

Low-Cost–High-Tech – Moderne Freihandversuche für den Physikunterricht

Claudia Backes, Bodo Eckert, Hans Jörg Jodl,
Klaus Kunz, Susanne Scheffler, Werner Stetzenbach, Karin Weiss

Motivation

In den letzten Jahren haben viele neue Materialien und technische Geräte (z.B. CD, Handy, Fernbedienung) in den Alltag Einzug gehalten und werden von Schülerinnen und Schülern benützt. Demgegenüber besteht ein Defizit an experimentell-methodischer Aufbereitung betreffend eines möglichst breiten Einsatzes derartiger neuer Materialien und Geräte im Unterricht und einer möglichst einfachen und kostengünstigen Realisierung. Das Ziel dieses Artikels ist es, Experimente aus dem Bereich High-Tech, die sich als Low-Cost-Experimente durchführen lassen, exemplarisch vorzustellen.

Die Geschichte der Freihandversuche geht zurück bis in die Antike. Seit damals waren Freihandversuche eher als Zaubertricks bekannt, bei denen es weniger um die Physik als vielmehr um Unterhaltung und Verblüffung ging. Im 19. Jh. zog die klassische Form des Freihandversuchs in den Schulunterricht ein. Seitdem wird der klassische Freihandversuch definiert als ein Versuch, der mit Gegenständen des täglichen Gebrauchs oder mit Vorrichtungen, die leicht selbst herzustellen sind, durchgeführt werden kann [1].

Zum Thema Freihandversuche und zur Behandlung von Alltagsgegenständen im Rahmen des Physikunterrichts, wie etwa Spielzeug, existieren etwa 40 Bücher, die zum Teil als Sammlung von Experimenten angelegt sind. Von diesen Werken sind zur Zeit nur noch etwa 15 im Handel (z.B. [2-13], eine komplette Liste ist über uns erhältlich). Viele Anregungen zu Experimenten finden sich darüber hinaus in deutsch- und englischsprachigen fachdidaktischen Zeitschriften, allerdings unsystematisch und verstreut. Unsere Hauptkritik an einem Großteil dieser Versuche ist, daß sie nicht funktionieren, daß eine Versuchsskizze fehlt, daß sie rein qualitativ sind, und daß extreme Spezialfälle anstatt grundlegender Phänomene behandelt werden. Insgesamt läßt sich feststellen, daß eine Aufbereitung sowohl der "alten", historischen Freihandversuche, als auch neuer Versuche im Bereich moderner Materialien und Geräte des Alltags für den heutigen Unterricht fehlt.

Der Physikunterricht in der Schule nimmt in der Beliebtheitskala von Schülern und Schülerinnen einen der letzten Plätze ein [14-17]. Erfahrungsgemäß werden folgende Gründe dafür genannt:

- "zerrechnete" Physik,
- fehlender Alltagsbezug,

- zu wenige Experimente (vor allem Schülerversuche) und zu viel "Kreide"-Physik.

Unser Beitrag zur Verbesserung des Physikunterrichtes

Unsere Ansatzpunkte sind daher:

- Berücksichtigung des Alltagsbezugs und des Erfahrungsbereichs von Schülern und Schülerinnen,
- möglichst breiter methodischer Einsatzbereich,
- Einsatz möglichst einfacher Mittel (z. B. aus dem Haushalt oder der Schulsammlung).

Diese Überlegungen resultieren:

- in der Aufbereitung und Weiterentwicklung bestehender "alter" Freihandversuche und
- in der Neuentwicklung von High Tech-Versuchen, wobei neue Materialien (z. B. Teflon, Klettverschluß, Goretex) und moderne Geräte aus dem Alltag (z. B. elektrische Zahnbürste, CD, Handy) Verwendung finden, die einfach und kostengünstig zu beschaffen sind.

Daher halten wir eine Erweiterung des traditionellen Begriffs des Freihandversuchs auf die im folgenden exemplarisch vorgestellten Low-Cost–High-Tech-Experimente für sinnvoll, nicht zuletzt, weil sich die Rolle der Freihandversuche neben den nach wie vor wichtigen Funktionen der Motivation, Veranschaulichung, Elementarisierung, usw. in den letzten Jahren drastisch verändert hat. Z.B.: Ergänzt der reale schräge Wurf eines Luftballons die Simulation der idealisierten Bahnkurve am Rechner, indem er direkt zur Diskussion des Einflusses der Luftreibung führt.

Beispiele

Im folgenden sollen vier Beispiele von aufbereiteten beziehungsweise neu entwickelten Low-Cost–High-Tech-Experimenten vorgestellt werden. Die Beschreibungen sind nach einem Standardschema aufgebaut. In einer Kopfzeile finden sich Informationen zum Einsatzbereich, zum theoretischen und praktischen Anforderungsniveau und zur erforderlichen Vorbereitungs- und Durchführungszeit.

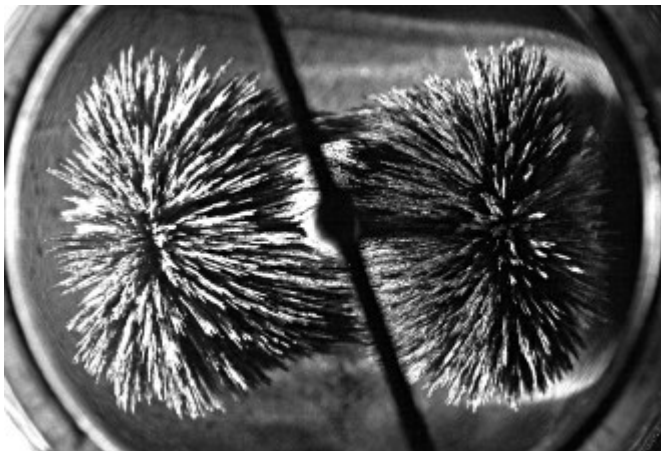
Exemplarisch sollen damit vier Bereiche von Freihandversuchen abgedeckt werden:

1. Traditionelle Freihandversuche: Dreidimensionales Magnetfeld
2. Neue Materialien: Kontaktlinsen / Adhäsionskräfte
3. Neue Techniken: Airbag
4. Mischung aus traditionellen und neuen Materialien und neuen Techniken: Compact Disk als Spektrometer

Claudia Backes, Bodo Eckert, Hans Jörg Jodl, Klaus Kunz,
Susanne Scheffler, Werner Stetzenbach, Karin Weiss,
Fachbereich Physik, Universität Kaiserslautern,
Erwin Schrödinger Straße, D-67663 Kaiserslautern
http://www.physik.uni-kl.de/w_jodl/lc-ht.html
Dieser Artikel erscheint auch in *Praxis der Naturwissenschaften Physik*.

1. Das dreidimensionale Magnetfeld

Klassenstufe	S I / S II
Oberthemen	Magnetismus
Unterthemen	Ferromagnetismus, Feldlinien
Anforderungsniveau	●
Durchführungsniveau	■
Vorlauf	kein
Vorbereitung	5 min
Durchführung	15 min



Ein dreidimensionales Magnetfeld wird mit Hilfe von Eisenfeilspänen sichtbar gemacht.

Materialien

- ein dicht verschließbares Gurken- oder Einmachglas
- ein Stabmagnet, Länge etwa Radius des Glases
- Paraffinöl, ungefähr 1 Liter \approx Volumen des Gefäßes
- ein Bleistift und ein Bindfaden
- reine Eisenspäne, ca 250 g (die Späne können bei jeder Lehrmittelfirma bestellt werden.)

Durchführung

Zunächst füllt man in das Glas Eisenspäne, so daß der Boden etwa 0,5 cm hoch bedeckt ist. Es dürfen nicht zuviele Eisenspäne verwendet werden, sonst sind später die Feldlinien nicht

mehr feingliedrig zu erkennen. Anschließend füllt man Paraffinöl bis etwa 1 cm unter den Gefäßrand ein. Salatöl eignet sich aufgrund des hohen Wasseranteils und der schnellen Verderblichkeit nur schlecht. Das Gefäß wird gut verschlossen und einigemal kräftig geschüttelt, bis sich alle Späne gleichmäßig im Öl verteilt haben. Nach dem Öffnen des Glases wird sofort der vorbereitete Magnet hineingehängt (der Magnet wird in Querrichtung in der Mitte an einen Faden gehängt und das andere Ende des Fadens an einen Bleistift geknotet). Die Länge des Fadens entspricht etwa der halben Höhe des Glases. Der Magnet sollte nicht zu tief im Gefäß hängen, da sonst im unteren Teil des Glases keine Feldlinien sichtbar werden, sondern nur ein Klumpen aus abgesunkenen Eisenspänen entsteht.

Beobachtung / Erklärung

Der Großteil der Eisenspäne hat sich entlang der magnetischen Feldlinien angeordnet. Es ist ein dreidimensionales Magnetfeld sichtbar gemacht worden.

Die Eisenspäne, die sich nicht in das Feld des Magneten einschließen lassen, sinken auf den Boden des Gefäßes ab. Dies geschieht, da die Eisenspäne "beim Einhängen des Magneten" zu weit von diesem entfernt waren und nicht genügend magnetisiert werden konnten. Nach etwa 15 Minuten ist das Paraffinöl wieder klar und das Experiment beendet.

Reines Eisen ist ein ferromagnetisches Material, daher läßt sich mit relativ kleinen Magnetfeldern ein hoher Grad an Ausrichtung der Atome erreichen, die ein magnetisches Moment haben. Ohne Einfluß eines äußeren Feldes richten sich die Atome in kleine Kristallbereiche, die Weißschen Bezirke aus. Wirkt ein äußeres Feld, vergrößern sich die Bezirke, deren magnetische Flußrichtung B mit der des äußeren Feldes übereinstimmen. Die Eisenspäne werden also zu magnetischen Dipolen, die sich entlang der Feldlinien orientieren und Ketten bilden. Weiters erkennt man, daß lange Ketten, je weiter sie vom Magneten entfernt sind, aufgrund ihrer relativ großen Gewichtskraft leicht zu Boden fallen. Daraus läßt sich die Erschütterungsempfindlichkeit dieses Experiments erklären.

Tips / Hinweise

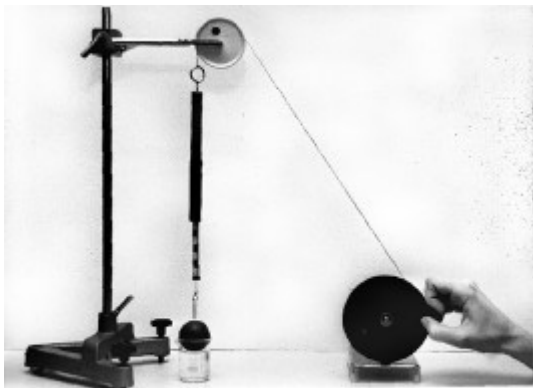
Ein Problem des Versuchs ist seine aufwendige praktische Nachbereitung. Es ist recht schwierig, den Magneten von dem Öl und vor allem von den Eisenspänen zu reinigen. Ein Tip ist ein Lösungsmittel und Geduld, wobei ersteres die Oberfläche des Magneten auf Dauer in Mitleidenschaft zieht. An einem erschütterungsfreien Ort läßt sich das Experiment einige Wochen aufbewahren.

Methodische Hinweise

In der Schulbuchliteratur wird das Magnetfeld aus Gründen der Vereinfachung hauptsächlich zweidimensional dargestellt und den Schülern und Schülerinnen damit eine grundlegende Vorstellung nicht vermittelt. Mit diesem Versuch kann die Dreidimensionalität eines Feldes auf einfache Weise verdeutlicht werden. Dieses Experiment ist durchaus als Schülerexperiment geeignet, da es einfach und ungefährlich durchzuführen und kostengünstig ist.

2. Kontaktlinsen und die Bestimmung der Adhäsionskräfte

Klassenstufe	S I / S II
Oberthemen	Mechanik
Unterthemen	Adhäsion, Oberflächenspannung
Anforderungsniveau	●
Durchführungsniveau	■
Vorlauf	Tage
Vorbereitung	15 min
Durchführung	10 min



Bestimmung des Betrags von Adhäsionskräften am Beispiel des Systems Kontaktlinse-Auge.

Materialien

- 1 Stativfuß
- Stativstange (ca. 50 cm lang)
- Doppelmuffe
- Umlenkrolle
- Modelle (Kontaktlinse, Glasplättchen, raue und weiche Unterlagen, runde Gegenstände aus verschiedenen Materialien, Auge eines Tieres, ...)
- Kontaktlinsenabzieher (erhältlich beim Augenoptiker)
- Faden (ca. 50 cm lang)
- Drehkurbel
- Federkraftmesser (bis max. 0,1 N)
- Flüssigkeiten (Salzwasser, Leitungswasser)

Vorbereitung

Der Kontaktlinsenabzieher wird mit einem Stück Draht an dem Kraftmesser befestigt. Sein Sauger sorgt für einen festen Sitz von Kontaktlinse oder Glasplättchen.

Bei jedem Schlachthof sind Schweins- oder Rinderaugen erhältlich. Mit ihnen kann man den realen Abziehvorgang einer Kontaktlinse vom Auge nachvollziehen. Die Kontaktlinse haftet aber fast ebensogut an einem Squashball, da dessen Durchmesser (4-5 cm) etwa dem Krümmungsradius einer Kontaktlinse (ca. 3,5-4 cm) entspricht.

Durchführung

Ein Gummiball wird mit Hilfe einer Pipette mit Flüssigkeit benetzt, die Kontaktlinse wird aufgelegt. Die Kraft, mit der die

Kontaktlinse festgehalten wird, wird mit dem Kraftmesser gemessen, den man vorsichtig über eine Umlenkrolle und einer Drehkurbel nach oben bewegt. Da sich die beiden Körper von einander lösen, wenn Luft nachströmt, sollte die Kraft senkrecht zur Fläche wirken.

Um den Schülern das ideale Augenmodell zu veranschaulichen, bei dem der innere Krümmungsradius der Kontaktlinse und der Radius der Hornhaut übereinstimmen, können auch zwei ebene Platten herangezogen werden, deren Krümmungsradius als unendlich angesehen wird. Die Platten werden mit Flüssigkeit benetzt, das obere Pättchen am Sauger befestigt und die resultierende Kraft wie gemessen.

Das Abziehen der Kontaktlinse am menschlichen Auge ist aus Sicherheitsgründen zu vermeiden: Die Hornhaut könnte verletzt oder die Kontaktlinse weggeschleudert werden.

Die wirkenden Adhäsionskräfte sind von einer Anzahl von Faktoren abhängig: u.a. der Dicke des Flüssigkeitsfilms, von der Zusammensetzung der Flüssigkeit zwischen den beiden Oberflächen, vom Material und den Krümmungsradien der Modelle sowie vom Druck, mit dem die beiden Körper aneinander gedrückt werden.

Es können verschieden große Adhäsionskräfte gemessen werden: Die Kraft, mit der eine Kontaktlinse am Schweinsauge haftet, wurde zu etwa 0,08 N bestimmt. Beim Squashball waren ungefähr 0,06 N erforderlich. Die Kraft zwischen zwei ebenen Glasplättchen betrug ca. 0,03 N.

Beschreibung / Erklärung

Eine starke Abhängigkeit zeigte sich von der Menge der verwendeten Kontaktflüssigkeit. Es sollte daher möglichst mit der gleichen Flüssigkeitsmenge zwischen den Versuchsobjekten gemessen werden, am besten durch Verwendung der Pipette. Wird die Kontaktlinse nicht senkrecht abgezogen, können die Ergebnisse ebenfalls stark variieren: Die Kontaktlinse löst sich vom Auge, sobald Luft unter sie strömt. Zieht man sie dagegen senkrecht nach oben, so bildet sich zuerst am Rand ein Flüssigkeitsfilm, der durch das Nach-oben-ziehen immer dünner wird und plötzlich reißt.

Drückt man die Kontaktlinse unterschiedlich fest an einen elastischen Körper, so wird eine unterschiedliche Luftmenge herausgedrängt. Je mehr Luft eingeschlossen ist, desto schneller löst sich die Kontaktlinse.

Abschätzung

Bei bekannten Werten der Kontaktlinsenoberfläche und benötigter Kraft, die zur Ablösung erforderlich ist, kann die daraus resultierende Zugspannung berechnet werden. Wir fanden:

$$p = \frac{F}{A} = \frac{0,07 \text{ N}}{0,56 \text{ cm}^2} = 0,125 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} = 1250 \text{ Pa}$$

Dieser Druck ist vergleichbar mit dem Schweredruck einer Wassersäule von ca. 12 cm Höhe. Zum Vergleich: der Luftdruck am Erdboden beträgt etwa 100000 Pa ($\approx 1 \text{ bar}$) und entspricht einer Wassersäule von ca. 10 m.

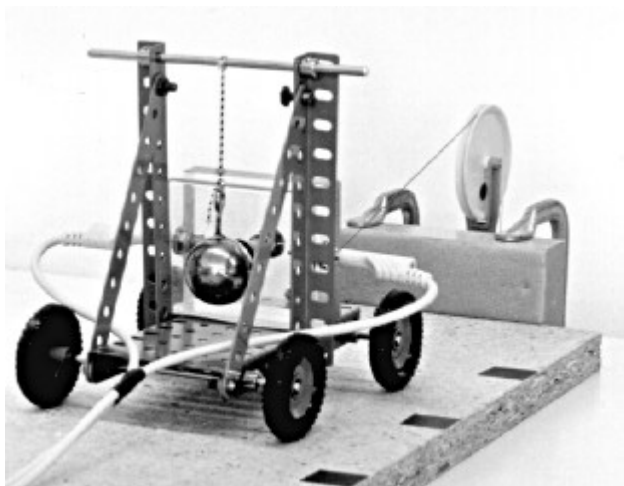
Methodischer Einsatz

Der Versuch kann von den Schülern selbst durchgeführt werden. Um die Schüler stärker in die Durchführung miteinzubeziehen, sollten sie zum Mitbringen eigener Gegenstände auf-

gefordert werden, an denen sie die Adhäsionskraft selbst bestimmen.

3. Auslösung des Airbags

Klassenstufe	S I / S II
Oberthemen	Mechanik, Elektrik
Unterthemen	Inelastischer Stoß, Piezoeffekt
Anforderungsniveau	●●
Durchführungsniveau	■ ■
Vorlauf	1 Stunde
Vorbereitung	10 min
Durchführung	10 min



Die Funktionsweise des Airbagsensors (Auslösemechanismus) soll simuliert werden.

Materialien

- Piezokristall (Seignette-Kristall, z. B. von Leybold)
- Wagen (selbstgebaut aus Märklinbaukasten)
- Holzbrett (1 m lang, 20 cm breit)
- Rolle mit Halterung
- 4V-Glühbirne mit Fassung
- Gleichstromverstärker
- 1 m Schnur, 10 cm Schnur
- Holzklötz mit Schaumstoff
- 2 Kabel (200 cm), 2 Kabel (50 cm)
- Metermaßstab
- Klebestreifen
- Fahrradöl
- 100 g Massestück
- Stahlkugel ($m = 100 \text{ g}$, $r = 1 \text{ cm}$)

Vorbereitung

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

Auf dem Wagen befestigt man eine Halterung aus Märklin-Bauteilen, an der man die Stahlkugel aufhängt. Man klebt das Kästchen mit dem Piezokristall in einen Abstand von ca. 0,5 cm zur Kugel auf den Wagen. Die Kugel sollte so positioniert werden, daß sie bei einer Auslenkung das Ende des Kristalls trifft. Man verbindet den Piezokristall auf dem Wagen über den Verstärker mit der Glühbirne und verklebt die beiden 2 m langen Kabel zwischen Piezokristall und Verstärker zu einem Strang, damit sie nicht hinderlich sind.

Auf dem Holzbrett wird eine Skala mit Schritten von 10 cm mit kurzen Klebestreifen angebracht. An einem Ende wird der mit Schaumstoff beklebte Holzklötz positioniert, der als Aufprallkörper dient. Der Wagen wird von einem 100 g Massestück beschleunigt, das mit einer Schnur über eine Rolle am Wagen befestigt wird.

Durchführung

Man läßt den Wagen aus verschiedenen Abständen rollen. Um die Reibung zu vermindern, sollten die Achsenlager geölt werden. Die Verbindungskabel können mit einer Hand in die Höhe gehalten werden, damit sie die gleichmäßig beschleunigte Bewegung des Wagens nicht stören. Der Wagen rollt gegen den Aufprallkörper, die Stahlkugel schlägt gegen das Ende des Piezokristalls, die Glühbirne leuchtet auf. Wie hell sie aufleuchtet, hängt von der zurückgelegten Strecke ab. Je länger die zurückgelegte Strecke, desto heller leuchtet sie beim Aufprall. Eine bestimmte Leuchtstärke, die zuvor als Auslösemoment des Airbags definiert wurde, wird nach der Strecke h erreicht.

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

In der Realität (vgl.: Mercedes Benz: *Der Airbag, von der Idee zur Serie*, Mercedes Benz AG, Öffentlichkeitsarbeit Abteilung PR/UP, D-70322 Stuttgart) wird die Karosseriebeschleunigung des Fahrzeugs in Längsrichtung mittels eines piezoelektrischen Biegebalkens registriert: Eine bestimmte Masse bewegt sich ab einer definierten Bremsbeschleunigung und de-

formiert den Kristall. Dieser Spannungswert wird analog-digital-gewandelt von einem Rechner ausgewertet. Ist die Bremsbeschleunigung entsprechend hoch, erreicht die Spannung einen kritischen Wert. Dann wird der Airbag-Mechanismus ausgelöst, und Gas strömt innerhalb etwa 10 ms in den Faltsack (Airbag) ein.

Variationen

Alternativ zur Glühbirne läßt sich auch ein Oszilloskop anschließen. Die auf ihm zu beobachtenden Spannungsschläge nehmen mit zunehmender Rollstrecke zu. Es läßt sich anschaulich ein Schwellwert (Spannungswert) bestimmen, ab dem der Airbag zünden würde.

Die Beschleunigung des Wagens ist auch ohne ziehendes Gewicht zu realisieren, indem man ihn eine schiefe Ebene herunterrollen läßt. Der Wagen 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 Wagens 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. in einem Projekt).

4. Eine CD als Spektrometer

Klassenstufe	S I / S II
Oberthemen	Wellenoptik, Atomphysik
Unterthemen	Beugung, kontinuierliche & diskrete Spektren
Anforderungsniveau	●●●
Durchführungsniveau	■
Vorlauf	kein
Vorbereitung	10 min
Durchführung	5 min



Mit Hilfe einer CD werden die Spektren verschiedener Lichtquellen betrachtet.

Material

- CDs für alle Experimentierenden (von zu Hause mitbringen lassen oder Demo-CDs aus Computerzeitschriften)
- Glühlampe, Kompaktleuchtstofflampe, Spektrallampe
- Spannungsquellen, Fassungen und Halter für die Lampen

Durchführung

Auf einem Experimentiertisch werden die verschiedenen Lampen im Abstand von ca. 5-10 cm nebeneinander aufgestellt und eingeschaltet. Positioniert man den Experimentiertisch den Fenstern gegenüber, so erübrigt sich das Abdunkeln des Raumes, weil das Tageslicht durch die Körper der Experimentierenden ausreichend abgeschirmt wird. Die normale Raumbelichtung wird ausgeschaltet. Die Experimentierenden verteilen sich mit dem Rücken zum Fenster, so daß alle einen freien Blick zu den Lampen haben. Nun halten alle ihre CD waagrecht, mit der unbedruckten Seite nach oben. Wird die CD langsam in Richtung der Lampen geneigt, erscheinen deren Spektren auf der CD. Verdeckt man die Lampen einzeln, können die Experimentierenden die Spektren den jeweiligen Lampen eindeutig zuordnen.

Um Augen und Hautschäden bei der Verwendung von Spektrallampen mit hohem UV-Anteil auszuschließen, sind Schutzbrillen zu tragen und Sicherheitsabstand einzuhalten.

Beschreibung / Erklärung

Die CD ist ein Reflexionsgitter und wirkt als Gitterspektrometer. Im Vergleich zum Spektrum der Glühlampe (im rechten Bild ganz links) ist beim Spektrum der Kompaktlampe (Mitte) deutlich zu erkennen, daß die einzelnen Farben nicht kontinuierlich in einander übergehen. Bei Verwendung einer Quecksilberdampf Lampe sind auf der CD die Farben Orange, Grün, Blau und Violett deutlich von einander getrennt zu sehen (rechts).

Variationen

Bei Verwendung einer Demonstrations-Kompaktleuchtstofflampe (OSRAM Dulux EL, 60 DM+MwSt, zu beziehen über Osram) kann verdeutlicht werden, daß und wie durch das Beschlämmen einer Leuchtstoffröhre das Spektrum des abgestrahlten Lichtes verändert wird. Informationsmaterialien der Lampenhersteller leisten dabei gute Hilfestellungen. Unter einem Mikroskop lassen sich die für die Aufspaltung der Farben verantwortlichen periodischen Strukturen der CD (An-

ordnung der pits) betrachten und in der Größenordnung abschätzen (Vergrößerungsmaßstab, Wellenlänge des Lichts).

Methodisches

Die verschiedenartigen Spektren lassen auf verschiedene Arten der Lichterzeugung rückschließen.

In der Oberstufe können mit Hilfe von Informationsmaterialien der Hersteller Bau- und Funktionsweisen verschiedener Lampen im Unterricht diskutiert werden.

Studentische Mitarbeit

Zur Zeit sind etwa 40 Versuche im Rahmen von Staatsexamensarbeiten [18-21] entspr. der Beispiele aufbereitet. Weitere 20 Versuche werden pro Semester in einem fachdidaktischen Seminar von Lehramtstudenten und -studentinnen bearbeitet. Ein Großteil dieser Versuche wird in naher Zukunft in Buchform erscheinen [22].

Fazit

Mit dieser Art von Versuchen wollen wir eine bestehende Lücke schließen: Einerseits wollen wir den Lehrerinnen und Lehrern eine Zusammenstellung von gut dokumentierten und funktionierenden Low-Cost-High-Tech-Experimenten in die Hand geben. Andererseits wollen wir damit eine bekannte Methode für den Physikunterricht [23] inhaltlich aktualisieren: Bisher besteht die typische Vorgehensweise darin, vom physikalischen Phänomen in einer "akademischen" Weise auszugehen (z.B. 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 (z.B. 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.

Es zeigt sich, daß High Tech-Freihandversuche

- kostengünstig zu realisieren sind (Low Cost),
- je nach Bedarf methodisch breit einsetzbar sind: Einsatz des Experimentes und der Aktions-/Sozialformen: Demonstrationsversuch, Schülerexperiment, Freiarbeit, Projekt, Hausaufgabe; Unterrichtsverfahren: analytisch-synthetisch, Lernen am Modell, forschendes Lernen),
- sowohl schulart- als auch stufenübergreifend eingesetzt werden können (je nach Grad der Mathematisierung, des Zusammenhangs der erarbeiteten Phänomene),
- geeignet sind, Alltagsphänomene und moderne Alltagsgegenstände auf elementare physikalische Grundlagen zurückzuführen,
- interdisziplinäre Ansätze im Unterricht bieten können.

Lernziele, die sich auf physikalische Inhalte beziehen, brauchen hier nicht weiter diskutiert zu werden. Weit bedeutsamer sind *übergeordnete Lernziele*, die sich mit Hilfe von Low-Cost-High-Tech-Experimenten realisieren lassen:

Aspekt der physikalischen Betrachtungsweise: Diese Art von Versuchen ermöglicht das Erlernen eines *pragmatischen Umgangs mit* und eines *physikalischen Verständnisses für* neue

Materialien und Geräte. Selbst hochkomplizierte Geräte basieren auf ganz elementaren physikalischen Prinzipien (z.B. Massenträgheit beim Airbag-Sensor, Adhäsionskräfte bei Kontaktlinsen, Modulation der Infrarot-Strahlung bei der Fernbedienung). Die *Black Box* bleibt nicht weiter geheimnisvoll, ihre Funktion wird im wesentlichen (im physikalischen Sinne) deutlich und, je nach Einsatz im Unterricht, direkt oder am Modell erfahrbar.

Sicherheitsaspekt: Der verantwortungsbewußte Umgang mit Geräten (z. B. Mikrowelle, Handy) kann eingeübt und im Unterricht diskutiert werden.

Aspekt der Zukunftsorientierung: Low-Cost-High-Tech-Experimente können, neben einer erhofften stärkeren Motivation für das Fach Physik und Anwendungen der Physik im Alltag, dazu beitragen, Angst zu nehmen vor der Beschäftigung mit neuer Technik und neuen Materialien. Da die Entwicklung und Etablierung neuer Techniken und Materialien nicht stehenbleibt, erlangen die Low-Cost-High-Tech-Experimente im Hinblick auf die Zukunft der Schülerinnen und Schüler eine wichtige didaktische Funktion. Man kann Sensibilität und Verantwortungsbereitschaft (Umweltverträglichkeit neuer Materialien), Kritikfähigkeit und Urteilsvermögen (z.B. Vergleich der Wirkungsgrade von Tauchsieder und Mikrowelle) fördern.

Aspekt der Methodenkompetenz: Bei der Informations- und Materialbeschaffung durch Schüler und Schülerinnen kann Selbständigkeit erlernt werden. Beim Selbstbau (z.B. im Rahmen eines Projektes) können manuelle Fertigkeiten und Problemlösungsstrategien trainiert werden. Integriert in geeignete Sozialformen des Unterrichts tragen die Experimente zur Erlangung von Schlüsselqualifikationen wie kooperatives Lernen, Planen und Organisieren, Vortragen und Zuhören, usw. bei.

Aspekt der Interdisziplinarität: Low-Cost-High-Tech-Experimente bieten einen direkten Zugang zu technischen und elektronischen Problemstellungen. Weit wichtiger können gesellschaftliche Fragestellungen sein: Einblicke in die Entwicklung und Verwertung neuer Techniken können gewonnen werden (z.B. beim Thema Airbag über Kontakte zur Automobilindustrie). Eine Diskussion über Datensicherheit ("gläserner Mensch") könnte geführt werden (z.B. beim Thema Chipkarten), ebenso Fragen des Strahlenschutzes (z.B. bei den Themen Mikrowelle, Handy).

Erste Erfahrungen bei der praktischen Umsetzung liegen bereits vor. Demnach sind die Reaktionen gegenüber unserem Typ von Freihandversuchen sehr positiv (Lehramtstudentinnen und -studenten im Seminar, Hilfe von Firmen bei der Informations- und Materialbeschaffung).

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 erhältlich.

Literatur

- [1] H. Hahn, *Physikalische Freihandversuche – I. Teil, Nützliche Winke, Mass und Messen. Mechanik Fester Körper*, Verl. Otto Salle, Berlin 1926².
- [2] J. Walker, *Der fliegende Zirkus der Physik*, Oldenbourg, München 1977 (Neuauf. 1996).

- [3] S. Schwandt, A. Barthel, *Tolle Experimente mit Pfiff*, Benziger Edition im Aula Verlag, Würzburg 1994².
- [4] H.-J. Press, *Spiel das Wissen schafft*, Ravensburger Buchverlag, 1995.
- [5] J. Wittmann, *Trickkiste 1 und 2 – Experimente, wie sie nicht im Physikbuch stehen*, Bayerischer Schulbuchverlag, München, 1983 und 1993.
- [6] J. Teichmann, F. Fraunberger, *Das Experiment in der Physik, Facetten der Physik*, Vieweg, 1984.
- [7] W. Bürger, *Der paradoxe Eierkocher – Physikalische Spielereien aus Professor Bürgers Kabinett*, Birkhäuser, Basel 1995.
- [8] E. Zeier, *Kurzweil durch Physik*, Aulis Verlag Deubner, Köln 1984².
- [9] E. Zeier, *Physikalische Freihandversuche – Kleine Experimente*, Aulis Verlag Deubner, Köln 1994³.
- [10] G. Oberdorfer, *Das springende Ei und andere Experimente für die fünf Sinne*, Zytglogge Verl., Bonn 1991.
- [11] N. Treitz, *Spiele mit Physik, ein Buch zum basteln, probieren und verstehen*, Verl. Harri Deutsch, Frankfurt a. M. 1994.
- [12] U. Runge, H. Melenk, *Verblüffende Physikalische Experimente*, Aulis Verlag Deubner, Köln 1994.
- [13] M. Kratz, *Experimente als Hausaufgaben – Physik*, Aulis Verlag Deubner, Köln 1995².
- [14] R. Dengler, "Einstellungen zur Physik", *NiU-Physik* 6 (1995) 25.
- [15] H. Muckenfuß in: M. Lichtfeldt (Hrsg.), *Ideen für den Physikunterricht*, MNU, Berlin 1993.
- [16] H. Lechner, "Schülerinteressen und Physikunterricht in der Sekundarstufe I", *Physik in der Schule* 30 (1992).
- [17] W. Kern, "Verbesserung der Lehre – Analysen und Anregungen", *Phys. Bl.* 53 (1997) 47.
- [18] C. Backes, *Low-Cost-High-Tech-Freihandversuche – Neue Materialien*, Staatsexamensarbeit, FB Physik, Universität Kaiserslautern 1997.
- [19] K. Kunz, *Low-Cost-High-Tech-Freihandversuche – Neue Techniken*, Staatsexamensarbeit, FB Physik, Universität Kaiserslautern 1997.
- [20] S. Scheffler, *Low-Cost-High-Tech-Freihandversuche – Traditionelle Freihandversuche*, Staatsexamensarbeit, FB Physik, Universität Kaiserslautern 1997.
- [21] K. Weiss, *Low-Cost-High-Tech-Freihandversuche – Didaktische Analyse*, Staatsexamensarbeit, FB Physik, Universität Kaiserslautern 1997.
- [22] H. J. Jodl, W. Stetzenbach, B. Eckert, *Low-Cost-High-Tech-Freihandversuche – Anregungen für den Physikunterricht*, (geplante Buchveröffentlichung 1997/98).
- [23] M. Wagenschein, *Die pädagogische Dimension der Physik*, Westermann, Braunschweig 1971.

Es war nur ein Roboter

der am 4. Juli 1997 aus dem Landemodul auf den Marsboden entlassen wurde. Während Sojourner – auf Vorschlag einer Schülerin nach einer schwarzen Bürgerrechtskämpferin im Sezessionskrieg benannt – geologische Untersuchungen unternahm, versorgte die Stereokamera des Landemoduls die NASA und das Publikum mit Bildern vom Mars. Nach Ablauf des geplanten Minimalprogramms von einem Monat arbeitete die Marsstation problemlos bis 27. September weiter. Vermutlich durch Versagen der Speicherbatterien aufgrund der stark schwankenden, jedoch tiefen Temperaturen ist der Sender des Moduls seit 7.10.97 verstummt. In diesem Nachruf auf einen Roboter soll die wissenschaftliche Einrichtung von Roboter und Landemodul kurz beschrieben werden.

Der sechsrädrige Sojourner kann mit einer Front- und einer Heckkamera die Umgebung wahrnehmen und Hindernisse erkennen. Seine Energie bezieht er aus 0,25 m² Solarzellen (Spitzenleistung 16 W) mit einer 50 Wh-Speicherbatterie. Bordelektronik und -computer (8085 CPU, 0,5 MB RAM) werden zusätzlich durch 3 Radioisotopenbatterien beheizt. Als wissenschaftliches Instrument trägt er ein Alpha-Proton-Röntgen-Spektrometer (APXS). Alphateilchen aus einem Curium-244-Präparat (HWZ 18 Jahre) werden auf die Oberfläche von Gesteinen geschossen. Leichte Elemente wie C oder O streuen die Alphas zurück, bei Na, Mg, Al, Si kommt es zur Absorption des Alpha mit Emission eines Protons, bei Kernen schwerer als Mg schlagen Alpha innere Elektronen aus der Hülle, was zu Röntgenemission führt. Mit dem APXS wird daher



Das Marsmobil Sojourner, noch zusammengeklappt, bei der Ausfahrt aus dem Landemodul, der Airbag versperrt noch den Weg.

eine chemische Analyse der Marsoberfläche durchgeführt. Die Resultate an einem Stein namens Barnacle Bill deuten auf je ein Drittel Quarz, Feldspat und Pyroxen hin, also auf vulkanisches Gestein (Andesit), das auf der Erde durch die Plattentektonik erklärt wird - auf dem Mars fehlen allerdings Hinweise auf Plattentektonik.

Das Marswetter, Druck, Temperatur, Windstärke und -richtung registrierte der Landemodul, z.B. zog am 25. Tag eine Windhose über das Gerät.