

# Peter Stettler

## Experimente in der Vorschulstufe

1. EINLEITUNG .....	2
2. PÄDAGOGISCH-DIDAKTISCHE BEMERKUNGEN .....	3
2.1. Beschreiben, erklären, verstehen .....	3
2.2. Die Rolle der Sprache beim Verstehensprozess .....	4
2.3. Tugend des Schweigens .....	5
2.4. Zur praktischen Durchführung der Versuche .....	7
2.5. Das Forschungsbuch .....	8
3. VORSCHLÄGE FÜR EXPERIMENTE .....	8
3.1. Licht und Schatten .....	8
3.1.1. Der Mond, Mondspiele .....	8
3.1.1. Bewegter Schatten .....	10
3.1.3. Sonnentaler .....	11
3.1.4. Farbige Schatten, Schattentheater .....	13
3.2. „Wer ist die schönste...?“ (Themenkreis Spiegelungen) .....	15
3.2.1. Links – Rechts? .....	15
3.2.2. Spiele mit meinem Spiegel-Ich .....	15
3.2.3. Wie wirklich sind Spiegelbilder? .....	16
3.3. Themenkreis «Durchsichtig» .....	17
3.3.1. Erfahrungen mit grossen Aquarien .....	17
3.3.2. Die versteckte Münze .....	18
3.3.3. Der geknickte Stab .....	19
3.3.4. Versuche mit Prismen .....	20
3.4. Themenkreis «Wie wir sehen» .....	21
3.4.1. Camera Obscura .....	21
3.4.2. Camera Obscura – wörtlich .....	22
3.4.3. Abbildung mit einer Sammellinse .....	22
3.5. Themenkreis «Wasser & Co» .....	24
3.5.1. Eistee trinken, schwergemacht .....	24
3.5.2. Der Druck des Wassers .....	27
3.5.3. Schwimmendes Eis .....	27
3.5.4. Siedeblasen .....	29
3.5.5. Die Haut des Wassers .....	31
3.6. Themenkreis „Kerze“ .....	33
3.6.1. Der Flammensprung .....	34
3.6.2. Blick in die Kerzenflamme .....	35
3.6.3. Der „Flammengeist“ .....	36
3.7. Themenkreis Gleichgewicht .....	37
3.7.1. Der Schwebestab .....	37
3.7.2. Die Kerzenwippe .....	38
3.8. Spielereien .....	40
3.8.1. Die folgsame Fadenspule .....	40
3.8.2. Das Schnurtelefon .....	41
3.8.3. Der geschwungene Wassereimer .....	42

## 1. Einleitung

Mit diesen Vorschlägen für naturwissenschaftliche Experimente für Kinder von 5 bis 7 Jahren sollen weder Kinderträume ausgetrieben noch die Freude am zweckfreien Spielen getrübt werden. Aber neben Spielen, Träumen und Fantasieren stellen Kinder recht häufig Fragen zu Naturphänomenen oder technischen Geräten. Und Kinder können sehr genau beobachten, wenn sie nicht abgelenkt werden.

Andererseits habe ich junge Menschen im 8. Schuljahr erlebt, welche schon *vor* der allerersten Physikstunde genau wussten, dass sie sich für Physik nicht interessieren. Und in den oberen Gymnasialklassen konvergiert dann das Interesse in Physik bei einer grossen Mehrzahl der Schülerinnen und Schüler gegen Null, ein Trend, der in den letzten Jahren beinahe tragische Züge angenommen hat. Es gehört geradezu zum Statussymbol von „Coolness“, bar jeglicher Kenntnisse in Physik und Chemie zu sein. Und das Handy funktioniert auch, wenn man nicht weiss, wie.

Seit einiger Zeit haben Erziehungswissenschaftler/innen das Vorschulalter hinsichtlich kognitiver Fähigkeiten der Kinder ins Blickfeld genommen, insbesondere seit dem Erscheinen des lesenswerten Buches «Weltwissen der Siebenjährigen», in welchem ein Wissens- und Könnenskanon von 73 Punkten vorgestellt und begründet wird<sup>1</sup>. Neben dem aufs Allgemeine zielenden „Weltwissen“ beschreibt die Chemikerin Gisela Lück in «Leichte Experimente für Eltern und Kinder» 25 naturwissenschaftliche Experimente, welche sie mit Kindern dieser Alterstufe erfolgreich durchgeführt hat<sup>2</sup>. Inzwischen wurde mit dem Thema „Experimente im Vorschulalter“ ein neuer Markt entdeckt. Dazu ein gelungenes Beispiel mit rund 50 kurz und klar beschriebenen Anleitungen zu physikalischen und chemischen Versuchen mit dem Titel: «Tüfteln, forschen staunen»<sup>3</sup>.

Das Interesse von Kindern im Vorschulalter an naturwissenschaftlichen Fragen wurde allerdings schon von der klassischen Reformpädagogik (Rudolf Steiner, Maria Montessori usw.) bemerkt und ist insbesondere dem Pädagogen und Physiker Martin Wagenschein nicht verborgen geblieben, der seine Beobachtungen und Erfahrungen mit «Kindern auf dem Wege zur Physik» zusammen mit Agnes Banholzer und Siegfried Thiel in einem lesenswerten, aber beinahe vergessenen Buch veröffentlicht hat<sup>4</sup>.

Mit der Wagenschein-Pädagogik im Hinterkopf und basierend auf Gisela Lücks Erfahrungen mit chemischen Experimenten sollen hier vor allem physikalische Experimente für Kinder im Vorschulalter vorgeschlagen werden.

---

<sup>1</sup> DONATA ELSCHENBROICH: *Weltwissen der Siebenjährigen – Wie Kinder die Welt entdecken können*. München 2001: Goldmann.

<sup>2</sup> GISELA LÜCK: *Leichte Experimente für Eltern und Kinder*. Freiburg/B 2000: Herder.

<sup>3</sup> CORNELIA HAUSHERR, GISELA LÜCK, BARBARA SÖRENSEN: *Tüfteln, forschen, staunen*. Verlag KgCH, 2004 Hölstein.

<sup>4</sup> MARTIN WAGENSCHIN, AGNES BANHOLZER, SIEGFRIED THIEL: *Kindern auf dem Wege zur Physik*. Stuttgart 1973, Klett.

## 2. Pädagogisch-didaktische Bemerkungen

### 2.1. Beschreiben, erklären, verstehen

Der bekannte Physiker Werner Heisenberg schreibt über das Verstehen von naturwissenschaftlichen Sachverhalten<sup>5</sup>:

*Wir müssen in der Naturwissenschaft versuchen, in der unendlichen Fülle verschiedenartiger Erscheinungen der uns umgebenden Welt gewisse Ordnungen zu erkennen, diese verschiedenartigen Erscheinungen also dadurch zu verstehen, dass wir sie auf einfache Prinzipien zurückführen*

Das ist aber hohe Schule des Verstehens. Nach diesem Muster können zum Beispiel alle Wurfbewegungen und die Bewegungen fast aller Himmelskörper, seien es Monde, Planeten oder die Sterne in Galaxien auf die Grundprinzipien *Gravitation* und *Trägheit* zurückgeführt werden. Das ist Physik für die Sekundarstufe II oder für die Hochschule.

Wagenschein hat für Kinder bescheidenere Ansprüche, die er *Kristalle des Verstehens* nennt. Wenn zum Beispiel ein Kind Eistee nicht durch ein Röhrchen, sondern durch ein langes Plastik-Schläuchlein ansaugt, bemerkt es, dass dies umso schwerer geht, je tiefer unten das Glas hingehalten wird (Versuch 3.5.1). Das heisst: Je höher der Eistee emporgesaugt werden muss, desto schwerer geht es. Das ist bereits eine Verknüpfung zwischen dem Unterdruck im Mund und der Saughöhe, ein Elementarakt des Verstehens.

Das Staunen über das Ungewohnte bezeichnet Wagenschein als Urakt aller Naturforschung. Aus ihm gehen die Elementarakte des Verstehens hervor<sup>6</sup>. Wohl kaum ein Kind kann sich dem Zauber entziehen, wenn es in einer *Camera obscura* steht und die Welt draussen an der Wand drinnen auf dem Kopf stehend vorfindet (Versuch 3.4.2). Wie ist das möglich? Oder nochmals zum Beispiel „Eistee trinken durchs Schläuchlein“: Je höher das Trinkglas gehalten wird, umso leichter geht das Saugen. Es liegt auf der Hand auszuprobieren, was geschieht, wenn das Glas über Kopfhöhe gehalten wird. Kommt der Eistee dann von selbst?

Die Erklärungen der Kinder weichen manchmal stark vom wissenschaftlichen *Common sense* ab. So berichtet Wagenschein von einem siebenjährigen Kind, das den Schatten wie folgt erklärt<sup>7</sup>: „Die Sonne geht durch einen durch – und hinten kommt sie als Schatten wieder raus. Und wenn keine Sonne da ist, gibt es ja auch keinen Schatten.“ Soll man das korrigieren? Immerhin hat das Kind die Beziehung zwischen Schatten und Sonne durchschaut, es glaubt aber noch an Verwandlung. Letzteres wäre in der Chemie aber ein gängiges Erklärungsmuster: In der Kerzenflamme zum Beispiel verwandeln sich Wachs und Sauerstoff in Wasserdampf und Kohlendioxid.

<sup>5</sup> WERNER HEISENBERG: *Schritte über Grenzen*. München 1971: Piper, S. 164.

<sup>6</sup> MARTIN WAGENSCHIN: *Die pädagogische Dimension der Physik*. Braunschweig 1971: Westermann, S. 207.

<sup>7</sup> *Kinder auf dem Wege zur Physik*, S. 62.

Über das Erklären sollen hier also keine rezeptartigen Vorschläge gemacht werden. Mir scheint aber, dass die begleitenden Erwachsenen einigermassen Bescheid wissen sollten. So sind die „Erklärungen“ in den Beschreibungen der Versuche für die Begleitpersonen und nicht für die Kinder geschrieben worden. Was die Kinder interessiert, sollte immer wieder neu im Gespräch mit ihnen herausgefunden werden.

## 2.2. Die Rolle der Sprache beim Verstehensprozess

Martin Wagenschein und auch Gisela Lück weisen darauf hin, dass mit den Kindern eine gemeinsame Sprache gefunden werden muss um über Naturphänomene zu sprechen. Insbesondere sollten die Erklärungen nicht im selben Muster ablaufen wie in den Schulbüchern oder noch schlimmer: in den modernen Schulmedien. Naturwissenschaftliche Sachverhalte sollten mit Kindern nicht so besprochen werden, als gäbe es nur richtig oder falsch. Dazu Wagenschein<sup>8</sup>:

*Nichts tötet die Sprache so sicher wie das in-flagranti-Korrigieren eines Kindes, das, weil es denkt, in den ehrwürdigen Stand des Stammelns eingetreten ist. Das stockende – und dann auch wieder überstürzende – Sprechen ist das dem Denken gemässe.*

Zudem darf mit Kindern durchaus animistisch gesprochen werden, also so als hätten die Dinge, über die gesprochen wird, eine Seele<sup>9</sup>. Wagenschein war selber ein Meister der animistischen Rede. In seinem letzten Vortrag sagte er darüber<sup>10</sup>:

*Es ist einfach meine Erfahrung mit Kindern und mit Studenten, dass das animistische Reden den Zugang zur Physik erleichtert. Es genügt nicht, es zu dulden. Man muss es ganz ernst aufnehmen können. Dann spriesst die animistische Rede von selbst weiter wie blühendes Unkraut zwischen den Pflastersteinen des Fachjargons. ... Dann lösen sich die Gesichter, und ein Lächeln steigt in die Augen der Studenten. Sie fühlen sich ein, versetzen sich ins Phänomen. ... Animistische Rede ist teilnehmende Rede.*

Mit der animistischen Sprechweise kann man einen physikalischen Sachverhalt durchaus exakt beschreiben, etwa<sup>11</sup>:

*Eine Luftblase unter Wasser „will“ immer nach oben; das glaubt man zuerst. Aber dann entdeckt man: sie will gar nicht, denn auch Luft ist schwer, will abwärts, muss aber nach oben; sie wird vom Wasser, das nach unten will, nach oben gedrückt.*

Zwischen den Zeilen dieser Textsequenz kann man lesen, dass sie aus Gesprächen entstanden ist, ob mit Kindern im Vorschulalter oder mit StudentInnen, ist eigentlich gleichgültig.

<sup>8</sup> *Die pädagogische Dimension der Physik, S. 131*

<sup>9</sup> *Leichte Experimente für Eltern und Kinder, S. 125.*

<sup>10</sup> MARTIN WAGENSCHIN: *Die Sprache zwischen Natur und Naturwissenschaft. Marburg 1986: Jonas Verlag, S. 60 ff.*

<sup>11</sup> *Die Sprache zwischen Natur und Naturwissenschaft, S. 62.*

### 2.3. Tugend des Schweigens

In seinem neusten Buch «Diesseits der Belehrungswut» schreibt der Erziehungswissenschaftler Horst Rumpf<sup>12</sup>:

*Belehrungswut, Bewertungswut – sie sind drauf und dran den Menschen die Anwesenheit in dem leibhaftig hier und jetzt Empfundene und Wahrgenommene auszutreiben. Die Staunkraft droht angesichts der korrekten Belehrung zu erlahmen. Kinder drohen zu kleinen Problemlösemaschinen getrimmt zu werden. Schreckt PISA? Solche Wissenschaftlichkeit kappt ihre Wurzeln.*

Als Beispiel von „Belehrungswut“, ein Begriff von Nietzsche, wird das Ritual der Führung in einer Kunstausstellung, das sich ja nicht sehr vom Ritual der Fremdenverkehrsführung und von Kommentaren in instruktiven Fernseh- und Internetangeboten unterscheidet, beschrieben<sup>13</sup>:

*Kein Raum ohne geführte Gruppen, überall das Rauschen und Plätschern der Rede über die ausgestellte Kunst. Als ob es unbedingt vermieden werden sollte, eine Pause, ein Schweigen eintreten zu lassen, und dass die Geführten und Ungeführten plötzlich allein gelassen wären, mit den Werken und mit sich allein. Die Kommentarmaschine lief ohne Unterbrechung.*

Als Erwachsene haben wir uns daran gewöhnen müssen, ungefragt über manches belehrt zu werden, was wir gar nicht wissen möchten. Und manchmal wird sogar das Staunen zum Stress, wenn man staunen sollte. Aber Kindern sollte die in ihnen natürlicherweise verwurzelte Staunkraft nicht ausgetrieben werden. Will ein Kind von 5 bis 7 Jahren wirklich wissen, dass Eis auf Wasser schwimmt, „weil der Feststoff Eis eine geringere Dichte hat als die Flüssigkeit Wasser“? Oder möchte es gar eine tiefer gehende Erklärung, etwa<sup>14</sup>: „Unter einer Riesenlupe, die sogar die kleinsten Bausteine der Materie sichtbar machen würde, könnte man erkennen, dass die Wasserbausteine ganz dicht beieinander liegen, während sich im Eiskristall Lücken befänden.“ Diese Erklärung ist in mehrfacher Hinsicht problematisch: Erstens gibt es keine „Riesenlupe“, welche die Moleküle und Atome so zeigt, wie sie sind<sup>15</sup>. Atome usw. gehören nicht zur Lebenswelt der Menschen, sie sind keine Phänomene. Atome und Moleküle bedürfen also ihrerseits einer Erklärung, und diese ist nur mit aufwändigen physikalischen Kenntnissen zu bewerkstelligen. Und – zweitens – was selber einer Erklärung bedarf, kann als Erklärungshilfe für Nahe liegendes (nämlich, dass Eis auf Wasser schwimmt) kaum dienen. Schliesslich (drittens) könnte man weiterfragen: Warum haben H<sub>2</sub>O-Moleküle in der Kristallstruktur des Eises grössere Abstände als in der Mikrostruktur der Flüssigkeit? Stellt man sich nun wieder die 5- bis 7-jährigen Kinder vor, wie sie beim vollen Wasserglas mit schwimmendem Eis sitzen und vielleicht warten, dass das Wasser

<sup>12</sup> HORST RUMPF: *Diesseits der Belehrungswut – Pädagogische Aufmerksamkeiten*. Weinheim 2004: Juventa, S. 83.

<sup>13</sup> GERT SELLE: *Kunstpädagogik und ihr Subjekt*, Oldenburg 1998, S. 140., zit. nach Rumpf, S. 10.

<sup>14</sup> *Leichte Experimente für Eltern und Kinder*, S. 83.

<sup>15</sup> Röntgenbilder von Kristallen und Rastertunnelmikroskope zeigen zwar eine körnige Struktur der Materie, aber niemals die Atome, wie sie an sich sind.

überläuft, wenn das Eis schmilzt (Versuch 3.5.3.), dann wäre mit Schweigen wohl mehr erreicht.

Als Gegensatz zur gängigen „Belehrungswut“ soll hier eine „Didaktik der Stille“ vorgestellt werden. Heike Noll, Lehrerin einer Montessori-Schule in Brandenburg beschreibt diese Didaktik der Zurückhaltung in einer Unterrichtssequenz<sup>16</sup>:

*Es ist Freiarbeit in der Klasse 1/2b. Alle Kinder beschäftigen sich mit den von ihnen gewählten Aufgaben. Ich nutze die Ruhe zur Vorbereitung eines Experimentes.*

*Ohne die Kinder zu stören, stelle ich einen Glasteller, ein Teelicht, ein Feuerzeug, ein Trinkglas und einen Messzylinder mit Wasser auf ein Tablett. Die Sachen bringe ich zu einem Tisch in einer Ecke meines Raumes.*

*Dort setze ich mich nun hin und baue ganz für mich allein den Versuch auf. Zuerst setze ich das Teelicht mitten auf den Teller. Dann zünde ich das Licht an. Anschließend gieße ich das Wasser vorsichtig und ganz langsam auf den Teller, bis das Wasser fast den Rand erreicht hat.*

*In dieser Zeit spüre ich, wie mich nach und nach immer mehr Kinder bei meinen Vorbereitungen beobachten. Einige von ihnen kommen dann zu meinem Tisch, setzen sich dort hin und warten auf das, was kommen wird. Denen, die gerne mit mir sprechen möchten, zeige ich mit dem Finger vor dem Mund, dass sie leise sein möchten und ich jetzt nicht für Gespräche bereit bin. Diese Geste muss ich nur am Anfang in einer neuen Klasse machen, bereits beim zweiten Versuchsaufbau in einer Klasse wissen die Kinder, dass Gespräche in dieser Zeit nicht angebracht sind.*

*Als alle Kinder, die am Versuch teilhaben wollen, einen Platz gefunden haben, stelle ich ganz behutsam das Glas über die Kerze. Die Augen der Kinder richten sich auf die unruhig flackernde und dann ganz langsam verlöschende Flamme. Und plötzlich ein Staunen! Mit einem unhörbaren Blopp verschwindet das Wasser vom Teller und sammelt sich im Glas. Die Kerze ist inzwischen ausgegangen. Ich überlasse die Kinder ihrem Staunen und beobachte ganz konzentriert, was weiter passiert.*

*Natürlich können einige der kleinen Beobachter ihr Staunen und ihre Gedanken nicht mehr zurückhalten. Sie wollen die Spannung der letzten Minute abbauen. Manche Kinder schauen noch immer mit großen Augen und offenem Mund zu dem Glas, bei anderen entdecke ich ein zufriedenes und entspanntes Lächeln. Zwei rufen: „Noch mal bitte!“.*

Als Kommentar zu dieser Lehrsequenz fügt Heike Noll bei:

*Aus meinen Erfahrungen der letzten Jahre weiss ich, dass ich jetzt „nur“ noch eine einzige Aufgabe habe: die Kinder ernst zu nehmen! Das heisst, jede einzelne Hypothese, jede Frage und jeder Kommentar eines Kindes wird auf die gleiche Weise geachtet und bekommt meine volle Aufmerksamkeit.*

---

<sup>16</sup> HEIKE NOLL SCHIEDER, D-14806 Belzig: Private Mitteilung, 29.9.04.

*Der pädagogische Zeigefinger bleibt verschwunden. Auch das Prinzip der Osterhasenschule, in der vom Lehrer das Wissen versteckt wird, das die Kinder dann suchen müssen, ist hier fehl am Platz.*

*Kein Kind verlangte einen Kommentar von mir. Schliesslich hatten die meisten Kinder eine Erklärung. Und die anderen Kinder konnten sich mit ihren Mitschülern beraten.*

*Die Zeit für ein Experiment wähle ich meistens so, dass es am Ende eines Schultages liegt. Diese Entscheidung habe ich sehr bewusst getroffen, um alles zu vermeiden, was zu einer Pädagogisierung der Versuche führen könnte.*

*So haben die Kinder die Chance, mit dem Erlebnis des Versuches ihren Schultag zu beenden und vielleicht einige Gedanken mit nach Hause zu nehmen.*

*Oft erzählten mir die Kinder am nächsten Tag, dass sie das Experiment auch mit ihren Eltern gemacht hätten. Für andere war und ist das, was sie gesehen haben so etwas wie eine Zauberei. Laura fragte mich sogar mal, ob ich heute wieder Kunst machen würde...*

*Nach jedem Experiment gibt es aber immer zwei oder drei Kinder, die noch am nächsten Tag oder später ihre Beobachtung anders bearbeiten wollen. So fertigen sie Zeichnungen an und beschriften diese. Wenn ich das bei Kindern beobachte, bekommen sie von mir ein Forscherheft, in dem sie ihre ganz eigenen Erkenntnisse notieren können.*

*Nur wenn mich ein Kind am nächsten Tag noch einmal auf das Experiment anspricht und Fragen stellt, arbeite ich mit dem Kind oder einer Gruppe weiter am Phänomen.*

*Inzwischen ist es schon Tradition geworden, dass die Kinder selbst Experimente für ihre Mitschüler machen. Erstaunlich dabei ist, dass sie genau die gleichen Rituale nutzen. Natürlich sprechen sie ihr Vorhaben mit mir ab und gemeinsam legen wir einen Zeitpunkt für ihre Vorführung fest.*

Durch ungezwungene Gespräche wird meistens klar, was die Kinder wirklich interessiert. Manchmal ist es „nur“ eine Beobachtung, immerhin stets der erste Schritt jeder naturwissenschaftlichen Erkenntnis. Und exaktes Beobachten gelingt am besten, wenn Kinder dabei nicht gestört werden.

Die Furcht, dass „eigene Erklärungen“ der Kinder „falsch“ sein könnten, ist unbegründet, denn die Kinder wissen immerhin, dass es *ihre* Erklärungen sind, und dass solche privaten Theorien im Laufe des Lebens dann und wann revidiert werden müssen. Falsch verstandene „richtige“ Erklärungen dagegen sind erfahrungsgemäss kaum mehr zu entsorgen.

## **2.4. Zur praktischen Durchführung der Versuche**

Für die praktische Durchführung der Versuche werden die Empfehlungen von Gisela Lück weitgehend übernommen, die hier stichwortartig zusammengefasst sind<sup>17</sup>:

---

<sup>17</sup> Lück, S. 20 ff.

- Sämtliche Versuche sind ungefährlich. Also keine giftigen Substanzen verwenden. Bei Experimenten mit Kerzen sollte eine erwachsene Person dabei sein.
- Das Material für die Experimente soll preiswert und überall, schlimmstenfalls in einem Do-It-Yourself-Laden erhältlich sein.
- Die Versuche dürfen anspruchsvoll sein, sollten aber in der Regel gelingen.
- Die Versuche müssen naturwissenschaftlich erklärbar sein, also weder Zauberei oder „Das wirst du dann später verstehen“.
- Die Experimente sollten in der Regel in 20 bis 30 Minuten durchgeführt werden können, sodass die Geduld der Kinder nicht überstrapaziert wird.
- Die Experimente sollten Teile grösserer Zusammenhänge sein, damit Kinder erfahren, dass die Naturwissenschaft nicht aus unzusammenhängenden Events besteht.

## 2.5. Das Forschungsbuch

„Sehr bewährt hat sich das persönliche Forschungsbuch, das jedes Kind führt“, schreibt die Kindergärtnerin Cornelia Hausherr, Mitautorin von «Tüfteln, forschen staunen»<sup>18</sup>. Und Barbara Sörensen begründet dieses Vorgehen<sup>19</sup>: „Bereits bei der Planung eines Angebots ist es sinnvoll, sich Überlegungen dazu zu machen, wie der Verlauf und die Ergebnisse der Experimente entwicklungsgerecht symbolisch festgehalten werden können. ... Die wesentlichen Schritte des Experiments werden durch die symbolische Darstellung chronologisch festgehalten. Dieses Festhalten kann durch unterschiedliche zeichnerische, gestalterische Darstellungsformen erfolgen. ... Jede Form der symbolischen Darstellung zwingt dazu, sich nochmals ganz genau vorzustellen, was in welcher zeitlichen Abfolge beobachtet wurde, dient damit der Klärung und unterstützt die Weiterführung des Verstehensprozesses.“

## 3. Vorschläge für Experimente

### 3.1. Licht und Schatten

#### 3.1.1. Der Mond, Mondspiele

*Seht ihr den Mond dort stehen? –  
Er ist nur halb zu sehen,  
Und ist doch rund und schön!  
So sind wohl manche Sachen,  
Die wir getrost belachen,  
Weil unsre Augen sie nicht sehn.*

<sup>18</sup> Tüfteln, forschen, staunen, S. 23.

<sup>19</sup> Tüfteln, forschen, staunen, S. 22.



Fragt man Schülerinnen und Schüler jeden Alters, auch Studentinnen und Studenten wie es kommt, dass man meistens nur einen Teil des Mondes sieht, so kommt bei den meisten die Rede auf den Erdschatten. Martin Wagenschein hat dasselbe erlebt und schreibt dazu<sup>20</sup>:

*Nicht die Unkenntnis als solche ist es, die hier bestürzt. Anständige Unkenntnis, ehrliche, von schwierigen Dingen gehören zur Bildung. Aber hier ist die Wahrheit leicht zu sehen; und noch leichter wäre zu bemerken, dass es der Erdschatten unmöglich sein kann, der den Mond aushöhlt. Denn der Sichelmond steht am Himmel niemals weit ab von der Sonne und nie ihr gegenüber. ... Der moderne Mensch hat hier also oft gerade das verlernt, was die Naturwissenschaft ihm hätte lehren können: einer Sache gewahr werden, beobachten. Statt zu wissen, was er sehen könnte, wenn er gelernt hätte, hinzuschauen, hat er leere Sätze bereit ... Er hat es durch sogenanntes Lernen verlernt.*

Es wäre wünschenswert, die Kinder, wann immer es geht, den Mond betrachten zu lassen. Man sieht ihn oft am Tag. Dann *sieht* man, dass seine helle Seite stets zur Sonne zeigt. Sonne und Mond haben also etwas miteinander zu tun. An diesem „Exempel“ lernen die Kinder auch, dass zwischen einzelnen Dingen Zusammenhänge bestehen. Und diese zu suchen, ist ein Urakt des wissenschaftlichen Denkens.

Und wenn es schon um Beleuchtung geht und die Kinder im Freien stehen, können sie sich auch gegenseitig betrachten. Man kann „Mondphasen“ spielen: Welcher Teil des Gesichts ist hell, welcher dunkel? Und wie läuft die Trennungslinie über das Gesicht? Diese Linie zwischen Hell und Dunkel wird nicht nur von der Stellung zur Sonne definiert, sondern von der Nase, dem Kinn usw. mitgestaltet. Auch beim Mond ist der innere Rand der Sichel, oder überhaupt die Trennung zwischen seiner beleuchteten und beschatteten Hälfte, keine glatte Linie: Berge, Täler und schöne runde Krater zeichnen die Feinstruktur seiner Tag-Und-Nacht-Grenze. Das hat Galileo Galilei durch sein Fernrohr als erster deutlich gesehen. Mit einem kleinen Feldstecher können wir es heute mühelos nachvollziehen. Allerdings sollte man die Kinder nicht bei Tag den Mond mit einem Feldstecher oder gar einem Fernrohr betrachten lassen. Erstens sieht man die Mondlandschaft viel besser, wenn die Sonne schon untergegangen ist; und zweitens ist die Versuchung zu gross, das Fernglas auch auf die Sonne zu richten, was schwere Augenschäden oder gar Erblindung zu Folge hätte.

Anders als beim Mond wird von der Schattenseite jedes Körpers ein dunkler Doppelgänger auf den Boden oder eine Wand geworfen. Aber auch am Mond lässt sich der Unterschied zwischen der *Schattenseite eines Körpers* und dem *geworfenen Schatten* erklären. Der Schatten der Erde wird etwa einmal pro Jahr auf den Vollmond geworfen, und man kann sich fragen, warum es dann nicht bei jedem Vollmond zu einer Mondfinsternis kommt.

Man kann mit den Kindern auch „Mondfinsternis“ spielen: Je zwei Kinder stellen, setzen oder legen sich so ins Sonnenlicht, dass der Kopf des einen den Kopf des anderen beschattet. Dann sieht das Kind, das den Schatten wirft, dass der Kopf, der

---

<sup>20</sup> MARTIN WAGENSCHHEIN: *Verstehen lehren*, Weinheim, 1989 : Beltz, S. 62.

beschattet werden soll, unmittelbar vor oder nach der „Finsternis“ stets ein „Vollmond“ ist: Von der beschatteten Seite dieses Kopfes ist fast nichts zu sehen.

Die dunkle Ergänzung der Mondsichel, des Halbmondes usw. ist die Schattenseite des Mondes und hat natürlich nichts mit dem Erdschatten zu tun. Wir sind dem Vorstellen und Denken der Kinder recht nahe, wenn wir ihnen die Mondphasen so erklären, wie es Leonardo da Vinci tat:

*La luna non ha lume da sè  
se non quanto ne vede il sole,  
tanto l'allumina;  
della qual luminosità,  
tanto ne vediamo  
quanto è quella che vede noi.*

*Der Mond hat kein Licht von sich aus,  
und soviel die Sonne von ihm sieht,  
soviel beleuchtet sie;  
und von dieser Beleuchtung  
sehen wir soviel,  
wieviel davon uns sieht.*

Ins Forschungsbuch wird ein Halbmond oder Sichelmond und die Sonne am Himmel gezeichnet, sodass man auf der Zeichnung sieht, dass der Mond sein Licht von der Sonne erhält.

### 3.1.1. Bewegter Schatten

Dieses Experiment erfordert weit mehr als 20 - 30 Minuten. Es kann aber an einem sonnigen Tag neben anderen Tätigkeiten (z.B. an gewöhnlichen Schultagen) durchgeführt werden<sup>21</sup>.

*Material:*

- Ein asphaltierter Hof (Pausenplatz)
- Sonne
- weisse Kreide

*Durchführung:*

- Mehrere Kinder sammeln sich auf einem asphaltierten Hof und gruppieren sich zu zweit. Das eine Kind stellt sich in die Sonne und das andere zeichnet den Schatten des einen auf den Boden. Der Schatten wird markiert (Nummer, Name oder Geheimzeichen).
- Nach 2 bis 3 Stunden stellen sich die Schattenspender wieder auf ihre Plätze.
- Je nach Anspruch wird das Ganze nach 2 bis 3 Stunden nochmals wiederholt.

---

<sup>21</sup> Die Idee für dieses Experiment verdanke ich einerseits Frau BRIGITTE SCHNYDER, Primarlehrerin i.R., CH-8124 Maur und andererseits Herrn PETER BÜCHI, Gesamtschullehrer in Ützikon bei CH-8634 Hombrechtikon.

*Beobachtung:*

Der Schatten ist gewandert und meistens auch länger oder kürzer geworden (Zeichnung ins Forschungsbuch).

*Erklärung:*

Es ist nicht nötig, dass hier von der Drehung der Erde gesprochen wird. Das Phänomen ist geozentrisch. Die Kinder sollten aber aufmerksam gemacht werden, dass sich alle Schatten in Richtung Osten verschoben haben. Die Sonne läuft ja von Ost nach West über den Himmel. Sie bewegt sich auf der Nordhalbkugel der Erde stets nach rechts.

Wenn *drei* Schattenkonturen gezeichnet wurden, können die äussersten Punkte der Schattenfiguren miteinander verbunden werden. Je nach Jahreszeit ergeben sich dann Linien, welche

- gerade verlaufen – um die Tagundnachtgleiche (21. März & 23. Sept.),
- zum Schattenspender hin gekrümmt sind – im Sommerhalbjahr,
- vom Schattenspender weg gekrümmt sind – im Winterhalbjahr.

*Variation 1:*

Wer die Befugnis hat, den Pausenhof nachhaltig zu gestalten, kann dort an geeignetem Ort einen Stock als Schattenspender einschlagen und die Schattenspur der Spitze des Stocks an drei Schlüsseldaten des Jahreslaufs (Tagundnachtgleichen, Sommer- und Wintersonnenwende – es müssen nicht exakt die „richtigen“ Daten sein) mit wasserfester Farbe nachzeichnen. Markiert man auch noch die Zeitpunkte und die Daten an den jeweiligen Schattenspitzen, hat man eine „empirische“ Sonnenuhr gebastelt.

**3.1.3. Sonnentaler**

Dies ist ein Experiment für den Frühsommer, also für die Zeit, wenn die Bäume und Sträucher in jungem Laub stehen.

*Material:*

- Ein asphaltierter Hof (Pausenplatz) mit Bäumen oder ein Stadtpark usw., manchmal auch das Schulzimmer, was dann unabhängig von den Jahreszeiten wäre.
- Sonne
- ein Blatt weisses Papier, Filzstift, Kreide.

*Beobachtung:*

Oft beobachtet man im Schatten von Laubbäumen, manchmal auch in Schulzimmern mit Lamellenstoren oder in Schuppen mit rissigen Dächern helle ovale Flecken, die häufig gruppenweise gleich gross sind. Diese Flecken nennt man Sonnentaler. Die Sonnentaler sind umso grösser, aber auch umso blasser, je höher die kleinen Öffnungen, welche das Sonnenlicht durchstrahlen lassen, sich über dem Boden

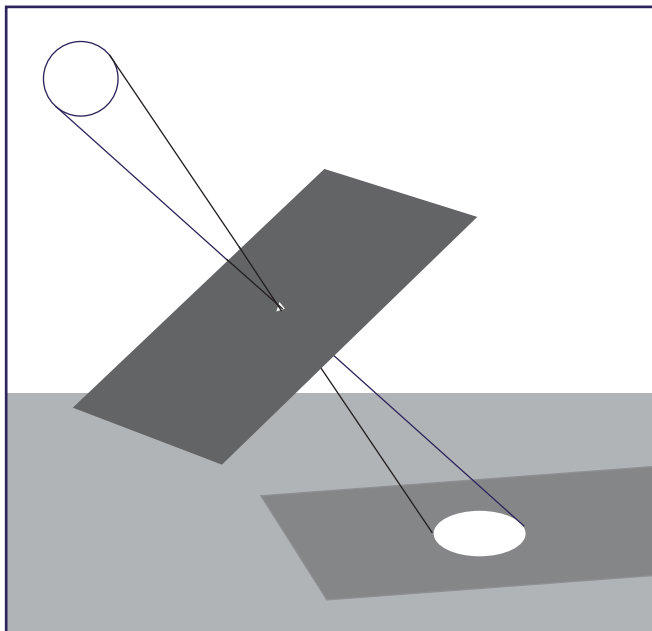
befinden. Die Sonnentaler sind zwar gruppenweise etwa gleich gross, aber keineswegs gleich hell.

*Problemstellung:*

Eigentlich sollte die Form eines Schattens der Form des Schattenspenders entsprechen, auch wenn diese durch einen schiefen Lichteinfall stark verzerrt ist. So sollten auch die Formen der Sonnentaler am Boden den Formen der Zwischenräume, die das Sonnenlicht durchscheinen lassen, entsprechen. Aber in einem Laubdach gibt es selten kreisförmige Lücken, meistens sind es „Dreieck“. Wie also kommt die runde Form zustande? Das muss durch Experimente untersucht werden.

*Experimente:*

- Man hält ein Stück Papier ins Lichtbündel, welches einen Sonnentaler erzeugt. Wenn das Papier senkrecht zum Sonnenlicht gehalten wird, ist der Sonnentaler kreisrund, sonst ist er oval (genauer: elliptisch).
- Wenn sich die Öffnung nicht allzu hoch oben befindet, kann man das Papier langsam längs des Lichtbündels zu dieser Öffnung hin verschieben: Der Sonnentaler wird kleiner und heller. Allmählich verliert er seine runde Form, und ...
- ... wenn das Papier unmittelbar unter (oder hinter) der Öffnung ist, hat auch der Lichtfleck die Form dieser Öffnung, wie es sich gehört.
- Das Papier wird jetzt wieder von der Öffnung längs des Lichtbündels entfernt, sodass man die Metamorphose vom „Dreieck“ zum Sonnentaler beobachten kann.
- Man kann Sonnentaler auch künstlich erzeugen. In einen A4-Karton wird in der Mitte ein *dreieckiges* Loch geschnitten (Seitenlänge ca. 7 mm). Der Karton wird ins



Sonnenlicht gehalten. In den Schattenraum des Kartons hält man einen weissen Papierbogen so dass der Dreieck auf dem Papier abgebildet wird. Hält man das Papier unmittelbar an den Karton, wird die Form des Dreiecks genau abgebildet. Verschiebt man den Karton in Richtung Sonne, wird das Dreieck auf dem Papier immer unschärfer: Die Ecken werden gerundet und das Dreieck verwandelt sich schliesslich in einen Kreis.

*Zweite Fragestellung und Erklärung:*

Was braucht es, damit ein Sonnentaler zustande kommt? Sonnenschein und eine kleine Öffnung hinter welcher das Licht noch einen ziemlich langen Weg zurücklegen kann, bis es den Sonnentaler zeichnet.

Bei einem gewöhnlichen Licht-Schatten-Spiel lassen die Schatten-Figuren meistens die Gestalten der schattenspendenden Gegenstände erkennen. Aber je grösser die Distanz zwischen einem Schatten und dem Schattenspender ist, umso unschärfer wird sein Schatten.

Bei den Sonnentälern entspricht die Lichtfigur nicht der Form des Schattenspenders sondern der Form des Lichtspenders. Sonnentaler sind also Abbildungen der Sonne. Dieser Zusammenhang kann mit Hilfe einer Skizze dargestellt werden. Als Schattenspender dient hier ein Stück Karton, in welches ein dreieckiges kleines Loch geschnitten wurde.

*Zusatz-Experiment:*

Ein weisses Papier wird so auf den Boden gelegt, dass ein Sonnentaler mitten darauf strahlt. Dann wird der Rand des Sonnentalers auf das Papier gezeichnet. Man merkt ziemlich bald, dass der Sonnentaler wandert, und zwar in Richtung Osten.

Teilnehmerinnen von Weiterbildungskursen haben dabei schon einmal spontan geäußert: „Jetzt spüre ich, dass die Erde sich dreht“. Ob das die Kinder auch spüren?

Man kann dann noch die Zeit stoppen, wie lange ein Sonnentaler braucht, um seinen eignen Durchmesser zu durchheilen. Es sind ziemlich genau zwei Minuten. Und so lange braucht auch die Sonnenscheibe, um ihren Durchmesser zu durchlaufen. Zwei Minuten dauern auch die Sonnenauf- und -untergänge in den Tropen. In unseren Breiten dauern sie länger, weil die Sonne schief auf- und untergeht.

**3.1.4. Farbige Schatten, Schattentheater***1. Versuch:*

*Man setze bei der Dämmerung auf ein weisses Papier eine niedrig brennende Kerze; zwischen sie und das abnehmende Tageslicht stelle man einen Bleistift aufrecht, so dass der Schatten, welchen die Kerze wirft, von dem schwachen Tageslicht erhellt, aber nicht aufgehoben werden kann, und der Schatten wird von dem schönsten Blau erscheinen.*

*Dass dieser Schatten blau sei, bemerkt man alsobald; aber man überzeugt sich nur durch Aufmerksamkeit, dass das weisse Papier als eine rötlich gelbe Fläche wirkt, durch welchen Schein jene blaue Farbe im Auge gefordert ist.*

Das sind die Paragraphen 65 und 66 aus Goethes Farbenlehre<sup>22</sup>. Wir können diese ohne ein Wort zu verändern als brauchbare Versuchsbeschreibung übernehmen.

---

<sup>22</sup> Johann Wolfgang Goethe: *Farbenlehre*. Stuttgart 1979, Verlag Freies Geistesleben, Band 1, S. 85.

Dass man farbige Schatten fotografieren kann, dass sie also nicht nur „im Auge gefordert sind“, konnte Goethe natürlich noch nicht wissen.

## 2. Versuch: farbiges Schattentheater

### Material:

- 3 Spotlampen, am besten 12V-Halogenlampen mit Dimmer
- Farbige Glasscheiben oder Farbfilter aus Plastik oder farbige Klebefolien, die auf Transparentfolien geklebt werden

In einem gut verdunkelbaren Raum wird ein Leintuch aufgehängt. Zwei Meter hinter diesem Leintuch werden die drei Spotlampen auf einem Turm von Tischen und Stühlen so montiert und gerichtet, dass sie alle auf dasselbe Gebiet auf der Leinwand leuchten. Wenn Kinder zwischen den Lampen und der Leinwand Theater spielen, sollten die Zuschauer ihre Schatten gut sehen.

Nehmen wir an, dass sich nur ein Kind auf der „Bühne“ befindet. Wenn nur eine Lampe brennt, wirft es einen schwarzen Schatten auf die Leinwand. Dieser Schatten kann viel grösser werden als das Kind, nämlich dann, wenn es sich der Lampe nähert. Wenn es sich dagegen unmittelbar hinter der Leinwand aufhält, ist sein Schatten am kleinsten, dafür am schärfsten. Man kann dann einzelne Haare sehen.

Wenn eine zweite Lampe zugeschaltet wird, wirft das Kind zwei Schatten, die allerdings grau und nicht schwarz sind (*Halbschatten*). Nähert sich die Schauspielerin der Leinwand, können sich ihre Halbschatten vereinigen. Dieser gemeinsame Schatten ist dann wieder ganz schwarz (*Kernschatten*).

Im Theater braucht es neben den Schauspielern auch noch Technikerinnen. So ist je eine Beleuchterin für je eine Lampe zuständig. Mit dem Dimmer kann sie die Helligkeit ihrer Lampe einstellen und farbige Filter in deren Licht halten. Mit dieser Einrichtung kann ein zauberhaftes Schattentheater inszeniert werden.

Mit derselben Einrichtung können aber auch die Gesetze der Farbaddition erfahren werden, welche im Farbfernsehen technisch genutzt werden:

Rot	+	Grün	→	Gelb		
Rot	+	Blau	→	Magenta		
Blau	+	Grün	→	Cyan		
Rot	+	Blau	+	Grün	→	Weiss

Die vielfältigsten Farbkombinationen von Schatten entstehen, wenn die drei Lampen Rot, Grün und Blau voll brennen. Wenn die Schauspielerin am richtigen Ort zwischen Lampen und Leinwand steht, sind alle oben aufgeführten Farben auszumachen, manchmal sogar noch ein schwarzer Kernschatten.

## 3.2. „Wer ist die schönste...?“ (Themenkreis Spiegelungen)

### 3.2.1. Links - Rechts?

*Material:*

- ein Wandspiegel, abnehmbar.

*Problemstellung:*

Oft fragen sich auch erwachsene Leute, warum ein Spiegel Rechts und Links vertausche, Oben und Unten dagegen nicht. Diese Ansicht rührt daher, dass uns unser Spiegel-Ich die falsche Hand hinhält, wenn wir es mit Handschlag begrüßen möchten.

*Versuche:*

Was kehrt ein Spiegel um? Klar: Oben bleibt oben und Unten bleibt unten. Aber rechts und links?

Nun mal ganz systematisch:

- Ich zeige mit dem Finger nach oben → die Spiegelfigur zeigt auch nach oben.
- Ich zeige mit dem Finger nach rechts → mein Spiegelbild zeigt auch nach rechts. Also werden links und rechts nicht vertauscht.
- Ich zeige in den Spiegel hinein → die Spiegelfigur zeigt aus dem Spiegel heraus. Das ist es, was vertauscht wird: Vorne und Hinten!

Der Spiegel wird nun auf den Boden gelegt und wir schauen von oben auf den Spiegel.

Wiederum der Zeigefingertest: Links-Rechts sowie Vorne-Hinten bleiben. Aber diesmal werden Oben und Unten umgekehrt.

*Verallgemeinerung:*

Bei einem Planspiegel wird die Richtung umgekehrt, die senkrecht zur Ebene des Spiegels steht.

### 3.2.2. Spiele mit meinem Spiegel-Ich

*Material:*

- Doppelseitiger Schmink- bzw. Rasierspiegel: Vorderseite: Hohlspiegel, Rückseite: Planspiegel

*Versuche:*

Der Spiegel wird auf Augenhöhe des Kindes an einer Wand befestigt oder auf ein Regal gestellt.

Zuerst wird der Planspiegel ausprobiert: Das Kind sieht auch aus grosser Entfernung seinen ganzen Kopf – wie im Wand- oder Badezimmerspiegel.

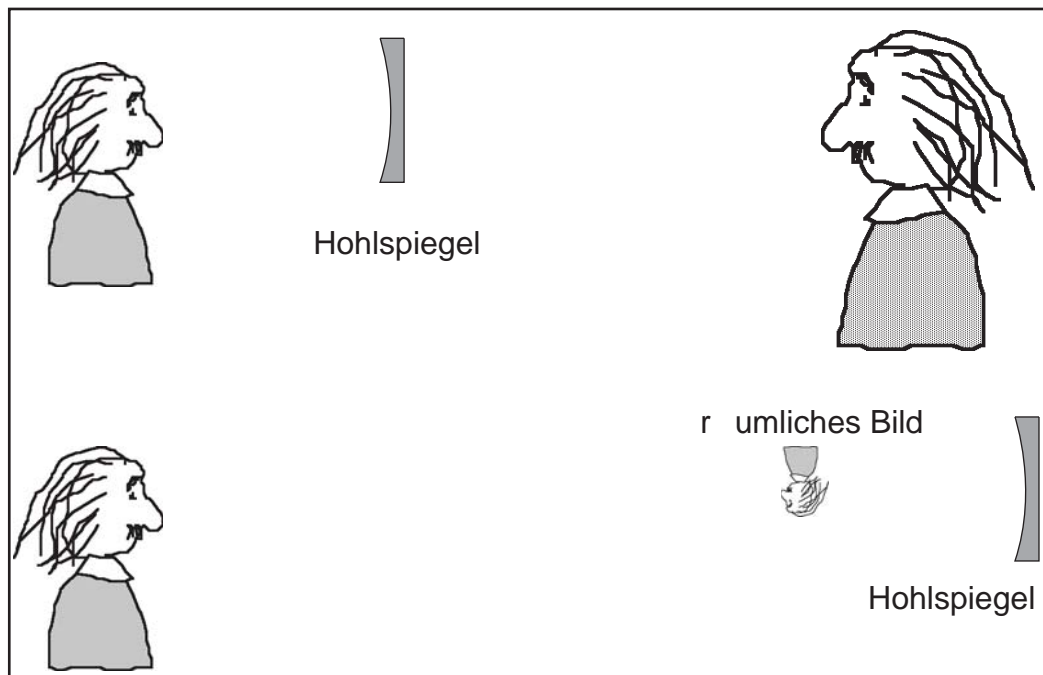
Beim Hohlspiegel ist Geduld und Geschicklichkeit gefragt. Sofort erkennt man, dass der Kopf grösser erscheint. Und je weiter man sich vom Hohlspiegel entfernt, umso

grösser wird der Spiegel-Kopf. Das gibt Probleme, denn bei der geringsten Bewegung seitwärts hat man das Spiegelbild verloren.

Nach einigem Üben kann man erreicht, dass man nur noch das beobachtende Auge sieht, oft etwas verzerrt, weil ein Haushaltsspiegel kein Präzisionsinstrument ist.

Aus grosser Entfernung (3 bis 5 m) sieht man etwas ganz anderes: Man sieht sich verkehrt und umso kleiner, je weiter man rückwärts geht.

Ein Höhepunkt der Beobachtungskunst wäre, wenn der Beobachter/die Beobachterin entdeckt, dass ihr/sein verkehrtes Spiegelköpfchen frei im Raum schwebt, und zwar rund einen Meter vor dem Spiegel. Das ist etwas unheimlich.



### 3.2.3. Wie wirklich sind Spiegelbilder?

Ein Spiegel spiegelt das, was vor ihm steht. Stimmt das? Probieren wir es aus:

*Material:*

- ein grosser ebener Spiegel, mindestens 40 cm x 30 cm
- Ständer für diesen Spiegel, damit er vertikal auf einen Tisch gestellt werden kann
- Kerze auf Ständer (evt. eine zweite genau gleiche Kerze)
- Kartonrohr als Schattenspender (evt. auch ein zweiter Schattenspender)

*Vorversuch:*

- Zuerst ohne Spiegel: Die Kerze wird angezündet und der Raum verdunkelt.
- Das Papprohr wird vertikal neben die Kerze gestellt.

*Beobachtung:*

- Das Papprohr hat eine helle (beleuchtete) und eine dunkle (beschattete) Seite



- Das Papprohr wirft auch einen (seinen) Schatten auf den Tisch. Dieser Schatten wird immer breiter.

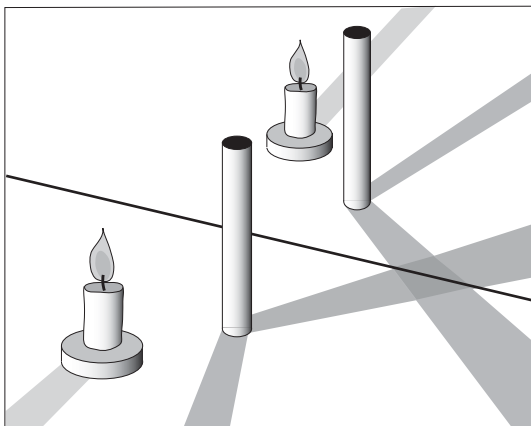
Jedes Kind zeichnet diese Anordnung in sein Forschungsbuch.

Dann diskutiert man mit den Kindern, ob ein genügend grosser Spiegel dieses „Stilleben“ genau abbildet. Wer ist für „Ja“, wer für „Nein“?

*Hauptversuch:*

Der Spiegel wird nun hinter die Anordnung des Vorversuchs gestellt. Was zu sehen ist, kann manchmal auch Fachleute überraschen<sup>23</sup>:

*Beobachtung:*



Es werden viel mehr Schatten abgebildet als man erwartet hat. Und zwar werden alle Schatten abgebildet, welche im Licht zweier realer Kerzen entstehen würde.

*Erklärung:*

Der Spiegel wirkt wie ein Fenster in eine andere Welt. Für die Hand ist diese Welt allerdings bloss ein Spiegelbild: Man kann die gespiegelte Kerze nicht berühren. Für das Auge dagegen ist die gespiegelte Welt volle Wirklichkeit. Die Schatten werden so

geworfen, als ob zwei Kerzen zwei Papprohre beleuchten würden. Sowohl hinter dem greifbaren wie auch hinter dem ungreifbaren Schattenspender werden je zwei Schatten geworfen: Einer in der Zone, aus welcher man die greifbare Kerze nicht sehen könnte, und vom anderen Schatten aus könnte man die untastbare Kerze nicht sehen. Bei allen diesen Schatten handelt es sich um *Halbschatten*, denn in ihnen könnte man die jeweils andere Kerze sehen. Ein *Kernschatten* bildet sich nur dort, wo sich zwei Halbschatten kreuzen. Dort könnte man beispielsweise ein kleines Püppchen hinstellen. Dieses könnte weder die eine noch die andere Kerze sehen.

Auch die beiden Kerzen beschatten sich gegenseitig, allerdings nur schwach.

Man kann die Erklärung überprüfen, indem man die Szenerie mit zwei Kerzen und zwei Schattenspendern so aufbaut wie man sie vor und hinter dem grossen Spiegel gesehen hat.

### 3.3. Themenkreis «Durchsichtig»

#### 3.3.1. Erfahrungen mit grossen Aquarien

Wenn man im Zoo den Raum mit den Aquarien durchschreitet, ist das oft etwas befremdend: Es ist, also ob sich die Innenräume der Aquarien mit uns bewegen

<sup>23</sup> GEORG MAIER: *Optik der Bilder*. Verlag der Kooperative Dürnau, 1986, ISBN 3-88861-017-6.

würden. Manchen Leuten wird richtig schwindlig davon. Nähern wir uns einem Aquarium, so wird es tiefer. Wenn wir senkrecht durch die Frontscheibe hineinschauen, ist es am tiefsten. Je schräger wir hineinschauen, umso schmaler wird das Aquarium.

Wenn der Wasserspiegel höher liegt als unsere Augen, können wir dort nicht aus dem Wasser schauen: Es ist, als ob ein Spiegel über dem Wasser läge. Unheimlich ist es, wenn plötzlich die Hand des Wärters aus diesem Spiegel hervorkommt.

### 3.3.2. Die versteckte Münze

*Material:*

- hohe Teetasse
- Münze

*1. Versuch:*

Eine hohe Teetasse wird in die Mitte des Tisches gestellt. Eine Münze wird genau in die Mitte des Bodens der Tasse gelegt. Die Kinder setzen sich so um den Tisch, dass sie die Münze gerade nicht sehen können.

Nun wird die Tasse sehr vorsichtig (die Münze sollte sich dabei nicht bewegen) mit Wasser gefüllt.

*Beobachtung:*

Durch das Wasser wird die Münze scheinbar empor gehoben, sodass man sie sehen kann.

*Vorläufige Erklärung:*

Nicht nur die Münze wird gehoben, sondern auch der Boden der Tasse.

*2. Versuch:*

Die Kinder sollen nun aus verschiedenen Richtungen in die mit Wasser gefüllte Tasse schauen. Einmal ganz flach, also knapp über den Rand und auch senkrecht von oben.

*Beobachtung:*

Je flacher man ins Wasser blickt, umso weniger tief erscheint es. Blickt man genau von oben hinein, erscheint es am tiefsten.

### 3.3.3. Der geknickte Stab

*Material:*

- möglichst grosser Wassereimer
- langer Stab

*Vorversuch:*

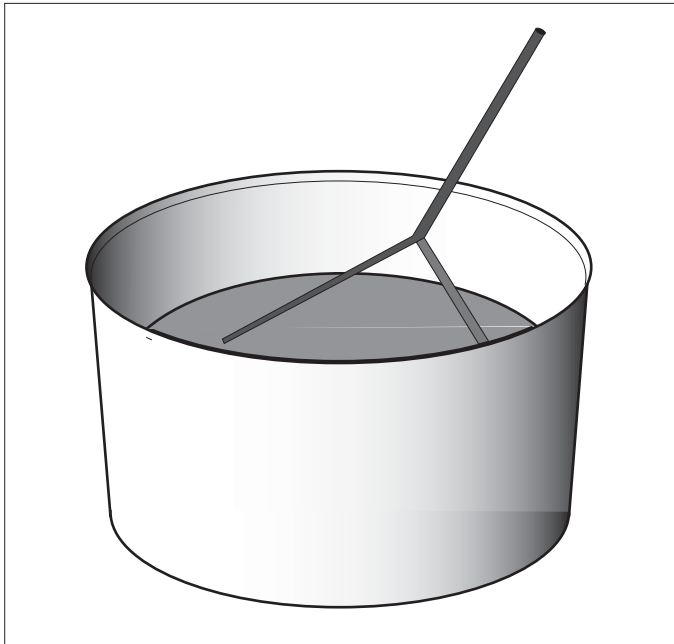
Der Eimer wird auf einen Tisch gestellt und mit Wasser gefüllt. Zuerst sollen die Kinder aus verschiedenen Richtungen in den vollen Eimer schauen. Einmal ganz flach, also knapp über den Rand und auch senkrecht von oben.

*Beobachtung:*

Je flacher man ins Wasser blickt, umso weniger tief erscheint es. Blickt man genau von oben hinein, erscheint es am tiefsten.

*Hauptversuch:*

Der Stab wird zunächst lotrecht ins Wasser gehalten. Dann schief.



*Beobachtung:*

Der Stab macht an der Oberfläche einen Knick: Er erscheint im Wasser flacher als in der Luft. Man kann die Kinder auch auf das Spiegelbild des Stabes aufmerksam machen. Der untergetauchte (flachere) Teil des Stabes entwirft kein Spiegelbild.

*Erklärung:*

Hier von *Lichtbrechung* zu schreiben wäre viel zu abstrakt. Es genügt, dass man den Zusammenhang sieht, welchen ein 12-jähriges Mädchen beschrieben hat<sup>24</sup>:

„Der Grund täuscht auch, und durch das täuscht das auch. Da meint man, das wäre gar nicht tief. Weil der Grund weiter oben ist, dann kommt der Stab auch weiter rauf, dann meint man, er müsse abbrechen.“

Das Seltsame des geknickten Stabes ist damit als *dasselbe* erkannt, was auch den Grund zu heben scheint. Eine solche Verknüpfung nennt Wagenschein einen „Einzelkristall des Verstehens“. Und wenn sich ein solcher „Einzelkristall“ bildet, ist in der Vorschulstufe schon viel erreicht.

<sup>24</sup> zit nach MARTIN WAGENSCHIN: *Die pädagogische Dimension der Physik*, S. 209.

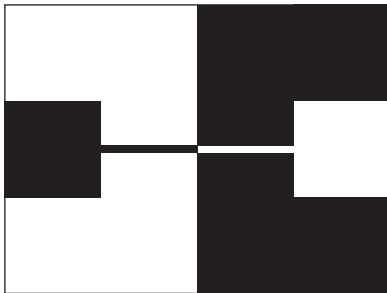
### 3.3.4. Versuche mit Prismen

#### Material:

- Prismen aus Glas oder Acrylglas mit dreieckiger Grundfläche (in den Shops des Technorama, Sensorium, Kindercity usw. sowie im AHA-Laden erhältlich)
- weisse Karten aus Halbkarton, schwarze Filzstifte

Eigentlich könnte man jedem Kind ein Glasprisma in die Hand geben, und man hätte für einige Zeit nichts zu tun. Man kann das Spiel mit den Prismen aber auch etwas systematisieren.

#### Versuch:



Das folgende Experiment ist von Goethes Farbenlehre inspiriert. Jedes Kind soll die nebenstehende Figur mit Filzstift auf eine Karte malen.

Die Figur sollte möglichst starke Schwarz-Weiss-Kontraste haben. Diese Figur wird durch das Prisma betrachtet. Dabei soll die Achse des Prismas horizontal liegen und das Prisma unmittelbar vor das Auge gehalten werden.

#### Beobachtung:

Wenn das Auge, das Prisma und die Figur auf einer Linie liegen, sieht man die Figur nicht: Das Prisma lenkt das Licht ab. Je nach dem wie man das Prisma hält, muss man nach oben oder nach unten schauen. Dann sieht man aber ein schönes Farbenspiel: Alle Schwarz-Weiss-Kanten, die parallel zur Achse des Prismas verlaufen, sind gefärbt. Wenn das Weiss oben ist, sieht man die Farbfolge Gelb, Orange, Rot; wenn Schwarz oben ist: Hellblau, Tiefblau, Violett. Es kann aber auch umgekehrt sein, je nach dem wie man das Prisma hält. Beim schmalen weissen Streifen überlappen sich Gelb und Blau zu Grün, und es entsteht die bekannte prismatische Farbfolge (das *Spektrum*). Am dünnen schwarzen Streifen überlagern sich Violett und Rot zu Purpur. Goethe, der dieses *komplementäre Spektrum* entdeckt hat, nannte diese Farbe auch „Pfersichblüt“. In der Drucktechnik nennt man sie Magenta. Man kann nun die beiden linearen Farbfolgen, nämlich

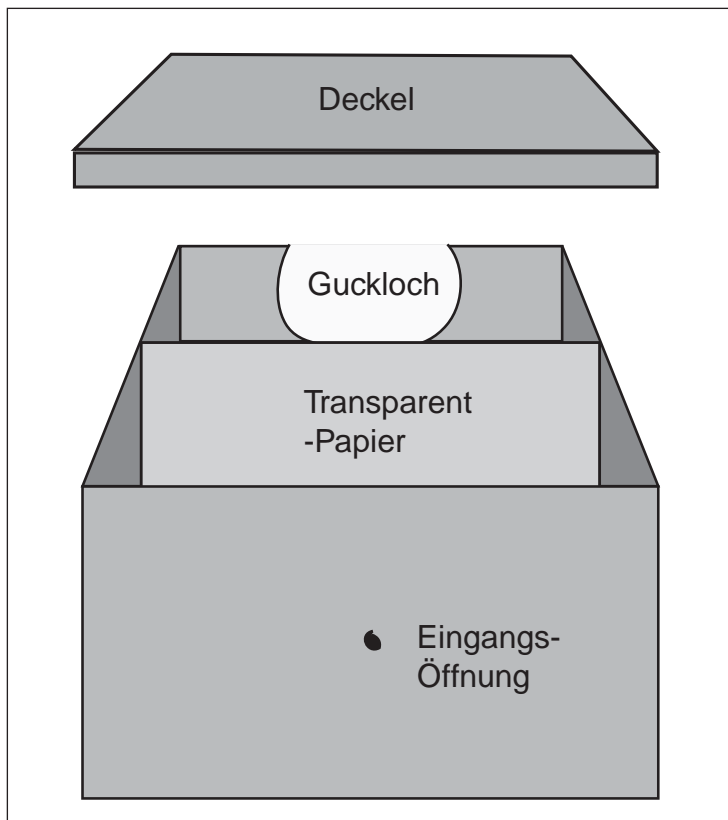
- *Rot-Orange-Gelb-Grün-Blau-Violett* und
- *Hellblau-Blau-Violett-Magenta-Rot-Orange-Gelb*

zu einem Farbkreis vereinen. Goethe beginnt oben mit Purpur (Magenta); unten ist das Grün. Rechts oben: Violett; links unten: Gelb; rechts unten: Blau; links oben: Orange. Im Farbkreis liegen sich Komplementärfarben stets gegenüber.

Die Kinder malen einen Farbkreis ins Forschungsbuch. Dazu prüfen sie immer wieder mit dem Prisma und der Schwarz-Weiss-Karte nach, ob ihre Farben stimmen.

### 3.4. Themenkreis «Wie wir sehen»

#### 3.4.1. Camera Obscura



*Material:*

- Schuhschachtel
- Transparentpapier (aus der Papeterie), notfalls geht auch Butterbrot- oder Käsepapier. Das Papier soll durchscheinend aber nicht durchsichtig sein.
- Klebeband
- Schere oder Kartonmesser

*Herstellung:*

Die Camera Obscura wird gemäss der Abbildung hergestellt. Das Guckloch soll gross genug sein, damit auch die Nase drin Platz hat, sodass man möglichst wenig durch das Aussenlicht geblendet wird. Das Eingangsloch sollte ca. 5 mm im Durchmesser sein. Das Transparentpapier, das in

die Mitte der Schachtel geklebt wird, sollte keine Falten aufweisen. Es sollte als Mattscheibe dienen.

*Beobachtung:*

Am Anfang: „Ich seh’ ja gar nichts!“. Die Augen müssen sich zuerst an die Dunkelheit gewöhnen. Dann sieht man die Aussenwelt auf dem Kopf und seitenverkehrt. Farben sieht man nur schwach.

*Erklärung:*

Damit wir etwas sehen, muss das Licht von den Gegenständen, die wir sehen, zu unseren Augen gelangen. Dort dringt es in die Pupille ein und entwirft auf der Netzhaut hinten am Augapfel ein Bild der Aussenwelt.

Analog zum Auge muss das Licht durch die kleine Öffnung auf der Vorderseite der Camera Obscura zur Mattscheibe gelangen. In dieser Öffnung kreuzen sich aber die Lichtstrahlen: Ein Lichtstrahl, der zum Beispiel von einer Baumspitze herkommt, endet im unteren Teil der Mattscheibe; ein Lichtstrahl der vom Fuss des Baumes kommt, endet am oberen Teil. Ebenso werden Links und Rechts vertauscht.

*Erklärung ohne Lichtstrahlen:*

Man stelle sich vor, dass man durch ein Schlüsselloch in ein Zimmer guckt: Um die Zimmerdecke zu sehen, muss man sich ducken, um Gegenstände, die sich rechts im

Zimmer befinden, zu sehen, muss man den Kopf nach links verschieben. Und wie der neugierige Blick macht es auch das Licht, welches durch das Schlüsselloch ins Zimmer strahlt.

*Zusätzliche Experimente:*

Das Bild auf der Mattscheibe der Camera Obscura ist sehr dunkel. Man könnte nun das Eingangsloch vergrössern. Dann wird das Bild zwar heller und auch farbiger, aber weniger scharf.

Es kommt mehr Licht auf die Mattscheibe, aber der Weg des Lichtes ist nicht mehr genau definiert: Beim grossen Loch haben die Lichtstrahlen mehr Möglichkeiten, um auf die Mattscheibe zu gelangen.

Man kann das nun zu grosse Loch wieder kleiner machen, indem man in ein Stück Karton ein kleineres Loch schneidet, das man dann über das grosse Loch klebt. Man macht also eine Blende, welche die gleiche Funktion hat, wie die Blende in der Fotokamera oder die Iris in unseren Augen.

### **3.4.2. Camera Obscura - wörtlich**

*Camera Obscura* ist lateinisch und heisst wörtlich „dunkler Raum“. So kann ein ganzes Zimmer verdunkelt werden, indem Karton oder ein dunkler, völlig lichtundurchlässiger Stoff über die Fenster mit Abdeckband befestigt wird. Günstig ist natürlich ein Zimmer mit nur einem einzigen Fenster. Aber vor diesem Fenster sollte „etwas los“ sein, am besten sollten Leute vorbeispazieren oder Autos durchfahren.

Gegenüber dem Fenster sollte sich eine weisse oder zumindest helle Wand befinden. Andernfalls müsste man dort mit einem weissen Leintuch eine Leinwand aufhängen.

In die Verdunkelung vor dem Fenster wird nun ein Loch von etwa 10 cm geschnitten. Das Loch muss keineswegs schön rund sein. Dabei ist zu beachten, dass sich hinter dem Loch weder ein Steg im Fenster noch ein Vorhang befindet.

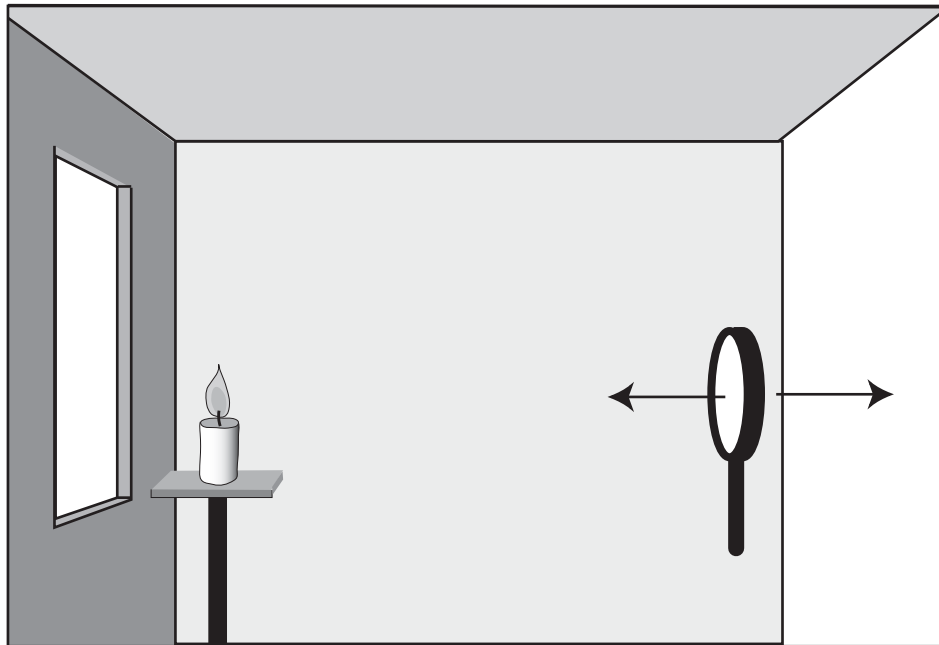
Damit wäre die Camera Obscura bereit für die Beobachtungen. Zu sagen ist nichts, das besorgen die Kinder selber.

### **3.4.3 Abbildung mit einer Sammellinse**

*Material:*

- Eine grosse Lupe, Durchmesser mindestens 4 cm
- Eine Kerze mit Kerzenständer, evt. Teelicht

Vor dem Fenster sollte eine abbildungswürdige Landschaft zu sehen sein. Die Wand gegenüber dem Fenster sollte möglichst hell sein. Sonst müsste man dort auf der Höhe der Mitte des Fensters ein weisses Papier anbringen. Die Sonne sollte nicht bis zur weissen Wand scheinen, sonst besteht Brandgefahr (Brennglas!)



### *Grundversuch:*

Der Versuch wird zunächst ohne Kerze durchgeführt. Die Lupe wird unmittelbar an die weiße Wand (bzw. das weiße Papier) gehalten. Sie wird nun sehr langsam gegen das Fenster verschoben. Dabei muss sie stets so geführt werden, dass sie parallel zur Wand steht. Das erfordert einige Geschicklichkeit. Bei einer bestimmten Entfernung von der Wand (bzw. dem weissen Papier) zeichnet sich dort die Landschaft vor dem Fenster ab, schön farbig, aber auf dem Kopf stehend und seitenverkehrt. Sobald man die Lupe weiter gegen das Fenster oder zurück gegen die Wand verschiebt, wird das Bild unscharf. Man merke sich diesen kritischen Abstand zwischen der Lupe und dem scharfen Bild.

### *Scharf einstellen:*

Nun wird die Kerze auf eine Konsole zwischen das Fenster und die Wand gestellt. Dabei soll ihr Abstand von der Wand etwa das 5-fache des im Grundversuch ermittelten Abstandes betragen.

Die Lupe wird zunächst wieder so hingehalten, dass sie die Landschaft scharf abbildet. Vielleicht sieht man bereits im scharfen Bild der Landschaft einen gelblich hellen Schimmer. Vergrössert man den Abstand zur Wand noch ein wenig, so kann man mit etwas Geschick (Parallelhalten der Lupe!) ein kleines scharfes Bildchen der Kerzenflamme auf der Wand feststellen. Die Landschaft ist nun aber nicht mehr scharf. Man muss sich also entscheiden, ob man ein scharfes Bild der Kerzenflamme oder ein scharfes Bild der Landschaft möchte.

### *Vergleich mit der Camera Obscura:*

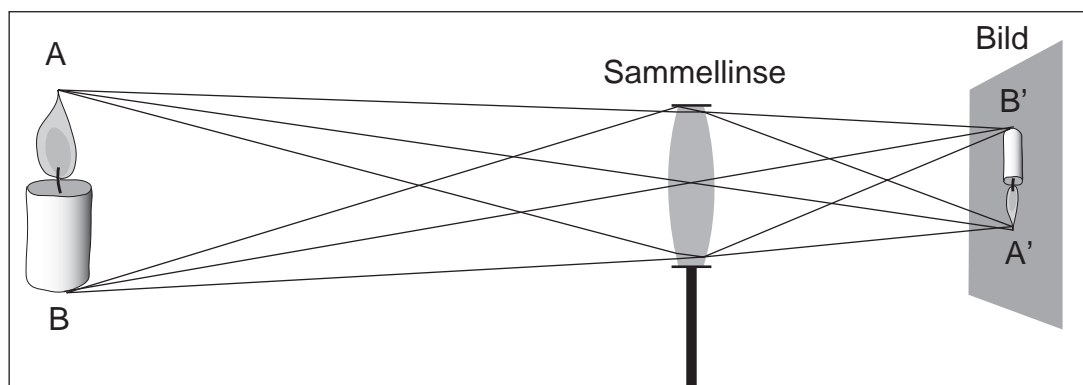
Bei der Camera Obscura haben wir festgestellt, dass sie kein helles Bild entwerfen kann, weil das Eingangsloch klein sein muss. Zudem ist das Bild immer etwas unscharf und die Farben sind blass. Mit einer Sammellinse brauchen wir keine Verdunkelung: Sie entwirft ein helles farbiges Bild – allerdings nur, wenn sie in

einem bestimmten Abstand von die Mattscheibe (Wand) hingehalten wird. Dieser Abstand muss vergrössert werden, um nahe Gegenstände (z.B. die Kerze) scharf abzubilden.

*Erklärungen:*

Dass auch eine Sammellinse ein umgekehrtes Bild entwirft, kann man sich am besten vorstellen, wenn man sich eine Blende mit kleiner Öffnung unmittelbar vor oder hinter der Linse vorstellt. Dann wirkt die Sammellinse beinahe wie das kleine Loch der Camera Obscura.

Eine Sammellinse ist in der Mitte dicker als am Rand. Sie sammelt den Teil des Lichts, das von einem bestimmten Ort eines Gegenstandes vor der Linse ausgeht und von dort durch die ganze Fläche der Linse strahlt. Und dieses Licht sammelt sich wieder zu einem einzigen Punkt hinter der Linse. Wenn sich im Abstand dieses Punktes eine Mattscheibe befindet, wird dieser Sammelpunkt des Lichtes zu einem Punkt des Bildes. Bei einer scharfen Abbildung entspricht jeder Punkt des Bildes genau einem Punkt des Gegenstandes, der abgebildet wird. So werden, wie in der folgenden Abbildung dargestellt ist, alle Strahlen, die von der Spitze A der Kerzenflamme ausgehen durch die Linse in den Bildpunkt A' gelenkt. Dasselbe gilt für den Fusspunkt B und seinen Bildpunkt B':



### 3.5. Themenkreis «Wasser & Co»

#### 3.5.1. Eistee trinken, schwergemacht

*Material:*

- Eistee in der PET-Flasche, im Beutel oder in einem Trinkglas, oder ein anderes, nicht kohlesäurehaltiges Getränk
- Plastik-Schläuchlein, mindestens 1.5 m lang (z.B. PVC-Schlauch, 4 x 1.5mm, Do-It-Yourself-Laden)



*Grundversuch:*

Der Eistee wird durch das Schläuchlein wie durch einen Trinkhalm getrunken. Zuerst wird das Getränk auf den Tisch gestellt und sitzend getrunken. Dann stehend. Schliesslich wird das Getränk auf den Boden gestellt.

*Beobachtung:*

Je höher man das Getränk emporsaugen muss, desto schwerer geht es.

*Erklärungen:*

Die Anordnung ist quasi ein umgekehrtes Wasserkraftwerk: Dort gilt: Je grösser die Höhendifferenz zwischen dem Spiegel des Stausees und den Turbinen ist, desto schneller schiesst das Wasser aus der Druckleitung und desto schneller laufen die Turbinen.

Anderer Vergleich: Je tiefer wir tauchen, umso stärker drückt das Wasser, was man hauptsächlich in den Ohren bemerkt. Dabei kommt es nur auf die Tauchtiefe an und nicht auf die Menge des Wassers, das über uns ist. Ob man in einem grossen See oder in einem engen Schacht taucht, ist für die Druckzunahme gleichgültig.

Auch im Trinkschlauch gilt: Der Druck nimmt mit zunehmender Wassertiefe zu. Oder, was dasselbe ist, mit zunehmender Saughöhe ab. Auf den Durchmesser des Schläuchleins kommt es nicht an. Je grösser die Höhendifferenz zwischen dem „Mundstück“ und der Oberfläche des Getränks ist, umso grösser ist die Differenz der Drücke unten und oben. Nun entspricht der Druck auf der Höhe des Flüssigkeitsspiegels dem Druck, mit welchem die Luft der Atmosphäre auf die Flüssigkeit drückt. Daher muss man beim Saugen in der Mundhöhle einen Unterdruck machen. Es ist aber nicht dieser Unterdruck, der die Flüssigkeit emporhebt, sondern die Luft der Atmosphäre drückt die Flüssigkeit durch den Schlauch in den Mund.

*Erweiterte Problemstellung: Das Barometer*

Dieser Exkurs wird Kinder im Vorschulalter oder Primarschulkinder kaum interessieren. Aber diese könnten fragen, wie hoch man Wasser saugen kann. Mit dem Mund natürlich nicht sehr hoch. Hingegen wusste bereits Galileo Galilei, dass man Grundwasser mit einer Saugpumpe höchstens 10 Meter emporsaugen kann. Er konnte dieses Phänomen allerdings noch nicht erklären. Dabei ist es sehr einfach: Der Druck über der emporgehobenen Flüssigkeit ist immer kleiner als der Atmosphärendruck. Er kann aber den Wert Null nicht unterschreiten. Oberhalb einer Wassersäule, die von der Luft der Atmosphäre 10 m hinaufgedrückt wird, herrscht ein Vakuum. Und ein Vakuum ist ja nichts, es kann also weder drücken noch saugen.

Nach diesem Prinzip hat Otto von Guericke, der während des dreissigjährigen Krieges Bürgermeister von Magdeburg war, ein Wasserbarometer konstruiert. Sein „Trinkhalm“ war eine Röhre von über 10 m Höhe, die oben verschlossen war. Dort liess er mit Handpumpen möglichst alle Luft wegsaugen. Im Mittel stieg dann das Wasser auf die schon erwähnten 10 m. Aber die Höhe blieb nicht konstant, sondern

schwankte je nach Wetterlage. Damit hat Otto von Guericke auch den Zusammenhang von Hoch- und Tiefdruck mit Schön- und Schlechtwetter entdeckt.

Evangelista Torricelli, ein Schüler Galileis, hat anstelle von Wasser Quecksilber als Barometersubstanz genommen. Quecksilber ist 13.6 mal so dicht wie Wasser. Daher beträgt die Höhe einer Quecksilbersäule, welche einer 10 m hohen Wassersäule entspricht, nur 73.5 cm.

Wie der Druck in der Wasser- oder Quecksilbersäule des Barometers nimmt auch der Atmosphärendruck mit zunehmender Höhe ab: Auf Meereshöhe entspricht der mittlere Atmosphärendruck einer Quecksilbersäule von 76 cm Höhe. Auf einer Höhe von 500 m.ü.M sind es 71 cm, auf 2000 m.ü.M noch 59 cm. Auf dem Mt Everest würde die Luft das Quecksilber nur noch 25 cm zum Vakuum hinauf drücken.

*Erweiterung des Grundversuchs: Trinken allzu leicht gemacht*

Beim ersten Versuch haben wir festgestellt: Je höher das Trinkglas gehalten wird, umso leichter geht das Saugen. Es liegt auf der Hand auszuprobieren, was geschieht, wenn das Glas über Kopfhöhe gehalten wird. Kommt der Eistee dann von selbst? Das Experiment sollte allerdings im Freien oder in einem Zimmer ohne Teppich durchgeführt werden.

*Beobachtung*

Wenn das Gefäss über Kopfhöhe gehalten wird, kommt der Eistee tatsächlich von selbst, was meist ein Gespucke, aber auch Heiterkeit auslöst, denn er lässt sich nicht mehr aufhalten.

*Technische Anwendung: Saugheber*

Mit diesem kaum vermeidbaren Missgeschick hat das Kind aber entdeckt, wie man z.B. ein grosses Aquarium entleeren kann ohne es zu kippen: Man taucht das eine Ende des Schlauchs tief ins Wasser. Der Schlauch wird über den oberen Rand gebogen. Dann saugt man das Wasser an und hält das mit einem Finger verschlossene Ende tiefer als den Wasserspiegel. Dort kann man den Finger wegnehmen, und das Wasser fliesst von selbst aus dem Aquarium.

Wem das Ansaugen von abgestandenem Aquariumwasser oder gar von Wasser einer Wassertonne im Garten zu unappetitlich ist, kann den Schlauch ganz unter Wasser tauchen und dort so bewegen, bis alle Luftblasen entwichen sind. Dann drückt man den Daumen auf das eine Ende des Schlauchs, zieht dieses über den oberen Rand des Gefässes und von dort hinunter, bis es tiefer ist als der Wasserspiegel. Dort kann man den Daumen entfernen und dem Wasser seinen Lauf lassen.

Will man dagegen Wein oder Apfelsaft aus einem grossen Fass in Flaschen abfüllen, wird man auf die Methode des Ansaugens kaum verzichten wollen.

### 3.5.2. Der Druck des Wassers

*Material:*

- mindestens 40 cm hohe Blumenvase oder wasserdichter Papierkorb
- mindestens 50 cm lange Säcke aus dünnem Plastik, zur Not gehen auch leere Kehrriechtsäcke

*Versuch:*

Man füllt den am Boden stehenden Eimer mit so viel Wasser, dass er nicht überläuft, wenn man einen Arm hinein hält. Damit dieser Arm trocken bleibt, stülpt man zuvor einen Plastiksack darüber.

*Beobachtung:*

Beim Eintauchen drückt es einem die Hand zusammen, und zwar umso stärker, je tiefer man eintaucht. Zudem spürt man, dass der eintauchende Arm leichter wird.

*Erklärung:*

Man könnte fragen: Wozu der Plastiksack? Würde man das am nackten Arm nicht ebenso spüren? Radio Eriwan würde antworten: Im Prinzip Ja. Aber wir sind uns schon derart gewöhnt, einen Arm, oder beim Baden gar den ganzen Körper ins Wasser zu tauchen, dass wir das nicht mehr spüren. Es bedarf der Verfremdung, nämlich wie der Plastiksack auf die trockene Haut drückt, dass die Gewöhnung überlistet wird und das Phänomen spürbar wird.

Das Wasser drückt mit zunehmender Tiefe immer stärker, weil es auf sich selber ruht. „Es ist wie bei einer Beige von Büchern, das unterste ist das ärmste“, hat ein Gymnasiast im 8. Schuljahr einmal geschrieben, also unverfroren animistisch. Im Gegensatz zu einer Bücherbeige, die ja keine Stütze braucht, braucht das Wasser ein Gefäß: In einer Flüssigkeit breitet sich der Druck auf alle Seiten aus, nicht nur nach unten. Beim Wasser nimmt der *Schweredruck* alle 10 Meter um eine „Atmosphäre“ (ca. 1 bar oder 1000 Hektopascal) zu.

### 3.5.3. Schwimmendes Eis

Dass Eis auf Wasser schwimmt, könnte auch für Kinder der Vorschulstufe selbstverständlich sein. Also wollen wir die Fragestellung etwas kniffliger machen.

*Timing:*

Weil das Schmelzen von Eis Zeit braucht, kann der Versuch zusammen mit dem nächsten Versuch „Siedebblasen“ ausgeführt werden. Man beginnt aber mit diesem Versuch.

*Material:*

- Trinkglas
- Korkzapfen
- Eiswürfel

*Vorversuch:*

Das Trinkglas wird mit Wasser gefüllt. Dann wird der Korkzapfen auf das Wasser gelegt. Der Zapfen schwimmt, und der Wasserspiegel steigt ein wenig. Nun wird vorsichtig Wasser zugefügt, bis das Glas randvoll ist. Dann wird der Korken ein wenig nach unten gedrückt. Dabei ist zu beachten, dass die Finger nicht unter Wasser kommen, denn es sollte klar sein, dass es der Zapfen ist, der das Glas zum Überlaufen bringt.

*Hauptversuch:*

In das abgetrocknete und wieder mit Wasser gefüllte Trinkglas werden nun einige Eiswürfel gegeben. Das Eis schwimmt und verdrängt Wasser. Wieder wird das Glas bis zum Rand gefüllt. Ein oder mehrere „Eisberge“ überragen nun den Rand. Wird das Glas überlaufen, wenn das Eis schmilzt?

Diese Anordnung wird ins Forschungsbuch gezeichnet.

An diesem Beispiel kann eine wichtige Methode der Forschung dargestellt werden: Man bildet eine Hypothese – für die Kinder ist es ein Ratespiel: Überläuft's oder nicht? Was das Ratespiel zum wissenschaftlichen Akt macht, ist die Frage: Hast du Gründe für deine Vermutung (Hypothese)?

Wer über „richtig“ oder „falsch“ entscheidet, soll aber nicht der lächelnde Fachmann sein, (oder noch schlimmer: der souveräne und humorlose Kommentator eines deutschsprachigen Science-Films), sondern die Natur. Wir müssen warten, bis das Eis geschmolzen ist. In dieser Zeit kann der Versuch „Siedebblasen“ ausgeführt werden.

*Beobachtung:*

Das Wasser überläuft nicht, wenn das Eis schmilzt.

*Erklärung:*

Das Prinzip von Archimedes besagt: Ein schwimmender Körper verdrängt so viel Wasser, wie er schwer ist.

Ein Eisklotz von z.B. 10 Gramm verdrängt also 10 Gramm Wasser, wenn er schwimmt. Während 10 g Wasser 10 cm<sup>3</sup> Platz brauchen, haben 10 g Eis ein Volumen von etwa 11 cm<sup>3</sup>. Als sprichwörtliche „Spitze des Eisbergs“ zeigt sich also nur ein Zehntel des ganzen Eisbergs; 9/10 sind unter Wasser.

Beim Schmelzen verwandelt sich Eis in Wasser, es wird also durch und durch Wasser. Die 10 g, die 11 cm<sup>3</sup> Eis waren, brauchen jetzt nur noch 10 cm<sup>3</sup> Platz, also gleich viel, wie der untergetauchte Teil des Eises gebraucht hat.

Wasser und Eis sind grundverschieden: Wasser braucht ein Gefäß, Eis verteidigt seine Form selber; und Wasser ist dichter als Eis. Aber chemisch betrachtet sind sie gleich: Sie können sich vollständig ineinander umwandeln. Der dritte Aggregatzustand des chemischen Stoffs „Wasser“ ist der Wasserdampf. Mit diesem beschäftigen wir uns im nächsten Versuch.

### 3.5.4. Siedeblasen

Zu den gefürchtetsten Unfällen mit Kleinkindern gehören Verbrühungen in der Küche. Nun sagt die Statistik, dass hauptsächlich Kinder unter fünf Jahren diesbezüglich gefährdet sind. Und wie man Kinder mit den Regeln des Strassenverkehrs vertraut machen muss, um seine Gefahr soweit wie möglich zu bannen, sollten sie auch mit den Grundfertigkeiten in der Küche vertraut werden. Und ein Elementarakt des Kochens ist es, Wasser zum Sieden zu bringen.

*Fragestellung:* Was befindet sich in den Siedeblasen?

GymnasiastInnen sagen oft vorlaut: „Sauerstoff“. Das ist aber höchstens ein Prozent der Wahrheit. Dies ist wieder ein Beispiel, wie man durch reflexionsfreies Lernen zu Fehlkonzepten kommen kann. Fragt man nach, meinen die einen das „O“ im „H<sub>2</sub>O“, andere reden von den Fischen, die doch im Wasser atmen können, sie meinen also Luft, die ja nur zu 20% aus Sauerstoff besteht. In abgekochtem Wasser würden die Fische ersticken, und dennoch könnte man dieses wieder zum Sieden bringen. Aber das soll natürlich nicht experimentell nachgeprüft werden.

*Versuch:*

Eine kleine Pfanne wird zur Hälfte mit Wasser gefüllt und auf eine Herdplatte gestellt. Diese wird eingeschaltet. Dabei werden alle Phasen der Erwärmung genau beobachtet. Der Dampfabzug über dem Herd sollte dabei nicht in Betrieb sein.

- Unter Wasser scheint der Boden der Pfanne höher zu liegen, als er ist. Das hat noch nichts mit der Erwärmung zu tun.
- Schon kurz nach dem Einschalten des Herdes nimmt man eine Bewegung im Wasser wahr: Es ist, als bewegten sich feine durchsichtige Fäden durch das Wasser.
- Schon bald bilden sich ganz kleine Bläschen am Boden.
- Die Bewegung der „Fäden“ im Wasser wird schneller, die ersten Bläschen steigen auf.
- Nun sieht man auch grössere Blasen am Boden, die zuerst dort haften, aber dann auch aufsteigen.
- Über dem Wasserspiegel beschlägt sich der innere Rand der Pfanne.
- Das Wasser beginnt zu summen, dann rauscht es, als ob ein Sturm aufzöge.
- Am Rand bilden sich auch grössere Tropfen, die manchmal wie Tränen nach unten laufen.
- Am Boden bilden sich laufend immer grössere Blasen, die sich sofort ablösen und beim Steigen in sich zusammenfallen.
- Sobald diese Tropfen nicht mehr in sich zusammenfallen, wird das Summen des Wassers wieder leiser und man hört das Geräusch der Siedeblasen, die an der Oberfläche platzen. Nun siedet das Wasser.
- Beim praktischen Kochen müsste man jetzt die Leistung der Herdplatte (oder der Gasflamme) drosseln. Wir wollen das Sieden aber noch eine Weile forschend verfolgen.

- Die Begleitperson hält einen Pfannendeckel für eine Weile in den aufsteigenden „Dampf“: Der Deckel beschlägt sich, und es bilden sich Tropfen darauf. Schliesslich wird die Unterseite des Deckels richtig nass.
- Man könnte den Versuch nun fortsetzen, bis man bemerkt, dass das Wasser in der Pfanne schwindet und sich die Fenster der Küche beschlagen.

*Erklärung:*

Der gehobene Boden ist eine Folge der Lichtbrechung. Da diese direkt nichts mit den Siedebblasen zu tun hat, beschäftigen wir uns nicht weiter damit (siehe Versuche 3.3.2. & 3.3.3.)

Die „Schlieren“ (so nennt man die bewegten „Fäden“ im Wasser) entstehen, weil das Wasser von unten erwärmt wird. In der Pfanne hat es also Stellen mit wärmerem und Stellen mit kühlerem Wasser. Wärmeres Wasser hat eine etwas kleinere Dichte als kühleres. Das hat einerseits zur Folge, dass sich das kühlere Wasser unter das wärmere drängt und dieses emporhebt. Andererseits lenkt wärmeres Wasser das Licht weniger stark ab als kälteres. Diese geringfügigen Unterschiede in der Lichtbrechung nehmen wir als Schlieren wahr.

In frischem Wasser ist tatsächlich eine beträchtliche Menge Luft gelöst. Je wärmer das Wasser ist, umso weniger Luft kann sich darin lösen: Die Luft wird „erlöst“ und füllt die kleinen Blasen, die sich zuerst bilden. Nur dank der im Wasser gelösten Luft können die Fische atmen. In abgekochtem Wasser würden Fische und andere Wassertiere, aber auch manche Wasserpflanzen ersticken. Damit das Wasser in einem Aquarium stets mit Luft gesättigt ist, wird oft frische Luft hineingepumpt, von der sich stets ein Teil im Wasser löst. In Wasser gelöste Luft kann man ebenso wenig sehen wie in Wasser gelösten Zucker.

Aber soviel Luft wie in den unzähligen grossen Siedebblasen Platz hätte, kann niemals in Wasser gelöst sein. Zudem würden Luftblasen ja auch nicht den Pfannendeckel und später die Küchenfenster benetzen. Und wenn wir den Prozess nicht vorher stoppen würden, könnte sich das ganze Wasser in Siedebblasen verwandeln. In den Siedebblasen hat es also Wasser, allerdings dampfförmiges. Die Siedebblasen transportieren den am Grunde der Pfanne entstehenden Wasserdampf an die Wasseroberfläche und lassen ihn dort frei.

Wenn nun Wasserdampf zu kalten Gegenständen strömt, verwandelt er sich wieder in flüssiges Wasser – er kondensiert. Darum wird der Pfannendeckel nass, wenn er in den Strom des Dampfes gehalten wird.

Übrigens: Wasser kann auf zweierlei Arten verdampfen: Eine Pfütze verschwindet von selbst, wenn wir ihr dazu Zeit lassen. Das Wasser verdunstet. Verdunsten ist ein Verdampfen an der Oberfläche. Es findet von selbst statt. Sieden dagegen ist ein Verdampfen im Inneren der Flüssigkeit. Dazu muss der Druck der Siedebblasen mindestens so gross sein wie der Atmosphärendruck. Wenn dieser abnimmt, etwa mit zunehmender Höhe in den Bergen, nimmt auch die Siedetemperatur ab. Auf einer Höhe von 2000 m, wo der Druck nur noch rund 80% des Drucks auf

Meereshöhe beträgt, siedet das Wasser bei 93°C, auf 4000 m Höhe bei 87°C. Darum dauert es in Berghütten länger, bis die Nudeln gar sind.

Wasserdampf ist durchsichtig. Das, was man als „Dampf“ über der Pfanne hinaufsteigen sieht, ist kein Dampf, sondern Nebel. Kommt der fast 100°C heisse Wasserdampf beim Steigen in kühlere Luft, so kondensiert ein Teil davon zu mikroskopisch kleinen Wassertröpfchen. Diese nehmen wir nicht einzeln, aber als Gesamtheit wahr: als Nebel. Nebel und Wolken sind dasselbe, nur einmal von innen und einmal von aussen betrachtet.

### 3.5.5. Die Haut des Wassers

*Material:*

- einfache Trinkgläser
- Glasschüsseln
- Fließblätter
- kleine Büroklammern
- kleiner durchsichtiger Plastiksack oder kleiner Luftballon (wenn der Tropfen rund werden soll)

*Overtüre: „Der Tropfen“*

Man könnte das Vorspiel schon fast als physikalisches Experiment ansehen: Ein Finger wird kurz ins Wasser getaucht. Der erste und vielleicht auch der zweite Tropfen fallen ab. Aber irgendwann bildet sich ein Tropfen am Finger, der nicht mehr abfällt. Wie macht er das? Ein Tropfen ist zu klein, um genau untersucht werden zu können, also machen wir einen grösseren:

Wir füllen ein durchsichtiges Plastiksäcklein oder einen kleinen Ballon mit Wasser.

*Feststellung:*

1. Der Riesentropfen braucht ein Gefäss, wie jede grössere Menge Wasser. In unserem Fall: das Plastiksäcklein oder der Ballon.
2. Das Säcklein, oder der Ballon müssen gehalten werden, damit sie nicht auf den Boden fallen.

*Erklärung:*

Der kleine Tropfen braucht weder ein Gefäss noch muss er am Finger angeleimt werden, damit er nicht runterfällt.

Einerseits hält der Tropfen in sich selber zusammen. Der kleine Tropfen braucht keinen Plastiksack: Er hängt in seiner eigenen Haut.

Und andererseits hält der Tropfen *am* Finger. Eine Glasperle müsste man anleimen.

Am einfachen Beispiel „Wassertropfen“ sind bereits die beiden Grundkräfte des inneren Zusammenhalts der Materie erkennbar: *Kohäsion* und *Adhäsion* (Anhaftekraft).

### 1. Akt: „Die Pfütze“

Man giesst etwas Wasser auf den Tisch. Es bildet sich eine Pfütze.

#### *Fragestellung und Erklärung:*

Wohin will das Wasser? Und warum stoppt es dann ziemlich plötzlich? Zwei Fragen, zwei Antworten, zwei Kräfte, die hier im Spiel sind: Die Erde will alle Gegenstände möglichst nahe bei sich haben (*Schwerkraft* bzw. *Anziehungskraft der Erde*). Da das Wasser seine Form nicht verteidigt, wird es von der Erde so tief in sein Gefäss hinuntergezogen, bis seine Oberfläche eben ist (Wasserspiegel). Würde nur die Schwerkraft wirken, würde sich das Wasser auf einer absolut ebenen Unterlage unaufhörlich ausbreiten.

Die Ausbreitung der Pfütze wird aber gestoppt – durch die *Kohäsion*. Die runden Ränder der Pfütze zeigen, dass die Kohäsion das Wasser zu einer Kugel (einem Tropfen) formen möchte. Die Schwerkraft ist aber stärker als die Kohäsion. Beim Tropfen am Finger ist es umgekehrt.

#### *Zusatzexperiment:*

Der „Wasserberg“ über dem Rand eines leicht überfüllten Trinkglases<sup>25</sup>.

### 2. Akt: „Nass“

Man füllt einige Trinkgläser etwa zur Hälfte mit Wasser und lässt die Kinder die Wasseroberfläche von der Seite genau betrachten.

#### *Beobachtung:*

Die Ränder des Wasserspiegels sind etwas gehoben (Zeichnung ins Forschungsbuch).

#### *Erklärung:*

In animistischer Sprechweise könnte man das Wasser befragen, wo es lieber sein möchte, bei sich oder am Glas. Wenn man das Wasser ausleert, bleiben Tropfen an den Innenwänden hängen, das Glas ist innen nass. Das Wasser möchte also lieber bei den Gegenständen sein, die es netzt, als bei sich selber.

Anders beim Gefieder der Wasservögel. Wenn ein Blässhuhn (Taucherli) oder ein Haubentaucher wieder auftaucht, perlen grosse Wasserlachen vom Rücken. Ein einmaliges Schütteln genügt, und das Gefieder ist völlig trocken. Ähnliches kann man auf Blättern von gewissen Pflanzen beobachten. Diese sind mit einer Wachsschicht vor dem Wasser geschützt. Hier will das Wasser lieber bei sich sein als am Blatt oder auf dem Gefieder.

Allgemein und objektiv (also nicht mehr animistisch) kann man sagen: Eine Flüssigkeit netzt einen Gegenstand, wenn ihre Adhäsion zu diesem stärker ist als ihre Kohäsion.

---

<sup>25</sup> *Tüfteln, forschen, staunen, S. 35.*



### 3. Akt: „Die schwimmende Büroklammer“

Der hier vorgeschlagene Versuch braucht einiges Geschick. Eine leichtere Variante findet man in „Leichte Experimente für Eltern und Kinder“<sup>26</sup>.

- Die Fliessblätter werden in Stücke geschnitten, die kleiner als der Durchmesser der Wasserschüsseln sind.
- Jede Wasserschüssel wird zu etwa 2/3 mit Wasser gefüllt.
- Ein kleines Fliessblatt wird sorgfältig auf die Wasseroberfläche gelegt.
- In die Mitte dieses Fliessblattschiffs wird eine kleine Büroklammer gelegt.
- Nun wird das Fliessblatt mit zwei Fingern sehr sorgfältig nach unten gedrückt.

Wenn man Glück hat, schwimmt die Büroklammer auf dem Wasser. Sie schwimmt nicht eigentlich, also nicht so wie Enten schwimmen. Sie liegt auf der Wasserhaut und drückt Dellen in diese (Zeichnung ins Forschungsbuch).

Genau so gehen auch die Wasserläufer über das Wasser des Teichs. Ihre vier Tatzen drücken auch Dellen in die Haut des Wassers.

Auf diese Weise kann die Büroklammer stundenlang „schwimmen“. Drückt man sie dann nur ganz sanft ins Wasser, verrät sie, dass sie aus Stahl besteht: Sie sinkt recht schnell auf den Grund des Beckens.

*Erklärung:*

Die Haut auf dem Wasser, welche die Büroklammer oder die Wasserläufer trägt, ist nicht stark: Wir spüren sie nicht, wenn wir einen Finger ins Wasser tauchen. Es ist auch keine richtige Haut: Bei jedem Schnitt oder Riss heilt sie unverzüglich wieder zu. Sie ist auch nicht aus einem anderen Stoff gemacht, der dann dem Wasser angelegt wurde wie ein sehr enges Kleid. Die Haut kann nur aus Wasser bestehen, also aus demselben Stoff, den sie umhüllt. Aber das Wasser an der Oberfläche ist in einem anderen Spannungszustand als im Innern des Wassers. Man nennt die Tendenz dieser „Haut“, sich möglichst eng zusammenzuziehen, *Oberflächenspannung*. Die Oberflächenspannung ist der äussere Aspekt des inneren Zusammenhangs des Wassers, der *Kohäsion*

## 3.6. Themenkreis „Kerze“

Michael Faraday, dem wir die theoretischen Grundlagen der elektrischen Energieversorgung und der drahtlosen Kommunikation (also auch das unentbehrliche Handy) verdanken, hat in einer Art Volkshochschule jeweils zu Weihnachten Vorlesungen für Kinder gehalten mit dem Titel «Naturgeschichte einer Kerze». Die folgenden Versuche sind dieser Serie von Experimenten entnommen, von der Faraday gesagt hat<sup>27</sup>:

<sup>26</sup> LÜCK, S. 91.

<sup>27</sup> MICHAEL FARADAY: *Naturgeschichte einer Kerze – mit einer Einleitung und Biografie von Peter Buck*, Band 3 der Reihe reprints historica didactica, Barbara Franzbecker, Bad Salzdetfurth 1997. oder ReclamUniversal-Bibliothek Nr. 6019/20.

*Die Naturgeschichte einer Kerze wählte ich schon bei einer früheren Gelegenheit zum Thema meines Vortrags, und stände die Wahl nur in meinem Belieben, so möchte ich dieses Thema wohl jedes Jahr zum Ausgang meiner Vorlesung nehmen, so viel Interessantes, so mannigfache Wege zur Naturbetrachtung im Allgemeinen bietet dasselbe dar. Alle im Weltall wirkenden Gesetze treten darin zu Tage oder kommen wenigstens in Betracht, und schwerlich möchte sich ein bequemes Tor zum Eingang in das Studium der Natur finden lassen.*

Exemplarischer Unterricht anno 1848!

Während der folgenden Experimentiersequenz kann in einer Ecke eine gewöhnliche Kerze und ein Teelicht brennen, und zwar so lange, bis das Wachs im Teelichtbecher vollständig geschmolzen ist.

*Ouvertüre:*

Die Kinder zeichnen aus dem Gedächtnis eine brennende Kerze ins Forschungsbuch.

### **3.6.1. Der Flammensprung**

*Partnerarbeit*

*Material pro Gruppe:*

- A3-Karton als Unterlage
- eine einfache, weisse Kerze auf Holzbrettchen oder Ständer
- Zündhölzchen

Versuch

Die Kerze wird entzündet und einige Zeit brennen gelassen, bis sich unter dem Docht ein Wachsseelein gebildet hat. Dann zündet der Partner ein Zündhölzchen an und die Partnerin pustet die Kerze aus. Die Flamme des Zündhölzchens wird in den weissen Rauch gehalten, der vom Docht aufsteigt.

*Beobachtung:*

Die Flamme springt vom Zündhölzchen zum Docht. Bei wem springt die Flamme am weitesten?

*Erklärung:*

Wenn die Kerze brennt, wird das Wachs durch die Hitze der Flamme geschmolzen. Das flüssige Wachs wird im Docht emporgesaugt und verdampft. Der Wachsdampf verbindet sich dann im Mantel der Flamme mit dem Sauerstoff der Luft.

Nachdem die Kerze ausgepustet ist, verdampft immer noch Wachs im Docht. Kommt dieser Wachsdampf mit der kühlen Luft in Kontakt, so kondensiert ein Teil davon zu mikroskopisch kleinen Wachströpfchen, die man nicht einzeln, aber als „Rauch“ sieht. Einige dieser Tröpfchen können sogar erstarren. Dann handelt es sich beim weissen Gebilde tatsächlich um einen begrifflich korrekten Rauch.

Dieser Rauch ist aber von Wachsdampf durchsetzt. Und dieser wird durch die Flamme des Zündhölzchens entzündet.

Am Beispiel des Flammensprungs lernt man: Jede Flamme ist eine Gasflamme.

### 3.6.2. Blick in die Kerzenflamme

*Partnerarbeit*

*Material pro Gruppe:*

- A3-Karton als Unterlage
- eine einfache, weisse Kerze auf Holzbrettchen oder Ständer
- Zündhölzchen
- feines Metalldrahtnetz (Alu oder Messing), Maschenweite ca. 2mm (im Do-It-Yourself-Laden erhältlich), mit einer starken Schere in 10 cm x 10 cm grosse Stücke schneiden (pro Gruppe ein solches Metall-Gitterchen)

*Versuch:*

Die Kerze wird entzündet und einige Zeit brennen gelassen, bis sich unter dem Docht ein Wachsseelein gebildet hat.

Dann wird das Drahtnetz von oben horizontal in die Flamme gehalten. Auf diese Weise kann ein Profil der ganzen Flamme ermittelt werden.

Vorsicht: Metalle sind gute Wärmeleiter. Das kleine Gitter sollte also nicht allzu lange in die Flamme gehalten werden. Zudem bilden sich ein stechender Geruch und Russ, wenn eine Kerzenflamme gestört wird.

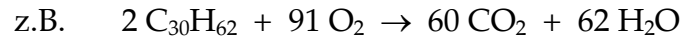
*Beobachtung:*

Hält man das Drahtnetz in die Flammenspitze, steigt über diesem Russ empor. Hält man das Drahtnetz tiefer in die Flamme, steigt der stechend riechende „Rauch“ empor, den wir schon vom Flammensprung her kennen. Betrachtet man die vom Drahtnetz entzweigeschnittene Flamme von schief oben, sieht man, dass die Flamme hohl ist.

*Erklärung:*

Durch die Hitze der Flamme schmilzt das Wachs. Es bildet sich das kleine Seelein unter dem Docht. Das flüssige Wachs steigt im Gewebe des Dochts empor (*Kapillarität*) und verdampft dort. Die Flamme ist innen durchsichtig. Das ist das dampfförmige Wachs, welches vom Docht zum Rand der Flamme strömt. In der brennenden Kerze haben alle drei Aggregatzustände des Wachses ihre Aufgabe: Das feste Wachs als Brennstoffvorrat, das flüssige Wachs als Transportmittel und das dampfförmige Wachs als der eigentliche Brennstoff.

Der leuchtende Mantel der Flamme ist der Ort, wo die chemischen Reaktionen stattfinden. Von aussen strömt Luft zu, von innen Wachs- bzw. Paraffindampf. Von der Luft wird nur der Sauerstoff gebraucht. Das dampfförmige Paraffin vereinigt sich mit dem Sauerstoff der Luft, und es entstehen Kohlendioxid und Wasserdampf:



Alle technisch wichtigen Verbrennungen, vom Holzfeuer bis zum Düsentriebwerk, aber auch die inneren Verbrennungsprozesse, welche bei der Verdauung stattfinden, laufen nach einem ähnlichen Schema ab. Daher kann die Kerzenflamme als Modell einerseits für technische Verbrennungsprozesse und andererseits für organische Stoffwechselfvorgänge angesehen werden.

Es ist aber keiner der erwähnten Stoffe, welche die Kerzenflamme zum Leuchten bringt. Für eine Flamme ist eine Kerzenflamme nicht sehr heiss („nur“ ca. 900°C). Die Verbrennung verläuft nicht so stürmisch, und so entstehen dabei Zwischenprodukte, unter anderem Kohlenstoff. Diesen haben wir als Russ bei diesem Versuch kennen gelernt. Der Lichtspender einer Flamme ist also feinstes Staub aus glühendem Russ. Dieser Russ verbindet sich dann mit dem Sauerstoff der Luft zu Kohlendioxid. Heisse Flammen, wie etwa eine zischende Bunsenflamme, geben nur wenig Licht ab: das Zwischenprodukt Kohlenstoff kann gar nicht entstehen. Erdgas und Sauerstoff verwandeln sich direkt in Kohlendioxid und Wasserdampf.

### 3.6.3. Der „Flammengeist“

#### *Demonstrationsexperiment*

##### *Versuch:*

Eine brennende Kerze wird in etwa einem Meter Abstand vor eine weisse, möglichst glatte aber matte besonnte Wand gestellt. Falls die Sonne nicht scheint, kann man die Kerze auch ins Licht eines Hellraumprojektors stellen.

##### *Beobachtung:*

Man sieht das „Schlierenbild“ der aufwärts strömenden Luft oberhalb der Kerze. Über rund 50 cm ist diese Strömung laminar, oberhalb wird sie turbulent, d.h. es bilden sich Wirbel.

##### *Zusatz-Versuch:*

Die Lehrperson hält kurz die Spitze eines verbrannten Zündholzes in die Spitze der Flamme (zuerst üben!).

##### *Beobachtung:*

Nun sieht man auch den Schatten der Flamme. Im Vergleich zum Strömungsbild ist er überraschend klein. Die Luft um die Flamme strömt in einem Schlauch, der etwa so breit wie die ganze Kerze ist, empor. Von einem Schatten des Luftstroms darf man kaum reden, weil das Strömungsbild sowohl dunklere wie auch aufgehellte Schlieren aufweist.

*Erklärung:*

Die kalte frische Luft drängt die von der Flamme erwärmte Luft, die weniger dicht ist, empor. Populistisch und sachungemäss heisst das „Wärme steigt“.

Mit Hilfe des Luft-Strömungsbildes einer brennenden Kerze verstehen wir auch, warum das Wachs im Teelicht mit der Zeit vollständig schmilzt, eine gute Kerze dagegen schön gleichmässig brennt, ohne zu tropfen: Beim Teelicht strömt die kühle Luft von aussen über den Aluminiumrand des Gefässes. Bei der Kerze dagegen strömt die Luft über den Rand des Seeleins, kühlt diesen ab und hindert das Wachs dort am Schmelzen (Luftkühlung). Eine Kerzenflamme reguliert sich also selbst und ist somit auch ein Modell eines kybernetischen Systems, d.h. eines Automaten.

Ein kleiner Teil dieser die Kerze umströmenden Luft wird für die Verbrennung gebraucht. Dabei entstehen Wasserdampf und Kohlendioxid. Diese Abfallprodukte werden dann auch vom aufsteigenden Luftstrom mitgenommen und so entsorgt.

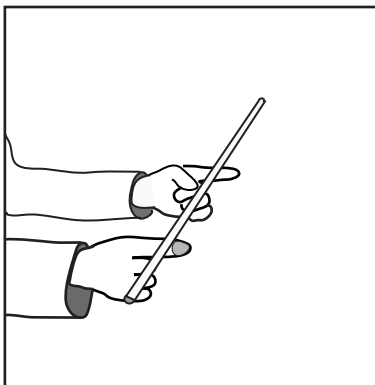
*Aufgabe ins Forschungsbuch:*

Die Kinder zeichnen einen Querschnitt durch eine brennende Kerze. Auf dem Bild sollte ersichtlich sein, wie der Docht die Mitte der ganzen Kerze durchzieht, dass die Flamme hohl ist, und – eventuell auf einer zweiten Zeichnung – wie die Luft oberhalb der Kerze emporströmt.

## 3.7. Themenkreis Gleichgewicht

### 3.7.1. Der Schwebestab

„Der Schwebestab“ ist ein Lehrstück („ein heimliches Selbstgespräch eines Lehrers bei der Unterrichtsvorbereitung“) von Christoph Raebiger<sup>28</sup>. Alle Zitate stammen aus diesem Lehrstück.

*Versuch:*

„Nimm ein gerades Stöckchen, einen Stab, [oder einen Besenstil], lege ihn waagrecht auf deine Zeigefinger und bewege diese von seinen Enden her langsam aufeinander zu. Du wirst etwas Merkwürdiges beobachten.“

*Beobachtung:*

„Sooft du es auch wiederholst, es geschieht stets das gleiche. Der Stab ruht auf dem einen Finger, auf dem anderen gleitet er dahin. Plötzlich, völlig unerwartet, wechseln beide ihre Rolle. Nun rutscht er auf dem linken, und der rechte führt ihn. Im nächsten Augenblick wieder ein Wechsel. So geht es in immer kürzer werdenden Schritten fort, bis die Finger sich schliesslich in der Mitte zusammenfinden, und der Stab schwankend auf

<sup>28</sup> CHRISTOPH RAEBIGER, *Neue Sammlung* 26/4, 1986, S. 480-508.

beiden balanciert. Nur eines ist ungewiss, nämlich dies, welcher Finger den Vorgang eröffnet.“

*Didaktisches Intermezzo:*

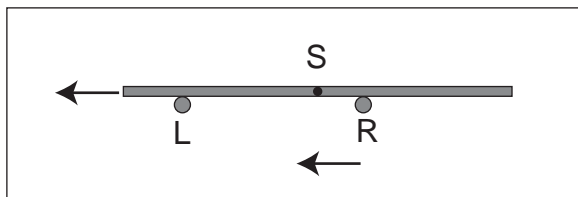
Raebigers Aufsatz erstreckt sich über 28 Seiten hauptsächlich in Form eines Zwiegesprächs zwischen dem linken und dem rechten Zeigefinger, welche den Schwebestab tragen müssen.

Dabei führt Raebiger seine Leser/innen exemplarisch durch die ganze Fachdidaktik der Physik. Die einzelnen Stationen markiert er mit den Antinomien „Naivität und Realismus“, „Physiker und Pädagoge“, „Logik und Findigkeit“, „Denken und Handeln“, „Experiment und Naturgesetz“, „Original und Spiegelbild“, „Muttersprache und Fachsprache“, „Ursache und Wirkung“ und schliesslich „Formatio und Informatio“.

*Erklärung:*

Für das physikalische Verständnis des „Schwebestabs“ soll hier eine kurze Erklärung folgen:

Nehmen wir an, dass der rechte Zeigefinger (R in der Abb. oben) den Stab näher an

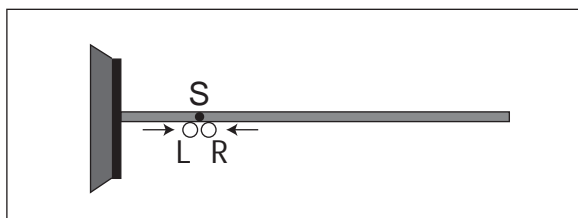


dessen Schwerpunkt (S) stützt als der linke (L). Dann wird der rechte Zeigefinger stärker belastet. Bewegt man die Hände nun langsam aufeinander zu, so haftet der Stab auf dem rechten Finger und gleitet auf dem linken. Dadurch

verschiebt sich der Schwerpunkt des Stabs zum linken Finger. Dieser wird zunehmend belastet während der rechte Finger entlastet wird. So muss der Augenblick kommen, wo der Stab auf dem linken Finger haftet und auf dem rechten gleitet. Dann wieder ein Wechsel. Und das geht so weiter, bis sich beide Finger fast unter dem Schwerpunkt treffen, und der Stab in einem recht labilen Gleichgewicht schwebt.

*Erweiterung:*

Das Experiment kann auch mit einem Besen, einem Eispickel usw. durchgeführt werden, d.h. mit einem Stab, der hinten und vorne nicht gleich schwer ist:



Mit Hilfe des Schwebestab-Experiments kann der Schwerpunkt des Besens ermittelt werden.

### 3.7.2. Die Kerzenwippe

Wenn Kinder auf einer Wippe schaukeln, sind sie sich vom Körpergefühl her über die Gleichgewichtsverhältnisse im Klaren: Die leichtere Person muss weiter aussen sitzen als die schwerere Person. Will man, dass sich die Wippe auf die eigene Seite

neigt, lehnt man sich zurück. Auf diese Weise kann das berühmte Hebelgesetz von Archimedes sinnlich erfahren werden, ohne dass man es mathematisch formulieren muss.

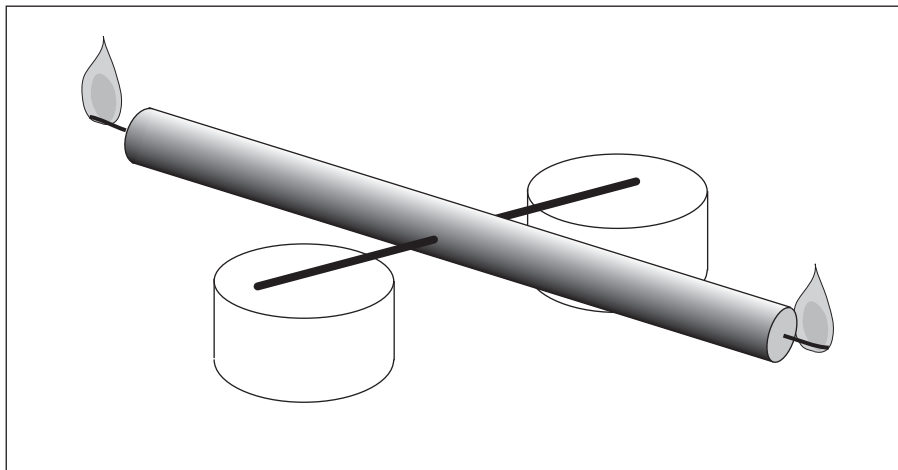
Man kann nun eine vollautomatische Wippe mit einer langen Kerze konstruieren, die allerdings auf beiden Seiten brennen muss.

*Material:*

- A3-Karton als Unterlage
- eine lange gleichmässig dicke Kerze
- eine Stricknadel aus Metall, oder zwei Nägel, je ca. 6 cm lang
- ein Teelicht, um die Stricknadel bzw. die Nägel zu erhitzen
- Zwei Klötze oder Schachteln, die etwa ein Viertel so hoch sind, wie die Kerze lang ist.

*Herstellung:*

- Die Kerze wird am Boden so abgeschabt, dass dort der Docht freigelegt wird.
- Die Stricknadel wird am einen Ende so erhitzt, dass man damit die Kerze in deren Mitte durchstechen kann. Die Stricknadel wird die Achse der Schaukel sein.
- Oder: Die Spitzen der Nägel werden erhitzt. Dann werden beide Nägel von entgegengesetzten Seiten gegen die Mitte der Kerze gedrückt. In diesem Fall dienen die Nägel als Achse.
- Die Klötze werden so nebeneinander gestellt, dass die Kerze zwischen ihnen wippen kann.
- Nun wird die Kerze an beiden Enden angezündet.



*Beobachtung:*

Nach einer Weile kippt die Kerze, dann wieder zurück, usw..

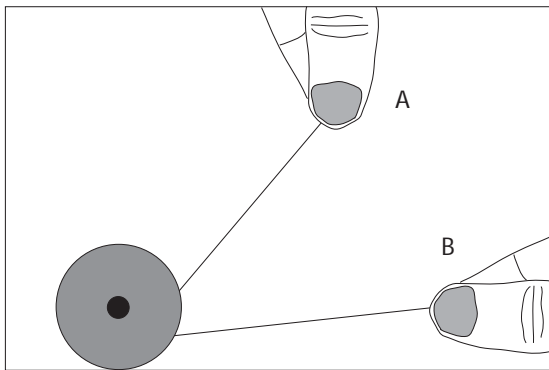
*Erklärung:*

Am Teil, der jeweils unten ist, schmilzt das Wachs schneller und tropft eher ab als am oberen Ende. Das untere Ende wird mit der Zeit leichter als das obere Ende, und die Kerze kippt.

An diesem Beispiel kann man auch lernen, was ein Automat ist: Eine Maschine, die sich selber steuert.

## 3.8. Spielereien

### 3.8.1. Die folgsame Fadenspule



Die Katze hat mit einer Fadenspule gespielt und diese unter den Kasten geschubst. Zum Glück kann das Ende des Fadens noch gefasst werden. Wird man damit die Rolle hervorziehen können?

*Experiment:*

Wir untersuchen in welche Richtung sich die Fadenspule bewegt, wenn man am Faden zieht.

Wenn der Faden oberhalb der Achse der Rolle aufgewickelt ist, dann ist die Sache klar: Die Rolle wird uns folgen. Wenn der Faden aber unterhalb der Achse aufgewickelt ist, kommt es drauf an, wie man zieht (siehe Abb.).

*Beobachtung:*

Zieht man den Faden schräg nach oben (A), bewegt sich die Rolle von uns weg. Zieht man dagegen den Faden flach, folgt uns die Rolle.

*Erklärung:*

Wenn sich die Fadenspule um eine feste Achse dreht, wie etwa auf der Nähmaschine, ist die Sache klar. Ohne viel Theorie wissen wir genau, ob sich die Spule im Uhrzeigersinn oder Gegenuhrzeigersinn dreht, wenn man am Faden zieht.

Wenn hingegen eine Fadenspule oder ein Rad ohne zu gleiten auf dem Boden rollt, müssen wir uns klarmachen, welches der Drehpunkt ist: Welcher Punkt bewegt sich nicht, wenn das Rad rollt? Stellen wir uns ein Fahrrad vor. Wenn es aufgebockt ist, wie beim Velomechaniker, drehen sich die Räder um ihre Achsen. Wenn wir aber fahren, bewegen sich die Achsen mit uns. Nur jeweils der Punkt, an welchem der Pneu den Boden berührt, bewegt sich nicht. Das ist verwirrend, weil dieser Punkt beim Abrollen sowohl am Pneu wie auch am Boden stets den Ort wechselt. Es ist also immer wieder ein anderer Punkt, der sich jeweils für einen Augenblick nicht bewegt. Und die Räder drehen sich, wenn sie nicht gleiten (was ja beim Velofahren oft zu Stürzen führt), jeweils um die Punkte, wo sie auf der Strasse haften.

Dass es sich so verhält zeigt uns die Garnrolle. Denken wir uns den Faden in den Boden hinein verlängert. Führt diese Verlängerung des Fadens unterhalb des Berührungspunktes durch (A), dreht sich die Rolle so, dass sie sich von uns entfernt. Im andern Fall (B) folgt sie uns. Wenn wir den Berührungspunkt unten als



Drehpunkt betrachten, wird der Sachverhalt ebenso klar wie bei einer Rolle, die sich um eine feste Achse dreht.

Diese Art des Verstehens beschreibt Martin Wagenschein wie folgt<sup>29</sup>:

*Verstehen heisst: einen Fremden bei näherer Betrachtung als einen nur verkleideten alten Bekannten wiedererkennen.*

Übrigens ist die Fadenspule gar nicht so folgsam: Wenn man zu heftig am Faden zieht, purzelt die Spule am Boden umher. Aber auch, wenn der Versuch sorgfältig und damit sachgemäss ausgeführt wird, rollt die Spule nicht immer wie gewünscht: Wenn der Faden die Wicklung nicht in deren Mitte verlässt, ändert die Spule gerne ihre Richtung. In der physikalischen Fachsprache können sowohl der Gehorsam wie auch der Ungehorsam der Spule mit dem Begriff *Drehmoment* erklärt werden.

### 3.8.2. Das Schnurtelefon

Geheimnisse sollte man nicht ausposaunen. Manchmal ist aber der Adressat des Geheimnisses nicht zur Stelle, sodass man zum Telefon greift, nicht immer zur Freude der Eltern heranwachsender Kinder. Wie funktioniert ein Telefon? Das Handy ist komplizierter als das Fixnetztelefon. Aber gibt es auch eine Ausführung, die ohne Elektrizität auskommt?

*Material:*

- Zwei Yogurtbecher, wenn möglich die grossen (500 g).
- Mindestens 5 Meter Wollgarn
- Zwei Hemden-/Blusen-Knöpfe
- Grosse Nähnadel
- Ahle

Die Böden der Yogurtbecher werden mit der Ahle so durchstochen, dass der Faden je von aussen durchgezogen werden kann. An die inneren Enden wird je ein Knopf geknüpft, damit der Faden nicht mehr aus dem Loch herausschlüpfen kann, wenn er gespannt ist.

*Versuch:*

Das eine Kind redet leise in seinen Yogurtbecher. Das andere hält den seinen als Hörer ans Ohr.

Spielt es eine Rolle, ob der Faden locker ist oder gespannt? Ob er direkt von Becher zu Becher führt, oder ob er einen Türrahmen oder so berührt?

*Zusatzversuch:*

Während des Sprechens wird der Faden ganz leicht mit dem Finger berührt.

*Kurze Erklärung:*

---

<sup>29</sup> MARTIN WAGENSCHIN: *Die Sprache im Physikunterricht, in: Naturphänomene sehen und verstehen. Stuttgart 1980: Klett, S. 141.*

Töne entstehen, wenn Dinge oder Teile davon rasch vibrieren. Der schwingende Kehlkopf des Sprechenden bringt die Luft zum Vibrieren, diese den Boden des Yogurtbechers. Die Vibrationen pflanzen sich dann längs der gespannten Schnur fort. Die vibrierende Schnur bringt den anderen Becher zum schwingen, dieser die Luft beim Ohr des Empfängers, diese dessen Trommelfell im Ohr usw.. Eine Kette von schwingenden Gegenständen bis hin zu den Nervenzellen im Innenohr des Hörenden.

Zeichnung des Telefons ins Forschungsbuch.

### 3.8.3. Der geschwungene Wassereimer

Warum fließt das Wasser nicht aus, wenn wir einen Eimer vertikal rund herum schleudern? Warum sieht man auf den Jahrmärkten in der "Todesschleife" den Wagen oben durchsausen und in ihm die Leute mit den Köpfen nach unten, ohne dass diese Leute herausfallen?

*Material:*

- Ein grosser Yohurtbecher (500g), Schnur, Ahle
- Ein Putzeimer
- Ein nicht allzu leichter Gummi- oder Stoffball, der an einer Schnur befestigt wird.

*Vorbereitung:*

Mit einer Ahle werden beim Rand des Bechers zwei einander gegenüberliegende Löcher gestochen. Je ein Ende einer ca. 80 cm langen Schnur wird je an einem Loch befestigt, sodass man den Becher schwenken kann wie ein Weihrauchgefäss.

*Versuch:*

Der Yogurtbecher wird mit Wasser halb gefüllt. Vor dem Looping werden einfachere Bewegungen geübt: Man kann den Eimer zuerst einfach hin und her schwingen lassen. Dann locker horizontal im Kreise drehen lassen. Erst dann wird er oben durch geschleudert. Dabei kann es natürliche zu kleineren Überschwemmungen kommen.

*Beobachtung:*

Wenn der Becher locker geschwungen bzw. kreisen gelassen wird, liegt der Wasserspiegel stets senkrecht zu den Gefässwänden. Es sieht aus, als wäre das Gefäss nicht mit Wasser gefüllt, sondern mit Glas. Das ist auch beim Looping der Fall, nur lässt sich das nicht so gut beobachten.

*1. Zusatzversuch:*

Die Begleitperson demonstriert einen Looping mit einem halb gefüllten Putzeimer (zuvor üben). Das ist spektakulärer als das brave Yogurtbecherchen.

## 2. Zusatzersuch:

Man kann nun den Ball an der Schnur ebenso oben durch schleudern. Dieser Versuch ist irgendwie objektiver als der Eimerversuch, weil hier die Spannung, ob das Wasser im Gefäß bleibt, wegfällt.

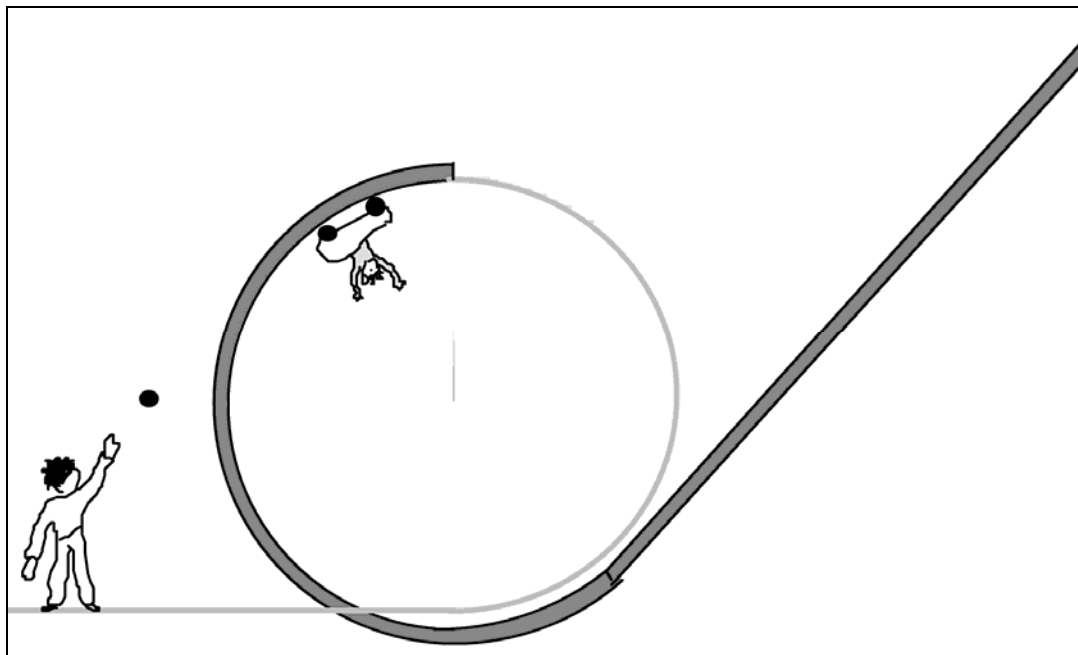
### Erklärung:

Wagenschein warnt vor weit verbreiteten Scheinkenntnissen<sup>30</sup>:

*„Zu hören, das sei die «Zentrifugalkraft», das erhellt keinen klaren Kopf. So wenig, wie er etwas davon hat, wenn man ihn darüber belehrt, ein Stein falle wegen der «Anziehungskraft der Erde». Das sind nur Wörter, und wir verdummen ihn, wenn wir ihn glauben machen, diese Sprachregelung bedeute Verstehen.“*

Man könnte fragen, was geschehen würde, wenn man den Eimer an der höchsten Stelle loslassen würde. Beim Wassereimer mobilisiert man damit aber unsachgemässe (aber verständliche) Fantasien: Alle würden nass! Der Eimer würde kaputt gehen, und das ganze Zimmer wäre nass, usw..

Es geht aber zunächst einmal nur darum, was mit dem Eimer und dem Wasser *unmittelbar* nach dem Loslassen geschehen würde. Aber vielleicht lässt man dazu das Wasser weg. Man kann die Frage am Beispiel des Balls stellen und auch nochmals auf die gefährliche Loopingbahn zu sprechen kommen: Wie ginge es denn weiter mit dem Wagen, wenn die Schiene oben in der höchsten Stelle aufhörte? Er würde nicht direkt herunterfallen, sondern in einem schönen Bogen weiterfliegen. Er würde dann genau so weiterfliegen wie ein geworfener Stein, nachdem er den höchsten Punkt seiner Wurfbahn überschritten hätte:



<sup>30</sup> Pädagogische Dimension der Physik, S. 207.

Wagenschein nennt die Verknüpfung zwischen dem aufregenden Looping und dem vertrauten Wurf einen „Einzelkristall des Verstehens“:

*„Wir haben nun das ganze Jahrmarktmirakel der Todesschleife «verstanden», indem wir es als dasselbe erkannten, was uns so vertraut ist: die Bahn des geworfenen Steines, der, nachdem er unsere werfende Hand verliess, auch nicht gleich absackt. So sind zwei Phänomene miteinander verbunden.“*

Wenn es gelingt, in der Vorschulstufe einige solcher „Einzelkristalle des Verstehens“ zum Keimen zu bringen, und es müssen nicht bei allen Kinder dieselben sein, ist es später viel leichter, im regulären Unterricht in Physik und Chemie solche Einzelkristalle zu Grosskristallen wachsen zu lassen. Diese Grosskristalle können dann ihrerseits zusammenwachsen zu einem ganzheitlichen Sachgefüge der jeweiligen Wissenschaft. Wagenschein nannte dieses Verfahren *Genetisches Lehren*<sup>31</sup>:

*[Das Genetische] gehört zur Grundstimmung des Pädagogischen überhaupt. Pädagogik hat mit dem Werdenden zu tun: mit dem werdenden Menschen und – im Unterricht, als Didaktik – mit dem Werden des Wissens in ihm.*

---

<sup>31</sup> MARTIN WAGENSCHHEIN: *Zum Problem des Genetischen Lehrens, in Verstehen Lehren, S. 75 ff.*