

# Low Cost/High Tech – moderne Freihandversuche für den Physikunterricht

B. Eckert und H.-J. Jodl

In den letzten Jahren haben viele neue Materialien und neue technische Geräte Einzug gehalten in den Alltag und Gebrauch von Schülern und Schülerinnen (zum Beispiel CD, Handy, Fernbedienung). Demgegenüber besteht ein Defizit an experimentell-methodischer Aufbereitung, was einerseits einen möglichst breiten Einsatz derartiger neuer Materialien und Geräte im Unterricht betrifft, und was andererseits eine möglichst einfache und kostengünstige Realisierung angeht. Das Ziel des vorliegenden Artikels ist es,

Experimente aus dem Bereich High Tech, die sich als Low-Cost-Experimente durchführen lassen, exemplarisch vorzustellen und in die Reihe der klassischen Freihandversuche einzuordnen.

Zum Thema Freihandversuche und Behandlung von Alltagsgegenständen im Rahmen des Physikunterrichts, wie zum Beispiel Spielzeug, existieren etwa 40 Bücher, die zum Teil als Sammlung von Experimenten angelegt sind. Von diesen Werken sind zur Zeit nur noch etwa die Hälfte im Handel (z. B. [1–14]). Viele (Größenordnung 1000) Anregungen zu Experimenten finden sich darüber hinaus in deutsch- und englischsprachigen fachdidaktischen Zeitschriften, allerdings unsystematisch und verstreut.

Der Physikunterricht in der Schule nimmt in der Beliebtheitsskala von Schülern und

Schülerinnen einen der letzten Plätze ein [15–18]. Erfahrungsgemäß werden folgende Gründe dafür genannt: „zerrechnete“ Physik, fehlender Alltagsbezug, zu wenige Experimente (vor allem Schüler- und Schülerinnen-Versuche) und zu viel „Kreide“-Physik.

Unsere Ansatzpunkte sind daher: Berücksichtigung des Alltagsbezugs und des Erfahrungsbereichs von Schülern und Schülerinnen, möglichst breiter methodischer Einsatzbereich, es sollen möglichst einfache Mittel (zum Beispiel aus dem Haushalt oder der Schulsammlung) eingesetzt werden können.

Diese Überlegungen resultieren a) in der Aufbereitung und Weiterentwicklung bestehender „alter“ Freihandversuche und b) in der Neuentwicklung von High-Tech-Versuchen, wobei für den Physikunterricht neue Materialien (zum Beispiel Teflon, Klettverschluss, Goretex) und moderne Geräte aus

StR Bodo Eckert, Prof. Dr. Hans-Jörg Jodl, Fachbereich Physik, Universität Kaiserslautern, Erwin Schrödinger Str., D-67663 Kaiserslautern

## Neue Techniken

- Piezo-Zünder
- Piezo-Lautsprecher
- Elektrostatische Lautsprecher (singende Postkarten)
- Füllstandanzeige
- CD
- Blitzlicht
- Computermaus
- Joystick
- Metalldetektor
- Dehnungsmeßstreifen
- Magnetkarten
- Taschenrechner
- Thermometer elektrisch
- IR-Strahlung
- Falschgeldleser
- Weihnachtskerzen
- LED
- LCD
- Laserpointer

- Werkzeuge
- magnetische Werkzeuge
- Glasschneider
- Airbag
- Fahrradacho
- Thermostat (Bimetall)
- elektrische Zahnbürste
- Münzsortierer
- Handy
- Mikrowelle
- Küchengeräte
- Pyrometer (Toaster)
- Autofocuskamera
- CD-Walkman
- IR-Fernbedienung (TV)
- Unterschriftenleser
- Barcodeleser
- Funkuhr
- Kopierer
- Xerox-Prinzip
- thermostatisch
- Touchscreen

- Müllsortierung
- Sensortasten
- ABS
- Zentralverriegelung
- Autoreifen
- Winter-/Sommerreifen
- asymmetrische Reifen
- Sicherheitsplakette
- Geldautomat
- Ultraschallbad
- Tonkopf
- Radarpistolen / -detektoren
- Chip-Karte
- Blutdruckmeßgerät (elektrisch)
- Einbruchsicherungen
- IR-Bewegungsmelder
- magnetisch
- akustisch

## Neue Materialien

- Baumaterial
- Glasfaser
- Verpackungs-/Isoliermaterial (Popcorn-Holzwohle)
- Alu-Büchsen
- Dämmmaterial
- akustisch
- thermisch
- Gläser, Brillen
- verspiegelt/entspiegelt
- vergütet
- phototrope Gläser
- Kontaktlinsen
- Polarisationsfolie
- Kaugummipapier/Alufole
- Isolierkabel
- Flüssigkristalle
- Klettverschluss
- Memory-Metalle
- 2-3-fach Glasfenster
- magnetische Flüssigkeiten

- High-Tc-Supraleiter
- Gore-Tex/Sympatex
- Edelsteine
- Lavalampe
- Zauberfolie
- Silvesterknaller
- IR-Sensorfolie
- Katalysator
- Mix-Drinks / Cocktails
- Hochsprungstäbe
- Keramiken
- Textmarker / Schwarzlicht-Farben
- Rasierklinge
- Metallbeschichtung
- Magnetoelastisches Material

## Themen für moderne Freihandversuche

dem Alltag (zum Beispiel elektrische Zahnbürste, CD, Handy) Verwendung finden, die einfach und kostengünstig zu beschaffen sind (Low Cost).

In dem Kasten „Der Airbag“ soll ein Beispiel von neu entwickelten Low Cost-High Tech-Experimenten vorgestellt werden. Die Beschreibungen umfassen typisch zwei Seiten und sind nach einem Standardschema aufgebaut. In einer Kopfzeile finden sich Informationen zum Einsatzbereich, zum theoretischen und praktischen Anforderungsniveau und zur erforderlichen Vorbereitungs- und Durchführungszeit.

**Tabelle**

Aus den Themenkreisen der Tabelle sind zur Zeit etwa vierzig Versuche im Rahmen von Staatsexamensarbeiten [19–22] entsprechend der Beispiele aufbereitet. Weitere zwanzig Versuche werden jeweils in einem fachdidaktischen Seminar pro Semester von Lehramtstudenten und -studentinnen bear-

beitet. Ein Großteil dieser Versuche wird in naher Zukunft in Buchform erscheinen [23].

Mit dieser Art von Versuchen wollen wir eine bestehende Lücke schließen: Einerseits wollen wir den Lehrern und Lehrerinnen eine Zusammenstellung von gut dokumentierten und funktionierenden Low Cost/High Tech-Experimenten an die Hand geben. Andererseits wollen wir damit eine bekannte Methode für den Physikunterricht [24] inhaltlich aktualisieren: Bisher besteht die typische Vorgehensweise darin, vom physikalischen Phänomen in einer „akademischen“ Weise auszugehen (beispielsweise Demonstration der elektromagnetischen Induktion mittels Spule, Magnet und Drehspulinstrument) und dann auf die Anwendung im Alltag hinzuweisen. Die umgekehrte Vorgehensweise, beginnend mit einem den Schülern und Schülerinnen vertrauten Alltagsgerät (zum Beispiel dem Fahrradacho) und hinführend zum zugrundeliegenden physikalischen Prinzip, schafft mehr Motivation und läßt die Grundfrage von Schülern und

Schülerinnen „Wozu lerne ich Physik?“ gar nicht erst aufkommen.

Neben grundlegenden Lernzielen, die sich auf physikalische Inhalte beziehen, lassen sich mit Hilfe von Low Cost/High Tech-Freihandversuchen wichtige übergeordnete Lernziele und Schlüsselqualifikationen realisieren: z. B. pragmatischer und verantwortungsbewußter Umgang mit und physikalisches Verständnis für neue Materialien und Techniken, Methodenkompetenz usw. Dies wird in einem ausführlichen Artikel [25] näher ausgeführt.

Nähere Informationen sind bei Prof. Dr. H. J. Jodl unter der angegebenen Adresse und im Internet ([http://www.physik.uni-kl.de/w\\_jodl/lc-ht.html](http://www.physik.uni-kl.de/w_jodl/lc-ht.html)) erhältlich.

**Literatur**

[1] J. Walker, *Der fliegende Zirkus der Physik*, Oldenbourg, München 1977 (Neuauf. 1996).

**Der Airbag**

| Klassenstufe | Oberthemen           | Unterthemen                  | Anforderungsniveau | Durchführungsniveau | Vorlauf  | Vorbereitung | Durchführung |
|--------------|----------------------|------------------------------|--------------------|---------------------|----------|--------------|--------------|
| SI/S II      | Mechanik<br>Elektrik | Inelast. Stoß<br>Piezoeffekt | ●●                 | ■                   | 1 Stunde | 10 min       | 10 min       |

**Die Funktionsweise des Airbagsensors (Auslösemechanismus) soll simuliert werden.**

*Materialien*

- Piezokristall (Seignette-Kristall, z. B. von Leybold)
- Wägelchen (selbstgebaut aus Märklinbaukasten)
- Holzbrett (1 m lang, 20 cm breit)
- Rolle mit Halterung
- 4V-Glühlampe mit Fassung
- Gleichstromverstärker
- 1 m Schnur
- 10 cm Schnur
- Holzklotz mit Schaumstoff
- 2 Kabel (200 cm)
- 2 Kabel (50 cm)
- Metermaßstab

*Vorbereitung*

Die durch kurzes, aber festes Drücken des Piezokristalls erzeugte Spannung muß zunächst verstärkt werden, damit die Glühlampe zum Leuchten gebracht werden kann.

Auf das Wägelchen schraubt man mit Bauteilen aus dem Märklinbaukasten eine Halterung, an der man die Stahlkugel aufhängen kann. Bevor man nun den Piezokristall auf dem Wägelchen über den Verstärker mit der Glühlampe verbindet, klebt man das Kästchen mit dem Piezokristall so auf das Wägelchen, daß es ungefähr einen Abstand von 0,5 cm zur Kugel hat. Die Kugel sollte nun so positioniert werden, daß sie bei einer Auslenkung genau das Ende des Kristalls trifft. Danach verklebt man die beiden 2 m langen Kabel zwischen Piezokristall und Verstärker zu einem Strang, damit sie später nicht hinderlich sind.

Das Holzbrett ist in 10 cm Schritte einzuteilen, das Aufbringen der Skalierung geschieht mittels kurzer Klebestreifen. An einem Ende wird der mit Schaumstoff beklebte Holzklotz positioniert, der nun als Aufprallkörper dient.

Der Wagen selbst wird von einem Massestück (100 g) gezogen. Diese Masse wird mit einer Schnur über eine Rolle am Wägelchen befestigt, so daß dieser von der Gewichtskraft beschleunigt wird.

- [2] S. Schwandt, A. Barthel, *Tolle Experimente mit Pfliff*, Benziger Edition im Aula Verlag, Würzburg 1994 (2. Aufl.).
- [3] H.-J. Press, *Spiel das Wissen schafft*, Ravensburger Buchverlag, 1995.
- [4] J. Wittmann, *Trickkiste 1 und 2 – Experimente, wie sie nicht im Physikbuch stehen*, Bayerischer Schulbuchverlag, München, 1983 und 1993.
- [5] J. Teichmann, F. Fraunberger, *Das Experiment in der Physik, Facetten der Physik*, Vieweg, 1984.
- [6] W. Bürgler, *Der paradoxe Eierkocher – Physikalische Spielereien aus Professor Bürgers Kabinett*, Birkhäuser, Basel 1995.
- [7] E. Zeier, *Kurzweil durch Physik*, Aulis Verlag Deubner, Köln 1984 (2. Aufl.).
- [8] E. Zeier, *Physikalische Freihandversuche – Kleine Experimente*, Aulis Verlag Deubner, Köln 1994 (3. Aufl.).
- [9] G. Oberdorfer, *Das springende Ei und andere Experimente für die fünf Sinne*, Zytglogge Verl., Bonn 1991.
- [10] N. Treitz, *Spiele mit Physik, ein Buch zum basteln, probieren und verstehen*, Verl. Harri Deutsch, Frankfurt a. M. 1994.
- [11] U. Runge, H. Melenk, *Verblüffende Physikalische Experimente*, Aulis Verlag Deubner, Köln 1994.
- [12] M. Kratz, *Experimente als Hausaufgaben – Physik*, Aulis Verlag Deubner, Köln 1995 (2. Aufl.).
- [13] P. Labudde, *Alltags-Physik in Schülerversuchen*, Ferd. Dummler, Bonn 1996 (3. Aufl.).
- [14] M. Gressmann, W. Mathea, *Die Fundgrube für den Physikunterricht*, Cornelsen Scriptor 1996.
- [15] R. Dengler, *Einstellungen zur Physik*, NiU – Physik 6 (1995) 25.
- [16] H. Muckenfuß in: M. Lichtfeldt (Hrsg.), *Ideen für den Physikunterricht*, MNU, Berlin 1993.
- [17] H. Lechner, *Schülerinteressen und Physikunterricht in der Sekundarstufe I*, Physik in der Schule 30 (1992).
- [18] W. Kern, *Verbesserung der Lehre – Analysen und Anregungen*, Phys. Bl. 53 (1997) 47.
- [19] C. Backes, *Low Cost-High Tech-Freihandversuche – Neue Materialien*, Staatsexamensarbeit, FB Physik, Universität Kaiserslautern 1997.
- [20] K. Kunz, *Low Cost-High Tech-Freihandversuche – Neue Techniken*, Staatsexamensarbeit, FB Physik, Universität Kaiserslautern 1997.
- [21] S. Scheffler, *Low Cost-High Tech-Freihandversuche – Traditionelle Freihandversuche*, Staatsexamensarbeit, FB Physik, Universität Kaiserslautern 1997.
- [22] K. Weiss, *Low Cost-High Tech-Freihandversuche – Didaktische Analyse*, Staatsexamensarbeit, FB Physik, Universität Kaiserslautern 1997.
- [23] H. J. Jodl, W. Stetzenbach, B. Eckert, *Low Cost-High Tech-Freihandversuche – Anregungen für den Physikunterricht*, (geplante Buchveröffentlichung 1997/98).
- [24] M. Wagenschein, *Die pädagogische Dimension der Physik*, Westermann, Braunschweig 1971.
- [25] C. Backes, B. Eckert, H. J. Jodl, K. Kunz, S. Scheffler, W. Stetzenbach, K. Weiss, *Low Cost-High Tech – Moderne Freihandversuche für den Physikunterricht*, Praxis der Naturwissenschaften – Physik (eingereicht).

### Durchführung

Das Wägelchen wird nun aus bestimmten Abständen rollen gelassen. Um die Reibung zu vermindern, können die Achsenaufhängungen geölt werden. Die Verbindungskabel können mit einer Hand in die Höhe gehalten werden, damit sie keinen Einfluß auf die gleichmäßig beschleunigte Bewegung des Wägelchens haben. Der Wagen rollt nun gegen den Aufprallkörper, und die Stahlkugel schlägt gegen das eine Ende des Piezokristalls, das Glühbirnen leuchtet auf. Wie hell es aufleuchtet, hängt unmittelbar von der zurückgelegten Strecke ab. Je länger die Strecke, desto heller leuchtet es beim Aufprall. Eine bestimmte Leuchtstärke, die zuvor als Auslösemoment des Airbags definiert wurde, wird nach der Strecke  $h$  erreicht.

Die Geschwindigkeit des Wägelchens, auf die es nach der Strecke  $h$  durch das Massestück beschleunigt wurde, bzw. mit der es aufprallt und somit der Airbag gezündet würde, läßt sich leicht mit dem Energieerhaltungssatz  $\frac{1}{2}mv^2 = mgh$  bestimmen. Die zu Beginn festgelegte Leuchtstärke wurde in diesem speziellen Fall nach  $h=40\text{ cm}$  erreicht, d. h. bei  $v \approx 10\text{ km/h}$  hätte dann der Airbag gezündet.

### Erklärung/Funktionsweise

Wird der Piezokristall durch mechanische Kräfte deformiert, so tritt eine Ladungsverschiebung ein, wobei die gegenüberliegenden Grenzflächen des Kristalls unterschiedlich geladen sind. Die durch den Piezoeffekt entstehende Spannung ist von der Art der mechanischen Deformation, also Zug oder Druck, abhängig.

Im simulierten Airbagsensor ist die Leuchtstärke der Glühbirne proportional zu der Größe der Kraft, die durch die Stahlkugel auf den Piezokristall übertragen wird. Diese Kraft wiederum ist abhängig von der Beschleunigung des Wägelchens.

In der Realität<sup>1)</sup> wird die Karosseriebeschleunigung des Fahrzeugs in Längsrichtung mittels eines piezoelektrischen Biegebalkens registriert, d. h. eine bestimmte Masse bewegt sich ab einer definierten Bremsbeschleunigung und deformiert den Kristall. Diese jüngste Sensor-Generation liefert Spannungswerte, die, nachdem sie einem Analog-Digital-Wandler zugeführt wurden, von einem Rechner ausgewertet werden. Erreicht die Spannung einen bestimmten Wert, d. h. ist die Bremsbeschleunigung des Wagens entsprechend hoch, wird der Airbag-Mechanismus ausgelöst und Gas strömt innerhalb etwa 10 ms in den Faltsack (Airbag) ein.

### Variationen

Alternativ zum Glühbirnen läßt sich auch ein Oszilloskop anschließen. Die auf ihm zu beobachtenden Spannungsausschläge nehmen mit zunehmender Rollstrecke zu. Es läßt sich anschaulich ein Schwellenwert (Spannungswert) bestimmen, ab dem der Airbag zünden würde.

<sup>1)</sup> Vgl.: Mercedes Benz: Der Airbag, von der Idee zur Serie, Mercedes Benz AG Öffentlichkeitsarbeit Abteilung PR/UP D-70322 Stuttgart

Die Beschleunigung des Wagens ist auch ohne ziehendes Gewicht zu realisieren, indem man ihn eine schiefe Ebene herunterrollen läßt. Das Wägelchen wird dann ohne den Aufbau mit der Kugel, das heißt nur mit dem am vorderen Ende befestigten Piezokristall, gegen den Aufprallkörper rollen gelassen. Die beschleunigte Masse des Wägelchens würde somit den Airbag auslösen.

### Abschätzung

Warum zündet der Airbag nicht, wenn ein Auto in einem bestimmten Winkel gegen ein Hindernis prallt? Dieser Aspekt läßt sich aufgreifen, indem man den Wagen nicht senkrecht, sondern etwas schräg auf den Aufprallkörper rollen läßt. Der Airbag zündet nicht wie gewohnt, sondern erst bei höheren Geschwindigkeiten, da die wirksame Kraftkomponente auf den Piezokristall mit zunehmendem Winkel abnimmt.

Auch die Kräfte und Energien, die in der Realität wirken, lassen sich abschätzen (z. B.: die Energie beim Aufprall, die Bremsbeschleunigung, die Zeit des Auslösens etc.).

### Methodischer Einsatz

Dieser Versuch kann sowohl bei der Behandlung des inelastischen Stoßes und der Energieerhaltung auf motivierende Art und Weise eingesetzt werden als auch zur Darstellung einer Einsatzmöglichkeit des Piezokristalls.

Auch Schüler und Schülerinnen können den Versuch vorbereiten und durchführen (z. B. im Rahmen eines Projektes).