

ARBEITSKREIS BAYERISCHER PHYSIKDIDAKTIKER

BEITRAG AUS DER REIHE:

Werner B. Schneider (Hrsg.)

Wege in der Physikdidaktik

Band 3

Rückblick und Perspektive

ISBN 3 - 7896 - 0513 - 1

Verlag Palm & Enke, Erlangen 1993

Anmerkung:

Die Bände 1 bis 5 sind (Ausnahme Band 5) im Buchhandel vergriffen.
Die einzelnen Beiträge stehen jedoch auf der Homepage

<http://www.solstice.de>

zum freien Herunterladen zur Verfügung.

Das Copyright liegt bei den Autoren und Herausgebern.

Zum privaten Gebrauch dürfen die Beiträge unter Angabe der Quelle
genutzt werden. Auf der Homepage

www.solstice.de

werden noch weitere Materialien zur Verfügung gestellt.

Jürgen Miericke

”Magnetisches Schweben” Projektarbeit in einem Pluskurs

1. Einleitung

Laut Profilbeschreibung des Faches Physik im neuen Lehrplan für das bayerische Gymnasium [1] soll in der Mittelstufe besonderer Wert darauf gelegt werden, „den Schülern die Bedeutung physikalischer Erkenntnisse für die Entwicklung der Technik aufzuzeigen und ihnen helfen, ihre Umwelt und die Natur bewußt zu erleben“. Darüber hinausgehend sollen die Schüler im Physikunterricht der Oberstufe – speziell im Leistungskurs Physik – „in propädeutischer Form die Arbeitsweise der physikalischen Forschung kennenlernen und nachvollziehen. Dabei werden Aspekte der theoretischen Physik ebenso berücksichtigt wie Verfahren der Experimentalphysik und die technische Realisierung der gewonnenen Erkenntnisse“.

Als ein aktuelles und interessantes Beispiel für die Umsetzung bekannter physikalischer Grundtatsachen – z.B. der *elektromagnetischen Kräfte* – in eine neue anwendungsbezogene Technologie, kann man die Entwicklung der Magnetschwebbahn ansehen (s. Abb.1).

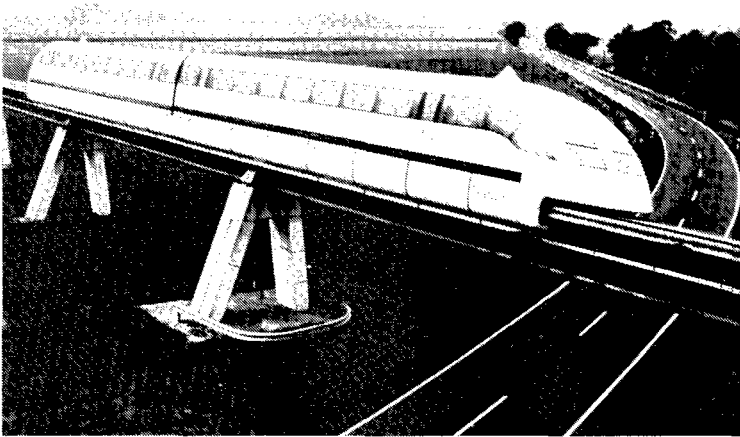


Abbildung 1: Magnetschwebbahn

Im “üblichen“ Physikunterricht hat man sicher zu wenig Zeit, um das Thema *Magneti-*

ches Schweben ausführlich zu behandeln. Man wird sich z.B. auf die Demonstration zweier „schwebender“ Ringmagnete beschränken und eventuell noch darauf hinweisen, daß bei der Magnetschwebbahn Magnetkräfte die physikalische Grundlage sind. Auch für einen projektorientierten Unterricht, der im neuen Lehrplan für Physik in Bayern seit dem Schuljahr 1992/93 offiziell eingeführt worden ist, ist die Thematik zu umfassend und vom experimentellen Aufwand (materiell und zeitlich) nicht zufriedenstellend verwirklicht. Geeignet sind jedoch Unterrichtsformen wie z.B. Arbeitsgemeinschaften oder Pluskurse.

2. Was ist ein Pluskurs?

Das Pluskursprogramm für bayerische Gymnasien

Seit dem Schuljahr 1987/88 haben alle Gymnasien in Bayern die Möglichkeit, soweit Lehrerstunden über den Pflichtunterricht hinausgehend vorhanden sind, im Rahmen des sogenannten Plusprogramms [2] bis zu zwei zusätzliche Kurse für besonders begabte Schüler von jeweils 2 Wochenstunden einzurichten. Diese Kurse sind als Wahlfach für Schüler der Jahrgangsstufen 9 mit 11 gedacht. Die Pluskurse sollen dazu beitragen "geistige Flexibilität, Lösungsstrategien, Fähigkeit und Bereitschaft zur Teamarbeit zu entwickeln und insgesamt die Persönlichkeitsbildung zu fördern".

Themenwahl

Die Thematik eines Pluskurses soll entweder den Lehrplan ergänzen oder aus einem wissenschaftlichen (gegebenenfalls auch künstlerischen) Gebiet abgeleitet sein. Für die Auswahl wird oft entscheidend sein, welche Sammlungen, Labors, Werkstätten etc. zur Verfügung stehen. Umfassende, fächerübergreifende Themen, z.B. im Rahmen von Projekten, werden als günstig beurteilt.

Schülersauswahl

Die Entscheidung über die Teilnahme von Schülern in einem Pluskurs trifft der Kursleiter in Absprache mit den zuständigen Fachlehrern. Starre Regeln gibt es nicht für die Auswahl. Neben den Noten sollte die Fähigkeit zur Zusammenarbeit in einer Gruppe auch eine wesentliche Rolle spielen. Meist zeigt sich erst während des Kurses, ob ein Schüler wirklich für den Kurs geeignet ist. Manchmal ergeben sich Schwierigkeiten dadurch, daß gerade besonders gute und aufgeschlossene Schüler schon in mehreren Wahlkursen und Arbeitsgemeinschaften sind und sich auch außerhalb der Schule engagieren.

Leistungsbewertung

In einem Pluskurs sollen die Leistungen der Teilnehmer nicht in Form von Noten, sondern mit Lob und Anerkennung bewertet werden. Im Zeugnis soll eine besondere Bemerkung über die Teilnahme an einem Pluskurs erscheinen.

Pluskurse im Schulleben

Die Ergebnisse eines Pluskurses können z.B. durch Ausstellungen, Aufführungen oder

Veröffentlichungen für die ganze Schule sichtbar werden.

3. Aktivitäten im Pluskurs „Magnetisches Schweben“

3.1. Warum „Magnetisches Schweben“?

Als übergeordnetes Thema wurde ein Pluskurs Physik mit dem allgemeinen Thema „Forschen und Erfinden“ angeboten. Dadurch sollten die Schüler über zwei geplante Zielsetzungen informiert werden:

1. Hinführung zum selbständigen wissenschaftlichen Arbeiten.
2. Förderung der problemlösenden und erfinderischen Fähigkeiten.

Man kann natürlich Zweifel haben, ob Schüler im streng wissenschaftlichen Sinne forschen und erfinden können; manche Ergebnisse der Wettbewerbe „Schüler experimentieren“ und „Jugend forscht“ zeigen jedoch erstaunliches Niveau. Die Gefahr des Scheiterns beim Entdecken und Forschen besteht außerdem für jeden Menschen, ob alt oder jung. Das Erleben der eigenen Grenzen kann zudem eine wichtige Erfahrung sein.

Als Reaktion auf eine bei den Fachlehrern der Jahrgangsstufen 9 mit 11 erfolgten Umfrage nach geeigneten Schülern meldeten sich genügend viele, die Interesse an einer Teilnahme äußerten. Mein Bericht über eigene Forschungs-, Entwicklungs- und Erfindungstätigkeiten auf dem Gebiet des *Magnetischen Schwebens* interessierte, und es wurde gewünscht, mehr darüber durch eigenes Experimentieren und Nachdenken zu erfahren. Wahrscheinlich gibt es nur sehr wenige Erwachsene und noch weniger Kinder und Jugendliche, die nicht von den Kräften, die von Magneten ausgehen, fasziniert sind. Dies liegt sicher darin begründet, daß diese Kräfte berührungslos und auch durch viele Stoffe hindurch wirksam sind. Abgesehen von dieser emotionalen Wirkung haben die Magnetkräfte vielfältige Anwendungen in der Grundlagenforschung und besonders in der Technik gefunden. Ein interessanter Teilbereich ist das *Magnetische Schweben*.

Von Anfang an war uns dabei klar, daß wir keine Aufsehen erregenden Forschungsergebnisse bzw. revolutionierenden Erfindungen machen würden. „Nacherforschen“ oder „Nacherfinden“ kann jedoch genauso anregend und manchmal auch sogar aufregend sein.

3.2. Grobe Projektplanung

Während der ersten Treffen wurden die Schüler genauer über die verschiedenen Prinzipien beim *Magnetischen Schweben* informiert. Unterschiedliche Arten von Magneten wurden

vorgestellt und einige qualitative Versuche mit Dauermagneten durchgeführt, da zuerst das Schweben mit Dauermagneten näher untersucht werden sollte, um mit diesem Wissen anschließend ein funktionsfähiges Modell bauen zu können. Das zweite Ziel sollte die Untersuchung des induktiven Schwebepinzips sein, welches auf der Erzeugung von Wirbelströmen in elektrisch gut leitenden Körpern beruht. Auch hier sollte ein anschauliches und überzeugendes Funktionsmodell gebaut werden. Das dritte bekannte magnetische Schwebeprinzip, welches die Anziehungskräfte von geregelten Elektromagneten zu ferromagnetischen Körpern ausnützt, erschien uns - von der elektronischen Regelung her betrachtet - sehr aufwendig und sollte deshalb als letztes untersucht werden. Schon bei der Planung ist allen bewußt geworden, wie anspruchsvoll im Umfang und Komplexität unser Vorhaben werden könnte.

3.3. Projektdurchführung

Schweben mit Dauermagneten

Eine gemeinsame Analyse der Ausgangssituation ergab, daß für das erste Vorhaben zu wenige Dauermagnete in der physikalischen Sammlung zur Verfügung standen. Zudem war noch unklar, welche Formen und besonderen Eigenschaften die Magnete haben sollten, um ein optimales Schweben zu erreichen. Ohne geeignete Magnete wäre das Projekt jedoch nicht durchführbar. Zuerst mußte also geklärt werden, welche Magnete von Firmen zu welchem Preis angeboten werden. Alle Teilnehmer waren daran beteiligt, diese notwendigen Informationen zu besorgen und nach kritischer Durchsicht der Prospekte von 6 Magnetherstellern mußten wir uns entscheiden, welche Magnete für unsere experimentellen Untersuchungen und das Funktionsmodell benötigt werden. Aufgrund der verschiedenen Lösungsvarianten für die gestellten Aufgaben wurden Magnete mit unterschiedlicher Größe und Polstärke bestellt. In einem Begleitschreiben wurden die Firmen über unser Vorhaben informiert und gleichzeitig um kostenlose Zusendung der gewünschten Magnete gebeten, da nur sehr geringe finanziellen Eigenmittel zur Verfügung standen. Die meisten angeschriebenen Firmen unterstützten bereitwillig unser Projekt. Trotzdem verging viel Zeit für die Magnetbeschaffung und der anfängliche Schwung wurde etwas gebremst, da die experimentellen Tätigkeiten zurückstehen mußten. Während der Wartezeit planten wir eine Versuchsanordnung zur Messung der Abstoßungskräfte zwischen Magneten gleicher Polarität und führten erste qualitative Messungen mit zwei rechteckigen Ferritmagneten durch. Theoretische Formeln für die Abstoßungskraft zweier Dauermagnete wurden ohne Herleitung vorgestellt, die vorkommenden Größen jedoch erklärt und die Formel diskutiert [3]. Erste Berechnungen wurden mit dem Taschenrechner durchgeführt und die Ergebnisse mit den Meßwerten verglichen. Die theoretischen und experimentellen Untersuchungen zeigten, daß eine Anordnung nur mit Dauermagneten nicht zu einem vollständig freien Schweben führen kann [4] [5], was auf die Schüler etwas enttäuschend wirkte. Bei den Überlegungen für ein Modell einer Schwebebahn

mit Dauermagneten wurde daher nach einer Magnetanordnung gesucht, die in vertikaler Richtung stabil und nur geringe destabilisierende Seitenkräfte aufweisen sollte. Experimente mit einer Magnetanordnung nach Abb.2 bestätigten, daß bei einem Winkel von ca. 145° zwischen den zwei Magneten der „Magnetrinne“ eine sehr kleine seitliche Instabilität vorlag, die mit Rollen bzw. Kugellagern beseitigt werden konnte.

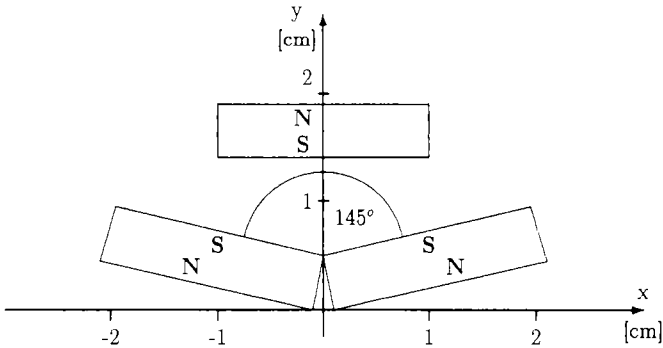


Abbildung 2: Schwebeanordnung mit „Magnetrinne“

Ein genauer Plan für das Versuchsmodell (Abb.3) wurde gezeichnet.

Einige Einzelteile wurden aus Holz in einer Schreinerei paßgenau angefertigt, so z.B. zwei „V-Schienen“, in denen die Magnete im stumpfen Winkel von 145° stabil eingeklebt wurden. An der Fahrzeugunterseite wurden auf beiden Seiten eine Reihe von Magneten mit geeigneter Polung befestigt und zur seitlichen Stabilisierung wurde in der Mitte zwischen den Magnetschienen eine dünne Holzschiene vertikal angebracht. Reibungsarme Kugellager fingen die geringen Seitenkräfte auf. Mit echtem Staunen und auch etwas Stolz erlebten die Schüler die „Jungfernfahrt“ des Modells mit einer überzeugenden Schwebhöhe. Das gestellte Problem war gelöst, die Überlegungen hatten sich als richtig herausgestellt, die Schüler hatten mit Kopf, Herz und Hand dazugelernt. In Abb. 4 ist ein Foto des Modells zu sehen, dessen Aussehen jedoch nicht mit den Maßstäben eines Designers beurteilt werden sollte. Es war als Versuchsmodell und nicht als Ausstellungsmodell geplant und gebaut worden.

Induktives Schweben

Am Ende des ersten Jahres hatten wir noch die Vorplanungen zur Untersuchung des induktiven Schwebprinzips begonnen. Dieses Prinzip erschien den Schülern am Anfang als sehr kompliziert. Erst nachdem Grundversuche zur Induktion in Spulen und auch Wirbelstromversuche in metallischen Ringen und Zylindern das Phänomen veranschaulicht hatten, war ein besseres Verständnis des *Induktiven Schwebens* möglich: Bei der Bewegung eines

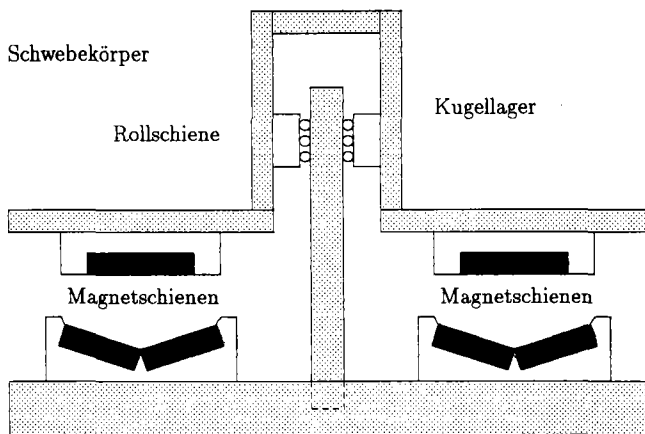


Abbildung 3: Querschnittsplan des Schwebemodells mit Dauermagneten

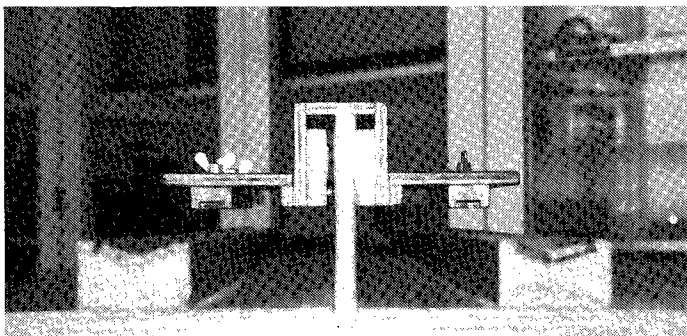


Abbildung 4: Foto des Schwebemodells

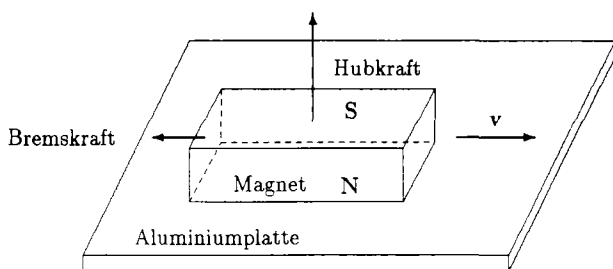


Abbildung 5: Zum Prinzip des Induktiven Schwebens

Magneten oberhalb einer elektrisch gut leitenden Schienenplatte (z.B. aus Aluminium) werden in dieser nach dem Induktionsprinzip Wirbelströme und nach der Regel von LENZ ein magnetisches Gegenfeld induziert. Magnet und „virtueller Schienenmagnet“ treten in Wechselwirkung: Der Magnet wird in seiner Bewegung gebremst und gleichzeitig wird er senkrecht zur Schiene abgestoßen. Hub- und Bremskraft treten immer gemeinsam auf. Zur Anwendung dieses Phänomens bei einer Magnetschwebbahn muß die physikalisch-technische Aufgabe gelöst werden, maximale Hubkraft bei minimaler Bremskraft zu verwirklichen (Abb.5).

Nachdem erkannt wurde, daß es nur auf die Relativbewegung zwischen Leiterbahn und Magnet ankommt, stand fest, wie Meßanordnung und Modell geplant werden mußten, um das *Induktive Schweben* zu untersuchen bzw. zu demonstrieren: Mit Hilfe eines regelbaren Elektromotors sollte eine Aluminiumscheibe auf unterschiedlich hohe Drehzahlen und damit auch Umfangsgeschwindigkeiten gebracht werden. Oberhalb der rotierenden Scheibe sollten sich die Dauermagnete befinden, an denen entweder direkt die auf sie wirkenden Kräfte gemessen werden oder sie sollten an der Unterseite eines Modellfahrzeugkörpers befestigt sein. Dieses sollte sich dann an einem drehbaren Haltearm heben und senken können. Aus Zeitgründen wurde beschlossen, zuerst ein Demonstrationsmodell zu bauen. Nachdem eine quantitative Berechnung der Kräfte beim *Induktiven Schweben* sehr komplex ist [6], [7], wurde mit den Schülern nur erörtert, von welchen Größen die Kräfte abhängen könnten: Magnetische Polstärke, Abmessungen der Magnete, Polung der Magnete, Scheibengeschwindigkeit, Leitfähigkeit der Scheibe, Abstand der Magnete von der Scheibe. Die Planung des Modells gelang schnell (Abb. 6), aber die Umsetzung bereitete größere Schwierigkeiten, als vermutet. Zuerst wurde eine stabile Aluminiumscheibe von 40 cm Durchmesser und 1cm Dicke benötigt, die bei den höheren Drehzahlen nur wenig Unwucht aufweisen sollte. Die Möglichkeit zur eigenen Herstellung in der Schulwerkstatt war nicht gegeben. Erfreulicherweise wurden in den Werkstätten eines regionalen Forschungslabors zwei Aluminiumscheiben kostenlos nach unseren Angaben angefertigt. Das zweite Problem war der Antrieb der Scheibe. Ein alter Staubsaugermotor stellte sich nach den ersten Versuchen als zu leistungsschwach heraus und

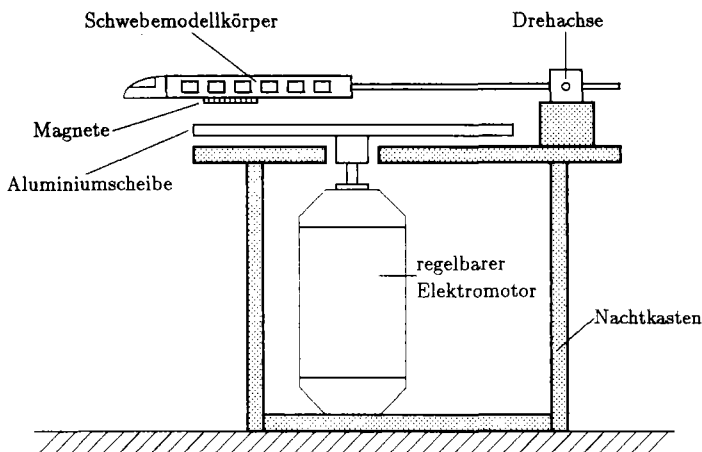


Abbildung 6: Schematischer Plan des Induktiven Schwebemodells

erneut gab es eine Verzögerung. Wieder hatten wir Glück, da uns eine ortsansässige Firma einen leistungsstarken und regelbaren Elektromotor spendete und auch bei der Montage der Scheiben am Motor behilflich war. Schließlich erhielten wir auch noch eine schnittige Fahrzeugkarosserie - ein Modell eines ICE - und bauten die einzelnen Komponenten in einen fast antiken Nachtkasten ein. In Abb. 7 ist ein Foto des fertigen Modells zu sehen. Im April 1992 wurden die zwei Modelle auf einem „Frauen- Technik-Tag“ in Erlangen von der einzigen weiblichen Teilnehmerin des Pluskurses vorgestellt. Der Ausstellungsstand war gut besucht, und die Modelle fanden großes Interesse.

Elektromagnetisches Schweben

Das elektromagnetische Schwebeprinzip ist für Schüler leicht verständlich, da die Anziehungskraft eines Elektromagneten auf ferromagnetische Körper schon sehr frühzeitig im Physikunterricht behandelt wird. In einfachen Versuchen wurde diese Kraftwirkung näher untersucht und die Schüler konnten sich davon überzeugen, daß es mit einer „Handregelung“ des Stromes in einem Elektromagneten nicht gelingt, einen Eisenkörper stabil - d.h. mit konstantem Abstand - unter dem Elektromagneten schweben zu lassen (Abb. 8). Grundsätzlich ist das Schwebeverhalten instabil und nur durch eine schnelle Regelung des Magnetfeldes läßt sich die Instabilität beseitigen. Diese Feldregelung muß dabei so erfolgen, daß bei einer Verringerung des Abstands die Anziehungskraft abnimmt und bei Vergrößerung des Abstands zunimmt, damit ein stabiler Zustand erreicht wird [8]. Für die Zukunft ist eine Versuchsanordnung geplant, mit der das Kraftgesetz eines unregulierten Elektromagneten in Abhängigkeit

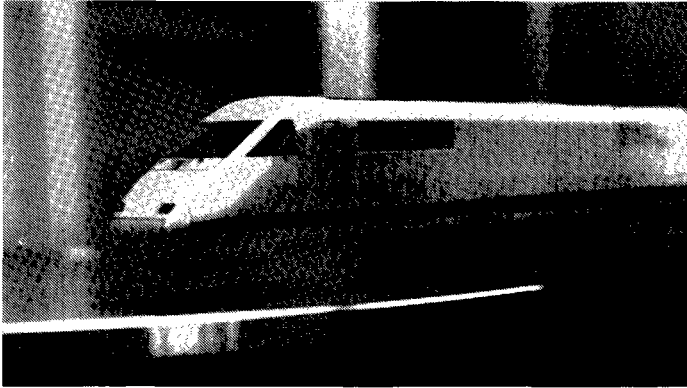


Abbildung 7: Foto vom induktiven Schwebemodell

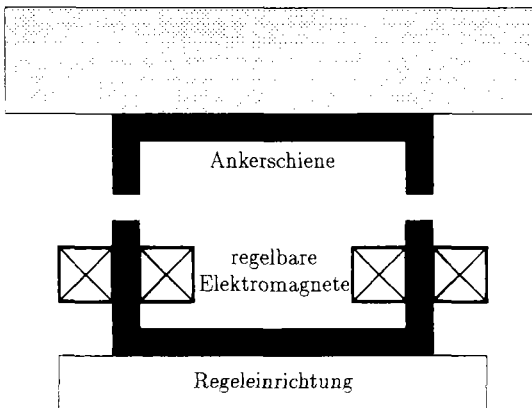


Abbildung 8: Zum Prinzip des Elektromagnetischen Schwebens

vom Abstand zwischen Elektromagnet und Schwebekörper ermitteln werden kann. Danach sollen verschiedene Möglichkeiten getestet werden, wie der Abstand mit Sensoren gemessen und in eine elektronische Regelgröße (Spannung oder Stromstärke) umgewandelt werden kann. Zum Schluß soll eine elektronische Schaltung entwickelt werden, die den Strom durch den Elektromagneten so regelt, daß der verwendete Eisenkörper stabil schwebt. Ziel ist, wie auch bei den anderen Prinzipien, ein funktionierendes Modell einer Schwebebahn. Besonders motivierend ist dieses Projekt für die Schüler, da die schon im großen Maßstab verwirklichte Magnetschwebbahn „Transrapid“ auf dem Prinzip der elektromagnetischen Anziehung funktioniert und im Testbetrieb schon eine Höchstgeschwindigkeit von ca. 500 km/h erreicht hat [9]. Eine Besichtigung dieser Hochgeschwindigkeitsbahn ist geplant (Abb. 1).

4. Erfahrungen

Als Leiter eines Pluskurses möchte ich feststellen, daß die Unterrichtsform in einem Pluskurs sehr geeignet ist, besonders begabte und interessierte Schüler zu fördern. Ein Pluskurs bietet die große Chance, ideenreiches und produktives Denken und Gestalten bei Schülern zu ermöglichen und zu fördern, da sich die Teilnehmer selbsttätig mit einem selbstgewählten Projektthema auseinandersetzen und dies meist mit Begeisterung und Freude tun. Für den Kursleiter stellt ein Pluskurs ebenfalls eine Herausforderung dar, da er öfters sein fachwissenschaftliches Wissen auffrischen, vertiefen oder sogar ergänzen muß. Ein Pluskurs erfordert zudem einen erheblichen zusätzlichen Arbeitsaufwand und immer wieder muß man sich kritisch mit dem Projektfortgang auseinandersetzen, wünschenswerte Ziele nüchtern einschätzen und eventuell auch einschränken. Andererseits kann man auch seine persönlichen Interessen und Vorlieben einbringen und eigene neugierige Fragestellungen durch problemlösende Ideen befriedigen.

Über die jeweils persönlich gemachten Erfahrungen der am Pluskurs beteiligten Schüler soll hier nicht berichtet werden. In mehr oder weniger intensiver Ausprägung konnten sie jedoch erfahren,

- daß erfolgreiche wissenschaftliche Arbeit meistens sehr systematisch ist;
- daß es wichtig ist, Sachverhalte kritisch zu hinterfragen;
- wie Hintergründe durchschaut und Zusammenhänge erkannt werden;
- daß im Einzelfall eine Vorgehensweise genau geplant werden muß;
- wie notwendig eine Flexibilität im Umgang mit einem Projekt ist;
- wie stark auftauchende Probleme herausfordern können;
- wie wichtig Konzentration bei der Lösung von Problemen ist;
- daß eine Zusammenarbeit für das Erreichen eines gemeinsamen Zieles notwendig ist;

- daß sich Eigeninitiative und Engagement des Einzelnen auf den Fortschritt des Projekts stark auswirken;
- wie wichtig Ausdauer in schwierigen Phasen des Projektes ist;
- wie schwer es sein kann, Gedanken- und Experimentierfehler aufzudecken;
- daß man auch mit Mißerfolgen zu rechnen hat, und wie man damit umgehen kann;
- daß schnell die eigenen Grenzen des Wissens, Könnens und Verstehens erreicht werden;
- daß selbständiges Entdecken und Forschen auch aufregend sein kann;
- wie man Kontakte zu außerschulischen Bereichen findet und diese pflegt;
- daß sich durch Gespräche und Diskussionen die eigenen sprachlichen Fähigkeiten erweitern;
- wie sich eine besondere Beziehung zwischen Lehrer und Schüler aufbauen kann, bei der der Lehrer mehr Koordinator und sonst auch nur Gruppenmitglied ist;
- wie der Lehrer an seine Grenzen stößt und er gelegentlich den Schülern unterlegen ist;
- wie man sein Verhalten auf die anderen Gruppenmitgliedern abstimmen muß;
- daß jeder mitverantwortlich für das Gelingen des Projektes ist;
- daß ein Beitrag zum Schulleben geleistet wird;
- daß die Teilnahme an einem Pluskurs etwas Besonderes ist;
- daß das gleichzeitige Lernen mit Kopf, Herz und Hand Spaß machen kann.

5. Schlußbemerkung

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß es in einem Pluskurs möglich ist, Schülern die Bedeutung, das Phänomen, die physikalischen Grundlagen und auch technische Anwendungen des magnetischen Schwebens in einer vorwiegend elementaren Form näherzubringen. Die Fragestellung nach den Voraussetzungen und der Funktionsweise eines technisch interessanten Gerätes wie dem modernen Verkehrsmittel „Magnetschwebbahn“, schafft mehr Lebensnähe beim Vermitteln von Physik und kann dadurch Schüler stärker anregen, die zugrundeliegenden physikalischen Gesetze aufzuspüren. Die Unterrichtsform in einem Pluskurs ist besonders geeignet, übergreifend zu lehren und zu lernen und dies fast wie in einem Forschungslabor. Sehr positiv wirkt sich aus, daß man bei der Projektdurchführung nicht unter dem sonst im Physikunterricht üblichen Zeitdruck steht, relativ eng gesteckte Lernziele zu erreichen. Forschen, auch in einer elementaren Form, braucht Zeit und auch eine gewisse Atmosphäre, die sich gerade in einem Pluskurs entwickeln kann. Meine persönlichen Erfahrungen mit der Förderung von besonders begabten Schülern sind sehr positiv. Darüber hinaus halte ich es jedoch insgesamt für eine wichtigere Aufgabe, auch weniger Begabte zu fördern, damit möglichst viele Schüler mehr fachliche Qualifikation, Verantwortungsbewußt-

sein, soziales Engagement, Demokratieverständnis, Integrationsverständnis, Urteilsfähigkeit und Kritikfähigkeit entwickeln können, um sich dann mit dieser „Bildung“ auch der Allgemeinheit verpflichtet zu fühlen.

Literatur

- [1] *Lehrplan für das bayerische Gymnasium*, KMBI So.-Nr.3/1990, S.168-169
- [2] *Reitmayer; Baureis*: „Pluskurs - Anregungen für die Gestaltung von Pluskursen für besonders begabte Schülerinnen und Schüler an den Gymnasien in Bayern“, Staatsinstitut für Schulpädagogik und Bildungsforschung, Arabellastr. 1, 8000 München 81, 1990
- [3] *Jung, V.*: „Magnetisches Schweben“ S. 19 ff, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg 1988
- [4] *Braunbeck, W.*: „Freischwebende Körper im elektrischen und magnetischen Feld“, Z.f. Physik 112 (1939), S. 756 ff
- [5] *Earnshaw, S.*: „On the nature of Molecular Forces“, Transactions of the Cambridge Philosophical Society 7 (1848), S. 97 ff
- [6] *Miericke, J.; Urankar, L.*: „Theory of electrodynamic levitation with a continuous sheet track“, J. Appl. Phys. 2 (1973), S. 201-211 (Part I)
- [7] *Urankar, L.; Miericke, J.*: „Theorie of electrodynamic levitation with a continuous sheet track“, J. Appl. Phys. 3 (1974), S. 67-76 (Part II)
- [8] *Kemper, H.*: „Schwebende Aufhängung durch elektromagnetische Kräfte: eine Möglichkeit für eine grundsätzlich neue Fortbewegungsart“, ETZ 59 (1938), S. 391-396
- [9] *Miller, L.*: „Einsatzfahrzeug Transrapid 06“, ETR 36 (1987), S. 641-645