

## Zaubern in physikalischen Freihandversuchen

H. Joachim Schlichting

*Ein Zauberer wünscht sich nur, daß seine  
Täuschung einen Augenblick vorhält.  
Er versucht erst gar nicht dir weiszumachen,  
er täusche nicht.*

G. K. Chesterton

Die sogenannten *Natürlichen Zauberbücher* waren zu Zeiten sehr beliebt und wurden in verhältnismäßig hoher Auflage vertrieben. Sieht man diese Bücher mit dem Blick des neuzeitlichen Physikers durch, so findet man neben zahlreichen Beispielen primitivsten Schabernacks auch Zauberkunststücke, die sich als geschickt präsentierte klassische Freihandversuche entpuppen. Hätte man diese Zauberbücher bis in unsere Zeit fortgeschrieben, so wäre so mancher mit modernen Alltagsgegenständen durchgeföhrter Versuch ein geeignetes Zauberbeispiel. Es werden einige alte und neue Freihandversuche als Zaubereien zusammen mit ihrer physikalischen Erklärung (soweit dies nötig erscheint) zusammengestellt und diskutiert.

### Trägheits- Zauber

Nicht immer muß das Schwache und Zerbrechliche dem Starken und Soliden unterliegen. Um diese Einsicht handfest zu untermauern, läßt der Spätrenaissance-dichter Francois Rabelais (1494 - 1553) einen seiner Protagonisten folgende damals wie heute dem Laien als Zauber erscheinende drastische Demonstrationen vollführen, die er mit folgenden Worten beschreibt:

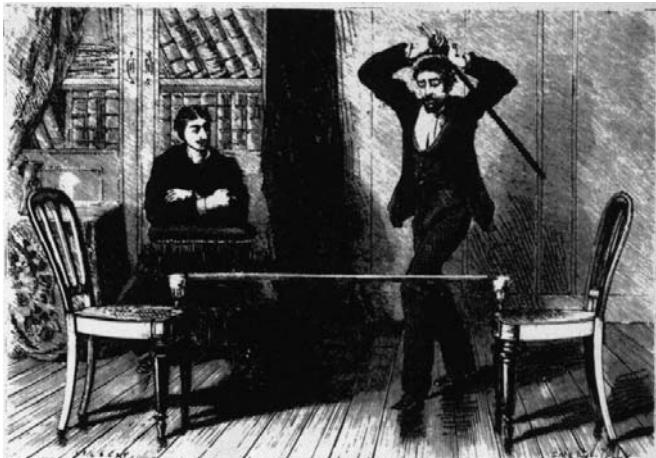


Bild 1: „Säkularisierte“ Form der Panurgschen Zauberei (aus [2])

*daß nur einem Mann von uns Leids geschäh, noch er einen Schaden an seinem Zeug litt. Doch, daß ihr nicht meinet, es wär etwan ein Zauber dabei, so nehmet“ (sprach er zum Eusthenes) »hie diesen Pfahl und damit so stark ihr könnt, hart in die Mitten.« Eusthenes tät also, und der Schaft zerbrach quer in zwei Stücken, und nicht Tropfen Wassers fiel aus den Gläsern zur Erden. Darauf sprach er: „Ich weiß euch wohl noch andre Schwänk, nur frisch drauf los, und laßt uns wandern!“ [1].* Etwa 400 Jahre später wird daraus eine „Récréation Scientifique“ [2], die heute zum klassischen Repertoire der Freihandversuche zählt. In der Tat läßt sich diese Zauberei frei aus der Hand durchführen und dürfte trotzdem die Zuschauenden nicht weniger beeindrucken als vor 500 Jahren. Der Unterschied zu damals besteht darin, daß wir den Zauber heute mit Hilfe physikalischer Konzepte zu entzaubern vermögen. Das „Entzauberungswort“ heißt Trägheit. Bevor - anthropomorph gesprochen - die Enden des Besenstiels etwas von dem Schlag „merken“, ist es bereits mit ihm geschehen, und es besteht keine Gefahr mehr für die Gläser. Es dauert eben eine endliche Zeit, bis der Impuls die Stielenden erreicht und bis dahin ist eine völlig neue Situation eingetreten.

Wenn man den Versuch erfolgreich durchführen will, empfiehlt es sich, den Stiel nicht direkt, sondern mittels zweier Stecknadeln, die man in die Enden des Stiels steckt, auf die Glasränder zu legen, und beim Schlag keine

Vorsicht walten zu lassen, sondern ihn so heftig wie möglich zu führen. Eine kräftige Person aus dem Publikum, die daran interessiert ist, durch einen starken Schlag den Zauber zu brechen, erweist sich als besonders geeignet.

Mit der Trägheit läßt sich auf vielfältige Weise zaubern [3]. Zum Beispiel: Man hängt ein (schwereres) Buch an einem zerreißenbaren Faden auf. Einen zweiten Faden knüpft man an die untere Seite des Buches und läßt ihn zunächst frei herabhängen. Die an das Publikum gerichtete Frage lautet: Wo zerreißt der Faden, oberhalb oder unterhalb des Buches, wenn man am herabhängenden Faden zieht. Durch die Art und Weise wie man zieht, kann man bestimmen, wo der Faden reißt. Man hat es also „in der Hand“, die Erwartungen des Publikums gründlich zu enttäuschen. Der Zaubertrick besteht darin, daß man mit stetig anwachsender Kraft oder mit einem Ruck den Faden oberhalb oder unterhalb des Buches zu zerreißen. Da das Buch aufgrund seiner relativ großen Masse trägt und daher nur langsam aus der Ruhe zu bringen ist, wird der untere Faden über die Reißgrenze hinaus gedehnt, bevor der obere Faden etwas von der Dehnung „spürt“. Zieht man langsam, so kann das Buch und damit auch der obere Faden der Dehnung folgen. Da der obere Faden bereits ohne Ausübung der Zugkraft durch die Gewichtskraft des Buches belastet ist, wird die Reißgrenze eher erreicht als beim unteren Faden.

Ein weiteres Beispiel für die zauberhafte Wirkung der Trägheit ist der folgende Versuch: Man stapelt Mühlesteine zu einem Turm auf. Schlägt man kräftig mit einem flachen (Plastik-) Lineal gegen den Turm, so entfernt man den getroffenen Stein aus dem Stapel, bevor die darunter und darüber lagernden Steine etwas davon „merken“. Aufgrund der im Vergleich zum restlichen Turm geringeren Masse und damit der Trägheit des einzelnen Steines kann dieser schneller in Bewegung gesetzt werden als der Turm. Schlägt man in schneller Folge Steine heraus, so sieht man den Turm förmlich im Schlagrhythmus schrumpfen.

## Symmetriebruch

In dem folgenden Zauberstück legt man einen Styroporquader auf die Wasseroberfläche einer möglichst großen flachen Schale (z.B. Entwicklerschale aus dem Fotolabor). Zur großen Überraschung der Zuschauer beginnt der Quader, sich um seine Symmetriechse zu drehen Bild 2. Da die Drehung allmählich zum Stillstand kommt, sollte man den Vorgang nach einiger Zeit abbrechen.

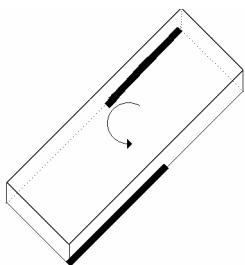


Bild 2: Der Styroporquader auf dem Wasser schwimmend, von oben gesehen.

Die Zuschauer kommen zwar schnell darauf, daß der Quader präpariert sein muß. Die Mutmaßungen, worin die Präparation denn bestehen könnte, zeigen jedoch, daß physikalische Prinzipien dabei leichtfertig übersehen werden. Denn die Entstehung einer Drehung ohne Energiezufuhr muß als Perpetuum mobile angesehen werden. So wird beispielsweise unterstellt, es seien gezielt, kleine Metallstückchen im Styropor untergebracht und dabei „das Gleichgewicht gestört“ worden. Interessant an dieser Vermutung ist, daß von einem Symmetriebruch in der Homogenität des Quaders ausgegangen wird. Offenbar wird auch aus lebensweltlicher Sicht ein Symmetriebruch als Voraussetzung dafür angesehen, daß etwas passiert. Manchmal entspricht die gemutmaßte Anordnung der Metallstückchen rein geometrisch gesehen der tatsächlichen Präparation, indem man davon ausgeht, daß der Quader an den schräg gegenüberliegenden Kanten beschwert wurde. Im vorliegenden Fall wurde nämlich flüssige Seife an eben diesen schräg gegenüberliegenden Kanten angebracht, und zwar so daß die Seife mit dem Wasser in Berührung kommt.

Die Drehung wird dabei folgendermaßen bewirkt. In Gegenwart des Wassers breitet sich in Wasser gelöste Seife blitzschnell über die Wasseroberfläche aus. Da die Oberflächenspannung reinen Wassers größer ist als die von Seifenlösung, kann die Oberflächenenergie dadurch minimiert werden, daß sich das „Häutchen“ reinen Wassers zusammenzieht, während das „Häutchen“ der sich bildenden Seifenlauge entsprechend wächst. Die auf diese Weise vom Styropor startenden Seifenteilchen „drücken“ (aufgrund der Erhaltung des Gesamtimpulses) den Styroporquader entgegen ihrer Ausbreitungsrichtung weg. Dadurch entsteht aufgrund der asymmetrischen Verteilung der Seife an den Styroporkanten ein Drehmoment. Daß es infolgedessen trotz der verhältnismäßig geringen Oberflächenenergien zu einer eindrucksvollen Drehung kommt, beruht auf der geringen Reibungskräfte zwischen Wasser und Styroporquader.

## Kochen durch Abkühlen oder durch Klopfen

So paradox die Überschrift klingt, so zauberhaft erscheint das Kunststück mit dem genau dies möglich sein soll. Man präsentiert den Schülerinnen und Schülern eine fest verschlossene, auf dem Kopf stehende durchsichtige Flasche, die etwa zu zwei Dritteln mit Wasser gefüllt ist. Am besten geeignet erscheint uns eine Kochflasche aus dem Chemielabor. Befeuchtet man die Flasche an der Oberseite mit einem wassergetränkten Tuch oder besprüht sie mit Wasser, so beginnt das Wasser in der Flasche heftig aufwallend zu sieden. Dieser Vorgang hört nach einer Zeit wieder auf, kann aber erstaunlich oft wiederholt werden.

Entscheidend für dieses äußerst merkwürdig erscheinende Verhalten ist die vorherige, (unter Ausschluß der Öffentlichkeit stattfindende) Präparation der Flasche. Man füllt sie mit heißem Wasser und bringt das Wasser in der Flasche zum Sieden. Man läßt sie einige Minuten Sieden, bis man davon ausgehen kann, daß sich keine Luft mehr in der Flasche befindet. Dann verschließt man sie, indem gleichzeitig die Energiezufuhr unterbrochen wird, und fixiert sie kopfüber z.B. mit Hilfe einer Stativklemme.

Besonders eindrucksvoll fällt der Versuch aus, wenn man das Wasser in der Flasche solange abkühlen läßt, bis man die Flasche in die Hand nehmen kann, so daß das Publikum nichts von der erhöhten Temperatur merkt. Streicht man dann mit einem feuchten (Zauber-) Tuch so über den oberen Teil der überkopf gehaltenen Flasche, daß die Absicht der Befeuchtung unerkannt bleibt, ist die Illusion nahezu perfekt. Denn die auf diese Weise ausgelöste Aufwallung des Wassers bietet keine sichtbaren Anhaltspunkte mehr für eine „natürliche“ Erklärung.

Der Vorgang wirkt vor allem deshalb „zauberhaft“, weil Sieden und eine Temperatur von  $100^{\circ}\text{C}$  aufgrund vielfältiger Alltagserfahrungen als zusammengehörig gedacht werden. Wie kommt es zum Sieden bei niedrigeren Temperaturen? In der Flasche befindet sich nur Wasser, flüssiges Wasser im Gleichgewicht mit seinem Dampf. Wenn das den Wasserdampf begrenzende Oberteil der Wand, großflächig abgekühlt wird, sinkt an diesen Stellen die Temperatur des Dampfes unter den Taupunkt. Es kommt zur Kondensation von Dampf und infolgedessen zu einer entsprechenden Druckabnahme des Wasserdampfes, wodurch das Gleichgewicht gestört wird: Dem aktuellen Dampfdruck entspricht ein niedrigerer Siedepunkt (also der Temperatur, bei der der (Sättigungs- )

Dampfdruck des Wassers gleich dem jeweiligen Luftdruck ist). Deshalb siedet die Flüssigkeit solange, bis (Sättigungs-) Dampfdruck und aktueller Dampfdruck in der Flasche sich wieder angeglichen haben. Das zeigt sich in der typischen Aufwallung des Wassers infolge aufsteigender Dampfblasen. Der Reiz dieses Versuchs resultiert u.a. daraus, daß der Siedevorgang auch ohne Energiezufuhr, ja, durch Energieentzug ausgelöst werden kann.

Der energetische Aspekt dieses Zauberstückes läßt sich mit Hilfe des nicht minder mysteriös wirkenden trinkenden Storches vertiefen. Hier haben wir es mit einer Wärmekraftmaschine zu tun, die sich mit Wärme aus der Umgebung versorgt [4].

Auch die Einsicht, daß Sieden nicht notwendig mit hohen Temperaturen verbunden ist, kann mit einem ebenfalls an Zauberei erinnernden Freihandversuch untermauert werden. Füllt man eine (Einweg-) Spritze mit etwas Wasser, verschließt dann die Öffnung und zieht sehr schnell den Kolben zurück, so kann man ein kurzzeitiges Sieden des Wassers beobachten, bis der Unterdruck durch den beim Sieden entstandenen Dampf wieder aufgehoben wird.

Um jedoch nicht den Eindruck aufkommen zu lassen, daß aufwallendes Wasser stets ein Zeichen für einen Siedevorgang ist, bietet sich die folgende kleine Zauberei an:

Ein teilweise mit Wasser gefülltes Trinkglas wird mit einem feuchten (Zauber-) Tuch (z.B. Stofftaschentuch) abgedeckt. Das Tuch wird in

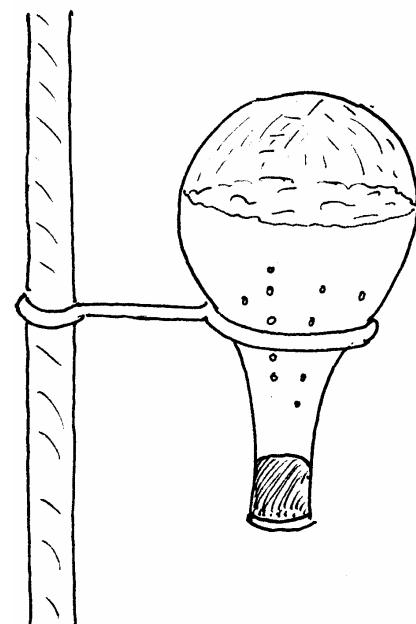


Bild 3: Gekühlt fängt das erwärmte Wasser in der überkopf fixierten Flasche immer wieder an zu kochen.

der Mitte ein wenig eingedellt, am Rande aber mit den Glas umfassenden Zeigefinger und Daumen fest gegen die Glaswandung gedrückt. Dreht man das Glas um, so stellt man erstaunt fest, daß das Wasser nicht nur nicht durch die Poren des Tuches hindurchsickert, sondern das Tuch potentialtopfartig stramm nach innen gesogen wird. Klopfst man nun mit einem Finger der anderen Hand so auf den nach oben weisenden Boden des Glases, daß das Tuch unmerklich nach oben verschoben und über der Glasöffnung gestrafft wird, scheint das Wasser zu

sieden. Jedenfalls steigen deutlich kleine Blasen auf. Schülerinnen und Schüler, die einen der obigen Versuche bereits kennen, neigen dazu, auch in diesem Fall an einen echten Siedevorgang zu glauben, obwohl eine plausible Erklärung dafür kaum zu finden ist. Bei genauerer Beobachtung kann man feststellen, daß die Bläschen stets am Taschentuch entstehen. Das deutet darauf hin, daß von außen Luft durch die Poren dringt. Wenn man verstanden hat, warum das Wasser durch das Taschentuch in der Schwebewegung gehalten werden kann, dürfte es nicht mehr allzu schwierig sein zu erkennen, daß Luftbläschen nur dann aufsteigen können, wenn oberhalb des Wassers eine weitere Druckabnahme stattfindet. Diese kommt dadurch zustande, daß durch die Straffung des Tuches die Eindellung verkleinert wird. Die Flüssigkeit sinkt und die entsprechende Vergrößerung des luftgefüllten Volumens oberhalb des Wassers führt zu einer Verminderung des Luftdrucks mit der Folge, daß es zum Druckausgleich durch aufsteigende Luftbläschen kommt.

## Zauberhafte Windmühle

Das folgende Zauberstück fordert die Intuition der Schülerinnen und Schüler dadurch heraus, daß sich hier ein Windräddchen scheinbar ohne Grund in Bewegung setzt. Ein leicht selbst herstellendes Rädchen (Bild 4) wird im Schwerpunkt auf eine Nähnadel gesetzt, die man mit der einen Hand in die Höhlung der anderen Hand schmiegt, so als wollte man es vor Luftströmungen schützen. Was kaum erwartet wird: Das Rädchen beginnt nach kurzer Zeit zu drehen. Die Erklärungsversuche der Schülerinnen und Schüler sind für eine physikalisch vorgebildete Person oft erstaunlich. Sie zeigen, daß der Energieerhaltungssatz in ihrem Vorverständnis keine Rolle spielt. Überraschend wirkt vor allem, daß ein Luftstrom nicht nur nicht zu erkennen ist, sondern durch die Hände (wie beim Zigarettenanzünden im Wind) sogar noch vor möglichen Luftströmungen geschützt wird.

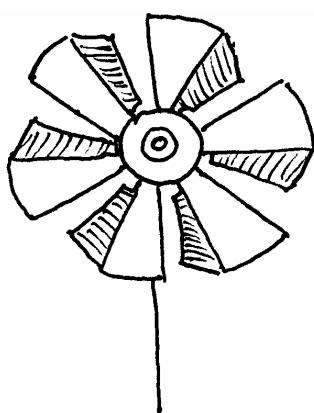


Bild 4: Aus Papier oder Metallfolie gefertigtes Windräddchen.

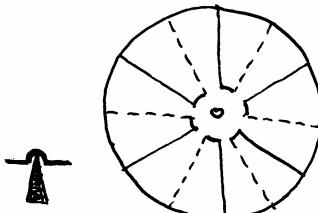


Bild 5: Ein kreisförmiges Stück Papier oder eine dünne Metallfolie wird längs der durchgezogenen Linien ausgeschnitten und an den gestrichelten Linien etwas nach unten abgeknickt. Im Zentrum wird zur reibungsfreien Spitzelagerung ein Druckknopf fixiert. Anschließend wird das Rad auf einer Nadelspitze ausbalanciert.

richt keine Anleitung zum Zaubern sein kann. Es sollte auch alles vermieden werden, was den Eindruck verstärkt, Physik sei eine Art wissenschaftlicher Zauberei. Das Ziel, den Zauber zu entlarven, sollte allemal erreicht werden. Von Zeit zu Zeit sollte aber auch im Physikunterricht gewissermaßen „die andere Seite der Physik“ inszeniert werden, um die Schülerinnen und Schüler einen Hauch jenes Zaubers erleben zu lassen, der die Dinge umgibt, solange sie ein Geheimnis darstellen. Denn „das Schönste, was wir erleben können, ist das Geheimnisvolle. Es ist das Grundgefühl, das an der Wiege von wahrer Kunst und Wissenschaft steht. Wer es nicht kennt und sich nicht mehr wundern kann, der ist sozusagen tot und seine Augen erloschen“ (Albert Einstein).

Indessen wird durch die gewölbten (warmen) Hände eine Art Kamin geformt, die die eingeschlossene Luft erwärmen. Die Luft dehnt sich aus bis sie so „leicht“ geworden ist, daß sie von der umgebenden kälteren Luft hochgedrückt und das Rädchen in Bewegung gesetzt wird. Da die Temperaturunterschiede sehr klein sind, kommt es darauf an, das Rädchen besonders reibungsfrei zu fixieren. Das gelingt am besten mit Hilfe eines Druckknopfes, den man im Zentrum des Rädchen so fixiert, daß es spitzengelagert auf der möglichst dünnen Achse (z.B. Nähnadel) rotieren kann. Warme Hände sind außerdem eine gute Garantie für das Funktionieren des Versuches.

Es versteht sich von selbst, daß Physikunter-

## Zauberhafte Reibung

Das folgende Zauberstück besteht darin, daß eine an einem Faden hinabgleitende Streichholzschaufel auf Kommando des Zauberers oder des zurufenden Publikums, wahlweise langsamer wird oder sogar plötzlich stehen bleibt. Dabei muß eine Schaufel, die ja nichts anderes als eine Box und innen sogar eine Black Box ist, eigentlich sofort Verdacht erwecken. Sie kann und wird in ihrem undurchschaubaren Inneren einen Mechanismus besitzen, der für das merkwürdige Verhalten verantwortlich ist. Darauf kommen Schülerinnen und Schüler verhältnismäßig schnell. Wenn man den Zug an der Schnur, durch den die Reibungskraft und damit die Sinkbewegung der Schaufel gesteuert wird, jedoch so vorsichtig variiert, daß er zunächst nicht entdeckt wird, kommt es oft zu einer Wucherung von Ideen. Daß die Reibungskraft an einem gekrümmten Seil oder Faden kann durch

verhältnismäßig geringe Zugkräfte unverhältnismäßig stark gesteigert werden kann, läßt sich vielfältig belegen (z.B. Festmachen eines Schiffes an einem Poller, Haltbarkeit von Knoten, Verheddern der Hundeleine an einem Pfahl). Trotzdem haben unserer Beobachtung nach die Schülerinnen und Schüler derartige Erfahrungen normalerweise nicht als Grundlage für eine mögliche Erklärung parat. Die Entzauberung des vorliegenden Kunststücks durch Aufdecken des „inneren Mechanismus“ ist daher in den meisten Fällen nicht zu umgehen. Die Primitivität des Mechanismus ruft oft ungläubiges Erstaunen hervor und motiviert zur (erfolgreichen) Nachahmung.

Das diesem Kunststück zugrunde liegende Prinzip findet man in zahlreichen Spielzeugen wieder. Am bekanntesten dürfte wohl der sogenannte Klettermaxe sein. Der (durch varierenden Seilzug bedingte) Wechsel zwischen Haft- und Gleitreibung wird hier sogar ausgenutzt, eine Puppe an zwei Seilen hochklettern zu lassen. Die für den Versuch entscheidende Seilspannung wird durch die Schrägführung der Seile durch die kugelförmigen Hände der Puppe erreicht. Entscheidend ist dabei, daß durch die Haftreibung in der einen Kugel die Puppe so geneigt wird, daß die für die Haftreibung in der anderen Kugel sorgende Schrägstellung der Seilführung aufgehoben wird und das Seil - sich dadurch verkürzend - hindurchgleiten kann.

Die zauberhafte Wirkung und die Schwierigkeit, den Trick bei Kunststücken zu durchschauen, bei denen die Trägheit und die Reibung ausgenutzt werden, beruht u.a. darauf, daß etwas, mit dem man gar nicht rechnet, weil es entweder (wie im Falle der Trägheit) den Inbegriff der Ereignislosigkeit darstellt, oder (wie im Falle der Reibung) Ereignisse sogar zu verhindern sucht, plötzlich unerwartet in Erscheinung tritt und die Gesamtsituation dominiert. Es ist so, als werde der Kontext zum Text, der Hintergrund zum Objekt

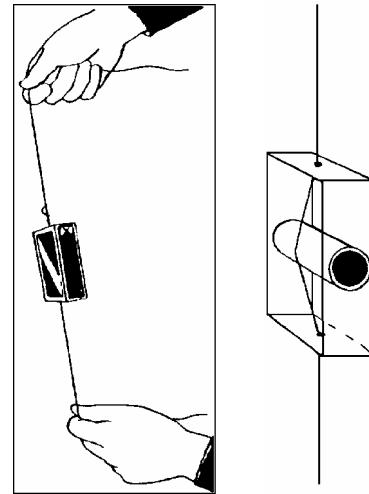


Bild 6: Durch Regelung der Spannung des Fadens läßt sich ein Wechsel zwischen Haften und Gleiten der Schachtel erreichen (links). Blick ins Innere der Schachtel (rechts).

## Literatur

- [1] Rabelais, Francois: Gargantua und Pantagruel. München: Hanser 1964, Bd. I., S. 240.
- [2] Tissandier, Gaston: Les récréations scientifiques ou l'enseignement par les jeux. Paris: Masson 1880, p. 40f.
- [3] Schlichting, H. Joachim: Die List der Trägheit. Naturwissenschaften im Unterricht- Physik 39/10, 16 (1991).
- [4] Schlichting, H. Joachim: Der trinkende Storch - eine Verdunstungskraftmaschine. Praxis der Naturwissenschaften - Physik 41/2, 22 (1992).