

Freihandversuche.

Probleme und Möglichkeiten experimenteller Minimalversuche.

H. Joachim Schlichting Universität GH Essen

Du bringst mir nichts bei, wenn du mir nicht etwas zu tun beibringst.

Paul Valéry,

Versuche - frei aus der Hand

Die Verwendung des Begriffs Freihandversuch ist nicht eindeutig. In einer sehr globalen Bedeutung werden darunter Versuche verstanden, die entweder ausschließlich mit Alltagsgegenständen durchgeführt werden oder solche, die nur zu qualitativen Ergebnissen führen. Im letzteren Fall können die Versuche entgegen der in dem Wort "Freihand" enthaltenen Bedeutung teilweise aufwendige und anspruchsvolle Bastel- und Konstruktionsarbeiten erforderlich machen. Für uns steht im folgenden im Vordergrund, daß die Freihandversuche ohne größeren experimentellen und organisatorischen Aufwand und mit leicht zugänglichen Materialien, also gewissermaßen frei aus der Hand durchgeführt werden können. Die Einschätzung der Bedeutung von Freihandversuchen ist ebenfalls nicht einhellig. Häufig werden Freihandversuche als Notbehelf, Lückenbüßer oder Spielerei im negativen Verständnis angesehen. Dementsprechend ist ihre Akzeptanz meiner Beobachtung nach nicht besonders ausgeprägt und ihre Verbreitung erstaunlich gering. Dies gilt insbesondere für den Physikunterricht an Gymnasien. Andererseits erfahre ich bei der Demonstration von Freihandversuchen insbesondere im Rahmen von Lehrerfortbildungsveranstaltungen meist eine erstaunlich große Aufgeschlossenheit und ein reges Interesse an praktischen Hinweisen zur Durchführung der Versuche. Vor diesem Hintergrund möchte ich versuchen, einige Anmerkungen zu den Möglichkeiten aber auch Grenzen von Freihandversuchen zu machen. Dabei beginne ich mit einer historischen Skizze, die erkennen läßt, daß die Einschätzung von Freiheitsversuchen stets ambivalent war.

Von Aristoteles bis Bernhard Schwalbe

Der Begriff Freihandversuch stammt von Bernhard Schwalbe, einem Berliner Gymnasialprofessor, der sich eine größere Sammlung von Versuchen zusammengestellt und im Unterricht erprobt hatte. Neben eigenen Experimenten griff er vor allem auf

Bücher über einfach durchzuführende Versuche zurück, die gegen Ende des letzten Jahrhunderts sehr stark verbreitet waren ([1]-[7]). Die Schwalbeschen Versuche wurden nach dessen Tod von Hermann Hahn gesichtet, systematisch geordnet und in drei Bänden publiziert (Bild 1)].

Trotz ihrer Blütezeit um die Jahrhundertwende sind

Physikalische Freihandversuche.

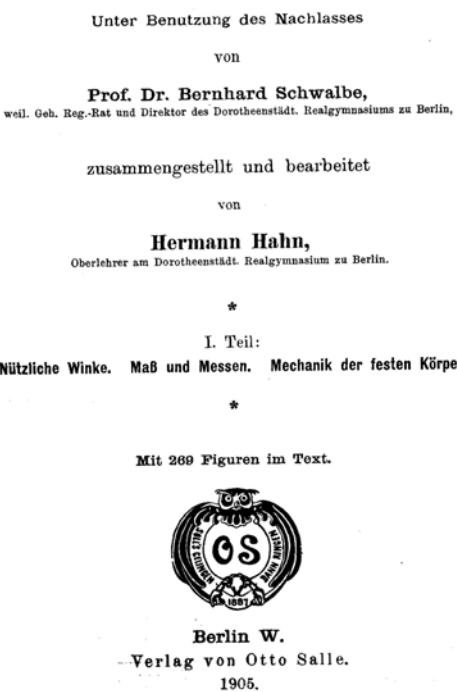


Bild 1: Titelblatt des 1. Bandes der Freihandversuche von Hahn

Freihandversuche keine Erfindung dieser Zeit. Es gab sie schon viel früher. Der Herausgeber der ältesten deutschen Sammlung von Freihandversuchen Daniel Schwenter weist bereits im Jahre 1636 dar-

auf hin, daß "Aristoteles, der scharfsinnige und weise mann, ... in seinen schrifften viel kindisches dings der demonstration halben (setzet), und dadurch zu höheren sachen verstand zu gelangen"[9]. Ihrer Möglichkeit entsprechend, durch einfache Handlungen Zuschauer beeindrucken zu können, haben Freihandversuche stets auch das Repertoire der Zauberkünstler und Gaukler bereichert, die vor allem im Mittelalter von einer Stadt zur anderen zogen, um die Menschen zu unterhalten. Wenn man alte Veröffentlichungen solcher "Zauberstücke" mit physikalischem Blick liest, kann man auch heute noch aus einem Wust merkwürdig erscheinender Beschreibungen interessante Versuche her vorholen (Bild 2).

Als Beispiel sei hier das Natürliche(s) Zauber= Buch Oder: Neu= eröffneter Spiel= Platz rarer Künste aus dem Jahre 1745 genannt [10]. Die Nachbarschaft zu unseriösen Zaubereien und ihre scheinbare Primitivität haben den Freihandversuchen von jeher Kritik eingebracht. Bereits Galileo Galilei, der dafür plädiert "die wahren Rätsel der

populären Grundsätzen erbaut seien." Demgegenüber läßt er seinen Salviati die Meinung vertreten, daß "die bewunderungswürdigste und schätzbarste Eigenschaft der demonstrativen Wissenschaften das Hervorquellen und Hervorkeimen aus ganz bekannten gemeinverständlichen und unbestrittenen Prinzipien sei" [11].

Auch Daniel Schwenter wehrt sich in der Vorrede zu seinen Mathematischen und philosophischen Erquickstunden gegen "Klüglinge und Lästerer", die "wie grobe Schwein darinnen wühln". Er fügt hinzu: "Letzlich wird es auch an diesem urtheil nit mangeln, daß nemlich viel schlechtes, bekantes und kindisches dings in diesem tractat, neme auch die leut nit wenig wunder, daß ich mit dergleichen kinderwerck umbgegangen. Waar ist's, es seynd viel saalbader und kindische spel in diesem werck, welch einig und allein wegen ihrer artlichen demonstration gesetzt. Viel dings practicirn die kinder und gemeine leut, derer demonstration so subtil und künstlich, daß auch die gelehrtestes philosophi selbige zu finden sich auffs eußerste bemühen müs-



Bild 2: Titelblatt eines „Zauberbuches“ aus dem Jahre 1745

Natur ...mit Überlegungen, Beobachtungen und Versuchen (zu lösen), die Jedermann zugänglich sind", mußte sich dagegen wehren, daß "seine Neuerungen gelegentlich gering geachtet (würden), weil sie gemeinplätzlig und auf gar zu niedrigen und

38. Ein gemeinses Trink-Glaß pfeiffend und tanzend zu machen.

Wann man ein gemeinses Wein-Glaß mit reinem und hellen Wasser anfüllt, den Zeiger-Finger damit benetzt, und also naß auf den Rand des Glases herum führet, wie aus beygehender Figur zu erssehen:



So wird man bald einen hellen Thon hören, gleich einem klingenden Metall, wovon das Wasser im Glaß dermassen beweget, daß es vor Lust zu tanzen und springen scheinet.

Dieses ist ein sehr gemeinses Experiment, und wird hin und wieder von denen Gästen auf Hochzeiten und Gastreien exerciret, welches auch um so viel lustiger fällt, als viele zugleich mit mehrer Gläsern solches öfter zu probiren pflegen.

Bild 3: Ein beliebter und bekannter Freihandversuch aus dem Zauberbuch des Jahres 1745.

sen. Nihil parvum nihil contemnendum. Es sey ein ding dem ansehn nach so gering als es immer wölle, soll man's doch nicht verachten, wie uns die alten weisen gelehret. Zum exempl, einen knaben ist nicht schwer, kugelrunde wasserbullen mit einem strohalm auß saiffenwasser auffzublasen, allein die ursach, warumb sie rund und nit einer andern figur, auch was solche eine geraume zeit erhalte und wi-

derumb zerbreche, kan kein gemeiner mann anzeigen. Ein physicus oder naturkündiger wird dazu erfordert. (...) So wird nun der günstige und aufrichtige leser mich nit schelten noch verdencken, daß ich bißweilen kinderpossen hierinnen einig und allein der ergötzlichkeit und demonstration oder beweiß halben vorgebracht..."[9, S. 5].

Später wandte sich Hermann Hahn gegen den "spießbürgerlichen Mittelschlag der Lehrer und Gelehrten", die den Freihandversuchen von jeher vol-

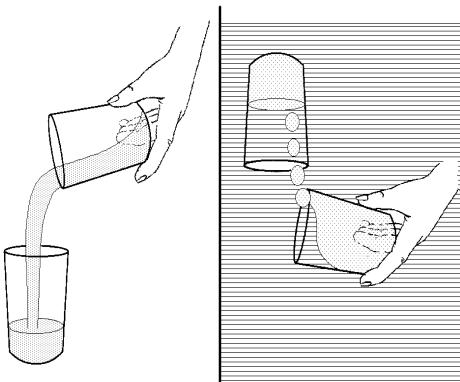


Bild 4: Die Luft verdrängt das Wasser ebenso aus dem Glas wie das Wasser die Luft

ler Bedenken und mit einer gewissen Abneigung gegenüberstanden. Er beruft sich demgegenüber auf die Autorität von "Pädagogen und Physikern ersten Ranges, (die) stets deren Bedeutung erkann-ten und sie durch Beiträge förderten, wie z.B. Aristoteles, Galilei, Helmholtz, Lord Kelvin, Maxwell, Rousseau und vor allen Faraday, der mehrfach bezeugt, welchen Einfluß solche Versuche in seiner Jugend auf ihn ausgeübt haben" [8, S. XI]. Merkwürdigerweise scheint aber auch Hahn trotz seines Engagements für die Freihandversuche in ihnen nur einen "Ersatz (und) vorläufigen Notbehelf für die üblichen physikalischen Schulversuche" zu sehen: "Jeder Lehrer muß daher bestrebt sein, sobald sein Können oder die ihm zur Verfügung stehenden Mittel es gestatten, zur Herstellung oder zum Ankauf von Dauerapparaten fortzuschreiten" [8, S. IX].

Diese Aussage scheint die Vorteile der Freihandversuche auf ihren pekuniären Aspekt zu beschränken. Zwar mögen um die Jahrhundertwende finanzielle Erwägungen bei der experimentellen Ausstattung von Physiksammlungen eine größere Bedeutung gehabt haben als heute. Sie sind aber als alleinige Rechtfertigung der Freihandversuche nicht ausreichend. Stellt man den Aufwand Hahns bei der Zusammenstellung der Freihandversuche in Rechnung, so ist nur schwer einzusehen, daß diese Einschränkung von ihm ernst gemeint sein kann.

Freihandversuche sind einfach

Einfach? Eindeutig und vollständig wahrnehmbar, vorstellbar.

Paul Valéry

Beginnt man mit dem für Freihandversuche in unserem Verständnis wesentlichen Aspekt der Einfachheit und damit der schnellen Verfügbarkeit, so zeigt sich hierin eine Überlegenheit gegenüber herkömmlichen physikalischen Experimenten. Während letztere im voraus geplant, unter mehr oder weniger großem Aufwand vorbereitet und getestet werden müssen, können Freihandversuche praktisch aus dem Stegreif zu jeder Zeit an jedem Ort (z.B. Klassenzimmer statt Physikraum) eingesetzt werden und daher auch in nicht geplanten Situationen zum Einsatz gebracht werden. Sie bieten damit die Möglichkeit, einen physikalischen Zusammenhang zu illustrieren und eine im Unterricht erarbeitete Idee experimentell zu untermauern, bevor die Motivation verpufft und der Anlaß des Experiments verblaßt ist.

Dazu ein Beispiel: In vielen physikalischen Argumentationen werden Flüssigkeiten und Gase als Fluide zusammengefaßt. So wird etwa die Lufthülle unserer Erde mit einer 10 m hohen Wasserschicht verglichen, um die Verletzbarkeit der Atmosphäre im Vergleich zum i.a. sehr viel tieferen Meer zu illustrieren. Es wird dabei häufig übersehen, daß diese aus rein physikalischen Erwägungen gerechtfertigte Identifizierung von den lebensweltlich denkenden Schülerinnen und Schülern nicht als besonders naheliegend und überzeugend empfunden wird. Denn, so pflegen Schülerinnen und Schüler zu argumentieren,

- Luft kann man atmen, von Luft lebt man; wenn man Wasser einatmet, stirbt man;
- - in Wasser kann man schwimmen, in Luft nicht;
- - Luft ist trocken und leicht, Wasser schwer und naß;
- - Wasser kann man gießen und umfüllen, Luft... auch!

Hier ist der Ansatzpunkt, die physikalische Sehweise mit Hilfe eines Freihandversuches zu motivieren. Die "Symmetrie" zwischen den Fluiden konsequent ausnutzend, gelingt es, genauso wie man Wasser in einer Luftumgebung umfüllen kann, Luft in einer Wasserumgebung umzufüllen (Bild 4), wenn man die Umkehrung der Schwerkraftsrichtung berücksichtigt [12]. Eine Diskussion des Unterschieds zwischen Common Sense und physikalischer Sehweise liegt im Zusammenhang mit dem verblüffenden Ergebnis dieses Versuches geradezu auf der Hand: Luft wird hier als etwas erfahren. Diese Ein-

sicht führt zu weiteren Fragen: Warum steigt Luft auf, wenn sie doch schwer ist? Sie tut es nur in einer dichten Umgebung, z.B. in Wasser oder in kalter Luft. Hier ist die physikalische Schweise zu entwickeln, daß leichtere Luft von schwereren Fluiden verdrängt und infolgedessen "hochgedrückt"



Bild 5: Die dampfgefüllte Getränkedose implodiert, sobald sie mit Wasser in Berührung kommt.

chen. Das Wasser bleibt nunmehr ohne Hilfsmittel "in der Schwebe".

Nach Bedarf lassen sich weitere Konsequenzen der physikalischen Schweise mit Hilfe von Freihandversuchen illustrieren, beispielsweise mit Hilfe des Luftdrucks Wasser und andere schwere Gegenstände in Bewegung zu setzen bzw. "arbeiten" zu lassen ([14, [15]]). Dabei möchte ich einen Versuch hervorheben (Bild 7), bei dem eine (durch Verdampfen einer geringen Wassermenge) mit Wasserdampf gefüllte Getränkedose durch schnelles Umstülpen mit der Öffnung in Wasser zur lautstarken Implosion gebracht wird [16]. Georg Christoph Lichtenberg hätte sein Vergnügen daran gehabt: "...in Collegiis über die Experimental- Physik muß man etwas spielen: der Schläfrige wird dadurch erweckt, und der wachende Vernünftige sieht Spielereien als Gelegenheiten an, die Sache unter einem neuen Ge-

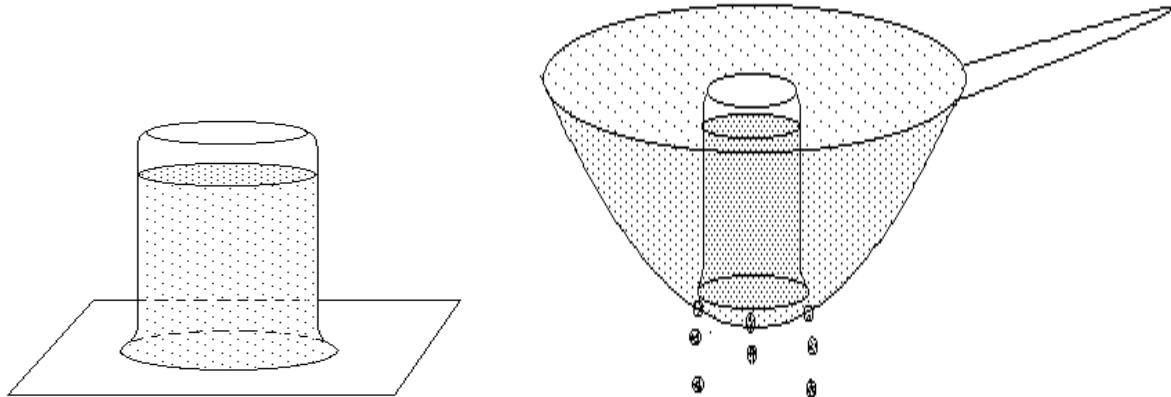


Bild 6: Man kann Wasser zum Schweben bringen, wenn man ein mit Wasser gefülltes Glas zuvor mit einer Postkarte abdeckt und umdreht (links). Selbst ein normales Haushaltssieb wird „wasserdicht“, wenn man es über ein gefülltes Wasser- glas stülpt und umdreht.

wird. Um dieses Ergebnis zu untermauern, bieten sich abermals einfach durchzuführende Freihandversuche an [13].

Zum Beispiel: Man deckelt ein wassergefülltes Glas mit einer Postkarte ab und dreht es um. Das verblüffende Ergebnis: Das Wasser schwebt (Bild 5). Nein, das können Schülerinnen und Schüler jetzt erkennen, es wird von der darüber lagernden schwereren Luftsicht hochgedrückt. Die Postkarte sorgt lediglich dafür, daß die instabile Grenzschicht zwischen Wasser und Luft nicht zu lokalen Austauschvorgängen zwischen beiden Fluiden führt. Auch diese Einsicht läßt sich mit Hilfe von Freihandversuchen motivieren und demonstrieren. Zunächst wird die Postkarte durch ein Haushaltssieb ersetzt. Jetzt sorgt die Oberflächenspannung der relativ kleinen Wasseroberflächen zwischen den Maschen des Siebes für eine entsprechende Stabilisierung. In einem weiteren Schritt nimmt man ein Gefäß mit einem Öffnungsquerschnitt von der Größe dieser Maschen, etwa ein Medizinfläsch-

sichtspunkt zu betrachten. Ew. Wohlgeborenen schöner und lehrreicher Versuch wird den Burschen gewiß besser gefallen, wenn ein paar Fensterscheiben dabei zu Grunde gehen [17]. Hinzu kommt die lerntheoretisch bedeutsame Erkenntnis, daß in einer aufregenden und gefühlssbetonten Situation Erfahrenes besser gelernt und behalten wird als in einer trockenen, sachlichen oder gar langweiligen Atmosphäre. (Dieser von Lehrenden i.a. viel zu wenig beachtete Befund ist kürzlich durch neurochemische Untersuchungen untermauert worden [18].

Da Freihandversuche in der Regel so weit wie möglich von technischen Raffinessen befreit sind, erweisen sie sich als besonders geeignet, die Besonderheiten der physikalischen Schweise erfahrbar zu machen. Uns war in mehreren Fällen aufgefallen, daß Schülerinnen und Schüler Versuche, die die Lehrenden für besonders eindrucksvoll und überzeugend hielten, oft dann relativ gleichgültig zur Kenntnis nahmen, wenn der technische Aufwand auffallend im Vordergrund stand.

Dazu ein Beispiel: Bei der Erarbeitung des freien Falls wurde der Einfluß der Luft auf das Bewegungsverhalten vor allem von "leichten" Gegenständen mit Hilfe des bekannten Versuchs demonstriert, in dem in einer mit Hilfe einer Vakuumpumpe evakuierten Röhre ein Papierschnipsel und eine Flaumfeder genauso schnell fallen wie ein Stück Blei oder Eisen. Die Schülerinnen und Schüler sahen darin ein Werk der Technik, mit der man bekanntlich alles möglich machen könne. Demgegenüber zeigten sie bei einem vergleichsweise wesentlich undeutlicher ausfallenden, aber mit der Hand durchgeföhrten Versuch reges Interesse und Erstaunen: Eine Milchflasche wurde dadurch evakuiert, daß man sie im Backofen erwärmt, luft-

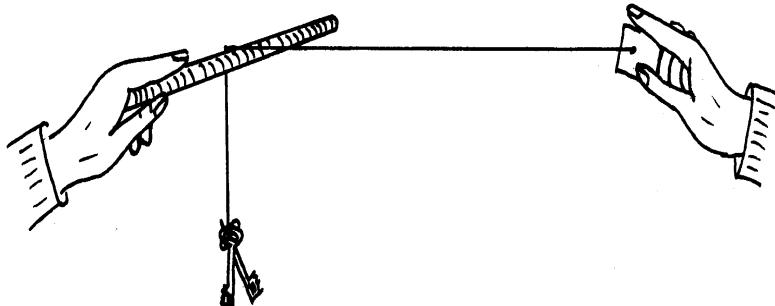


Bild 7: Mit der einen Hand hält man den Stab, mit der anderen das Ende des Fadens.

dicht verschloß und wieder auf Umgebungstemperatur abkühlen ließ. Vorher eingebrachte Löwenzahnsamen fielen beim Umdrehen der Flasche etwas langsamer als in einer unter normalem Luftdruck stehenden Vergleichsflasche, die gleichzeitig umgedreht wurde.

Probleme der Einfachheit

Der beste Beweis für Geist und Wissen ist Klarheit

Petrarca

Die das wissenschaftliche Experimentieren geradezu karikierende Einfachheit der Freihandversuche ist einer der immer wieder hervorgebrachten Einwände. Der Einwand läßt sich m.E. nicht so leicht und vor allem nicht mit Argumenten von der Hand weisen, wie sie Galilei vorgebracht hat (siehe oben).

In der Unterstellung Freihandversuche erlaubten es, die Physik unmittelbar aus der Lebenswelt hervorgehen zu lassen, ist ein auch heute noch weit verbreitetes Mißverständnis enthalten. Denn es wird auf diese Weise suggeriert, die physikalische Schweise sei gewissermaßen nur eine elaborierte Form des Common Sense, zu der man durch genaues Beobachten seiner Umwelt zwangsläufig gelangen müsse. Die Einsicht in die Diskrepanz zwi-

schen beiden Schweisen kann aber gerade konstitutiv für ein tieferes Verständnis des physikalischen Vorgehens sein [19].

Es gehört zum Kennzeichen der Freihandversuche, klar und deutlich in dem Sinne zu sein, daß sie wohl nicht einfacher konzipiert und durchgeführt werden können. Hinzu kommt, daß die Versuche mit bekannten und deshalb die Aufmerksamkeit nicht weiter bindenden Alltagsgegenständen durchgeführt werden. Damit ist aber nicht gesagt, daß alles Klare und Deutliche auch leicht verständlich im Sinne eines physikalischen Zugangs ist. Ein besonderer Reiz der Freihandversuche besteht gerade darin, die Schülerinnen und Schüler mit einem die Erwartung widersprechenden Ausgang zu überraschen und die lebensweltliche Intuition auf die Probe zu stellen. Demgegenüber hält sich die Überraschung bei komplizierten und technisch aufwendigeren Experimenten schon deshalb in Grenzen, weil hier die Experimentsituation in der Regel nicht unmittelbar durchschaut und eine indifferente Erwartungshaltung eingenommen wird. Hinzu kommt, daß man der Technik in diffuser Weise (fast) alles zutraut. Als typisches Beispiel sei der in Bild 7 dargestellte

Versuch genannt. Die Schülerinnen und Schüler sollen die in ihrer vermeintlichen Selbstverständlichkeit fast lächerlich erscheinende Vorhersage machen, was passiert, wenn man das (leichte) Streichholzheft losläßt, an das das Schüsselbund angebunden ist. Der Versuchsausgang [20] ist insofern doppelt überraschend, als er erstens die Erwartung enttäuscht, nach der das verhältnismäßig schwere Schüsselbund das Streichholzheft mit sich zu Boden zieht, dies aber zweitens auf unerwartete Weise zu Wege bringt. Man hatte einen Entweder - Oder- Versuchsausgang vorausgesetzt und sieht sich jetzt gewissermaßen mit dem tertium- datur einer völlig neuen Situation konfrontiert. Trotz der simplen Situation kommen physikalische Vorgänge ins Spiel kommen, an die man überhaupt nicht gedacht hatte: Trägheit, Drehung und Reibung. Indem man mit Hilfe vertrauter Alltagsgegenstände überraschende und unerwartete Phänomene hervorbringt, werden die ursprüngliche Selbstverständlichkeit der lebensweltlichen Situation aufgebrochen und Fragen aufgeworfen, die eine physikalische Perspektive eröffnen. Das macht intensive Unterrichtsgespräche erforderlich, in deren Verlauf vor allem die Besonderheiten der physikalischen Schweise zum Ausdruck kommen müssen. Das kann im einzelnen sehr aufwendig und anspruchsvoll sein.

Hinzu kommt ein weiteres Problem. Da in den Freihandversuchen in der Regel Alltagsgegenstände benutzt werden und keine künstlichen auf den in Frage stehenden physikalischen Zusammenhang hin präparierten und idealisierten Objekte, müssen häufig andere, für das Verständnis des demonstrierten Phänomens nicht auszuklammernde physikalische Sachverhalte diskutiert werden, die den Rahmen des jeweiligen Unterrichtsthemas überschreiten.

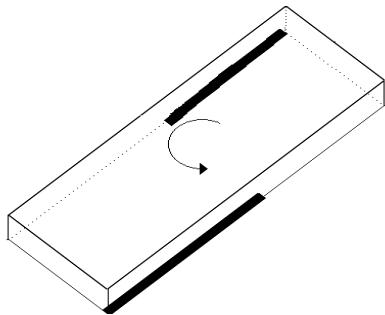


Bild 9: Durch einen nicht sichtbaren Symmetriebruch gerät der symmetrisch erscheinende Styroporquader auf der Wasseroberfläche in Drehung.

ten können. Bei der Erklärung der implodierenden Getränkendose kommt man beispielsweise um eine Diskussion der Rolle der Trägheit nicht umhin; beim gebremsten Fall wird man sich außerdem mit Problemen der Kreisbewegung und der Reibung befassen müssen. Dies muß jedoch nicht als Nach-

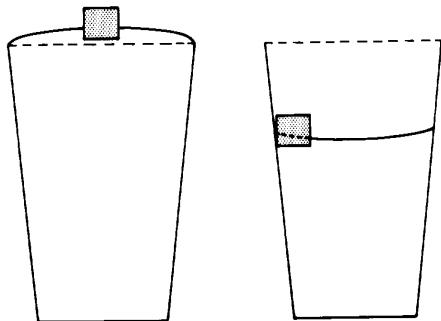


Bild 8: Je nach der Form der Wasseroberfläche bewegt sich der Korken zum Rand oder zur Mitte.

teil gesehen werden. Hier zeigt sich in einem einfach zu durchschauenden Kontext, daß die Realität i.a. nicht nach physikalischen Aspekten geordnet angetroffen wird.

Freihandversuche als Probierstein physikalischer Ideen

Es ist wahr, dieses Spiel ist ein Probierstein des Gehirns

Johann Wolfgang von Goethe

Freihandversuche erweisen sich immer dann als besonders wirkungsvoll, wenn es um die Erarbeitung und Bewährung allgemeiner physikalischer Ideen geht, bei denen quantitative Aspekte in den Hintergrund treten. Dazu zählen u.a. Invarianzprinzipien, wie die Erhaltung der Substanz und der Energie, Kausalitätsdenken, geometrische Prinzipien und Symmetrieargumente.

Letztere sollen hier kurz angesprochen werden. Symmetrievergleichungen gehen oft auf allgemeine Erfahrungen zurück, auf denen entsprechende physikalische Prinzipien beruhen. Bei Galileis berühmten Gedankenexperimenten werden oft Symmetrien vorausgesetzt, die so selbstverständlich erscheinen, daß man sich ihrer gar nicht bewußt wird.

Bringt man (siehe oben) Luft in Wasser ein, so wird die Symmetrie der näherungsweise als homogen angenommenen Wasserschicht gebrochen. Mit dem Aufsteigen der Luft stellt sich eine Schichtung unterschiedlicher Dichte mit geringerer Symmetrie ein. Darin ist der dazu "symmetrische" Vorgang des Absinkens von Wasser in Luft gestaltmäßig enthalten. Das Umgießen von Luft in wäßriger Umgebung läßt sich dieser Sicht unterordnen.

Umgekehrt wird man aus scheinbar spontan auftretenden Vorgängen auf einen wie im konkreten Fall auch immer gearteten Symmetriebruch als Ursache schließen. Dazu ein Beispiel:

Ein äußerlich symmetrischer Styroporquader wird auf Wasser gelegt und beginnt, sich zu drehen (Bild 8). So abenteuerlich die von Schülerinnen und Schülern angesichts dieses Versuches ins Spiel gebrachten Vermutungen auch sein mögen, sie laufen meistens auf die Suche nach Symmetriebrüchen hinaus. In einem Fall bestand eine Schülerin darauf, daß Styropor als produktionsbedingt inhomogen anzunehmen. Diese Vermutung ist insofern interessant, als sie - ohne daß ein konkreter Mechanismus angegeben werden konnte, dahinter eine im Prinzip korrekte Idee zu sehen ist. Tatsächlich lag der die Drehbewegung auslösende Symmetriebruch nicht in der "Unsymmetrie" des Materials, sondern darin, daß flüssige Seife in unsymmetrischer Weise an dem Styroporblock angebracht wurde. Durch die Berührung der Seife mit dem Wasser konnte diese sich auflösen und auf der Wasseroberfläche ausbreiten, wodurch auf den Block ein Drehmoment ausgeübt und eine Drehung hervorgerufen wurde.

Auch in dem folgenden Freihandversuch spielen

Symmetrieüberlegungen bei der Deutung des Phänomens eine wesentliche Rolle[21]: Auf zwei mit Wasser gefüllten Gläsern verhält sich ein Stück Kork oder Styropor unterschiedlich. Auf dem einen bewegt sich der schwimmende Körper zur Mitte auf dem anderen zum Rand. Der Symmetriebruch der zu den verschiedenen Verhaltensweisen führt, kommt durch die geringfügig - und daher kaum wahrnehmbare - unterschiedliche Füllhöhe des Wassers in den beiden Gläsern zustande (Bild 9).

Während die Oberfläche eines nicht ganz gefüllten Glases aufgrund der Benetzung der Glaswand nicht ganz eben, sondern ein wenig konkav gekrümmmt ist, nimmt sie eine leicht konvexe Form an, sobald die Füllhöhe den Rand des Glases übersteigt. Hat man dies einmal erkannt, so wird man vielleicht an eine zu dieser Situation "symmetrische" erinnert, nämlich an eine auf einem konvexen oder konkaven Uhrglas zur Mitte oder zum Rand rollende Kugel. Allerdings geraten die Schülerinnen und Schüler leicht in ein Aporie: Die Kugeln verhalten sich gerade umgekehrt wie der Kork auf der Wasseroberfläche. Wenn sie allerdings durch den obigen Versuch des Umgießens von Luft erfahren haben, daß sich im Falle der Umkehr des Dichteverhältnisses von Medium und Körper der Körper entgegen gesetzt zur Schwerkraft bewegt, überwinden sie diese Aporie erfahrungsgemäß relativ schnell. Dadurch wird das Problem gelöst, ohne konkrete physikalischen Mechanismen durchschauen zu müssen.

Freihandversuche zur Rekonstruktion von Alltagsphänomenen

Alltagsphänomene sind meist so selbstverständlich, daß sie erst zu einem Phänomen im Sinne einer auffälligen Tatsache gemacht werden müssen. Als Beispiel eines Naturphänomens seien hier die Sonnenalster genannt, die trotz ihres häufigen Vorkommens meist übersehen werden. Aber selbst wenn Schülerinnen und Schüler auf sie aufmerksam gemacht werden, halten sie oft an der Ansicht fest, daß die runden Lichtflecken zufällig durch passende Blattlücken gebildet werden. Ein einfacher Freihandversuch überzeugt ohne viele Worte. Dabei werden verschiedene Lichtquellen mit Hilfe von Schablonen aus Pappe, die mit Pergamentpapier überklebt werden hergestellt und mit einem Diaprojektor zum Leuchten gebracht. Beliebig geformte Löcher in den Strahlengang dieser Lichtquellen gehalten (z.B. die gekreuzten Finger beider Hände) erzeugen Lichtflecken von der Form der Lichtquelle: Halbmonde, Kreuze, Dreiecke (Bild 10). Es zeigt sich, daß erst ein solches Experiment die Motivation zu einer geometrischen Erklärung hervor bringt [22].

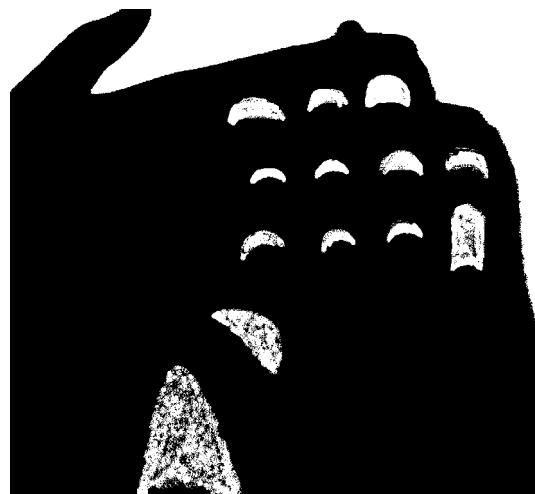


Bild 10: Eine halbmondfrmige Lichtquelle ruft bei gekreuzten Fingern halbmondfrmige Lichtflecken hervor.

Als Beispiel eines Alltagsphänomens seien merkwürdige Reflexe von Fensterscheiben auf der gegenüberliegenden Häuserwand erwähnt (Bild 11). Auch hier kann mit Hilfe eines einfachen Nachbaus einer Doppelscheibe das Phänomen experimentell



Bild 11: Typischer Reflex einer bestrahlten Doppelglas scheibe.

nachgestellt und nach eigenen Vorstellungen variiert werden. Man bestrahlt eine aus Plexiglas zusammengeklebte Doppelscheibe z.B. mit einem Diaprojektor und variiert durch Hineinblasen oder Heraussaugen von Luft (über einen dazu angebrachten Schlauch) den Luftinnendruck. Den damit

bewirkten Formänderungen der Scheibe entsprechend kann man die beobachteten Lichtreflexe hervorbringen [23].

Manchmal reduziert sich ein Freihandversuch auf die passende Verwendung von Alltagsmaterialien. Das bekannte Phänomen des durch kleine Wassertropfchen im feuchten Gras hervorgebrachten Phänomens des Heiligenscheins, das den Schatten des Kopfes im Lichte der tiefstehenden Sonne umgibt, läßt sich durch eine einfache Demonstration ins Klassenzimmer holen. Eine farblose Glasmurmel, die man auf ein Stückchen Pappe geklebt hat an den Rand des Kopfschattens gehalten erstrahlt umso heller, je näher man sie an heranführt.

Freihandversuche machen Spaß

Der Gegensatz zu Spiel ist nicht Ernst, sondern - Wirklichkeit

Sigmund Freud

Wie bereits erwähnt, sind Freihandversuche nicht unumstritten. Neben der Primitivität wird ihnen häufig die mangelnde Ernsthaftigkeit vorgeworfen, die vor allem durch den oft spielerischen Charakter der Versuche vermittelt wird. Das Spielerische und Zwanglose scheinen in manchen Köpfen gegen die Würde und Seriosität der Wissenschaften zu verstößen. Dahinter mag die Ansicht stehen, daß wissenschaftliche Aktivitäten diszipliniert, methodisch und regelgeleitet zu erfolgen haben.

Andererseits weiß man aber auch, daß insbesondere dann, wenn es um die Erarbeitung neuer physikalischer Einsichten und die Ausbildung einer physikalischen Schweise geht, gerade intuitive, teilweise unlogische Kombinationen von Fakten, Schlußfolgerungen und Analogieschlüsse einbeziehende Denkweisen eine wesentliche Rolle spielen. Dabei können gerade spielerische Aktivitäten sowohl in experimenteller als auch theoretischer Hinsicht von großer Bedeutung sein. Darüber hinaus sollte die im Spielerischen enthaltene Motivation für den Physikunterricht nicht unterschätzt werden: "Aber was heißt denn bloßes Spiel, nachdem wir wissen, daß unter allen Zuständen des Menschen gerade das Spiel und nur das Spiel es ist, was ihn vollständig macht und seine doppelte Natur auf einmal entfaltet? [24].

In vielen Fällen bietet es sich an, ein Spiel zum Ausgangspunkt einer physikalischen Lernsituation zu wählen. Im folgenden Beispiel wird ein Problem als eine Art Zauberstück präsentiert [25], dessen physikalische Erklärung zwar auf eine Entzauberung hinausläuft. Das Bewußtsein, das Kunststück zu beherrschen und zu durchschauen, kommt aber gelegentlich einer Wiederverzauberung gleich. Den Schülerinnen und Schülern wird

eine Streichholzschachtel präsentiert, die auf Kommando an einem Faden haften oder hinabgleiten kann (Bild 10 links). Erst wenn ihnen klar geworden ist, daß das Haften und Gleiten durch Straffung oder Lockerung des Fadens bewirkt wird, können Erklärungsversuche einsetzen, die Erfolg versprechend sind. Dabei ist es für mich immer wieder erstaunlich, wie komplex und abwegig, aber auch wie erfinderisch und kreativ die Vermutungen ausfallen. Der schließlich erfolgende Blick in die "Black Box" wird in der Regel als ernüchternd und faszinierend zugleich empfunden (Bild 12 rechts). Die in keiner Weise mit der vermuteten Komplexität korrespondierende Einfachheit des Mechanismus kann jedoch als experimenteller Ausdruck der physikalischen Einfachheit und damit als Merkmal der physikalischen Schweise erfahren werden.

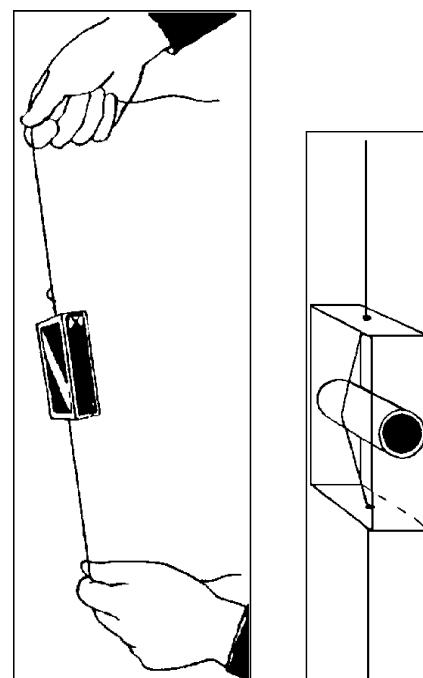


Bild 12: Durch Regelung der Spannung des Fadens läßt sich ein Wechsel zwischen Haften und Gleiten der Schachtel erreichen (links). Blick ins Innere der Dose (rechts).

Freihandversuche sind qualitativ

Quantität ist nur eine Eigenschaft der Qualität

Paul Watzlawick

Freihandversuche erlauben in der Regel nur qualitative Erklärungen. Hier haben sie ihre Stärke aber auch ihre Grenze. Immer dann, wenn quantitative Messungen oder auch nur Abschätzungen für die Erklärung eines physikalischen Zusammenhangs erforderlich sind, reichen Freihandversuche nicht mehr aus. Ob dies in einer

mehr aus. Ob dies in einer gegebenen Situation der Fall ist, kann beispielsweise dadurch zum Ausdruck kommen, daß zwischen alternativen Erklärungen mit qualitativen Argumenten nicht entschieden werden kann. Der bekannte Kerzenversuch, bei dem z.B. eine brennende Schwimmkerze unter einer "Glashaube" gebracht wird (Bild 13), infolgedessen erlischt und einen Anstieg des Wassers unter der Haube bewirkt, kann auf mehrfache Weise erklärt werden. Dabei kann erst aufgrund einer quantitativen Abschätzung eine Entscheidung herbeigeführt

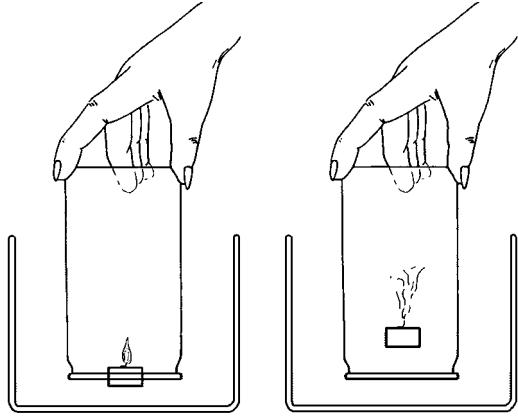


Bild 13: Nachdem man das Glas über die Kerze gestülpt hat, beginnt der Wasserspiegel im Innern des Glases zu steigen.

werden [26].

Aber auch in solchen Fällen werden Freihandversuche nicht sinnlos oder überflüssig. Sie weisen insofern über sich selbst hinaus, als in Form der Alternativen, die quantitativ abzuschätzenden Sachverhalte und entsprechende Versuche nahegelegt und vorbereitet werden.

Fazit: Das Reale muß inszeniert werden

Ich habe versucht, einige aus meiner Sicht wesentliche Aspekte der Bedeutung von Freihandversuchen für den Physikunterricht darzustellen und anhand von Beispielen zu illustrieren. Als besonderer Vorteil erweist sich die Benutzung einfacher, vertrauter Gegenstände, die es gestatten, ohne großen Aufwand schnell zum Kern eines physikalischen Problem vorzudringen, ohne daß die Aufmerksamkeit durch die Komplexität einer Apparatur oder die Unanschaulichkeit einer theoretischen Darstellung gebunden wird. Der zu demonstrierende Sachverhalt tritt umso unerwarteter auf, je vertrauter die Situation dank der bekannten Alltagsgegenstände erscheint. Unserer Erfahrung nach fühlen sich Schülerinnen und Schüler auf diese Weise

eher angesprochen und zu einer Problemlösung aufgefordert als in Situationen, in denen unbekannte und undurchschaubar bleibende technische Geräte im Vordergrund stehen. Nicht selten konnten wir feststellen, daß sie angeregt und ermutigt wurden, die Versuche außerhalb des Unterrichts nachzumachen, um den jeweiligen Effekt selbst hervorzubringen, vielleicht aber auch, um das eigene Können unter Beweis zu stellen. Denn: "Für das eigene Können gibt es nur einen Beweis, das Tun" (Marie von Ebner- Eschenbach).

Indem die Schülerinnen und Schüler bei der Durchführung von Freihandversuchen auf unmittelbare Weise erfahren, daß deren Gelingen vor allem von der Kenntnis des "Tricks" und dem Vermögen, ihn auszuführen, abhängt, kann ein typischer Aspekt physikalischen Vorgehens bewußt gemacht werden. Die Welt physikalisch zu sehen heißt nicht, sie passiv anzuschauen, sondern aktiv einzugreifen nach einem Plan, den man vorher entwerfen und umsetzen können muß. Das Reale muß inszeniert werden, damit es den physikalischen Blick freigibt. Da die Freihandversuche im Unterschied zu vielen physikalischen Experimenten von den Schülerinnen und Schülern selbst durchgeführt werden können, sind sie geeignet einer weiteren Gefahr vorzubeugen. Der Versuchung, sich der materiellen Beschränkungen und nicht selten widerspenstigen Körperlichkeit des Realen durch eine Flucht in die Virtualität von Computersimulationen zu entziehen, kann man nur dadurch begegnen, daß besonders einfache und stets zugängliche Versuche bekannt gemacht werden, die außerdem gerade die Auseinandersetzung mit der physischen Beschaffenheit der Welt als wesentlich erfahrbar machen. So gesehen verleihen Freihandversuche dem Denken die für eine realistische Einschätzung des physikalisch Möglichen nötige Bodenhaftung.

Zum Schluß möchte ich auf folgendes Problem hinweisen. Die Beschreibungen von Freihandversuchen fallen meist sehr spärlich aus (siehe z.B. [1]- [8], sowie z.Zt. erhältlich [27] [29]). Physikalische Erklärungen werden oft nur in Andeutungen vorgenommen, so als ob der Einfachheit der Versuchsdurchführung auch eine Einfachheit der Erklärung entspräche. Daß gerade die einfachsten Freihandversuche sehr voraussetzungsvoll sind und ausführlich diskutiert werden müssen, habe ich versucht darzustellen. So gesehen könnte eine weitere Verbreitung und eine größere Akzeptanz der Freihandversuche durch ausführlichere Beschreibungen sowie problemorientierte Diskussionen der schulischen Einsatzmöglichkeiten gefördert werden.

Literatur:

- [1] Tissandier, G.: Les Récréations Scientifique ou l'Enseignement par les Jeux. Paris: Masson 1879
- [2] Donath, B.: Physikalisches Spielbuch für die Jugend. Braunschweig: Vieweg 1902
- [3] Emsmann, H., Dammer, O.: Des deutschen Knaben Experimentierbuch. Bielefeld und Leipzig: Velhagen & Klasing 1894
- [4] Rosenberg, Experimentbuch für den Unterricht in der Naturlehre Band I u. II: Wien und Leipzig: Alfred Hölder 1908
- [5] Neuburger, Albert: Ergötzliches Experimentierbuch. Berlin und Wien: Ullstein 1911.
- [6] Neuberger, A.: Heitere Wissenschaft. Berlin: Ullstein 1923.
- [7] Good, A. (Tit, Tom): La Science Amusante Série I, II et III.: Paris: Larousse 1890, 1892, 1893.
- [8] Hahn, H.: Physikalische Freihandversuch Band I, II u. III. Berlin: Otto Salle 1905 - 1912.
- [9] Schwenter, D.: Mathematische und philosophische Erquickstunden. Nürnberg 1636, S.5.
- [10] Stein, Joh. A., Raspe, G. N.: Natürliche(s) Zauber= Buch Oder: Neu= eröffneter Spiel= Platz rarer Künste. Nürnberg 1745.
- [11] Galileo, G.: Unterredungen und mathematische Demonstrationen.über zwei neue Wissenszweige, die Mechanik und die Fallgesetze betreffend. Darmstadt: Wissenschaftl. Buchgesellschaft 1973, S. 77.
- [12] Schlichting, H.J.: Leere - nichts als Luft. Von der Wahrnehmung der Luft als physikalisches System. Praxis der Naturwissenschaften- Physik 43/4, 18 (1994).
- [13] Schlichting, H.J.: Spiel mit den Elementen: Wasser und Luft in Freihandexperimenten. Praxis der Naturwissenschaften - Physik 41/2, 27 (1992).
- [14] Schlichting, H.J.: Lastentransport im Limonadenglas . Naturwissenschaften im Unterricht - Physik 39/10, 14 (1991)
- [15] Schlichting, H.J.: Wenn Luft Druck macht... Freihandversuche zum Thema: Luftdruck. Naturwissenschaften im Unterricht- Physik 38/5, 39 (1990)
- [16] Schlichting, H.J.: Implodierende Getränkedose. Naturwissenschaften im Unterricht - Physik 39/10, 18 (1991)
- [17] Lichtenberg, G.C.: Schriften und Briefe IV, München: Hanser 1967, S. 439
- [18] Cahill, L., Prins, B, Weber, M., McGaugh, J.L.: Nature 371, 702 (1994)
- [19] Schlichting, H.J.: Physik - eine Perspektive der Realität. Probleme des Physikunterrichts. Physik in der Schule 34/9, 283- 288 und 34/10, 339- 342 (1996)
- [20] Schlichting, H.J.: Der gebremste Fall. Eine physikalische Entzauberung. Physik in der Schule 31/10, 342, (1993)
- [21] Schlichting, H.J.: Der "bergsteigende" Korken. Praxis der Naturwissenschaften - Physik 41/3, 45 (1992)
- [22] Schlichting, H.J.: Sonnentaler - Abbilder der Sonne. Praxis der Naturwissenschaften Praxis der Naturwissenschaften - Physik 43/4, 19 (1994), sowie: Sonnentaler fallen nicht vom Himmel. Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht 48/4, 199 - 207 (1995).
- [23] Schlichting, H. J., Nordmeier, V.: Alltägliche Reflexionen. Physik in der Schule 35 (1997); im Druck.
- [24] Schiller, F.: Über die ästhetische Erziehung des Menschen, S. 616.
- [25] Backhaus, U., Schlichting, H.J., Schön, L.: Physikbuch 7/8. Ein Lehr- und Arbeitsbuch für Real- und Gesamtschulen. Nordrhein - Westfalens. Frankfurt am Main: Diesertweg 1995, S. 47.
- [26] Schlichting, H.J.: Die Kerzenpumpe. Praxis der Naturwissenschaften- Physik 43/4, 12 (1994).
- [27] Zeier, E.: Physikalische Freihandversuche. Kleine Experimente. Köln: Aulis 1985
- [28] Treitz, N.: Spiele mit Physik. Thun u. Frankfurt a.M. 1983
- [29] Goldstein- Jackson, K.: Experimente- spielend leicht. Freiburg: Herder: 1978..