Beilagscheiben/Muttern Abstandhalter
- 1 Dübel / Stück Holz
- zwei Gummiringe mittlerer Größe
- Bleistift von 13 cm Länge oder Holzstaab
- Hammer und Nagel oder Bohrer



Abbildung 26: Das Dosenfahrzeug

### Aufbau und Durchführung:

In die Mitte des Dosenbodens wird mit Hammer und Nagel ein etwa 6 mm großes Loch geschlagen. Man legt die beiden Enden des Hosengummis aufeinander und steckt den dünnen Draht durch, um den Gummi so durch die Dose fädeln zu können. Man zieht den Draht zuerst durch die Trinköffnung und anschließend durch das soeben gebohrte Loch im Dosenboden. Es wird solange Gummiband nachgezogen, bis nur noch eine kleine Schlaufe aus der Trinköffnung heraussteht. In diese Schlaufe steckt man zur Sicherung den Dübel. Nun werden die Muttern auf den dünnen Draht am Dosenboden aufgefädelt. Man zieht den Hosengummi durch die Beilagscheiben und entfernt den dünnen Draht. Den Bleistift legt man parallel zur Bodenfläche auf die Beilagscheiben, spannt den Gummi locker und verknotet diesen über dem Bleistift. Der Bleistift wird so justiert, dass die Spitze nicht über die Dose hinaussteht. Das Dosenfahrzeug wird aufgezogen in dem den Bleistift um die Rotationssymmetrieachse der Dose dreht. Stellt man das Fahrzeug auf den Boden, so legt dieses eine Strecke von 2-3 m zurück.

### Erklärung:

Beim Aufziehen wird der Gummi verdrillt und dadurch gespannt. Lässt man die aufgezogene Dose los, so wird die potentielle Energie des Gummis wieder in kinetische Energie umgewandelt, dabei geht ein kleiner Teil durch Reibung als Wärme verloren. vgl. [4]



## 2.13 Wie man eine Kugel aufhebt

### Material:

- leere Dose
- eine kleine Kugel, z.B. Murmel oder Kugellagerkugel



Abbildung 27: Wie man eine Dose aufhebt

### Aufbau und Durchführung:

Die offene Dose wird über die am Tisch liegende Kugel gestülpt. Man fährt mit der Dose so lange auf einer kreisförmigen Bahn über den Tisch bis sich die Kugel im Inneren der Dose auf einer Kreisbahn bewegt. Je schneller man die Dose bewegt, umso weiter oben liegt die Kreisbahn der Kugel, da wir durch die Bewegung Instabilitäten in der Kreisbahn der Kugel erzeugen. Diese addieren sich und so wandert die Dose nach oben. Bewegt man die Dose schnell genug, so kann man die Dose hochheben ohne dass die Kugel hinausfällt.

### Erklärung:

Bewegt man die Dose in Kreisbahnen über den Tisch, so wird die Kugel durch die Reibung am Inneren der Dose mitbewegt und läuft am Inneren der Dose auf Kreisbahnen. Die Kraft, die benötigt wird, um die Murmel in der Dose zu halten, wird von der Dosenwand aufgebraucht und steht senkrecht zur Dosenwand.

Die Horizontalkomponente der Kraft entspricht der Zentripetalkraft, die die Murmel auf der Kreisbahn hält. Die Vertikalkraft gleicht die Gewichtskraft der Murmel aus, und so fällt die Murmel nicht aus der Dose. Ist die vertikale Komponente betragsmäßig gleich der Gewichtskraft, so läuft die Murmel auf einer relativ stabilen Bahn. Ist die vertikale Komponente größer als die Gewichtskraft, so bewegt sich die Murmel im Inneren der Dose nach oben – als Folge unserer Drehbewegung.



## 2.14 Die bergauf rollende Dose

### Material:

- leere Konservendose (mind. 10 cm im Durchmesser)
- Magnet(en) / kleiner Gegenstand zum Beschweren
- schiefe Eben



Abbildung 28: Die bergauf rollende Dose

### Aufbau und Durchführung:

An der Innenwand der Dose befestigt man den Magneten bzw. mit Klebeband den kleinen Gegenstand. Die so präparierte Dose wird in Stellung gebracht wie auf Abbildung 29 ersichtlich. A bezeichnet die Auflagelinie und S den Schwerpunkt.

Lässt man die Dose los, so rollt sie selbstständig die schiefe Ebene hinauf bis sie bei Stellung 2, stehen bleibt. Die Dose rollt höchstens eine Strecke, die dem halben Umfang der Dose entspricht.

Es ist darauf zu achten, dass der Neigungswinkel der schiefen Ebene nicht zu groß gewählt wird, da die Dose durchrutschen kann oder im schlimmsten Fall bergab rollen könnte.

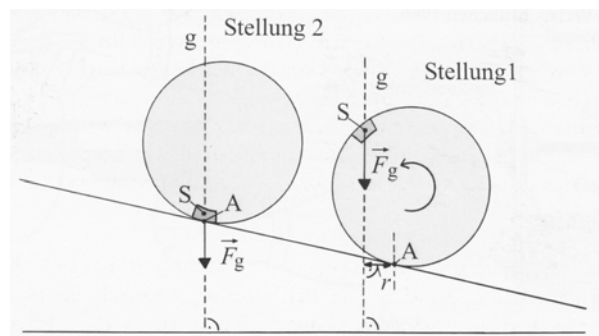


Abbildung 29: Die bergauf rollende Dose  
[4] Seite 138

### Erklärung:

Durch das Beschweren mit dem Gegenstand wird der Schwerpunkt der Dose von ihrer Symmetrieachse in Richtung des Gegenstandes verschoben. In diesem neuen Schwerpunkt greift die Gewichtskraft an und daraus resultiert ein Drehmoment. Dieses Drehmoment bewirkt das Hochrollen der Dose, bis die Dose eine halbe Drehung gemacht hat, da dann das Beschwerungsgewicht am Boden angekommen ist. vgl. [4]

## 2.15 Wie man eine Dose abschleppt I

### Material:

- eine leere, schlanke Getränkedose
- zwei CD's
- Faden (Länge: 2 m)
- Klebeband
- Bastelkleber

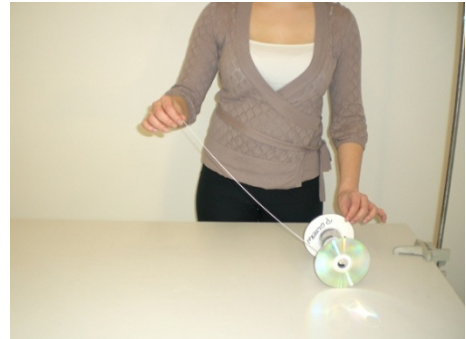


Abbildung 30: Wie man eine Dose abschleppt I

### Aufbau und Durchführung:

Die CD's werden mit Bastelkleber an den Dosenboden und die Oberseite der Dose geklebt. Besonders wichtig ist, dass sich die Mittelpunkte der beiden CD's genau über der Symmetrieachse der Dose befinden.

Mit dem Klebeband wird ein Ende des Fadens an der Dose befestigt und anschließend der Faden aufgerollt.

Zieht man am Faden parallel zum Boden, so bewegt sich die Dose zur ziehenden Hand hin. Zieht man den Faden vertikal nach oben, so bewegt sich die Dose von der Hand weg.

Zieht man unter einem bestimmten Winkel zwischen  $0^\circ$  und  $90^\circ$  so rollt die Dose nicht, sondern rutscht über den Tisch, ohne zu rollen.

Man sollte darauf achten, dass sich bei allen drei Experimenten der Faden in der Mitte der Dose befindet, da sonst die Dose seitlich rollt.

### Erklärung:

Das Drehmoment ist definiert als:

$$\vec{T} = \vec{r} \times \vec{F}$$

2.12

$\vec{T}$  [Nm] ... Drehmoment

$\vec{F}$  [N] ... Zugkraft

$\vec{r}$  [m] ... Vektor vom Auflagepunkt bis zum Angriffspunkt

Wobei  $\vec{F}$  der Vektor der Zugkraft und  $\vec{r}$  der Vektor vom Auflagepunkt der Dose bis zum Angriffspunkt des Fadens.

Die Drehrichtung der Dose ergibt sich aus der Richtung des Kreuzproduktes  $\vec{r} \times \vec{F}$  und der Korkenzieherregel für das Drehmoment. Der Vektor des Drehmoments steht senkrecht zur Ebene durch  $\vec{r}$  und  $\vec{F}$ .

Im ersten Fall weist der resultierende Vektor des Drehmoments in die Zeichenebene hinein und die Dose bewegt sich in Richtung der ziehenden Hand.

Im zweiten Fall zeigt der resultierende Vektor aus der Zeichenebene heraus, was eine Linksdrehung bewirkt und so bewegt sich die Dose von der Hand weg.

Im dritten Fall sind die Vektoren  $\vec{r}$  und  $\vec{F}$  gleichgerichtet, so dass das Drehmoment Null ist und sich daher keine Drehung ergibt.

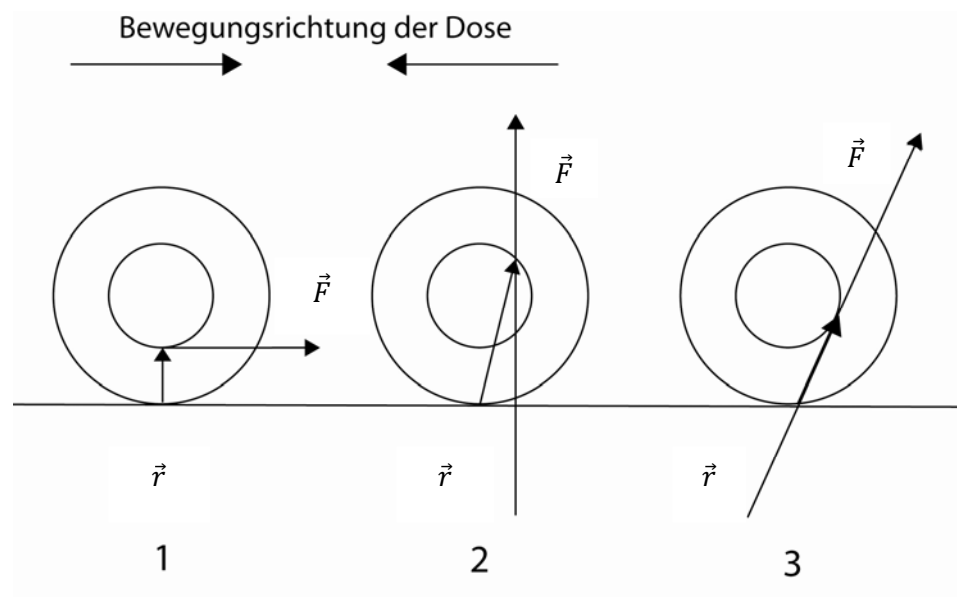


Abbildung 31: Die Bewegungsrichtung der Dose

## 2.16 Das Konservendosenrennen I

### Material:

- 2 gleiche Konservendosen (gleiche Abmessungen und Maße, die eine mit eher flüssigem Inhalt, die andere mit kompakten Inhalt)
- schiefe Ebene



Abbildung 32: Konservendosenrennen I

### Aufbau und Durchführung:

Die beiden Dosen werden nebeneinander auf gleicher Höhe losgelassen. Die schiefe Ebene sollte dabei unter einem Winkel von  $\alpha = 10^\circ - 20^\circ$  geneigt sein.

Die Dose mit flüssigem Inhalt erreicht das Ende der schiefen Ebene vor der Dose mit eher festem Inhalt. Beim Ausrollen auf der Ebene hingegen holt die Dose mit festem Inhalt auf und überholt die Dose mit flüssigem Inhalt sogar.

Je steiler der Neigungswinkel der schiefen Ebene gewählt wurde, umso größer ist die Distanz zwischen den beiden Dosen.

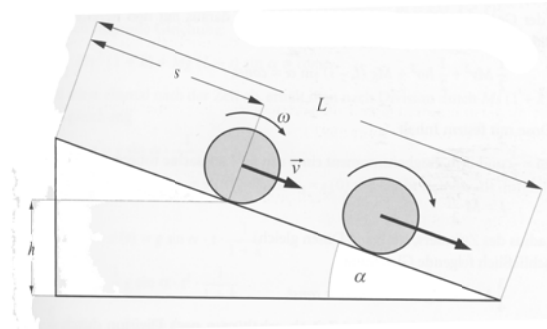


Abbildung 33: Konservendosenrennen [4] Seite 181

### Erklärung:

Nach dem Energieerhaltungssatz gilt für beide Dosen, dass ihre anfängliche potentielle Energie zur Gänze in kinetische Energie und Reibungsarbeit umgewandelt wird. Dabei setzt sich die kinetische Energie aus Translationsenergie und Rotationsenergie zusammen.

Lässt man die Reibung außer Acht, gilt folgende Formel:

$$\frac{1}{2} Mv^2 + \frac{1}{2} I\omega^2 + Mgh = \text{const}$$

### 2.13

$M$  [kg] ... Gesamtmasse der Dose (Dose mit Inhalt)

$v$  [ $\frac{m}{s}$ ] ... momentane Geschwindigkeit

$I$  [ $kg \cdot m^2$ ] ... Trägheitsmoment um die Längsachse der Dose

$\omega$  ... Betrag der momentanen Winkelgeschwindigkeit der Dose

$g = 9,81 \frac{m}{s^2}$  ... Erdbeschleunigung

$h$  [m] ... Höhe, der Nullpunkt liegt am Ende der schiefen Ebene

Daraus ergibt sich unter Einbezug der Tatsache, dass es sich bei der schiefen Ebene um ein rechtwinkeliges Dreieck handelt:

$$\frac{1}{2} Mv^2 + \frac{1}{2} I\omega^2 + Mg(L - s) \sin \alpha = \text{const}$$

### 2.14

$\alpha$  [°] ... Neigungswinkel der schiefen Ebene

$L$  [m] ... Länge der schiefen Ebene

$s$  [m] ... zurückgelegte Strecke, vom Beginn der schiefen Ebene bis zum Mittelpunkt der Dose

Die Flüssigkeit in der Dose rotiert nicht mit. Dadurch ist diese Dose im Vorteil gegenüber der Dose mit eher festerem Inhalt.

Aus der Rechnung folgt, dass die Dose mit dem flüssigen Inhalt im Vergleich zu der Dose mit festem Inhalt, lediglich den 0,8-ten Teil der Zeit benötigt, um die schiefe Ebene herunter zurollen. Sie erreicht das untere Ende also vor der Dose mit dem festen Inhalt.

Zu dem Zeitpunkt an dem auf der flachen Ebene ein Rollen einsetzt, hat die Dose mit eher flüssigem Inhalt in etwa die 1,2-fache Geschwindigkeit. Daher würde man erwarten, dass diese Dose ihre Führungsposition bis zum Ende beibehalten kann. Das Ende des Rennens wird durch die entstehende Reibung bestimmt, die ja bei beiden Dosen, auf Grund ihrer gleichen Masse und somit gleichen Gewichtskraft identisch ist.

Dadurch, dass die Flüssigkeit in der Dose nicht mitrotiert, erhielt sie ihren Vorsprung auf der schiefen Ebene. Doch nun kommt es zu einer so großen Reibung an der Innenwand der Dose durch die nicht mitrotierenden Flüssigkeit, dass ihr dies nun auf der Ebene zum Nachteil wird.

Diese innere Reibung wird bei wachsender Geschwindigkeit immer größer. Dadurch erklärt sich, dass bei steigendem Neigungswinkel der schiefen Ebene die Konservendose mit flüssigem Inhalt immer deutlicher an Reichweite verliert.

vgl. [4]



**Abbildung 34: Vorsprung**

## 2.17 Das Konservendosenrennen II

### Material:

- 2 gleiche zylindrische leere Dosen
- gleiche Münzen oder Magneten zum Beschweren
- schiefe Ebene
- Klebestreifen oder Kleber

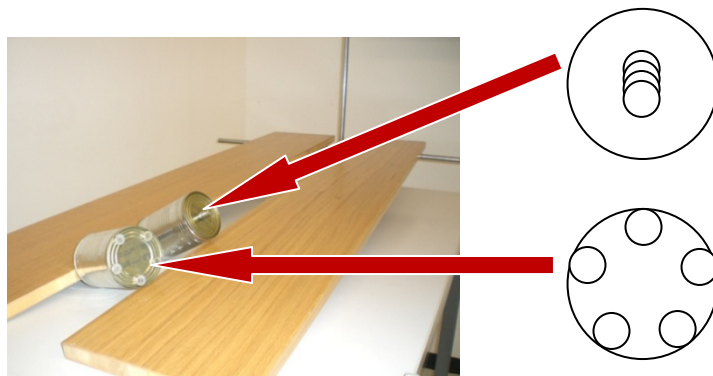


Abbildung 35: Das  
Konservendosenrennen II

### Aufbau und Durchführung:

Die Gewichte werden am Boden der Dosen befestigt und zwar derart, dass die Gewichte bei Dose 1 direkt im Mittelpunkt des Dosenbodens und bei Dose 2 gleichmäßig über den Dosenboden verteilt geklebt werden. Verwendet man Magneten um die Dosen zu beschweren, so muss man beachten, dass sich die Dosen beim Hinunterrollen der schiefen Ebene auf Grund der magnetischen Kräfte beeinflussen können, wenn die schiefe Ebene nicht breit genug ist.

Auf diese Art und Weise erhält man zwei Dosen gleicher Masse, aber mit unterschiedlichen Trägheitsmomenten, wobei der Schwerpunkt der Dosen sich bei jeder der beiden Dosen auf der Symmetrieachse befindet. Lässt man die beiden Dosen nun eine schiefe Ebene hinunter rollen, so ist die Dose 2 schneller als die Dose 1.

### Erklärung:

Lässt man die Dosen los, so wirkt auf diese die Gewichtskraft  $F_G$ :

$$F_G = mg \text{ [N]}$$

$m [kg]$  ... Masse der Dose

$g = 9,81 \frac{m}{s^2}$  ... Erdbeschleunigung

Die Gewichtskraft bewirkt ein Drehmoment um den Auflagepunkt. Die Gewichtskraft und die Verbindungslinie  $r$  zwischen Schwerpunkt  $S$  und Auflagepunkt  $A$  schließen den Winkel  $\alpha$ , der auch der Neigungswinkel der schiefen Ebene ist, ein.

Die Formel für das Drehmoment  $T$  lautet somit:

$$T = mgr \cdot \sin \alpha$$

2.16

$r [m]$  ... Radius der Dose

$T [Nm]$  ... Drehmoment

$\alpha [^\circ]$  ... Neigungswinkel der schiefen Ebene

Da beide Dosen die gleiche Masse  $m$  und den gleichen Radius besitzen, ist das Drehmoment bei beiden Dosen gleich groß. Im Gegensatz dazu sind die beiden Trägheitsmomente der beiden Dosen unterschiedlich.

Jene Dose, bei welcher die vier Münzen im Mittelpunkt befestigt sind, besitzt ein kleineres Trägheitsmoment als die andere Dose.

Für die Winkelbeschleunigung  $\alpha$  beider Dosen gilt:

$$\alpha_i = \frac{T}{I_i} \text{ für } i = 1, 2$$

2.17

$\alpha \left[ \frac{rad}{s^2} \right]$  ... Winkelbeschleunigung

$I_i [kg \cdot m^2]$  ... jeweiliges Trägheitsmoment

Da  $I_1 < I_2$  folgt daraus, dass  $\alpha_1 > \alpha_2$  und damit gilt auch für die Winkelgeschwindigkeit, dass  $\omega_1 > \omega_2$ , da beim Rollvorgang das Drehmoment, die Winkelgeschwindigkeit und die Trägheitsmomente konstant sind. Für die Geschwindigkeit  $v$  folgt dann mit:

$$v_i = r\omega_i$$

2.18

$\omega \left[ \frac{rad}{s} \right]$  ... Winkelgeschwindigkeit

dass  $v_1 > v_2$  und damit ist die Dose, mit den Gewichten in der Mitte schneller am Ziel als die andere. vgl. [8]



## 2.18 Die Kerzenwippe

### Material:

- 2 gleichgroße, möglichst hohe Dosen
- eine lange, schmale Kerze
- Stricknadel
- feuerfeste Unterlage zum Auffangen der Wachstropfen



Abbildung 36: Die Kerzenwippe

### Aufbau und Durchführung:

Auf beiden Enden der Kerze wird in etwa 1 cm des Doctes freigelegt und in der Mitte wird die Stricknadel senkrecht zur Längsachse durch die Kerze gebohrt.

Die durchbohrte Kerze wird auf den beiden Dosen gelagert, die auf der feuerfesten Unterlage stehen. Die Dosen sollten so hoch sein, dass die Kerze vollständig durchschwingen kann. Die Stricknadel sollte sich auf Höhe des Schwerpunktes befinden. Unter Umständen muss man an einem Ende der Kerze noch etwas Wachs entfernen um sie richtig zu lagern.

Die Kerze wird an beiden Seiten entzündet und ein Mal in senkrechte Lage gebracht. Lässt man sie wieder los so beginnt die Kerze zu schwingen bis sie vollständig abgebrannt ist.

### Erklärung:

Die Kerze kann als zweiarmiger Hebel betrachtet werden, dessen Länge ständig variiert. Zu Beginn befindet sich der Schwerpunkt bei der austarierten Kerze im Mittelpunkt.

Bringt man die Kerze aus der Ruhelage, so schmilzt an der Unterseite mehr Wachs als an der Oberseite, da die Flamme eine größere Angriffsfläche hat und der Schwerpunkt wandert ein wenig nach oben. Dadurch entsteht ein Drehmoment, das das obere Kerzenende nach unten wandern lässt. Dadurch tropft nun auf dieser Seite mehr Wachs ab und der Schwerpunkt verlagert sich erneut über die Drehachse hinaus hin zum jetzigen oberen Ende und die Kerze beginnt zu wippen.

## 3 Hydrostatik und Hydrodynamik

Die Hydrostatik ist die Lehre von den unbewegten, insbesondere den strömungsfreien Flüssigkeiten und Gasen. Mit Strömungen und den damit einhergehenden Kräften beschäftigt sich dagegen die Hydrodynamik.

In einem Punkt der Flüssigkeit ist der Druck in alle Richtungen gleich groß. Wirkt ausschließlich die Schwerkraft, so entspricht der Schweredruck der Summe aus dem Atmosphärendruck an der Oberfläche und dem sich durch das Gewicht der Flüssigkeitssäule ergebenden Druck. Der Schweredruck ist nur von der Tiefe und nicht von der Form des Gefäßes abhängig.

### Der Auftrieb und das Archimedische Prinzip:

Taucht man einen Körper in eine Flüssigkeit, so ist der Druck an der Unterseite des Körpers höher als an der Oberseite. Die daraus resultierende Kraft weist nach oben und wird Auftrieb genannt. Die Auftriebskraft entspricht dem Gewicht der vom Körper verdrängten Flüssigkeit. Diese Tatsache wird auch Archimedisches Prinzip genannt. Ist die durchschnittliche Dichte  $\rho$  eines Körpers kleiner als die der Flüssigkeit, so ist die Auftriebskraft größer als die Gewichtskraft. Treten sonst keine Kräfte auf, so steigt der Körper nach oben und schwimmt. Ist die Dichte dagegen größer als die der Flüssigkeit, so sinkt der Körper nach unten, bei gleicher Dichte schwebt er.

$$F_G = \rho g V$$

3.1

$F_G [N]$  ... Gewichtskraft

$\rho \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$  ... Dichte der Flüssigkeit

$g = 9,81 \frac{m}{s^2}$  ... Erdbeschleunigung

$V [m^3]$  ... Volumen der verdrängten Flüssigkeit, des Körpers

## 3.1 Warum manche Getränke „light“ sind

### Material:

- 2 volle Getränkedosen (ein light,-Getränk, ein „normales“)
- durchsichtige Wanne, in der die beiden Dosen leicht Platz haben
- eventuell Zucker oder Salz



Abbildung 37: Warum manche Getränke "light" sind

### Aufbau und Durchführung:

Die beiden vollen, geschlossenen Getränkedosen werden vorsichtig in die Wanne, welche mit Wasser gefüllt ist, gegeben. Zu beobachten ist, dass die zuckerhaltige Dose untergeht, wobei hingegen die süßstoffhaltige Dose schwimmt.

Wenn bei der Abfüllung zu wenig Luft in die Dose gekommen sein sollte, kann man mit einem Trick nachhelfen. Gibt man Zucker oder Salz in das sich in der Wanne befindende Wasser, so erhöht man seine Dichte und so erfährt die „light“-Dose einen größeren Auftrieb.

### Erklärung:

Softdrinks sind im Normalfall sehr süß und enthalten daher sehr viel Zucker. Da das zuckerhaltige Getränk eine wesentlich größere Dichte als Wasser hat, ist die Gewichtskraft der Dose größer als ihre Auftriebskraft im Wasser. Daher sinkt die Dose auf den Grund der Wanne. Bei Softdrinks, die mit Süßstoff an Stelle von Zucker gesüßt werden, wird der Zucker durch eine wesentlich geringere Menge an Süßstoff ersetzt. Somit haben diese nur eine geringfügig größere Dichte als Wasser. Bei der Getränkeabfüllung wird immer etwas Luft mit eingeschlossen, daher reicht im Fall der „light“-Dose der Auftrieb im Wasser zum Schwimmen aus.

vgl. [5]

## 3.2 Der hydrostatische Druck

### Material:

- eine leere 3 l Lackdose
- Maßband
- Klebeband
- Hammer und Nagel



Abbildung 38: Der hydrostatische Druck

### Aufbau und Durchführung:

In den Mantel der Lackdose werden mit Hammer und Nagel drei Löcher geschlagen. Diese liegen auf einer Geraden übereinander. Mit dem Maßband wird der Abstand der drei Löcher bestimmt. Sie sollten gleichen Abstand von einander haben. Das oberste Loch sollte etwa auf halber Höhe zum gewählten maximalen Wasserstand sein.

Man verklebt die drei Löcher mit einem Streifen Klebeband und füllt die Dose mit Wasser. Wenn man den Klebestreifen nun entfernt, so strömt das Wasser in einem parabelförmigen Bogen aus der Dose. Dabei sollte man darauf achten, dass man den Klebestreifen so schnell als möglich von der Dose abzieht.

Nun kann man beobachten, wie das Wasser aus der Dose ausströmt, dabei erkennt man, dass eine Parabel aus einem tiefer gelegenen Loch immer weiter geöffnet ist als eine Parabel aus einem höher gelegenen Loch.

Sinkt der Wasserstand in der Dose, so nimmt auch die Öffnung der Parabel ab.

### Erklärung:

Der Druck in einer Flüssigkeit hängt nur von der Tiefe ab, in der man sich befindet, und nimmt linear mit der Tiefe zu. Daher nimmt der Druck vom oberen Loch bis zum untersten auch linear zu. Folglich spritzt der unterste Wasserstrahl am weitesten, da hier der größte hydrostatische Druck herrscht.

Sinkt der Flüssigkeitspegel in Richtung des obersten Loches ab, so wird dieser Strahl auch immer kürzer bis er schließlich verschwindet, wenn der Wasserpegel unter das Niveau des Loches gesunken ist. Dabei erreichen aber alle drei Strahlen eine immer kürzere Reichweite, weil durch das

## Versuche zur Hydrostatik

---

Auslaufen des Wassers das Flüssigkeitsvolumen, das sich über ihnen befindet immer kleiner wird und der hydrostatische Druck abnimmt.

Für die Gewichtskraft  $F_G$  gilt folgende Formel:

$$F_G = mg = \rho Vg = \rho Ahg$$

3.2

$m [kg]$  ... Masse der Flüssigkeitssäule

$g = 9,81 \frac{m}{s^2}$  ... Erdbeschleunigung

$V [m^3]$  ... Volumen der Flüssigkeitssäule

$\rho \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$  ... Dichte der Flüssigkeit

$A [m^2]$  ... Bodenfläche der Dose

$h [m]$  ... Höhe des Flüssigkeitsstandes

Daraus erhalten wir für den Druck folgende Formel:

$$p = \frac{F_G}{A} = \frac{\rho Ahg}{A} = \rho hg$$

3.3

$p [Pa]$  ... Druck



Abbildung 39: Unterschiedliche Weiten

## 3.3 Die tauchende Dose

### Material:

- Wasserwanne
- leere Konservendose mit Deckel
- Hammer und Nagel
- festes Klebeband



Abbildung 40: Die tauchende Dose

### Aufbau und Durchführung:

Mit Hammer und Nagel werden in den Boden der Dose zwei Löcher am Rand der Dose an gegenüberliegenden Seiten geschlagen. Die Dose wird verschlossen und mit dem festen Klebeband abgedichtet, wenn dies nötig sein sollte.

Nun wird die verschlossene Dose auf drei verschiedene Arten in die Wasserwanne getaucht:

Zuerst senkrecht mit den Löchern nach oben, anschließend senkrecht mit den Löchern nach unten und zum Schluss waagrecht.

Gibt man die Dose waagrecht ins Wasser so ist zuerst darauf zu achten, dass sich beide Löcher auf gleicher Höhe befinden. Bei allen drei Positionen ist nichts zu beobachten.

Doch dreht man zum Schluss die waagrecht im Wasser liegende Dose so, dass eines der Löcher höher liegt als das andere, dann steigen sofort Luftblasen aus der Dose auf. Die Dose füllt sich mit Wasser bis sie schließlich sinkt.

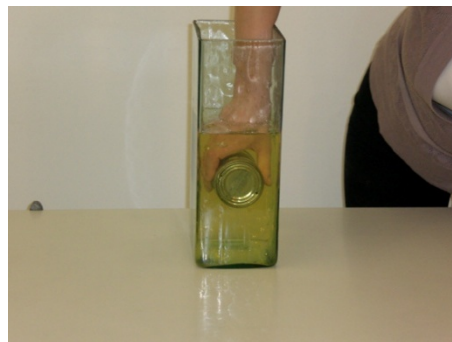


Abbildung 41: Die Dose auf Tauchstation

### Erklärung:

Damit Wasser in die Dose eindringen kann, muss die Luft, die sich in der Dose befindet entweichen können. In der Tiefe nimmt der hydrostatische Druck zu, diesen muss die ausströmende Luft ausgleichen.

$$p = \rho gh$$

3.4

$p$  [Pa] ... Druck

$\rho$   $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$  ... Dichte der Flüssigkeit

$h$  [m] ... Höhe des Flüssigkeitsstandes

$g = 9,81 \frac{m}{s^2}$  ... Erdbeschleunigung

In gleichen Tiefen herrscht auch der gleiche Druck. Daher ist es egal, ob die Löcher nach unten, nach oben oder zur Seite gerichtet sind, solange sie sich auf gleicher Höhe befinden kann keine Luft entweichen.

Befinden sich die beiden Löcher auf unterschiedlicher Höhe passiert folgendes: An dem tiefer liegenden Loch herrscht ein größerer Druck als auf dem höher liegenden. Daher entweicht die Luft über das obere Loch während durch das untere Loch Wasser in die Dose eindringt und sie füllt, bis schließlich die Dose sinkt. vgl. [5]

## 3.4 Wie man ein Wrack hebt

### Material:

- eine leere Dose
- eine Wanne mit Wasser
- einen kleinen  
Plastikschlauch
- Magneten

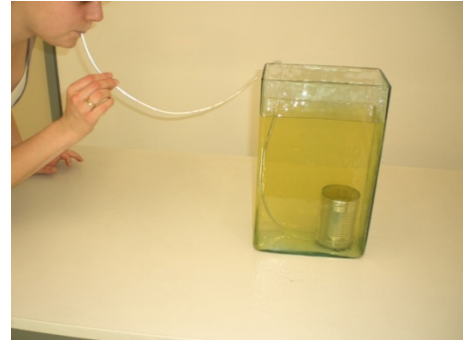


Abbildung 42: Wie man ein Wrack hebt

### Aufbau und Durchführung:

Am oberen Rand der Dose werden die Magneten befestigt, die der Stabilität der Dose im Wasser dienen. Die Dose wird umgedreht und so in die mit Wasser gefüllte Wanne getaucht, dass die Luft aus der Dose entweichen kann. Die mit Wasser gefüllte Dose liegt schließlich mit der Öffnung nach unten am Boden der Wanne. Der dünne Schlauch wird in das Dosenwrack gelegt und man bläst Luft über den Schlauch in die Dose. Das Dosenwrack steigt auf.

### Erklärung:

Durch das Hineinblasen von Luft wird das Wasser in der Dose verdrängt und strömt heraus. Da Luft eine viel geringere Dichte als Wasser besitzt, steigt das Wrack an die Oberfläche. vgl. [1]



Abbildung 43: Die schwimmende Dose



## 3.5 Das Dosenmanometer

### Material:

- transparenter Strohhalm
- eine leere Konservendose
- Luftballon
- Hammer und Nagel
- Klebmasse
- Faden oder Gummi
- Lebensmittelfarbe

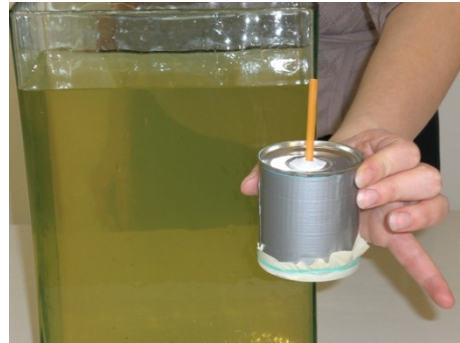


Abbildung 44: Das Dosenmanometer

### Aufbau und Erklärung:

Nach dem Entfernen des Deckels wird in den Boden der Dose ein kleines Loch gebohrt. Der Strohhalm sollte gerade so durch passen. Auf die geöffnete Dose wird die Gummimembran eines Luftballons gespannt und mit einem Faden oder Gummiband fixiert.

Nun steckt man den Strohhalm etwa 1 cm tief in das Loch und dichtet es mit der Klebmasse ab. Die Klebmasse hat den Vorteil, dass sie nicht austrocknet und sich zusammenzieht wie Knetmasse es tut und das Dosenmanometer dicht bleibt.

Zu guter Letzt füllt man die Dose mit gefärbtem Wasser bis der Wasserstand so hoch ist, dass etwa ein Viertel des Halmes auch noch mit Wasser gefüllt ist. Wenn man vorsichtig von unten gegen die Gummimembran drückt, kann man sehen, wie das Wasser im Strohhalm steigt. Um dies besser sichtbar zu machen, kann man ein kleines Stück Kork im Strohhalm schwimmen lassen. Fertig ist das Dosenmanometer.

Hält man dieses nun in eine mit Wasser gefüllte Wanne, so kann man beobachten, wie der Wasserstand im Strohhalm mit der Eintauchtiefe steigt.

### Erklärung:

Taucht man das Dosenmanometer ein, so steigt mit der Tiefe  $h$  der hydrostatische Druck:

$$p = p_0 + \rho gh$$

3.5

$p$  [Pa] ... Druck

## Versuche zur Hydrostatik

---

$\rho \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$  ... Dichte der Flüssigkeit

$h [m]$  ... Höhe des Flüssigkeitsstandes

$p_0 [Pa]$  ... äußerer Luftdruck

Dadurch ist die Gummimembran weniger stark nach außen gewölbt und das Wasser im Strohhalm steigt. Je tiefer das Dosenmanometer in das Wasser getaucht wird, desto höher ist der Wasserstand im Strohhalm.

vgl. [5]

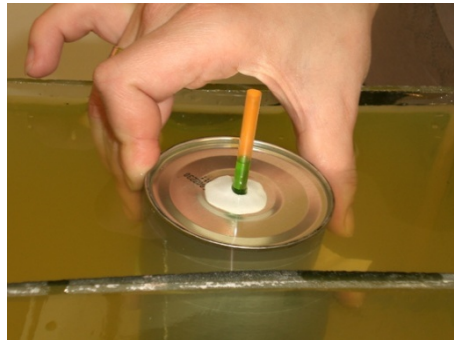


Abbildung 45: Die Druckanzeige

## 3.6 Verknotete Wasserstrahlen

### Material:

- eine leere 3 l Lackdose
- Hammer und Nagel



Abbildung 46: Drei Wasserstrahlen

### Aufbau und Durchführung:

Mit dem Hammer und Nagel werden drei Löcher in die Getränkedose geschlagen. Diese sollen sich in etwa 1 cm über dem Dosenboden und jeweils etwa 0,5 cm von einander entfernt sein.

Nun hält man die so präparierte Dose unter den Wasserhahn und füllt die Dose mit Wasser, wenn diese gefüllt ist, versucht man einen konstanten Zufluss zu erreichen.

Aus der Dose fließen drei getrennte Wasserstrahlen. Man kann diese miteinander verknoten, indem man die Strahlen mit zwei Fingern „zusammendrückt“. Trennen kann man diese wieder, indem man direkt an der Dose über die drei Löcher fährt.



Abbildung 47: Die verknoteten Wasserstrahlen

### Erklärung:

Die Wassermoleküle ziehen sich gegenseitig an. Ein Molekül, das sich im Inneren befindet, wird von den Molekülen die sich direkt daneben befinden angezogen. Die Gesamtkraft, die auf dieses Molekül wirkt ist Null. Auf Moleküle die am Rand sitzen, wirkt so eine Kraft zur Flüssigkeit hin und daher ist ihre potentielle Energie höher, als bei Molekülen die sich im

Inneren einer Flüssigkeit befinden. Um ein stabiles Gleichgewicht in einem System zu erreichen, muss die potentielle Energie minimal sein. Daher versucht das Wasser seine Oberfläche so gering als möglich zu halten.

Um die beiden äußeren Strahlen in Richtung des Mittleren abzulenken muss eine Kraft aufgewendet werden, dadurch erhöht sich die Energie des Systems. Diese Kraft erhöht sich proportional zum hydrostatischen Druck (und damit zur Höhe des Wasserstandes in der Dose) an der Ausflussöffnung.

Daher ist es ab einer bestimmten Höhe des Wasserstandes energetisch günstiger, wenn die drei Strahlen getrennt fließen. Der Wasserstand sollte für diesen Versuch unter diesem „kritischen Punkt“ liegen.

## 3.7 Die widerspenstigen Münzen

### Material:

- große Glasvase
- kleine Konservendose
- mehrere 2 Cent Münzen



Abbildung 48: Die widerspenstigen Münzen

### Aufbau und Durchführung:

Nach dem Entfernen des Dosenbeckels versenkt man sie in dem großen mit Wasser gefüllten Glasgefäß. Die Dose sollte sich in der Mitte des Bodens befinden.

Nun soll versucht werden mit den Münzen in die Dose zu treffen, indem man diese knapp unter der Wasseroberfläche fallen lässt. Auch wenn man sich noch so sehr bemüht, wird es nur in den wenigsten Fällen gelingen in die Dose zu treffen. Man beobachtet, dass sich die meisten Münzen auf einer gekrümmten Bahn zur Wand der Glasvase bewegen und dann an ihr auf den Boden gleiten.

### Erklärung:

In den wenigsten Fällen kann man die Münze senkrecht genug fallen lassen, dass diese auch gerade nach unten in die Dose absinkt. Der Grund hierfür ist, dass sich, sobald die Münze auch nur ein klein wenig geneigt ist, Strömungen wie in Abbildung 49 ersichtlich ergeben.

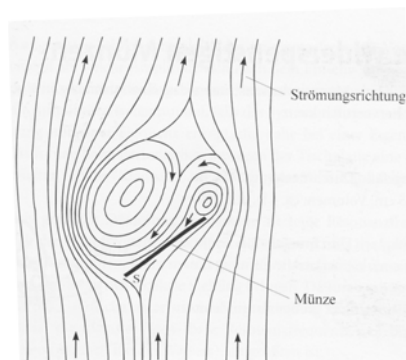


Abbildung 49: Stromlinienbild [4]  
Seite 346

Die Münze wird nicht symmetrisch umströmt. Am so genannten Staupunkt S, tritt der größte Staudruck auf. Dieser fällt nicht mit dem Schwerpunkt der Münze zusammen und somit liegt der Schwerpunkt nicht auf der Wirkungslinie der auf die Münze wirkenden Gesamtkraft. Daraus resultiert ein Drehmoment.

Wird die Münze exakt in der Vertikalen losgelassen, so gibt es kein Drehmoment, welches eine Drehung bewirken könnte. Da diese Lage labil ist, genügt eine noch so kleine Störung, um die Münze aus dieser Gleichgewichtslage zu bringen. Aus diesem Grund drehen sich fast alle Münzen, kurz nachdem man sie losgelassen hat.

## 3.8 Die implodierende Dose I

### Material:

- leere Getränkedose
- Bunsenbrenner
- Zange
- Wanne mit kaltem Wasser



Abbildung 50: Die implodierende Dose I

### Aufbau und Durchführung:

Die leere Getränkedose wird mit ein wenig Wasser gefüllt und solange über der Flamme des Bunsenbrenners erhitzt, bis diese keine Luft mehr enthält und vollständig mit Wasserdampf gefüllt ist. Nun taucht man die erhitzte Dose mit der Öffnung nach unten mindestens 1 cm tief in die mit kaltem Wasser gefüllte Wanne. Beim Eintauchen in das Wasser zieht sich die Getränkedose lautstark zusammen.



Abbildung 51: Die zerstörte Dose

### Erklärung:

Wenn das Wasser in der Dose kocht, so entweicht die Luft und die Dose füllt sich mit Wasserdampf. Der Siededruck von Wasser beträgt bei 100 °C 1,0133 bar, wobei er durch das Abkühlen auf 20 °C auf 0,02337 bar in der Dose sinkt, da ein Teil des Wassers wieder kondensiert. Ein Druckausgleich kann nicht schnell genug erfolgen, da die Durchflussmenge auf Grund der kleinen Öffnung der Getränkedose begrenzt ist und daher implodiert die Dose auf Grund des äußeren Luftdrucks. vgl. [5]

## 3.9 Die implodierende Dose II

### Material:

- eine große, leere und fest verschließbare Dose (zum Beispiel Ölkammer)
- kochendes Wasser



Abbildung 52: Die implodierende Dose II

### Aufbau und Durchführung:

Die gesäuberte Dose wird mit dem heißen Wasser gefüllt (wenig, da das Erwärmen sonst zu lange dauert) und erhitzt. Sie sollte vollständig mit heißem Wasserdampf gefüllt sein. Dann wird sie dicht verschlossen und beiseite gestellt. Nach einiger Zeit, knickt die Dose mit einem lauten Knall ein. Je größer und dickwandiger die Dose ist, umso länger wird es dauern, bis dieser Effekt einsetzt.

### Erklärung:

Der Kanister ist zur Gänze mit Wasserdampf gefüllt. Da das Volumen des Wasserdampfes und der warmen Luft auf Grund der höheren Temperatur größer ist als das Volumen des Wassers und der kalten Luft, wird der Kanister auf Grund des Unterdruckes, der wegen der durch das Abkühlen bedingten Volumesreduktion entsteht, wenn der Dampf nun abkühlt, vom äußeren Luftdruck zusammen gedrückt.



Abbildung 53: Die zerstörte Dose



## 3.10 Papier stoppt Wasser

### Material:

- eine leere Konservendose
- ein Blatt stärkeres Papier



Abbildung 54: Der Toricelliversuch

### Aufbau und Durchführung:

Der Deckel der Konservendose sollte mit einem geeigneten Dosenöffner entfernt worden sein. Man füllt Wasser in die Dose, bis diese randvoll ist. Nun bedeckt man die Dose mit dem Papier, hält beides fest und dreht das Ganze vorsichtig um. Lässt man das Papier nun los, so bleibt es an der Dose haften und das Wasser läuft nicht aus der Dose.

### Erklärung:

Verantwortlich für dieses doch sehr verblüffende Experiment ist der Luftdruck. Ist die Dose zur Gänze mit Wasser gefüllt, so wirkt auf der Oberseite des Papiers der Wasserdruck und an der Unterseite der Luftdruck. Da der Luftdruck mit ca. 1000 hPa in etwa so groß ist wie der hydrostatische Druck einer 10 m hohen Wassersäule, wird das Stück Papier vom Luftdruck an die Dose gepresst.

Der Physiker Evangelista Torricelli untersuchte den Luftdruck in dem er ein auf einer Seite geschlossenes Rohr mit Quecksilber füllte und mit der Öffnung nach unten in einer mit Quecksilber gefüllten Wanne befestigte. Es zeigte sich, dass die Quecksilbersäule eine Höhe von etwa 760 mm hatte. Diese Höhe schwankte je nach Wetterlage. vgl. [81]

## 3.11 Schwerelos im freien Fall II

### Material:

- leere Getränkedose
- Nagel und Hammer



Abbildung 55: Freier Fall II

### Aufbau und Durchführung:

Mit Hammer und Nagel schlägt man ein paar Löcher in den Mantel der Getränkedose. Am besten dicht über den Boden der Dose und so, dass man diese problemlos mit einem Finger abdichten kann. Die Dose wird mit Wasser gefüllt und aus einer Höhe von etwa 3 m gehalten. Man kann beobachten, wie aus den Löchern das Wasser in parabelförmigen Strahlen aus der Dose läuft. Lässt man die Dose nun los, so kann man sehen, dass das Ausströmen des Wassers während des freien Falles bis zum Aufschlag der Dose am Boden aufhört.

### Erklärung:

Ist die Dose in Ruhe, so fließt Wasser aus der Dose, da die Wassersäule auf Grund ihrer Gewichtskraft zusätzlich zum Luftdruck, Druck auf den Boden der Getränkedose ausübt. Der Gesamtdruck ist somit größer als jener, den der Luftdruck an den Löchern ausübt. Da im freien Fall keine Gewichtskraft wirksam wird, erzeugt die Wassersäule keinen zusätzlichen Druck mehr. Dadurch kann das Wasser im freien Fall nicht mehr aus der Dose ausströmen.

## 4 Schwingungen-Wellen-Optik

Wird ein System aus der Gleichgewichtslage gebracht, so können Schwingen entstehen. Das Charakteristikum einer Schwingung ist, dass die Bewegung periodisch verläuft, sich also immer wiederholt. Schwingungen sind uns aus dem Alltag vertraut. Beispielsweise das Auf- und Abschaukeln eines Bootes auf See oder das Schwingen einer angeschlagenen Saite einer Gitarre.

### Harmonische Schwingung:

Eine der wichtigsten Schwingungsformen ist die der harmonischen Schwingung. Wird ein Körper aus seiner Gleichgewichtslage gebracht und führt eine solche Schwingung aus, so wird er als harmonischer Oszillator bezeichnet.

Das einfachste Beispiel ist eine Masse der an einer Feder reibungsfrei über einen Tisch gleitet oder eine Kugel in einer Petrischale, die hin und her rollt. Dabei wirkt die Rückstellkraft nach dem Hookeschen Gesetz:

$$F_x = -kx$$

4.1

$F_x$  ... Federkraft

$k$  ... Federkonstante

$x$  ... Auslenkung

Die Zeit in der eine Masse wieder in die Ausgangslage zurückkehrt wird als Periode oder Schwingungsdauer bezeichnet. Die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde wird als Frequenz bezeichnet.

$$\nu = \frac{1}{T}$$

4.2

$\nu$  [ $s^{-1}$ ] ... Frequenz

$T$  [s] ... Schwingungsdauer

Es ist möglich eine Schwingung zeitlich aufzulösen. Dieser Versuch ist Gegenstand meiner Arbeit und nachzulesen auf Seite 61.

Löst man eine Schwingung zeitlich auf, so erhält man folgende Formel:

$$x = A \cos (\omega t + \delta)$$

4.3

$A$  ... Amplitude

$\omega t + \delta$  ... Phase

$\delta$  ... Phasenkonstante

Dabei hängen die Frequenz und die Kreisfrequenz folgendermaßen zusammen:

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$$

4.4

$\omega$  ... Kreisfrequenz

Durch Reibungsverluste klingen in der Natur die Schwingungen mit der Zeit ab. Eine Schwingung kann man aber aufrecht erhalten, indem man dem schwingenden System immer wieder Energie zuführt.

### **Transversalwellen:**

Eine Transversalwelle, die auch Quer- oder Schubwelle genannt wird, ist eine Welle deren Schwingung senkrecht zu der Ausbreitungsrichtung erfolgt. Außerdem ist sie an ein Medium gebunden.

### **Longitudinalwellen:**

Diese Wellen werden auch Längswellen genannt und breiten sich ausschließlich in Medien, wie Feststoffen, Flüssigkeiten und Gasen fort. Sie schwingen in Ausbreitungsrichtung. Das bekannteste Beispiel sind wohl die Schallwellen, die sich durch die Luft fortpflanzen.

## 4.1 Die Schwingungsdauer eines Fadenpendels I

### Material:

- 2 leere Getränkedosen
- 2 lange Fäden
- Stativmaterial



Abbildung 56: Die Schwingungsdauer eines Fadenpendels I

### Aufbau und Durchführung:

Man befestigt jeweils einen Faden an einer Dose und hängt beide Getränkedosen daran auf. Die Fäden sollten die gleiche Länge haben. Dann befüllt man eine der beiden Dosen mit Wasser und die andere zur Hälfte mit Wasser.

Nun versetzt man die beiden Dosen in Schwingung. Dabei erkennt man, dass die Schwingungsdauer  $T_{halbvoll}$  und  $T_{voll}$  der beiden Dosen bei unterschiedlichen Massen, aber gleichen Fadenlängen gleich groß sind. Auch die Pendelfrequenz ist bei beiden Dosen gleich.

### Erklärung:

Die Formel für die Schwingungsdauer  $T$  eines Fadenpendels lautet:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

4.5

$T$  [s] ...Schwingungsdauer

$l$  [m] ...Länge des Fadenpendels

$g = 9,81 \frac{m}{s^2}$  ...Erdbeschleunigung

Die Schwingungsdauer hängt also nicht von der Masse ab.

## 4.2 Die Schwingungsdauer eines Fadenpendels II

### Material:

- leere Getränkedosen
- langer Faden
- Wasser
- eventuell Stativmaterial



Abbildung 57: Die Schwingungsdauer eines Fadenpendels II

### Aufbau und Durchführung:

Man bindet den Faden an die mit Wasser gefüllte Dose und befestigt diese an einem Stativ. Sollte man kein Stativ zur Verfügung haben, so kann man im Bedarfsfall die am Faden hängende Dose mit einer Hand in die Höhe halten, sodass die Dose nach unten hängt. Schließlich lenkt man das Pendel wie beim Fadenpendel I aus.

Wenn man dann während die Dose schwingt einen Finger in die Mitte zwischen den Aufhängepunkt der Dose und der Stativstange, an welcher der Faden befestigt ist, hält, schwingt das Pendel bis zum Finger. Dort wird die Pendellänge verkürzt und auf der anderen Seite schwingt es schneller weiter. Kehrt es wieder zurück und die Schnur ist nicht mehr am Finger, schwingt es wieder mit seiner ursprünglichen Geschwindigkeit.

### Erklärung:

Wenn man das Pendel mit einem Finger daran hindert die Pendelbewegung fortzusetzen, so verkürzt man ab dem Zeitpunkt, an dem der Finger dann Faden berührt die Pendellänge.

Wie im Versuch „Schwingungsdauer eines Fadenpendels I“ oben ersichtlich, gilt für die Schwingungsdauer Formel 4.5.

Daher ist die Schwingungsdauer lediglich von der Länge des Fadens abhängig. Sobald man mit dem Finger die Pendellänge verändert, verkürzt sich daher die Schwingungsdauer.

## 4.3 Der zeitliche Verlauf einer Schwingung

### Material:

- eine leere Getränkedose
- feiner Sand
- Styroporplatte
- Stativmaterial
- Hammer und Nagel
- min. 2 m Schnur



Abbildung 58: Der zeitliche Verlauf einer Schwingung

### Aufbau und Durchführung:

Mit Hammer und Nagel schlägt man ein Loch in den Boden der leeren Getränkedose. Man bindet das eine Ende des Fadens an der Getränkedose fest und das andere Ende an das Stativ, so dass sich die Dose ein paar Zentimeter über dem Tisch befinden. Unter die Dose legt man die Styroporplatte.

Man hält das Loch mit einem Finger zu und befüllt die Dose mit dem feinen Sand. Versetzt man die Dose nun in Schwingung und nimmt den Finger von dem Loch im Dosenboden, so rieselt der feine Sand aus der Öffnung auf die Styroporplatte und der Sand, der dabei aus der Dosenöffnung rieselt zeichnet eine Linie auf die Platte. Durch gleichmäßiges Ziehen an der Platte, kann die Schwingung zeitlich aufgelöst werden und der Sand zeichnet eine Sinus- beziehungsweise Cosinuslinie.

### Erklärung:

Bei jedem Körper wirkt bei einer Auslenkung aus der Ruhelage eine rücktreibende Kraft, die proportional zur Auslenkung wächst. Es kann zu einer harmonischen Schwingung kommen. Anhand dieses Versuchs erkennt man am Papier, dass der zeitliche Verlauf der Amplitude einer Sinus bzw. Cosinusfunktion folgt.

## Akustik

Die Akustik ist die Lehre vom Schall und umfasst sämtliche damit zusammenhängenden Gesichtspunkte, so die Entstehung und Erzeugung, die Ausbreitung, die Beeinflussung und die Analyse von Schall. Weiterhin sind auch die Wechselwirkung von Schall mit Materialien sowie die Wahrnehmung von Schall durch das Gehör und seine Wirkung auf Menschen und Tiere Gegenstand der Akustik.

Unter einer Schallwelle versteht man die Fortpflanzung von Druck- oder Dichteschwingungen in elastischen Medien. Schallwellen breiten sich als sogenannte Longitudinalwellen aus und können als Störung bzw. Dichteschwankungen des umgebenden Mediums verstanden werden. Durch Wechselwirkungen pflanzen sich die Störungen im Medium fort, dabei schwingen die Moleküle parallel zur Ausbreitungsrichtung der Welle. Die Moleküle des Mediums bleiben dabei an ihrem Ort und schwingen um ihre Ruhelage.

Da Dichte und Druck in Gasen eng miteinander verbunden sind, können Schallwellen in diesem Medium sowohl als Druckwelle, als auch als Dichtewelle bezeichnet werden. Für die Ausbreitungsgeschwindigkeit  $v$  von Schallwellen gilt:

$$v = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$$

4.6

$K$  ... Kompressionsmodul

$\rho$  ... Dichte

Diese Formel kann zur Berechnung der Schallgeschwindigkeit in Flüssigkeiten und Gasen herangezogen werden. Um die Schallgeschwindigkeit in einem Festkörper zu berechnen, wird in der Formel das Kompressionsmodul durch das Elastizitätsmodul ersetzt. Die Geschwindigkeit der Schallwellen hängt von den Eigenschaften des Mediums ab und kann für Gase auch mit folgender Formel berechnet werden:

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

4.7

$T[K]$  ... absolute Temperatur

$R = 8,1313 J/(mol \cdot K)$  ... universelle Gaskonstante

$M$  ... Molare Masse des betreffenden Gases

$\gamma$  ... Adiabatenexponent, abhängig von der Art des Gases



## 4.4 Das Dosentelefon

### Material:

- 2 leere Konservendosen
- etwa 20 m lange Paketschnur
- Nagel und Hammer



Abbildung 59: Das Dosentelefon

### Aufbau und Durchführung:

In beide gesäuberten Dosen wird mit Hammer und Nagel jeweils ein Loch in den Boden mit geschlagen. Durch jedes Loch wird ein Schnurende gesteckt. Dieses wird von innen mit einem Knoten versehen, der so groß sein muss, dass die Schnur nicht mehr aus dem Loch herausrutschen kann. Die beiden Gesprächspartner entfernen sich so weit voneinander, dass die Schnur gespannt ist. Sie darf keinesfalls durchhängen oder etwas berühren. Wenn man nun 20 m auseinander steht, kann man ein mit normaler Lautstärke gesprochenes Wort nicht mehr verstehen. Der Sprechende spricht in seine Dose hinein, der Empfangende hält sich seine Dose mit der offenen Seite ans Ohr. Man hört klar und deutlich sein Gegenüber sprechen.

### Erklärung:

Beim Sprechen wird die Luft in der Konservendose in Schwingung versetzt. Die Luftschwingungen werden auf den Dosenboden übertragen und dieser fängt dabei auch an zu schwingen. Vom Dosenboden übertragen sich die Schwingungen auf die Schnur und kommen am anderen Ende an. Von dort übertragen sich die Schwingungen der Paketschnur wieder auf den Dosenboden, und der Empfänger kann hören, was gesprochen wird. Die Dose des Empfängers wirkt wie ein Resonator.

## 4.5 Visualisierung von Schallwellen

### Material:

- eine leere Konservendose
- Luftballon
- Trichter
- Bohrer
- Schlauch (ca. 2 cm im Durchmesser)
- feiner Sand oder Reis
- Kabelbinder oder Gummiring



Abbildung 60: Visualisierung von Schallwellen

### Aufbau und Durchführung:

In den Boden der Dose wird ein Loch gebohrt, das groß genug ist um den Schlauch hineinstecken. Am anderen Ende des Schlauches wird der Trichter mit Klebeband fixiert.

Ein Luftballon wird so abgeschnitten, dass er als Membran dienen kann, über die Dose gezogen und mit einem Kabelbinder oder einem Gummiring fixiert.

Auf die Ballonhaut wird Sand gestreut. Erzeugt man nun neben dem Trichter laute Geräusche, etwa mit indem man hinein singt oder schreit, so beginnt der Sand zu „Tanzen“. Die Schallwellen werden sichtbar gemacht. Je nach Lautstärke sind unterschiedliche Muster zu erkennen.

### Erklärung:

Die Schallwellen versetzen die Membran in Schwingung. Die Schwingungen werden auf den Sand übertragen und versetzen diesen in Bewegung.

## 4.6 Hören an der Dose

### Material:

- leere Konservendose mit Deckel
- Hammer und Nagel / Bohrer



Abbildung 61: Hören an der Dose

### Aufbau und Durchführung:

In den Boden der Dose bohrt man ein Loch, das ungefähr 5 mm im Durchmesser sein sollte. An einem ruhigen Ort hält man die Dose so an ein Ohr, dass das Loch zur Ohrmuschel zeigt.

Mit der anderen Hand hält man den Deckel oder ein Stück Karton zur offenen Seite der Dose. Je nach Entfernung des Deckels kann man unterschiedlich hohes, schwaches Rauschen hören, das einem Meeresrauschen ähnelt.

### Erklärung:

Im Raum befindet sich Luft, welche für die Übertragung von Schallwellen notwendig ist. Diese Luft überträgt auch dann Schall, wenn er für einen Menschen nicht mehr hörbar ist. Immer wieder kommt es zu Störungen, oder es entstehen Wirbel in der Luft, die Schall erzeugen. Wir Menschen sind jedoch nicht in der Lage diesen Schall wahrzunehmen.

In diesem Versuch wirkt man dem entgegen, indem der Schall die Luft zwischen dem Boden der Dose und dem Deckel durch Resonanz in Schwingung versetzt und somit wird auch dieser Schall für uns hörbar.

Zwischen der Dose und dem Deckel entsteht eine Luftsäule, in welcher die unterschiedlichen Frequenzen resonant angeregt werden. Diese werden nicht als ein Ton wahrgenommen, sondern als Rauschen.

Wird die Entfernung von Dose und Deckel variiert, so verändert sich das Rauschen, weil unterschiedliche Frequenzbereiche angeregt werden.

vgl. [16]

## Optik

Schon früh beschäftigte sich der Mensch mit dem Licht und verschiedenen optischen Phänomenen. So haben sich beispielsweise die Ägypter großer Spiegel bedient um das Innere von Räumen zu erhellen.

Die Optik befasst sich mit der Ausbreitung von Licht und dessen Wechselwirkung mit Materie, insbesondere im Zusammenhang mit optischen Abbildungen. Daher bezeichnet man die Optik auch häufig als die Lehre vom Licht. Unter Licht versteht man in der Regel den sichtbaren Teil des elektromagnetischen Spektrums, der zwischen ca. 380 nm bis 780 nm liegt. In der Physik wird aber auch der unsichtbare Teil des Lichtes, wie z. B. das Infrarotlicht oder das ultraviolette Licht betrachtet.

Trifft ein Lichtstrahl auf die Grenzschicht zweier unterschiedlicher Medien, so wird ein Teil seiner Energie reflektiert, und der andere Teil geht in das andere Medium über. Dabei ändert sich nach dem Übergang in das zweite Medium seine Richtung. Diese Richtungsänderung wird Brechung genannt. Tritt ein Lichtstrahl in ein Medium mit größerer Brechzahl ein (zum Beispiel aus Luft in Wasser oder Glas), so wird er zum Lot gebrochen, der Ausfallswinkel ist kleiner als der Einfallswinkel. Im anderen Fall ist es genau umgekehrt.

### Das Brechungsgesetz:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

4.8

$n_{1,2}$  ... Brechungsindex des Mediums

$\theta_{1,2}$  ... Eintritts-, Austrittswinkel

Dieser Zusammenhang wurde 1621 auf experimentellem Wege durch Willebrod Snellius entdeckt.

### Die Totalreflexion:

$$\sin \theta_k = \frac{n_2}{n_1}$$

4.9

$\theta_k [^\circ]$  ... kritischer Winkel

Mit zunehmendem Einfallswinkel wird der Brechungswinkel größer. Wird der kritische Winkel erreicht, so ist der Brechungswinkel gleich 90 °. Bei einem Lichtstrahl, dessen Einfallswinkel größer als der kritische Winkel ist,

tritt keine Brechung auf, sondern er wird zur Gänze reflektiert. Dies bezeichnet man als Totalreflexion.

Totalreflexion tritt ausschließlich dann auf, wenn Licht aus einem Medium mit Brechungsindex  $n_1$  in ein Medium mit kleinerer Brechzahl, also  $n_2 < n_1$  übergeht.

### Das Prinzip eines planaren Wellenleiters:

Planare Wellenleiter werden zur möglichst verlustfreien Übertragung von Lichtwellen eingesetzt. Ein planarer Wellenleiter besteht aus drei Schichten, die alle verschiedene Brechzahlen haben können. Diese wäre zunächst einmal die *guide*-Schicht in der das Licht so zu sagen geführt wird und diese wird begrenzt von zwei Grenzflächen, die beide eine kleinere Brechzahl haben. Sie werden *substrate* und *cladding* genannt. Es ist aber nicht zwingend notwendig, dass diese beiden Schichten eine unterschiedliche Brechzahl haben.

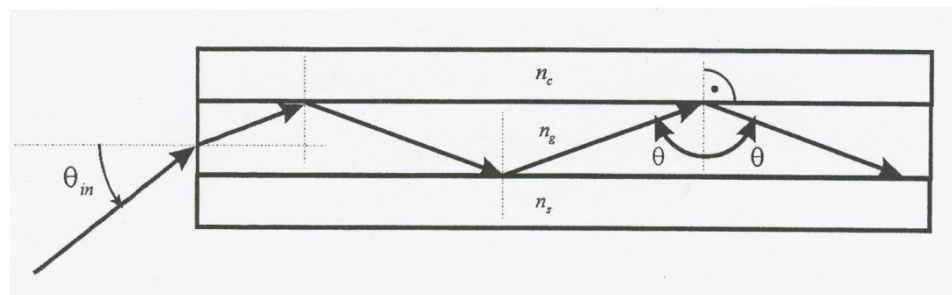


Abbildung 62: Der planare Wellenleiter [6] Kapitel 07, Seite 1

## 4.7 Eine Dose als Lichtleiter

### Material:

- eine leere 0,5 l Getränkedose
- Messer
- Bohrer oder Hammer und Nagel
- Taschenlampe
- Klebeband



Abbildung 63: Eine Dose als Lichtleiter

### Aufbau und Durchführung:

Der obere Teil der Dose wird mit einem scharfen Messer abgeschnitten, die scharfe Schnittkante wird durch überkleben mit Klebeband gesichert, um Verletzungen zu verhindern.

Dann schlägt man mit Hammer und Nagel ein kleines Loch in die Mantelfläche der Dose. Dieses Loch sollte sich etwa 1 cm über dem Boden der Getränkedose befinden. Nun hält man das Loch mit einem Finger zu und füllt die Dose mit Wasser.

Man geht in einen dunklen Raum und leuchtet nun mit einer Taschenlampe von oben in die Dose hinein. Gibt man das Loch jetzt frei, so fließt das Wasser parabelförmig aus der Dose. An der Stelle an welcher der Wasserstrahl auf dem Tisch auftrifft sieht man einen Lichtfleck.

### Erklärung:

Nach dem Prinzip eines planaren Wellenleiters wird der Lichtstrahl an der Grenzschicht Wasser – Luft totalreflektiert. Da die Oberfläche des austretenden Wasserstrahles aber nicht ideal, also total glatt ist, ist ein kleiner Teil des Lichtstrahls von der Seite aus im Wasserstrahl zu sehen. Der Lichtfleck der beim Auftreffen des Wasserstrahles sichtbar wird, lässt sich dadurch erklären, dass an dieser Stelle keine Totalreflexion mehr möglich ist. vgl. [1]

## 4.8 Eine Dose als Lochkamera

### Material:

- eine leere Konservendose
- Hammer und Nagel oder Bohrer
- eine Taschenlampe
- Gummiring
- Pergamentpapier
- Karton
- Schere



Abbildung 64: Eine Dose als Lochkamera

### Aufbau und Durchführung:

Man bohrt in die gesäuberte Dose ein Loch, das zwischen 0,5 cm und 2 cm im Durchmesser sein sollte, in die Mitte des Dosenbodens. Die Dosenoberseite wird mit dem Pergamentpapier bespannt und dieses mit einem Gummiring fixiert.

Aus einem Stück festeren Kartons schneidet man ein Stück aus. Dieses wird später zur Abbildung verwendet. Es empfiehlt sich ein Objekt oder Symbol zu wählen, dass erkennen lässt ob das Bild aufrecht oder verkehrt ist. Zum Beispiel ein Pfeil.

Die Lochkamera findet ihren Platz liegend auf dem Tisch. Der Karton mit dem ausgeschnittenen Pfeil wird vor den Dosenboden mit dem Loch platziert und von hinten mit der Taschenlampe beleuchtet.

Auf dem Pergamentpapier, dem Schirm, ist das verkehrte Bild des Pfeiles nun sichtbar. Durch Variation des Abstandes der Taschenlampe und des Gegenstandes, sowie des Abstandes des Gegenstandes und der Dose, kann das Bild vergrößert und verkleinert werden.

Vergrößert man das Bild allerdings zu stark, so wird es unscharf. Variiert man auch die Lochgröße, so kann man sehen, dass das Bild am Schirm an Intensität verliert (bei Verkleinerung) beziehungsweise an Intensität zunimmt (bei Vergrößerung).

### Erklärung:

Das Licht der Taschenlampe trifft auf den Gegenstand und gelangt durch das Loch in das Innere der dunklen Dose. Auf dem Schirm ergibt sich, auf Grund des Strahlenganges, ein verkehrtes und zudem auch seitenverkehrtes Bild am Schirm. vgl. [1]

## 5 Elektrostatik und Magnetismus

Die elektrische Ladung ist ähnlich der Masse eine fundamentale Eigenschaft der Materie. Die Physik ist leider bis dato nicht in der Lage die Frage nach der Natur der Ladung, zufriedenstellend zu beantworten. Es gelingt ihr lediglich zu beschreiben, wie sich geladene Materie verhält.

Bereits den Griechen war die auffallende Erscheinung der elektrischen Anziehung beziehungsweise Abstoßung bekannt. Diese lässt sich mit einem einfachen Experiment zeigen. Lädt man zwei Luftballone elektrostatisch mittels des gleichen Materials auf und hängt sie anschließend in einem Punkt auf, so kann man beobachten, dass sie einander abstoßen.

Die Begriffe der positiven und negativen Ladung gehen auf Benjamin Franklin zurück, wenngleich seine Anschauung, dass alle Materie eine „normale“ Menge an Elektrizität besitzt, nicht richtig ist.

Heute wissen wir, dass Materie aus Atomen besteht, die elektrisch neutral sind. Der Kern eines Atoms besteht aus Neutronen und Protonen, sowie eine der Protonenzahl entsprechenden Zahl an Elektronen. Protonen sind positiv ( $+e$ ), Elektronen negativ ( $-e$ ) und Neutronen elektrisch neutral geladen. Die Einheit  $e$  wird Elementarladung genannt.

$$e \dots 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

### Elektrische Leiter, Nichtleiter und Influenz:

In einem elektrischen Leiter kann sich ein Teil der Elektronen frei bewegen. Zu diesen Leitern zählen beispielsweise die Metalle. Die Anzahl der freien Elektronen in einem Metall ist stoffspezifisch. Im Gegensatz dazu sind bei Nichtleitern die Elektronen fest an die Atome und deren nähere Umgebung gebunden. Als Beispiele für Nichtleiter sind trockenes Holz oder Glas zu nennen.

Ein Leiter ist im Normalfall nach außen elektrisch neutral, da zu jedem positiven Ion mit Ladung  $+e$  ein freies Elektron zu finden ist. Durch Zugabe oder Entfernen von Elektronen kann ein Leiter aber geladen werden, wobei man in diesem Fall von elektrostatischer Aufladung spricht. Zur Messung elektrostatischer Ladung wird ein Elektroskop verwendet.

Eine einfache und praktische Methode einen Leiter elektrostatisch aufzuladen nutzt die Verschiebbarkeit der freien Elektronen aus. Nimmt man zwei ungeladene Metallkugeln, die einander berühren, und bringt einen geladenen Stab in die Nähe einer Kugel, so fließen freie Elektronen von einer Kugel zur anderen. Ist der Stab positiv geladen, so zieht er die Elektronen der Metallkugel an und lädt diese negativ auf. Ein positiv geladener Stab lädt eine Metallkugel in gleicher Weise negativ auf. Trennt man die beiden Kugeln jetzt, so kann man mit einem Elektroskop



# Grundsätzliches zu Elektrostatik und Magnetismus

---

nachweisen, dass beide Kugeln in gleichem Maße, aber entgegengesetzt geladen sind. Dieser Effekt wird elektrostatische Influenz genannt.

## **Magnetismus:**

Schon im Altertum wussten die Menschen um die Fähigkeit des Magnetits, der Eisen anziehen kann und diese Fähigkeit durch Berührung auch auf andere Metalle übertragen kann.

Zu den ersten die diese Eigenschaft zur Orientierung auf See nutzten gehörten die Chinesen und sogar Columbus wusste bereits von der Deklination, der sogenannten Missweisung.

Elektrizität und Magnetismus standen einander lange Zeit getrennt gegenüber, bis James Maxwell sie mit Hilfe der vier nach ihm benannten Gleichungen zur Elektrodynamik zusammenfassen konnte.

Etwa 1820 fand Christian Oersted heraus, dass Ströme auf Magneten Einfluss nehmen. Er beobachtete, dass eine Magnetnadel von ihrer Nord-Südlage abgelenkt wird, sobald man sie in die Nähe eines stromdurchflossenen Leiters gibt.

## **Wirbelströme:**

Befindet sich ein elektrischer Leiter in einem sich zeitlich ändernden Magnetfeld oder bewegt sich ein solcher Leiter in einem Magnetfeld, so ändert sich der magnetische Fluss in diesem Leiter.

Ändert sich das Magnetfeld in einem Metall, so wird eine Spannung induziert. Durch diese Induktionsspannung wird ein Strom erzeugt. Diese Wirbelströme erzeugen gemäß der Lenzschen Regel, ein Magnetfeld, das seiner Ursache entgegenwirkt.

## 5.1 Dosenelektroskop

### Material:

- eine leere Konservendose
- PVC- Folienstreifen
- Schere
- Hammer und Nagel
- Glas
- Reibzeug



Abbildung 65: Das Dosenelektroskop

### Aufbau und Durchführung:

Mit Hammer und Nagel schlägt man am oberen Ende der Konservendose ein Loch in die Mantelfläche und hängt den in der Mitte gefalteten PVC-Streifen über den Nagel.

Im Anschluss daran stellt man das Dosenelektroskop auf das Glas.

Bringt man nun mit Reibzeug Ladung auf die Dose, so sieht man, dass sich die beiden PVC-Streifen von der Dose abstoßen.



Abbildung 66: Die entladene Dose

### Erklärung:

Gleichnamige Ladungen stoßen einander ab. Da die Ladungen in der leitenden Dose frei beweglich sind, gehen diese auf den PVC-Streifen über und diese stoßen sich von der Dose ab.

### 5.2 Das Innere eines Leiters ist ladungsträgerfrei

#### Material:

- eine leere Konservendose
- ein Glas
- Klebestreifen
- Reibzeug
- Elektroskop
- Stab mit Metalllöffel



Abbildung 67: Elektroskop

#### Aufbau und Durchführung:

Die leere Konservendose wird mit Hilfe des Klebestreifens am Boden des Glases befestigt und auf den Tisch gestellt. Mit dem Reibzeug wird nun die Dosenwand aufgeladen. Dabei sollte zuvor gezeigt werden, dass sich weder an der Innenseite noch an der Außenseite der Dose Ladungen befinden.

Mit dem Elektroskop kann man nun zeigen, dass sich die Ladungen nur an der Außenseite der Dosenwand befinden und nicht an der Innenseite. Indem man zuerst den Metalllöffel an der Außenseite der Dose auflädt und mit dem Elektroskop zeigt, dass sich nun Ladungen auf dem Metalllöffel befinden und dann mit dem entladenen Löffel zeigt, dass das Innere der Dose ladungsträgerfrei ist.

#### Erklärung:

Da die Ladungen die auf die Dosenwand aufgetragen werden alle gleichnamig sind, so stoßen sich diese ab. Da sie den größtmöglichen Abstand zueinander haben wollen, befinden sie sich auf der Außenseite der Dose. An der Doseninnenseite ist also keine Ladung nachweisbar.

## 5.3 Wie man eine Dose abschleppt II

### Material:

- eine leere Getränkedose
- ein Luftballon
- ein Stück Fell

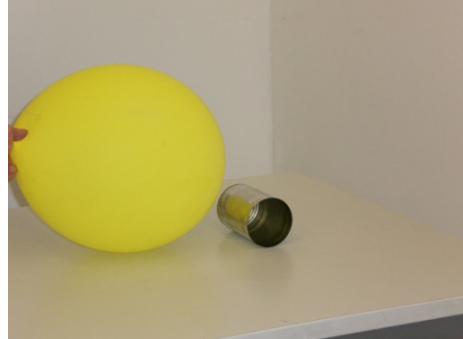


Abbildung 68: Wie man eine Dose abschleppt II

### Aufbau und Durchführung:

Der Luftballon wird mit Hilfe eines Felles elektrostatisch aufgeladen. Die Dose wird auf den Tisch gelegt, so dass diese rollen kann. Bringt man nun den geladenen Luftballon in die Nähe der Dose und bewegt ihn langsam von der Dose weg, so setzt sich die Dose in Bewegung. Die Dose kann auf diese Weise „abgeschleppt“ werden.

### Erklärung:

Wie zu Beginn des Kapitels erläutert, werden nicht gleichnamige Ladungen angezogen. Die Ladungen am Ballon ziehen die Teilchen in der leeren Dose an, da es zu Influenz kommt. Daher läuft die Dose hinter dem Luftballon her, wenn man diesen vor die Dose hält.

## 5.4 Sichtbare Entladung

### Material:

- eine leere Konservendose
- eine CD
- ein Glas
- Alufolie
- Klebeband
- Reibzeug



Abbildung 69: Sichtbare Entladung

### Aufbau und Durchführung:

Aus der Alufolie wird ein Streifen geformt, der auf der CD wie auf Abbildung 69 ersichtlich befestigt wird.

In einem Abstand von etwa 4 cm stellt man die Konservendose auf. Der Alustreifen sollte die Dose berühren können.

Mit dem Reibzeug wird die CD elektrostatisch aufgeladen und man kann beobachten, wie der Alustreifen ein paar Mal zur Dose hinbewegt und sich wieder von dieser entfernt.

### Erklärung:

Die CD ist elektrostatisch aufgeladen und die Ladung fließt in den Alustreifen. Dieser wird nun von der Dose angezogen und bewegt sich auf diese zu. Durch die Berührung entlädt er sich und geht wieder in seine Ausgangsposition zurück. Nun fließen weitere Ladungen in den Alustreifen und das Spiel beginnt von Neuem, bis die CD vollständig entladen ist.



Abbildung 70: Der Alustreifen entlädt sich

## 5.5 Die verzauberte Dose

### Material:

- eine Styroporplatte
- ein Stück Fell
- eine leere Dose



Abbildung 71: Die verzauberte Dose

### Aufbau und Durchführung:

Die Styroporplatte wird auf den Tisch gelegt und mit dem Fell elektrostatisch aufgeladen. Legt man nun die Dose auf die aufgeladene Platte, so kann man beobachten, dass sich diese in Bewegung setzt und von der Styroporplatte weggrollt.

### Erklärung:

Die Styroporplatte ist elektrostatisch aufgeladen und die Ladungen strömen auf die Dose, sobald diese auf der Platte liegt. Nun sind sowohl auf der Dose als auch auf der Styroporplatte die Ladungen gleichnamig und stoßen sich daher ab. Die Dose beginnt zu rollen.

## 5.6 Induktionsmotor

### Material:

- Glas
- Getränkedose
- Messer
- Metallspieß
- Magnet



Abbildung 72: Der Induktionsmotor I

### Aufbau und Durchführung:

Man füllt das Glas, dieses sollte möglichst schmal sein, so dass die Dose guten Halt findet, beinahe Randvoll mit Wasser. Die Getränkedose wird ca. 5 cm über dem Boden mit einem Messer abgeschnitten. Nun wird die Dose auf die Wasseroberfläche gesetzt.

Den Magneten befestigt man an dem Metallspieß und hält diesen in die Dose. Wird der Magnet gedreht, so beginnt die Dose sich ebenfalls zu drehen.

### Erklärung:

Durch das sich ändernde Magnetfeld werden in die Dose Wirbelströme induziert. Diese Wirbelströme erzeugen ihrerseits ebenfalls ein Magnetfeld. Da sich gleichnamige Pole abstoßen und nicht gleichnamige anziehen, folgt das Magnetfeld der Dose dem sich drehenden Magneten. vgl. [71]



Abbildung 73: Der Induktionsmotor II

## 6 Thermodynamik

Die Thermodynamik beschäftigt sich mit der Temperatur, der Wärme und der Umwandlung von Energie. Zudem beantwortet sie die Frage, ob ein Vorgang spontan ablaufen wird und gibt Aufschluss darüber, in welche Richtung. Nicht nur wissenschaftliche und technische Anwendung, sondern auch das Phänomen des Wetters folgt den Gesetzen der Thermodynamik.

Die Temperatur ist uns allen wohl vertraut, denn wir verwenden sie als Maß dafür wie warm oder kalt es ist.

Erwärmen oder kühlen wir einen Gegenstand, so ändern sich einige seiner physikalischen Eigenschaften. Beispielsweise dehnen sich die meisten Körper bei steigender Temperatur aus. Erhitzt man ein Gas bei konstantem Volumen, so steigt der Druck.

### Nullter Hauptsatz der Thermodynamik:

*„Befinden sich zwei Körper in thermischem Gleichgewicht mit einem dritten, so stehen sie auch untereinander in thermischem Gleichgewicht.“<sup>7</sup>*

Wird einer Substanz Wärmeenergie zugeführt, so steigt im Allgemeinen ihre Temperatur. Dabei ist die für einen bestimmten Temperaturanstieg  $\Delta T$  benötigte Wärmemenge  $Q$  proportional zum Temperaturanstieg und zur Masse  $m$  der zu erwärmenden Substanz:

$$Q = C \Delta T = mc \Delta T$$

#### 6.1

$Q$  [J] ... Wärmemenge

$C$   $\left[\frac{J}{K}\right]$  ... Wärmekapazität, jene Wärmemenge, welche erforderlich ist um die vorliegende Substanz um 1 K oder 1 °C zu erwärmen.

$T$  [K oder °C] ... Temperatur

$m$  [kg] ... Masse

$c = \frac{C}{m}$  ... spezifische Wärme, Wärmekapazität pro Masseneinheit der Substanz

---

<sup>7</sup> Tipler P.A.: Physik, Nachbearbeitung der 1. Auflage 2000, Seite 510



## Erster Hauptsatz der Wärmelehre:

$$Q = \Delta U - W$$

6.2

*„Die dem System netto zugeführte Wärme  $Q$  ist die Differenz der Änderung seiner inneren Energie  $\Delta U$  und der von ihm verrichteten Arbeit  $W$ .“<sup>8</sup>*

$U [J]$  ... innere Energie

$W [J]$  ... Arbeit

## Zweiter Hauptsatz der Wärmelehre:

*„Es ist unmöglich, eine zyklisch arbeitende Wärmekraftmaschine zu konstruieren, die keinen anderen Effekt bewirkt, als Wärme aus einem Reservoir zu entnehmen und eine äquivalente Menge an Arbeit zu verrichten.“<sup>9</sup>*

Eine Wärmekraftmaschine ist eine Maschine, die Wärme in mechanische Energie umwandelt. Dies geschieht in einem so genannten Kreisprozess. Das bedeutet, dass das Arbeitsmedium periodisch alle Zustände durchläuft, bis wieder der Ausgangszustand erreicht ist.

---

<sup>8</sup> Tipler P.A.: Physik, Nachbearbeitung der 1. Auflage 2000, Seite 556

<sup>9</sup> Tipler P. A.: Physik, Nachbearbeitung der 1. Auflage 2000, Seite 589

## 6.1 Eine Dose als Dampfturbine I

### Material:

- leere Getränkedose
- Gummistopfen, Korken oder Klebeband als Verschluss
- Bunsenbrenner
- Faden (Länge etwa 0,5 m)
- Hammer und Nagel

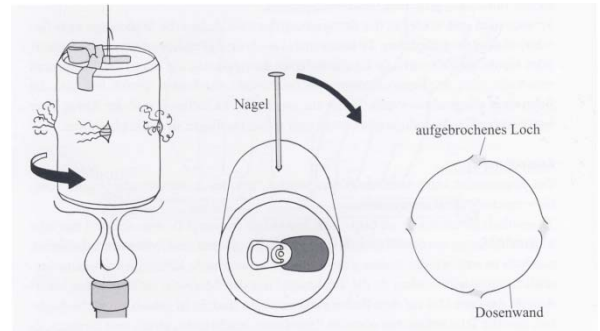


Abbildung 74: Dampfturbine [4] Seite 38

### Aufbau und Durchführung:

Mit Hammer und Nagel werden vier Löcher in den Mantel der leeren Getränkedose hineingeschlagen. Die Dosenwand wird bei jedem Loch so aufgebogen, dass sie im Querschnitt die auf Abbildung 74 ersichtliche Form hat. Die Dose wird mit ein wenig Wasser gefüllt, mit dem Korken oder ähnlichem dicht verschlossen und über dem Bunsenbrenner aufgehängt. Nach einer Weile beginnt das Wasser zu kochen, Dampf strömt aus den Löchern und die Dose beginnt sich langsam zu drehen.



Abbildung 75: Eine Dose als Dampfturbine I

### Erklärung:

Das Wasser in der Dose wird durch den Bunsenbrenner erwärmt bis es schließlich verdampft. Durch den Wasserdampf wird der Druck in der Dose erhöht und der Wasserdampf entweicht durch die wie Düsen wirkenden Öffnungen. Durch die Impulserhaltung wirkt beim Ausströmen des Wasserdampfes eine Kraft, die Rückstoßkraft, die dem ausströmenden Wasserdampf entgegen gerichtet ist. Da die Öffnungen in der Dosenwand aufgebogen sind strömt der Wasserdampf nicht senkrecht aus der Dose heraus, sondern es kommt durch die Rückstoßkraft zu einem Drehmoment auf die Dose. Dadurch beginnt sich die Dose zu drehen. Vgl. [4]

## 6.2 Eine Dose als Dampfturbine II

### Material:

- eine volle Getränkedose
- Draht
- Klebstoff oder Sekundenkleber
- feuerfeste Unterlage
- ein Windrad
- Stövchen



Abbildung 76: Eine Dose als Dampfturbine II

### Aufbau und Durchführung:

Mit einem dünnen Nagel schlägt man vorsichtig ein kleines Loch in die Oberseite der vollen Getränkedose. Dann dreht man diese um und schüttelt sie bis schließlich nur mehr etwa ein Drittel der Flüssigkeit in der Dose ist. Aus dem Draht formt man eine Halterung für die Dose – den Dampfkessel. Der Dampfkessel findet seinen Platz in der Halterung und die Feuerung kommt darunter. Entzündet man das Feuer, so beginnt nach ein paar Minuten die Flüssigkeit im Inneren der Dose zu kochen. Dampf strömt aus der kleinen Öffnung und das Windrad beginnt sich zu drehen.

### Erklärung:

Das Feuer erhitzt die Dose und mit dieser erwärmt sich auch die Flüssigkeit, deren Siedepunkt bald erreicht ist. Da das Volumen der nun gasförmigen Flüssigkeit gemeinsam mit der erwärmten Luft größer ist als das Volumen der Dose, sucht sich dieses Gasgemisch einen Weg um Druck abzubauen und dieser führt durch das kleine Loch ins Freie. Dabei wird durch den entstehenden Luftstrom das Windrad in Gang gesetzt.

### Bemerkung:

Beim Abbauen der Dampfturbine ist äußerste Vorsicht geboten! Es herrscht Verletzungsgefahr, sollte die Flüssigkeit noch heiß sein. Der „Dampfkessel“ kann öfters verwendet werden. Es ist möglich den Kessel mit Hilfe einer Spritze immer wieder mit Wasser aufzufüllen.

## 6.3 Das Dampfboot

### Material:

- eine leere Getränkedose
- scharfes Messer
- Teelicht
- Klebeband
- weiches Kupferrohr ( 3-6 mm im Durchmesser)
- Schleifpapier (feine Körnung)
- Säge
- Aluminiumfolie
- Locher oder Nagel und Bunsenbrenner



Abbildung 77: Das Dampfboot

### Aufbau und Durchführung:

Das Boot besteht aus einer Getränkedose. Die Dose wird in etwa im Abstand von  $\frac{1}{3}$  der Dosenhöhe vom Dosenboden mit einem scharfen Messer abgeschnitten.

Um die Verletzungsgefahr durch den scharfen Schnittrand zu minimieren, empfiehlt es sich den Dosenrand nach Innen umzubiegen oder ihn mit Gewebepapier zu umkleben, sodass eine stumpfe Kante entsteht. Um die Kante umbiegen zu können werden 5-6 kleine Schnitte gesetzt um das nach Innen biegen der Dosenblechsegmente jeweils zwischen zwei Schnitten zu ermöglichen.

Als nächstes wird der Dosenboden, der sich kuppelförmig nach Oben wölbt, zu einer Mulde eingedellt. In dieser Mulde soll später das Teelicht platziert werden.

Mit einem Locher werden am oberen Rand der Dose zwei gegenüberliegende Löcher in das Blech gestanzt.

Das Teelicht wird mit Klebeband oder mit zu einer Schnur gedrehten Aluminiumfolie im Dosenboden fixiert.

Der Motor wird aus dem weichen Kupfer- oder Messingrohr gefertigt. Hierzu fertigt man als erstes eine Spule, in dem das Kupferrohr vorsichtig und mindestens zwei Mal (zwei volle Windungen) um einen dicken Stift oder Besenstiel gewickelt wird. Das Kupferrohr wird so gebogen, dass sich die Spule in der Mitte befindet und von der Spule weg die zwei Rohrenden parallel in eine Richtung führen. Die Enden werden mit einer Säge auf gleiche Länge gekürzt und mit Schleifpapier feiner Körnung geglättet.

Nun gilt es die Rohrenden durch die zwei Löcher der Dose zu führen, um die Spule über der Kerze zu positionieren. Die Rohre werden nun wie in der Abbildung ersichtlich in entgegengesetzte Richtungen der Kontur der

Dose folgend gebogen. Bevor das Boot die dampfbetriebene Fahrt aufnehmen kann, muss das Kupferrohr noch mit Wasser gefüllt werden. Dies gelingt am leichtesten mit einer Spritze oder aber auch durch Ansaugen an einem Rohrende, während dem sich das Andere schon im Wasser befindet.

Wird die Kerze nun entzündet dauert es nur kurz bis sich das Boot ruckartig in Bewegung setzt und sich langsam zu drehen beginnt. Ein Teelicht reicht aus, um das Boot stundenlang anzutreiben.



Abbildung 78: Das Dampfboot in Aktion

### Erklärung:

Die Kerzenwärme bringt das Wasser in der Spule zum kochen. Hierbei entsteht Wasserdampf, der sich ausdehnt, das Wasser aus dem Rohr verdrängt und somit das Boot in Bewegung setzt. Durch die Krümmung der Rohrenden strömt der Dampf tangential zur Mantelfläche aus und bewegt das Boot durch den entstehenden Rückstoß. Da der Wasserdampf bei seiner Expansion auf das bis vor kurzem mit Wasser gefüllte und kühle Segment des Rohres trifft, kondensiert er und erzeugt ein Vakuum. Dieses Vakuum zieht wiederum Wasser zurück ins Rohr und der Kreislauf beginnt von vorne. Vgl. [51]

## 6.4 Das Düsenboot

### Material:

- eine leere Aluminium – Zigarrenhülle (10 cm lang)
- eine leere Sardinendose
- drei Teelichter
- Hammer und Nagel
- Zweikomponentenklebmasse



Abbildung 79: Das Düsenboot

### Aufbau und Durchführung:

In den Deckel des Zigarrenröhrchens schlägt man von Innen her ein kleines Loch und füllt es mit etwas Wasser. Mit Hilfe der Klebmasse wird das Röhrchen nun an der leeren Sardinendose befestigt.

Unter das Zigarrenröhrchen werden drei Teelichter gestellt und angezündet. Nach kurzer Zeit kommt Wasserdampf aus dem kleinen Loch des Zigarrenröhrchens und das Boot nimmt seine Fahrt auf.



Abbildung 80: Das Boot bewegt sich

### Erklärung:

Im Bootskessel entsteht durch das kochende Wasser Dampf. Da das Volumen des Dampfes größer ist als das des Wassers und der Luft zuvor, verschafft der Wasserdampf sich Platz, indem er über das kleine Loch aus dem Kessel strömt.

Durch den Rückstoß kommt das Boot in Bewegung.

## 6.5 Wo schmilzt das Wachs schneller?

### Material:

- geöffnete große Blechdose, die Innenseite der Dose sollte glänzend oder weiß sein
- eine Kerze
- 2 gleiche Münzen
- eine Glühlampe (mind. 60 W), mit Fassung und Netzanschluss
- Streichhölzer



Abbildung 81: Wo schmilzt das Wachs schneller

### Aufbau und Durchführung:

Mit der Kerze wird an der Innenseite der Blechdose eine Fläche von etwa 5 cm x 5 cm beruht. Auf der Außenseite wird über dem geschwärzten Fleck eine der beiden Münzen mit so wenig Wachs als möglich befestigt. Die zweite wird auf die gleiche Weise direkt gegenüber dieser angebracht. Die so präparierte Dose stülpt man über die Glühlampe. Nach einiger Zeit schmilzt durch die Wärme der Glühbirne das Wachs an dem die Münzen befestigt sind. Dies geschieht bei der Münze die sich über der geschwärzten Stelle befindet viel schneller, als bei der gegenüberliegenden, die sich ja über einer glänzenden beziehungsweise weißen Innenwand befindet. Sind beide Münzen abgefallen kann man mit dem Finger den Temperaturunterschied mit einem Finger deutlich spüren.



Abbildung 82: Die Münze auf der geschwärzten Seite fällt schneller

### **Erklärung:**

Der Wirkungsgrad einer Glühlampe ist sehr klein, er beträgt in etwa 5%. Der größte Teil der Energie geht als Wärme, also als Infrarotstrahlung, verloren. Glühlampen werden daher auch Temperaturstrahler oder heiße Lichtquellen genannt. Die ausgesendete Infrarotstrahlung wird von der Innenseite der Blechdose absorbiert und dadurch erhöht sich deren innere Energie und Temperatur. Ein Teil dieser Energie wird durch Wärmeleitung auf die Außenseite der Dose und das Wachs übertragen. Die Größe des Wärmestromes von der Wand zum Wachs hängt vom Temperaturunterschied ab. Durch die zugeführte Wärme erhöht sich die innere Energie des Wachses, wodurch seine Temperatur ansteigt. Ist die Schmelztemperatur des Wachses, welche in etwa bei 50-62 °C liegt, erreicht, rutschen die Münzen herunter.

Die innere Energie der geschwärzten Fläche nimmt schneller zu, da ihr Absorptionsvermögen wesentlich größer ist als das der glänzenden oder weißen Fläche. Daher nimmt ihre Temperatur deutlich schneller zu, wenn beide Flächen mit der gleichen Wärmequelle bestrahlt werden. Dadurch wird über der geschwärzten Fläche die Schmelztemperatur des Wachses wesentlich schneller erreicht. Vgl. [5]



## 6.6 Der Taupunkt

### Material:

- Blechdose ohne Rillen
- Eiswürfel
- Thermometer
- weißes Papier
- Eventuell Spiegel



Abbildung 83: Der Taupunkt

### Aufbau und Durchführung:

Die gesäuberte Blechdose wird mit kaltem Wasser und einigen Eiswürfeln gefüllt. Die Dose stellt man auf das weiße Blatt Papier, auf das man zuvor etwas geschrieben oder gezeichnet hat. Dabei kann ein Spiegel sehr hilfreich sein. In das Wasser gibt man nun noch zusätzliche Eiswürfel und liest mit dem Thermometer die Temperatur ab. Es werden so lange weitere Eiswürfel in die Dose dazugegeben, bis die Schrift, die sich in der Dose spiegelt verschwindet. Der so genannte Taupunkt ist erreicht. Die Temperatur liest man am Thermometer ab.

### Erklärung:

Die Dose kühlt sich durch das Eis sehr stark ab. Dort erreicht die Sättigung gerade 100 % und der Tau schlägt sich nieder. Die tiefste Temperatur, bei welcher Wasserdampf in der Luft gerade noch gasförmig ist, wird Taupunkt genannt. In der Meteorologie wird ein sogenanntes Psychrometer verwendet um die relative Luftfeuchtigkeit zu bestimmen. vgl. [12]



Abbildung 84:  
Die Schrift verschwindet

## 6.7 Welche Dose ist wärmer?

### Material:

- zwei Dosen
- schwarze Farbe
- weiße Farbe
- Pinsel
- heißes Wasser
- eventuell Thermometer

### Aufbau und Durchführung:

Die Außenseite einer der beiden Dosen wird mit der schwarzen Farbe angestrichen. Die andere bemalt man mit der weißen Farbe. Nachdem die Farbe getrocknet ist, werden beide Dosen mit kochendem Wasser gefüllt. Nach etwa 10 Minuten sollten die Dosen eine Temperatur haben, so dass man mit der bloßen Hand feststellen kann, welche der beiden Dosen heißer ist. Dennoch ist Vorsicht geboten!

Die schwarze Dose ist eindeutig kühler.



Abbildung 85: Temperatur der schwarzen Dose



Abbildung 86: Temperatur der weißen Dose

### Erklärung:

Die Oberfläche der schwarzen Dose strahlt Wärme stärker ab, als die Oberfläche der hellen Dose. Dadurch kann die schwarze Dose die Wärme nicht so lange halten wie die helle Dose.

## 6.8 Die Dose im Gefrierfach

### Material:

- eine leere Getränkedose
- Wasser
- Gefrierfach



Abbildung 87: Die Dose im Gefrierfach

### Aufbau und Durchführung:

Die leere und gesäuberte Dose wird bis zum Rand mit Wasser gefüllt. Die Dose wird vorsichtig in ein Gefrierfach gestellt. Bis das Wasser in der Dose komplett durchgefroren ist, kann es einige Stunden dauern.

Nimmt man die mit Eis gefüllte Dose aus dem Gefrierfach, so sieht man wie sie förmlich überquillt und sogar geplatzt sein kann.

### Erklärung:

Wasser hat viel größere Dichte als Eis. Bleibt also die Masse des Wassers, das sich in der Dose befindet gleich, so vergrößert sich das Volumen, was durch das Austreten des Eises an der Dosenöffnung sichtbar wird. Eventuell platzt die Dose sogar. vgl. [13]

$$V = \frac{m}{\rho}$$

6.3

$\rho \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$  ... Dichte

$m [kg]$  ... Masse

$V [m^3]$  ... Volumen

## 6.9 Wasser siedet auf Papier

### Material:

- Konservendose
- Dosenöffner
- Butterbrotpapier
- Gummiringerl
- Schere
- Teelicht
- kleine Dosen



Abbildung 88: Wasser siedet auf Papier

### Aufbau und Durchführung:

Der Boden der gesäuberten Konservendose wird mit Hilfe des Dosenöffners entfernt. Über eine der beiden Öffnungen wird das Butterbrotpapier gespannt und mit dem Gummiring fixiert. Das überstehende Papier wird mit der Schere entfernt. Nun füllt man die Dose etwa 1 cm hoch mit Wasser und stellt sie auf die beiden kleinen Dosen. Das brennende Teelicht wird derart unter der Dose platziert, dass die Flamme das Papier gerade nicht berührt. Das Wasser in der Dose erhitzt sich und beginnt sogar zu kochen, ohne dass das Papier zu brennen beginnt.

### Erklärung:

Die zugeführte Wärme wird dazu verwendet, das Wasser zu erhitzen. Dabei wird die Entzündungstemperatur des Papieres nicht erreicht.

### Bemerkung:

Man sollte das Wasser etwas abkühlen lassen, bevor man die Dose entfernt, da durch das heiße Wasser Verletzungsgefahr besteht.

### 7 Literatur

- [1] *Auer D.*: Physikalische Freihandversuche aus Optik, Karl-Franzens-Universität Graz, 2005
- [2] *Fleißner P.*: Physikalische Freihandversuche zu Hydrostatik und Hydrodynamik, Karl-Franzens-Universität Graz, 2007
- [3] *Hahn H.*: Physikalischer Freihandexperimente Band 1, Verlag Otto Salle Berlin, 1905
- [4] *Hirschler H.*: Physikalische Freihandexperimente, Band 1, Aulis Verlag Deubner, Köln 2004
- [5] *Hirschler H.*: Physikalische Freihandexperimente, Band 2, Aulis Verlag Deubner, Köln 2004
- [6] *Leitner A.*: Elektrodynamik, Optik und Thermodynamik, Karl-Franzens-Universität Graz, 2007
- [7] *Press H. J.*: Spiel – das Wissen Schaft, 10. Überarbeitete Auflage, Otto Mayer Verlag Ravensburg, 1977
- [8] *Raschke B.*: Physikalische Freihandexperimente zur Mechanik, Karl-Franzens-Universität Graz, 2006
- [9] *Rentzsch W.*: Experimente mit Spaß: Hydro- und Aerodynamik, Akustik, 1. Auflage, Verlag Hölder-Pichler-Tempsky, Wien 1995
- [10] *Rentzsch W.*: Experimente mit Spaß: Optik, 1. Auflage, Verlag Hölder-Pichler-Tempsky, Wien 1997
- [11] *Rentzsch W.*: Experimente mit Spaß: Bewegung und Kräfte, 1. Auflage, Verlag Hölder-Pichler-Tempsky, Wien 1995
- [12] *Rentzsch W.*: Experimente mit Spaß: Wärme, 1. Auflage, Verlag Hölder-Pichler-Tempsky, Wien 1995
- [13] *Schantl R.*: Freihandversuche zur Thermodynamik, Karl-Franzens-Universität Graz, 2006
- [14] *Valadares E.*: Spaß mit Physik, Aulus Verlag, Köln, 2003
- [15] *Tipler P. A.*: Physik, 3. Korrigierter Nachdruck der 1. Auflage 1994, Spektrum Akademischer Verlag, München 2000

- [16] *Wiespeiner. K.*: Physikalische Versuche zu Schwingungen und Wellen, Karl-Franzens-Universität Graz, 2006

## 7.1 Internetquellen

- [1I] <http://www.christof-schowalter.de/physik/experimente/exp.htm>  
[07.02.2008]
- [2I] <http://www.oepu-noe.at/recht/lp/allg/ziel.htm> [06.02.2008]
- [3I] <http://www.oepu-noe.at/recht/lp/us/pflicht/physik.htm>  
[06.02.2008]
- [4I] <http://www.pisa-austria.at/pisa2006/ergebnisse.htm> [07.02.2008]
- [5I] <http://sci-toys.com/scitoys/scitoys/thermo/thermo.html#rotary>  
[07.02.2008]
- [6I] <http://www.versuchscheme.de/ptopic.34541.html> [07.02.2008]
- [7I] [http://www.wilhelmpichler.at/koffer\\_skript.pdf](http://www.wilhelmpichler.at/koffer_skript.pdf) [07.02.2008]
- [8I] [http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web\\_ph08/versuche/14torricelli/torricelli.htm](http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web_ph08/versuche/14torricelli/torricelli.htm) [29.04.2008]

### 7.2 Zeitschriftenquellen

- [1Z] Wilke H.J. und Tronicke G.: „Verblüffende Experimente mit Dosen“. Erschienen in *Praxis in der Naturwissenschaft*, Heft 3/53, 15.April 2004, Seite: 33-37,
- [2Z] Schlichting H. J.: 1996, „Freihandversuche. Probleme und Möglichkeiten experimenteller Minimalversuche.“ Erschienen in *Physik in der Schule*, Heft 34/4, Seite: 141-146,



### **8 Eidesstattliche Erklärung**

Ich erkläre hiermit an Eides statt, die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst zu habe und keine als die angegebenen Quellen und Hilfestellungen verwendet zu haben. Wörtlich wie inhaltlich entnommene Stellen sind als solche kenntlich gemacht.

Ich habe außerdem darauf geachtet geschlechtsneutrale Formulierungen zu verwenden.

Zudem möchte ich darauf hinweisen, dass ich für die Erstellung dieser Arbeit keine Gelder oder Sachspenden von Firmen erhalten habe. Die Hersteller der Dosen wurden auf Fotos lediglich deshalb nicht unkenntlich gemacht, um zu zeigen, dass für diese Versuche Dosen aus dem Alltag verwendet wurden.