

Allgemeines Studienseminar für das Lehramt an Gymnasien
Pirmasenser Str. 65
67655 Kaiserslautern

**Konzeption einer Ausstellung
zum Thema „Reibung“
im offenen Physikunterricht
der Jahrgangsstufe 8
des Gymnasiums**

Pädagogische Hausarbeit zur Zweiten Staatsprüfung
für das Lehramt an Gymnasien

von
Stefan Altherr

August 2006

Inhaltsverzeichnis

1. <u>Einleitung</u>	4
2. <u>Vorbemerkungen</u>	5
2.1 Allgemeine fachwissenschaftliche Bemerkungen	5
2.2 Bemerkungen zur Klasse	8
3. <u>Didaktische Analyse der Reihe</u>	10
3.1 Einordnung in den Lehrplan	10
3.2 Einordnung der Reihe ins Unterrichtsumfeld	10
3.3 Relevanz für Schüler und Fach	11
3.4 Didaktische Konzeption der Reihe	11
4. <u>Methodische Analyse der Reihe</u>	14
4.1 Offener Unterricht	14
4.2 Ausstellung	17
4.3 Sicherung	17
5. <u>Durchführung der Reihe</u>	19
5.1 Einführungsstunde	19
5.1.1 Vorbemerkungen	19
5.1.2 Didaktische Analyse der Einführungsstunde	19
5.1.3 Methodische Analyse der Einführungsstunde	21
5.1.4 Lernziele	24
5.1.5 Ablaufplan	24
5.1.6 Tafelbild	25
5.1.7 Durchführung und Reflexion	25
5.2 Offene Erarbeitungsphase	29
5.2.1 Vorbemerkungen	29
5.2.2 Didaktische Analyse der offenen Erarbeitungsphase	29
5.2.3 Methodische Analyse der offenen Erarbeitungsphase	30
5.2.4 Lernziele	32
5.2.5 Durchführung und Reflexion	34

5.3 Präsentation	45
5.3.1 Vorbemerkungen	45
5.3.2 Durchführung und Reflexion	46
<u>6. Ausstellung</u>	48
6.1 Vorbemerkungen	48
6.2 Stände und Präsentationen	48
6.2.1 Gruppe 1: Fallschirmspringen	48
6.2.2 Gruppe 2: Eigenschaften der Reibung	49
6.2.3 Gruppe 3: Reibung im Sport/ Luftreibung	50
6.2.4 Gruppe 4: Reibungsarten	51
6.2.5 Gruppe 5: Feuer machen	52
6.2.6 Gruppe 6: Reibung beim Auto-/ Fahrradfahren	53
6.3 Durchführung und Reflexion	53
<u>7. Nachbesprechung und Evaluation</u>	56
7.1 Vorbemerkungen	56
7.2 Durchführung und Ergebnisse	56
<u>8. Gesamtreflexion der Reihe</u>	66
8.1 Fachliche Konzeption	66
8.2 Methodische Konzeption	67
8.3 Weitere Bemerkungen	68
<u>9. Fazit</u>	69
<u>10. Anhang</u>	70
10.1 Literatur	70
10.2 Bildverzeichnis	72
10.3 Versicherung	73

1. Einleitung

Das Thema der vorliegenden Arbeit ist die Planung und Durchführung einer Unterrichtsreihe im offenen Physikunterricht. Inhaltlich wurde in der Reihe die Tribologie, d.h. die Reibung behandelt. Zielgruppe war eine Gymnasialklasse der achten Jahrgangsstufe.

Zusammen mit den Schülerinnen und Schülern¹ wurde eine Ausstellung zum Thema gestaltet, die dann von Schülern anderer Klassen und interessierten Lehrern besucht wurde.

Wichtige Aspekte bei der Durchführung waren die selbstständige Arbeit der Schüler, das gemeinsame Arbeiten im Team und die Produktorientierung. Dabei sollte die Lehrperson möglichst weit in den Hintergrund treten und ihre Rolle als reiner Zulieferer oder Helfer im Lernprozess definiert werden.

Zunächst werden die fachwissenschaftlichen Hintergründe beleuchtet und die beteiligte Schulklasse kurz vorgestellt. Im Anschluss daran wird die Reihe didaktisch und methodisch analysiert, wobei ein besonderer Schwerpunkt auf den offenen Unterricht gelegt wird.

Danach wird ein Überblick über die Durchführung der kompletten Reihe gegeben, wobei die Einführungsstunde und die Phase des offenen Arbeitens ausführlich besprochen werden.

Es folgt eine kurze Darstellung der Ergebnisse der Schülerarbeit und ein Blick auf die Ausstellung selbst.

Zum Ende erfolgt eine Gesamtreflexion der Reihe.

¹ Im Text wird ausschließlich der Begriff „Schüler“ verwendet, der beide Geschlechter mit einschließt.

2. Vorbemerkungen

2.1 Allgemeine fachwissenschaftliche Bemerkungen

Unter Reibung versteht man eine Kraft, die der Bewegung eines Körpers (relativ zu einem anderen) entgegen gerichtet ist. Sie bremst also den momentanen Bewegungszustand ab und führt zu einem Zustand der relativen Ruhe oder verhindert Bewegungen relativ zueinander.

Dabei unterscheidet man in der Schule vor allem zwischen Haft-, Gleit- und Rollreibung. Weitere Reibungsarten wie z.B. die Wälzreibung, Bohrreibung oder Flüssigkeitsreibung werden i.A. nicht thematisiert. In der Oberstufe wird noch die innere Reibung (in Flüssigkeiten oder Gasen) optional behandelt.

Haftreibung: Die Haftreibung ist die Kraft, die benötigt wird, um zwei sich berührende Körper gegeneinander in Bewegung zu versetzen. Liegt ein Körper A auf einem Körper B auf, so baut sich beim Versuch, Körper A zu verschieben, die der Bewegung entgegengesetzte Haftkraft auf. Beide Kräfte heben sich bis zu einem Maximalwert gegeneinander auf. Diese maximale Haftkraft wird als Haftreibung bezeichnet².

Sie nimmt gegenüber den anderen Reibungstypen eine Sonderstellung ein, da keine Energie umgesetzt und in Wärme umgewandelt wird.

Wie bei anderen Reibungstypen auch beschreibt der Haftreibungskoeffizient μ_H eine für ein Materialpaar typische Konstante, mit deren Hilfe sich die Kräfte näherungsweise berechnen lassen. Die Haftreibungskraft hängt proportional von der Flächennormalkraft F_N ab: $F_H = \mu_H \cdot F_N$

Gleitreibung: Ist die Haftreibung überwunden, so gleiten die beiden oben beschriebenen Körper A und B übereinander hinweg. Dieser Relativbewegung wirkt die Gleitreibungskraft entgegen. Diese hängt proportional von der Gewichtskraft der gleitenden Körper ab. Die für die beteiligten Körper spezifischen Größen werden dabei im Gleitreibungskoeffizienten μ_G zusammengefasst: $F_G = \mu_G \cdot F_N$

Rollreibung: Rollt ein Körper auf einem zweiten ab, so wird auch diese Bewegung durch Reibung gebremst. Ursache für die Rollreibungskraft ist die Verformung von abrollendem Körper und Unterlage. Die Überwindung

² In der Literatur werden auch andere Definitionen benutzt. Während ältere Veröffentlichungen eine genauere Erklärung vermeiden, wird der oben beschriebene Begriff der Haftreibungskraft in neueren Schriften gegeben. Andere Texte beschränken die Haftreibungskraft nicht auf die maximale Kraft beim Losbrechen, sondern behandeln sie als variable Größe.

des Widerstandes, den Körper und Unterlage dieser Verformung entgegensetzen, beschreibt die Rollreibung.

Eine einfache Näherung zur Berechnung bietet analog zu den beiden anderen beschriebenen Reibungsarten folgende Formel, wobei auch hier der Rollreibungskoeffizient μ_R geometrische und materialspezifische Eigenschaften zusammenfasst: $F_R = \mu_R \cdot F_N$

Ein Vergleich der drei beschriebenen Reibungskoeffizienten zeigt, dass für alle Materialkombinationen jeweils gilt: $\mu_H > \mu_G > \mu_R$.

Die oben beschriebenen Reibungstypen hängen alle proportional vom Gewicht der aufliegenden Körper ab. Eine Abhängigkeit von der Geschwindigkeit v gibt es hier (im Gegensatz z.B. zur inneren Reibung, die nahezu proportional zu v^2 ist) nicht. Ebenso sind diese Reibungsarten von der Größe der Berührfläche unabhängig.

Kleine Unebenheiten auf den Oberflächen der beiden Körper, die sich ineinander verhaken, sind ein frühes, einfaches Modell für die Ursache der Reibung. Diese sind auch bei scheinbar glatten Flächen vorhanden und verhindern das kräftefreie Aneinandervorbeigleiten.

Aus diesem Modell folgt die Annahme, dass sich die beiden Flächen im Laufe der Zeit gegenseitig abschleifen. Dass dies nicht stimmen kann, zeigt die Haltbarkeit vieler Materialien im Dauereinsatz. So wären z.B., wenn man die Abnutzung von Lokomotivreifen auf Grund der verrichteten mechanischen Arbeit berechnet, diese bereits nach wenigen Kilometern zerstört³.

Man geht heute davon aus, dass sich die beiden sich berührenden Flächen gegenseitig elastisch deformieren. Die Rückdeformation führt dabei zu Gitterschwingungen im Festkörper, die zu einer Erwärmung führen.

Eine mögliche Betrachtung der Reibung auf atomarer Ebene schlug Tomlinson 1929 vor³. Sie beruht auf einer instabilen Gleichgewichtsposition der Atome in einem konservativen Potenzial. Ein Partikel befindet sich in einem periodischen Potenzial (siehe Abb. 1). Die Aufhängung bewegt sich gleichmäßig nach rechts, wobei die Kraftkopplung durch eine Feder

³ G.A. Tomlinson: A Molecular Theory of Friction, Philosophical Magazine, 1929,7: Seite 905-939

dargestellt wird. In einer bestimmten Position wird die Lage des Partikels instabil, und es erfolgt ein Sprung über den nächsten Potenzialhügel hinweg.

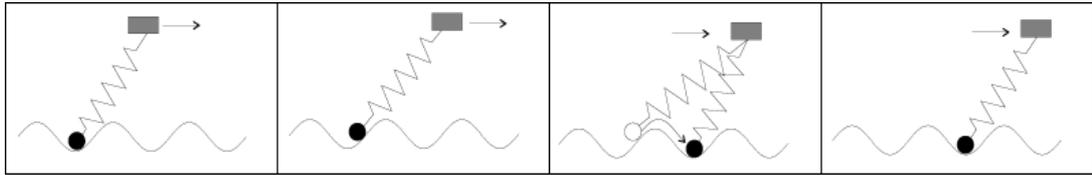


Abb. 1: Partikel im Tomlinsonschen Mechanismus. Quelle: <http://www.nano-world.org>

Das für dieses Verhalten verantwortliche physikalische Phänomen ist die mechanische Adiabaticität (siehe Abb. 2). Das Atom A ist stark an die Oberfläche I gebunden. Von Oberfläche II aus wirkt eine zeitabhängige Kraft auf das Atom A, das von einem Potenzialhügel mitgezogen wird. Dominiert die Kraft von Oberfläche I, kehrt das Atom in seine ursprüngliche Position zurück. Die elastische Energie wird dabei in kinetische Energie umgewandelt, die als Wärme ins Kristallgitter abgegeben wird.

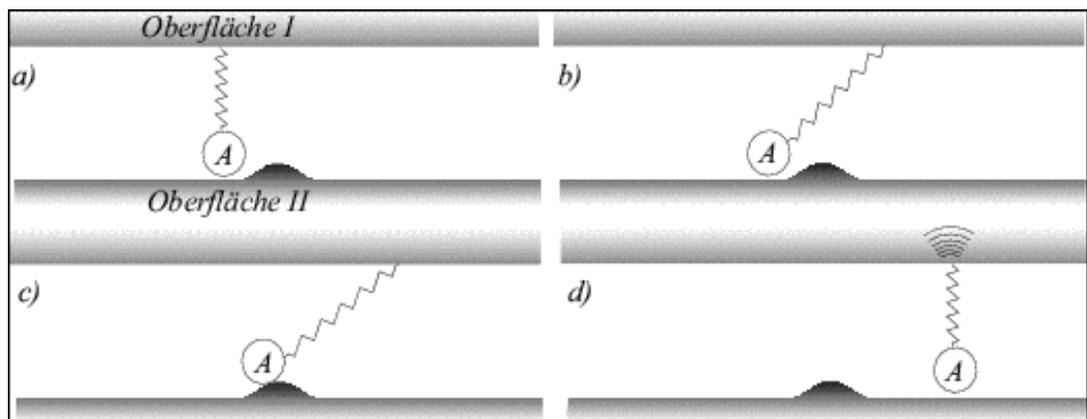


Abb. 2: Mechanische Adiabaticität. Quelle: <http://www.nano-world.org>

Diese vereinfachte Darstellung gibt nur einen kleinen Einblick in das komplexe System der Reibung, geht jedoch bereits deutlich über den üblichen Schulstoff der Sekundarstufe I hinaus.

Andere Ansätze gehen i.A. ebenfalls von elastischen Verformungen an den Oberflächen aus.

Dadurch, dass die Reibung bei allen Bewegungsvorgängen vorhanden ist, gibt es viele Anwendungen, bei denen sie genutzt wird, aber auch viele technische Realisierungen, die sich um eine Minimierung der Reibung bemühen.

Segelschiffe und Fallschirme sind naheliegende Beispiele für eine Nutzung der Luftreibung. Aber auch beim Autofahren gäbe es kein Vorwärtskommen ohne Reibung. Durch Reibung lässt sich Feuer machen, Nägel bleiben in der Wand, und die Bremse beim Fahrrad funktioniert.

Öfter gelangen jedoch die negativen Seiten der Reibung in den Blickpunkt. So z.B. beim Wiedereintritt eines Shuttles in die Erdatmosphäre, oder beim Luftwiderstand von Autos. Minimiert werden soll z.B. die Reibung des Fahrradreifens auf der Nabe, ebenso wie die zwischen den anderen beweglichen Teilen des Antriebes (Kettenblatt, Kette, Ritzel).

Während sich Luftreibung durch spezielle Körperformen reduzieren lässt, nutzt man bei der Reibung fester Körper Schmiermittel. Beispielsweise bilden Öle einen durchgehenden Flüssigkeitsfilm zwischen den Körpern, wodurch diese voneinander getrennt werden. Die Reibung erfolgt nun vorwiegend innerhalb der Flüssigkeit, die sich dadurch erwärmt.

2.2 Bemerkungen zur Klasse

[Redacted content]

[REDACTED]

3 Didaktische Analyse der Reihe

3.1 Einordnung in den Lehrplan

Im zweiten Halbjahr der Jahrgangsstufe acht wird der Themenblock „Mechanik I“ behandelt, der im neunten Schuljahr mit „Mechanik II“ fortgesetzt wird.

Im ersten Teil der Mechanik geht es dabei um die Begriffe „Kraft und Masse“.

Daran schließt mit einer Vorgabe von zwölf Unterrichtsstunden der Bereich „Arbeit und Energie“ an. Hier wird auch der Unterpunkt „Reibungskraft und Reibungsarbeit“ erwähnt, wobei nur qualitative Experimente zu den Reibungsarten eingesetzt werden sollen.

In der neunten Klasse wird noch einmal auf das hier erworbene Wissen bei der „Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität durch Versuche zur Reibungsarbeit“ zurückgegriffen.

Insgesamt wird die Reibung nur sehr knapp behandelt, obwohl sie bei jedem mechanischen Vorgang beobachtet werden kann. Darüber hinaus wird sogar bei nahezu allen Versuchen im Physikunterricht angestrebt, die „ungeliebte“ Reibung so weit wie möglich zu minimieren.

3.2 Einordnung der Reihe ins Unterrichtsumfeld

Dem Lehrplan entsprechend wurde im Anschluss an die Optik Mitte Februar mit der Mechanik begonnen. Im Zentrum stand dabei in den ersten Wochen der Begriff der Kraft und das Ziel, einen Kraftmesser zu bauen. Dazu wurden mögliche Wirkungen von Kräften untersucht, das Hookesche Gesetz hergeleitet und schließlich der Aufbau eines Dynamometers besprochen.

Danach wurden mögliche Darstellungsarten von Kräften besprochen, grafische Additionen durchgeführt und wichtige Folgerungen daraus gezogen. Es wurden das Kräftegleichgewicht thematisiert und Anwendungen (z.B. Lampe zwischen zwei Pfosten) untersucht.

In den Stunden vor der Unterrichtsreihe zur Reibung wurden mechanische Arbeit, mechanische Energie und die Energieumwandlung behandelt.

Im Anschluss an die Reihe wurden verschiedene Kraftwandler (Hebel, Flaschenzug) thematisiert.

3.3 Relevanz für Schüler und Fach

Die Reibung ist, wie in 2.1 bereits angesprochen, bei allen mechanischen Vorgängen in Natur und Umwelt zu beobachten. Autos und Fahrräder rollen aus, Bälle hüpfen immer weniger hoch, Schaukeln schwingen aus u.v.m. Fehlt die konstante Energiezufuhr, kommen in unserer Umwelt alle Bewegungsvorgänge früher oder später zum Stehen. Auch bei statischen Situationen (Stehen auf einer Schräge, Nagel in der Wand) spielt die Reibung eine zentrale Rolle.

Deshalb können sich Schüler ohne Berücksichtigung der Reibung selbst einfache Vorgänge in ihrer Umwelt nicht erklären. Dies macht das Thema Reibung für Schüler interessant, da es von zentraler Bedeutung für die Erklärung ihrer Umwelt ist.

Fachlich wird der Reibung in der Schule gerne die Rolle des „ungeliebten“ Zusatzterms in Formeln oder als Fehlerquelle bei Messungen zugedacht. Dennoch spielt die Reibung auch im Schulunterricht eine bedeutendere Rolle:

So lässt sich die Energieerhaltung, die erstmals am Ende der Klasse acht auftaucht, nur mit Hilfe der Reibung verstehen.

In Klasse neun wird der Zusammenhang zwischen Arbeit und innerer Energie mit Hilfe der Reibung hergeleitet und dabei die spezifische Wärmekapazität bestimmt.

In der Oberstufe schließlich werden die Bewegungsgesetze durch so genannte Reibungsterme erweitert und die Reibung somit quantitativ erfasst.

3.4 Didaktische Konzeption der Reihe

Das Thema Reibung wird, wie Umfragen unter Kollegen verschiedener Schulen bestätigen, wenn überhaupt, nur sehr stiefmütterlich im Physikunterricht der Klasse acht behandelt.

Um mit möglichst einfachen, anschaulichen Vorgängen einzusteigen, wird die Reibung zunächst komplett außen vorgelassen. Dies zeigt sich unter anderem daran, dass nahezu alle typischen Schulexperimente darauf ausgelegt sind, die Reibung so weit wie möglich zu minimieren.

Besonders deutlich wird dies bei der Behandlung der Bewegungsvorgänge in der Oberstufe, wo die Bewegungen zunächst nur unter Verzicht auf einen

Reibungsterm beschrieben werden können. So ist es typischerweise der freie Fall mit vernachlässigbarer Luftreibung oder sogar die Luftkissenbahn, an denen Bewegungsvorgänge untersucht werden.

Generell erhält die Reibung somit das Ansehen eines unangenehmen Zusatzes, der nach Möglichkeit vermieden werden sollte. Oft wird auf Grund des Zeitdruckes komplett auf eine Besprechung der Reibung verzichtet, oder sie wird nur kurz am Rande erwähnt.

Dies geschieht trotz der Stellung der Reibung im Lehrplan und der Bedeutung in Natur und Technik wie sie in den vorangehenden Kapiteln angedeutet wurden.

Die Folgen daraus sind fachintern, dass auch in Physik-Grundkursen in der Mainzer Studienstufe (MSS) die Reibung kaum thematisiert wird, weil die Grundlagen fehlen. Allgemein wird dadurch den Schülern ein unvollständiges Bild von der Physik mitgegeben. Wie soll ein Schüler die Energieerhaltung mit seinen täglichen Erfahrungen in Einklang bringen, wenn er die Zusammenhänge nicht kennt?

Deshalb habe ich mich in dieser Reihe mit dieser gerne gemiedenen Thematik beschäftigt.

Die Behandlung der Reibung in einer zwar in den Unterricht eingebundenen, aber dennoch abgeschlossenen Reihe hat auch negative Aspekte. So wird der Reibung wiederum eine Sonderstellung eingeräumt, statt sie als allgegenwärtiges Phänomen zu besprechen. Deshalb muss immer wieder Wert auf die Feststellung gelegt werden, dass die Reibung bei allen Bewegungsvorgängen eine mehr oder weniger wichtige Rolle spielt und auch im bisherigen Unterricht immer vorhanden war. Nur soll eben jetzt das besondere Augenmerk auf die Rolle der Reibung bei den beobachteten Vorgängen gelegt werden.

Alternativ dazu könnte die Reibung auch über die komplette Behandlung der Mechanik hinweg immer wieder thematisiert werden. Bei jedem Vorgang kann auf die Reibung hingewiesen werden, so dass sich im Laufe des Halbjahres bei den Schülern ein ausreichend differenziertes Verständnis der Thematik ausbilden kann.

Im Unterricht wurde die Reibung immer wieder kurz erwähnt, dennoch halte ich es für unverzichtbar, sich für die Dauer einiger Unterrichtsstunden

vollständig auf sie zu konzentrieren. Nur so kann meiner Einschätzung nach sicher gestellt werden, dass die Reibung und ihre Rolle bei Bewegungsvorgängen von allen Schülern erkannt wird und nicht nur ein diffuses, von Präkonzepten geprägtes Bild entsteht.

Die inhaltliche Schwerpunktsetzung innerhalb der Reihe lässt sich auf Grund der methodischen Struktur nur wenig beeinflussen. Wichtige Möglichkeiten zur Steuerung sind hierbei die Einführungsstunde (siehe 5.1) und die Laborbücher (siehe 4.1).

Letztere liefern für die Schüler in jeder Stunde einen Anhaltspunkt. Es wurde eine Reihenfolge vorgegeben, die klassisch ist für die Vorbereitung von Vorträgen:

- Recherche
- Eingrenzung der Inhalte
- Auswahl der Experimente
- Strukturierung des Vortrags
- Präsentation

Darüber hinaus werden die Schwerpunktsetzung, die Inhalte sowie die Ausarbeitung den Schülern überlassen. Eine stärkere Steuerung wäre als Lehrer sicherlich zu jedem Zeitpunkt möglich, aber auf Grund der methodischen Überlegungen nicht gewollt.

Da es sich um eine eher schwächere Klasse handelt, wird beim Einstieg kein harter Schnitt vollzogen, sondern bewusst an bekanntes Wissen angeknüpft und der Blick dann verstärkt auf den neuen Aspekt der Reibung gelenkt.

Die durchschnittlichen Fähigkeiten rund um den Komplex des Experimentierens (Planung, Hypothesenbildung, Durchführung, Auswertung) sollen bewusst durch einen kompletten Verzicht auf Vorgaben gefordert und damit gefördert werden.

4. Methodische Analyse der Reihe

4.1 Offener Unterricht

Die offene Unterrichtsform ist gekennzeichnet durch eine starke Handlungsorientierung sowie eine Planungsbeteiligung der Schüler⁴.

Ausführlich zählt Herbert Gudjons charakteristische Bausteine und Merkmale eines offenen Unterrichts auf⁵:

„ ...eine anregende Lernumwelt in der Klasse mit Werkstattcharakter, freie und flexible Lernorganisation mit wenig Frontalphasen, kreative, selbsttätige Lernmethoden, akzeptierende Lernatmosphäre, Dokumentation von Lernergebnissen im Klassenraum, Tages- und Wochenplan (für eine transparente, selbsttätige und individuelle Arbeit), freie Arbeit gemäß eigener Entscheidung der Kinder, projektorientiertes Arbeiten, eine Fülle von Arbeitsmitteln, die Einzel-, Partner- oder Gruppenarbeit ermöglichen, der Stuhlkreis (zur Besprechung gemeinsamer Angelegenheiten) u.v.a.“.

Damit stellt Gudjons eine Reihe von Forderungen auf, die so sicherlich einen Idealfall charakterisieren und kaum alle von einer einzelnen Reihe erfüllt werden können.

Der so beschriebene offene Unterricht ist gekennzeichnet durch eine Reihe von Vorteilen, die einen positiven Unterrichtsverlauf und gute Lernerfolge versprechen.

Das ganzheitliche Lernen betrachtet den Schüler in seiner Gesamtheit und verknüpft vor allem auch das Lernen mit dem Handeln. Im Hinblick auf die spätere Lebens- und Arbeitswelt wird es immer wichtiger, kompetentes, selbstständiges Handeln zu erlernen.

Die „Komplexität und Unanschaulichkeit der (...) wissenschaftlichen [und] technischen (...) Entwicklung“⁶ macht es für die Schüler immer schwieriger, die notwendigen Kenntnisse ohne unmittelbare Anschauung oder handelnden Umgang zu erwerben.

Die Identifikation der Schüler mit selbst geplantem und durchgeführtem Unterricht ist wesentlich größer als bei strenger Vorgabe durch den Lehrer. Das „selbst Erlebte“ bleibt den Schülern wesentlich besser im Gedächtnis als Inhalte bzw. Experimente, die nur vorgeführt wurden.

⁴ Vgl. Hilbert Meyer, Unterrichtsmethoden – 1 Theorieband, 12. Auflage, Cornelsen-Verlag, Berlin 1987, S. 211

⁵ Herbert Gudjons, Pädagogisches Grundwissen, 7. Auflage, Verlag Julius Klinkhardt, Bad Heilbrunn 2001

⁶ Vgl. Hilbert Meyer, Unterrichtsmethoden – 2 Praxisband, 13. Auflage, Cornelsen-Verlag, Berlin 1987, S. 410

Die Entwicklung von Methodenkompetenzen und das Arbeiten im Team sind zentrale Kernfähigkeiten für das weitere schulische Leben und die spätere Arbeitswelt. Das produktorientierte Handeln und die Eigenverantwortlichkeit sind wichtige Triebfedern für die Motivation und die Beteiligung der Schüler am Unterricht und damit für den Lernerfolg.

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

Darüber hinaus möchte ich mit der Wahl dieser Unterrichtsform gezielt gegen das unterschwellig schlechte Klassenklima angehen. Das Arbeiten an einem gemeinsamen Ziel und damit die Identifikation mit einer gemeinsamen Arbeit kann die Einzelgruppen stärker miteinander in Kontakt treten lassen und Außenstehenden eine Chance geben, in die Klassengemeinschaft zurückzufinden.

Aus diesen Gründen möchte ich mich soweit möglich zurückziehen und den Großteil der Unterrichtsreihe im offenen Unterricht von den Schülern gestalten lassen. D.h. im Anschluss an die Einführungsstunde gehen Verantwortung und Planung weitest gehend in die Hände der Schüler über. Um eine gute Arbeitsatmosphäre zu schaffen, wird die Klasse in eine Reihe von Expertengruppen aufgespalten, die sich jeweils mit einem Teilgebiet der Reibung beschäftigen. Die Themen dieser Gruppen werden dabei von den Schülern selbst festgelegt werden.

Trotz aller positiver Aspekte darf die oft berechtigte Kritik am offenen Unterricht nicht vergessen werden:

So ist die Vorbereitung für den Lehrer sehr arbeitsintensiv, so dass im Alltag eine solche Reihe sicher die immer wieder anzustrebende Ausnahme bleiben muss. Und auch den Schülern wird mehr abverlangt als bei der Mitarbeit im konventionellen Unterricht. Eine solche Belastung könnte auch von den Schülern nicht über sechs bis sieben Schulstunden täglich hinweg bewältigt werden.

Trotz aller Vorbereitung des Lehrers besteht das Risiko, dass die Unterrichtsreihe „aus dem Ruder“ läuft. D.h. der rote Faden geht verloren,

Ziele werden nicht weiter verfolgt, Fachstrukturen werden ignoriert und am Ende wurde viel Zeit für wenig Ertrag aufgewendet.

Aus diesem Grund muss es meiner Ansicht nach trotz allen Idealismuses Möglichkeiten für den Lehrer geben, in einem solchen Fall regulierend einzugreifen.

Da die Schüler selbstorganisiertes Arbeiten nicht gewohnt sind und um sie nicht in dieser Konzeptlosigkeit alleine zu lassen, werde ich in jeder Reihenstunde an die Schüler ein so genanntes „Laborbuch“ ausgeben. Dabei handelt es sich in der Regel um ein einzelnes Blatt, das einige Leitfragen zur aktuellen Stunde enthält (siehe dazu 5.1.2 und 5.2.2). So kann z.B. die Recherche, die Planung der Experimente oder die Strukturierung von Präsentationen in den Vordergrund gerückt werden.

Diese Fragen geben einerseits mir eine Rückmeldung über Schwierigkeiten der Schüler. Andererseits geben sie den Schülern aber auch eine Idee davon, was von ihnen erwartet wird. Dabei geht es nicht darum, die Schüler über ein neues Instrument im Endeffekt doch zu steuern, sondern es soll ihnen eine Orientierungshilfe angeboten werden, die sie annehmen können, aber nicht müssen.

Durch Ausgabe einer neuen Laborbuchseite zu Beginn einer jeden Stunde, kann auch kurzfristig auf Fehlentwicklungen reagiert werden. Sollte z.B. in einigen Gruppen die Zeitplanung nicht funktionieren, können hiermit Hinweise zur weiteren Zeitstruktur gegeben werden.

Der Kopf des Laborbuchs wird jeweils von einigen kurzen Einleitungssätzen gebildet, welche die Schüler über Sinn und Zweck dieser Seite aufklären. Damit wird die Bearbeitung der Fragen wesentlich erleichtert, da die Schüler das Ganze in einen Gesamtzusammenhang setzen und ihnen die Erwartungen wesentlich klarer werden.

Diese Unterrichtsreihe, die im Anschluss an eine Einführungsstunde den Schülern das freie Arbeiten an einem gemeinsamen Ziel ermöglicht, erfüllt nahezu alle von Gudjons geforderten Merkmale des offenen Unterrichts. Ich denke, dass die oben beschriebenen positiven Merkmale in der Reihe vorhanden sind, während einige der Probleme durch den Einsatz der Laborbücher abgefangen werden können.

Was bleibt ist die hohe Belastung der Schüler zu einer Zeit, in der die letzten Schulnoten gemacht werden, die Fußball-Weltmeisterschaft im eigenen Land im Gange ist und die Temperaturen hoch sind.

4.2 Ausstellung

Die Idee, eine Ausstellung zu gestalten, entstand in Anlehnung an „Jugend forscht“.

Dieses Konzept habe ich deshalb gewählt um ein *echtes* Ziel zu schaffen, das von anderen Schülern und Lehrern anerkannt und kritisiert werden kann. Eine Webseite, auf der oder ein Heft, in dem die Ergebnisse der Reihe festgehalten werden, ist in meinen Augen kein echtes Arbeitsziel, mit dem sich die Klasse identifizieren kann, da solche Produkte schnell in Vergessenheit geraten bzw. kaum beachtet werden.

Weiterhin eignet sich das Thema „Reibung“ sehr gut für dieses Konzept, da es problemlos in eine Reihe von kleineren Unterthemen aufgespalten werden kann, die alle unabhängig voneinander dargestellt werden können. Bei den meisten anderen Themen ist eine solche Unterteilung nur schwer möglich.

Die Ausstellung als Endprodukt ist dabei über die ganze offene Arbeitsphase hinweg das sinn- und motivationsspendende Element. Zum einen, weil es etwas ist, das anderen Schülern und Lehrern präsentiert wird. Aber auch weil das eigene Erschaffen von etwas Neuem eine seltene Erfahrung für Schüler ist, die sehr stark motivierend wirkt.

4.3 Sicherung

Die Sicherung der Ergebnisse stellt ein Problem bei dieser Form der Unterrichtsgestaltung dar. Mit ihr soll vor allem vermieden werden, dass jeder Schüler sich nur mit seinem eigenen Gruppenthema beschäftigt und so nichts von den anderen Ergebnissen mitbekommt.

Zunächst findet deshalb eine gemeinsame Einführungsstunde statt, in der das Grundkonzept der Reibung gemeinsam erarbeitet wird. Die hier gewonnenen Erkenntnisse stellen die gemeinsame Basis für die offene Arbeitsphase dar.

In dieser werden nun die Kenntnisse der Schüler je nach Gruppe zum Teil weit auseinandergelassen.

Aus diesem Grund findet am Ende der Phase, wenn die Ausstellung vollständig aufgebaut ist, eine gegenseitige Präsentation der Ergebnisse jeder Gruppe für alle anderen statt. Was man hiervon nicht erwarten kann, ist eine genaue Kenntnis aller Details, die in allen Gruppen erarbeitet wurden.

Aber durch den im Laufe des Schuljahres eingeübten sehr guten Umgang mit Referaten erhoffe ich mir, dass bei allen Schülern zumindest die wesentlichen Aussagen zur Reibung im Gedächtnis bleiben.

Um den Charakter der Reihe nicht dadurch zu zerstören, dass nach der Ausstellung „alles noch mal richtig gemacht wird“, werde ich auf eine weitere Besprechung der Thematik von meiner Seite aus verzichten. Fragen der Schüler, die eventuell noch vorhanden sind, werden natürlich aufgegriffen, aber eine strukturierte Besprechung wird es nicht geben.

Dies kann vor allem auch dadurch gerechtfertigt werden, dass bei der Reibung Konzepte und nicht quantitative Ergebnisse und Formeln im Vordergrund stehen. Weiterhin sind die Lernziele einer solchen Reihe auch im methodischen, sozialen und handwerklichen Bereich zu sehen, und solche lassen sich kaum schriftlich sichern.

Die von der Klasse angefertigten Poster werden im Anschluss an die Ausstellung im Fachsaal Physik aufgehängt. So kann im eigenen Unterricht darauf zurückgegriffen werden, und auch andere Lehrer und Klassen können davon profitieren.

5. Durchführung der Reihe

Stunde	Inhalt
1	Einführung zur Reibung
2	Gruppeneinteilung/ Themenvergabe – Freies Arbeiten
3	Freies Arbeiten
4	Freies Arbeiten
5	Freies Arbeiten
6	Gegenseitige Präsentationen
7	Ausstellung
8	Nachbesprechung

5.1 Einführungsstunde

5.1.1 Vorbemerkungen

Die Einführungsstunde in die Reihe dient neben der offensichtlichen Einführung in die Thematik vor allem der Vorbereitung der folgenden offenen Arbeitsphase. D.h. im zweiten Teil dieser Stunde soll den Schülern das Konzept der kompletten Reihe nähergebracht werden, und es soll eine Motivation für diese Phase des eigenverantwortlichen Schaffens angeregt werden.

Dazu ist es wichtig, die Idee der Ausstellung dramaturgisch geschickt einzuführen, um eine ablehnende Haltung bei den Schülern zu vermeiden. Denn baut sich hier eine negative Haltung auf, so hat dies weit reichende Auswirkungen auf die ganze Unterrichtsreihe.

Sollte das Ausstellungskonzept nicht angenommen werden, so können zusammen mit der Klasse alternative Konzepte (virtuelle Ausstellung im Internet, Broschüre zur Reibung oder Ähnliches) ausgearbeitet werden.

5.1.2 Didaktische Analyse der Einführungsstunde

Wichtig an dieser Einführungsstunde ist vor allem, dass die Schüler den Kernaspekt der Reibung kennen lernen. D.h. sie erkennen das Vorhandensein einer Kraft, die Bewegungen hemmt bzw. verhindert.

Dazu wird unmittelbar an die Inhalte der vergangenen Stunden angeknüpft, indem bekannte Experimente unter neuer Schwerpunktsetzung durchgeführt werden.

Man könnte hier auch durchweg auf neue Experimente setzen, um die Reibung isoliert vom bisherigen Physikunterricht zu betrachten. Aber eben diese Verknüpfung mit allem, was bisher behandelt wurde, ist wichtig, um die Reibung nicht als exotische Randerscheinung darzustellen, sondern sie als allgegenwärtigen Effekt ins Bewusstsein zu rufen.

Ebenso möchte ich mich nicht auf einen der drei klassischen Reibungstypen beschränken, sondern Versuche mit unterschiedlichen Reibungstypen besprechen. So werden die drei Versuche exemplarisch Haft-, Roll- und innere Reibung zeigen. Dies sind ein auf einer schiefen Ebene stehender Schüler, ein hüpfender Tennisball und ein rollender Spielzeugwaggon.

Einerseits erschwert diese Zusammenstellung den Schülern, die Reibung als gemeinsame Ursache für die Hemmung der Bewegungsvorgänge bei allen drei Versuchen zu erkennen. Andererseits erhoffe ich mir damit eine breitere Basis für die spätere offene Arbeitsphase zu schaffen und die Schüler nicht auf einen Bereich vorzuprägen.

Ziel wird es sein, die Gemeinsamkeiten der drei Vorgänge zu erkennen und im späteren Verlauf der Reihe diese auf weitere Vorgänge zu transferieren. Das Erkennen der Gemeinsamkeiten stellt dabei den inhaltlichen Knackpunkt der Stunde dar. Nur wenn es den Schülern gelingt, die drei Versuche zu verknüpfen, kann ein Verständnis für die Reibung erzielt werden.

Auch hier wäre es wieder möglich, an nur einem speziellen Experiment besondere Eigenschaften herauszuarbeiten und diese dann bei weiteren Experimenten zu untersuchen. Also z.B. nur die Gleitreibung zu thematisieren und im Anschluss auch andere Reibungsarten hinzuzunehmen.

Eine tiefer gehende Beschäftigung mit der Thematik erfordert das Laborbuch von den Schülern (siehe Abb. 3).

Beim ersten Laborbuch geht es darum, sich ein wenig Gedanken um Reibung zu machen. Du sollst dir überlegen, wo Reibung eine Rolle spielt, was du vielleicht schon über die Reibung weißt und was du gerne wissen würdest.

Mit diesen Notizen soll unsere Ausgangssituation festgehalten werden. D.h. du musst nicht physikalisch exakt formulieren, sondern kannst deine Ideen in deinen eigenen Worten festhalten.

Mache dir (ggf. zusammen mit deinem Sitznachbar) ein paar Gedanken über die folgenden Fragen, und beantworte sie dann.

- **Wo spielt die Reibung in deinem Alltag/ deiner Umwelt eine Rolle? Nenne Beispiele.**
- **Welche Fragen zur Reibung kann die Physik (deiner Meinung nach) beantworten?**
- **Was denkst du, wodurch Reibung entsteht?**

Abb. 3: Laborbuch I (gekürztes Layout)

Dieses erste Laborbuch wird im Anschluss an die erste Phase nach Erarbeitung und Sicherung ausgegeben. Hier wird zunächst sehr anschaulich nach Beispielen für Reibung gefragt. Die Schüler können hier frei ihre Ideen einbringen. In Frage zwei wird eine Verknüpfung zum Physikunterricht gefordert. Hier geht es darum, eine abstraktere Sichtweise des Phänomens zu erzeugen und die Schüler somit vom konkreten Experiment zu lösen.

Die beiden ersten Fragen sollen die Grundlage für die späteren Gruppenarbeitsthemen liefern.

Frage drei prüft auf mögliche Präkonzepte bei den Schülern.

Speziell in dieser Klasse ist es auf Grund der schwachen Mitarbeit einiger Schüler wichtig, dass sich alle einige grundlegende Gedanken zur Reibung machen. Denn nur so kann vermieden werden, dass die Einführungsstunde an einigen Schülern komplett vorbeigeht, was sie in der folgenden Phase stark einschränken würde.

5.1.3 Methodische Analyse der Einführungsstunde

Der Einstieg erfolgt mit Hilfe einer Wiederholung, um den Schülern einen Anknüpfungspunkt zu bieten. Gerade in dieser nicht sehr leistungsstarken Klasse läuft man sonst Gefahr, einen Teil der Schüler gleich zu Beginn zu verlieren.

Der direkte Einstieg mit einem Experiment zur Reibung würde dieser eine Sonderstellung verschaffen, was vermieden werden soll.

Stattdessen wird die schiefe Ebene und die Kräftezerlegung besprochen, und im Anschluss daran wird eine große schiefe Ebene mit Hilfe eines stabilen Brettes aufgebaut. Ein Schüler wird aufgefordert, sich auf das Brett zu stellen. Zuvor soll durch Analogiebildung die naheliegende Hypothese („Schüler rutscht ab“) formuliert werden. Dieser Versuch ist in ähnlicher Form den Schülern bekannt und wurde in der Wiederholung besprochen. Auch die anderen Beispieleexperimente wurden in ähnlicher Form alle bereits einmal durchgeführt, wobei der Blick jedoch bewusst nicht auf die Reibung gelenkt wurde. Dabei handelt es sich um einen springenden Tennisball dessen maximale Höhe mit jedem Sprung abnimmt und einen kleinen Spielzeugzug, der, nachdem er angeschoben wurde, recht schnell wieder zum Stehen kommt.

Der erste Versuch, bei dem ein Schüler auf einer schiefen Ebene steht, zeigt einen Widerspruch zur Vermutung auf. Damit sollen das Interesse für die Thematik geweckt und die Schüler zu weiteren Überlegungen motiviert werden. Dies wird verstärkt durch zwei weitere Experimente, die den Ergebnissen des bisherigen Physikunterrichts widersprechen bzw. so noch nicht thematisiert wurden.

Den so aufgebauten Konflikt gilt es zu lösen, indem Gemeinsamkeiten in den Vorgängen gesucht werden. Da dies ein sehr schwieriges Unterfangen ist, soll dies im Unterrichtsgespräch erfolgen. Eine Analyse in kleineren Gruppen erscheint mir als zu schwierig. Weiterhin bietet das Unterrichtsgespräch die Möglichkeit, eine Serie von Denkanstößen zu liefern. Somit kann ich direkt auf die Schüler reagieren.

Der zweite Teil der Stunde mit der Einführung des Laborbuchs dient vor allem der Vorbereitung der folgenden offenen Phase. Die Benutzung des Laborbuchs in dieser Stunde hat vielfältige Gründe:

- Die Schüler können sich mit dem Konzept des Laborbuchs bereits in einer inhaltlich für sie relativ unbedenklichen Situation vertraut machen.
- Es ermöglicht eine Standortbestimmung zum Kenntnisstand der Schüler.
- Die Schüler beschäftigen sich eigenständig mit Reibung.

- Die Gruppenthemen der offenen Arbeitsphase sollen aus diesen Überlegungen herausgearbeitet werden.

Das Laborbuch wird dabei an alle Schüler verteilt, es wird von ihnen bearbeitet, und später wird es wieder an mich zurückgegeben.

Inhaltlich ist (wie zuvor beschrieben) vor allem auch wichtig, dass sich alle Schüler mit Reibung auseinandersetzen. Das schriftliche Fixieren motiviert die Schüler dazu, sich sinnvolle Gedanken rund um das Thema zu machen.

Zum Abschluss soll den Schülern die Idee einer Ausstellung nähergebracht werden. Da die Identifikation der Schüler mit der Ausstellung ein wichtiger Punkt für den Erfolg der Reihe darstellt, gilt es dies ganz bewusst zu inszenieren.

Statt die Schüler gleich mit ihrer Aufgabe bekannt zu machen, soll zunächst über Ausstellungen allgemein und ihre Erwartungen daran gesprochen werden. Dadurch formen die Schüler bereits hier unwissentlich das spätere Aussehen der Ausstellung.

Dazu wird zunächst eine Folie mit der Ausstellungsbekanntmachung aufgelegt (siehe Abb. 4), ohne jedoch die oberste Zeile aufzudecken. Dieses Aufdecken stellt die „große Überraschung“ zum Ende der Stunde dar.



Abb. 4: Folie zur Bekanntgabe der Ausstellung

5.1.4 Lernziele der Einführungsstunde

Die Schüler sollen...

- ... Unterschiede zwischen Experimenten mit normaler und Experimenten mit minimierter Reibung beschreiben können.
- ... begründen können, warum es sich bei der Reibung um eine Kraft handelt (Kräftegleichgewicht).
- ... die Wirkung von Reibungskräften beschreiben können (bewegungshemmend).
- ... sich bewusst Gedanken zum Thema „Reibung“ machen und diese aufschreiben.
- ... Ideen für den Aufbau einer Ausstellung beschreiben.

5.1.5 Ablaufplan

Phase	Inhalt	Form	Sonstiges
Wiederholung	Die schiefe Ebene Kräftezerlegung	UG	Modell
Problematisierung	Große schiefe Ebene... Warum rutscht der Schüler nicht ab? Tennisball: Warum springt er nicht endlos? Zug: Warum bleibt er stehen?	SV	Versuch Versuch Versuch
Sicherung	Was ist Reibung?	UG	Tafel
Laborbuch 1	Handout 1 – Laborbuch I <ul style="list-style-type: none"> ➤ Wo spielt die Reibung in deinem Alltag/ deiner Umwelt eine Rolle? Nenne Beispiele. ➤ Welche Fragen zur Reibung kann die Physik (deiner Meinung nach) beantworten? ➤ Was denkst du, wodurch Reibung entsteht? 	PA	Handout
Diskussion	„Wie sieht eine Ausstellung aus?“	UG	Folie
Information	Bekannt geben, dass eine Ausstellung geplant ist	LV	

5.1.6 Tafelbild

Aus dem Unterrichtsgespräch ergab sich in der Einführungsstunde folgendes Tafelbild. Zunächst werden die Beobachtungen bei den drei Beispielen experimenten notiert, bevor eine Schlussfolgerung daraus gezogen wird.

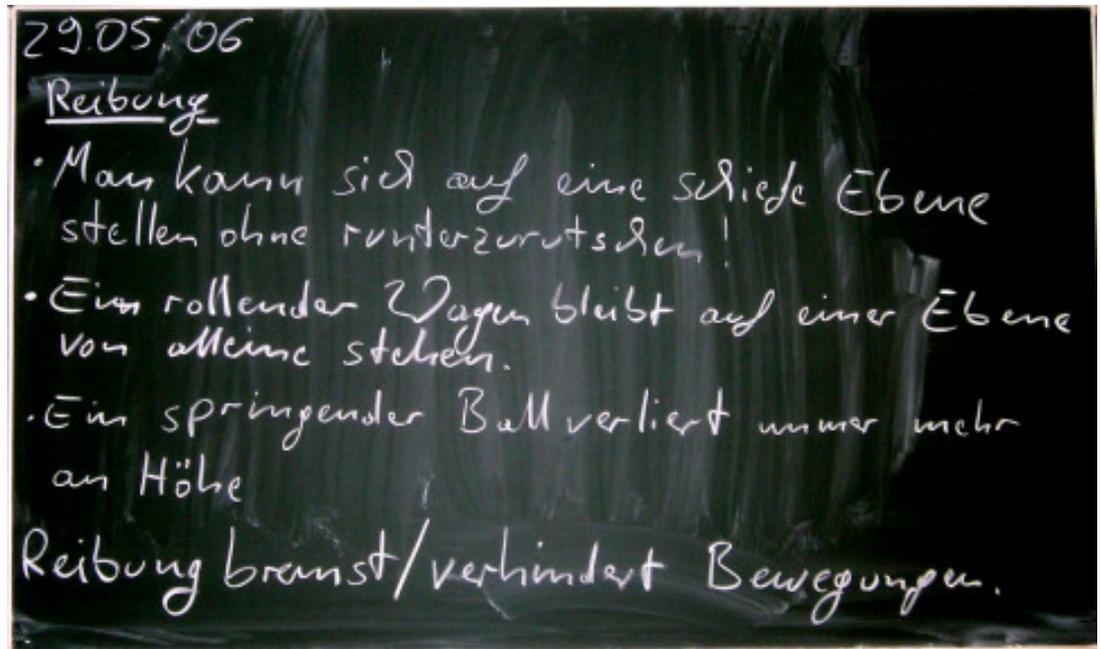


Abb. 5: Tafelbild zur Einführungsstunde

5.1.7 Durchführung und Reflexion

Wichtig für den weiteren Verlauf war es, die Schüler in dieser ersten Stunde vom Ausstellungskonzept zu überzeugen. Dies ist auf Grund der sorgsam Inszenierung in drei Stufen gelungen:

1. „Es gibt eine Ausstellung an unserer Schule!“
2. „Was erwartet ihr von einer solchen Ausstellung!“
3. „Ihr macht diese Ausstellung!“

Dieser Aufbau hat sich definitiv bewährt, da die Schüler sehr positiv auf die dritte Ankündigung reagiert haben.

Sofort wurde eine Reihe von Detailfragen nach Ort, Besuchern, Möglichkeiten und anderem gestellt. Da die Konzeption der Ausstellung jedoch von den Schülern vorgenommen werden sollte, wurden vor allem die konzeptionellen Fragen nicht gleich beantwortet, sondern an die Klasse zurückgegeben.

Die Einführung des Laborbuches verlief ebenfalls zufriedenstellend. Die Antworten der Schüler waren durchgehend sinnvoll. Die ersten beiden

Fragen wurden von allen Schülern beantwortet. Hier ein Auszug aus den Antworten:

- **Wo spielt die Reibung in deinem Alltag/ deiner Umwelt eine Rolle? Nenne Beispiele.**

Auto, Fahrrad, alle Dinge mit Rädern,
Zug, Schiff, Schlitten-, Skifahren,
Schiene,

- Fußball spielen (bei Schuss)
- Schuhprofil (verhindert Rutschen)
- bei (fast) jeder Bewegung

Autobremse, Schuhsohle, Fallschirm, (Wind)

- Schwingtüren
- Trampolin
- Schaukel

Abb. 6: Antworten der Schüler zum Laborbuch I a

Darin zeigte sich zum einen eine starke Ausrichtung an den Beispielexperimenten, die sich bei der Durchsicht aller Laborbücher noch verstärkte. Dieser Effekt lies sich kaum vermeiden und bestärkte mich nachträglich noch einmal in meiner Entscheidung gleich mehrere Versuche zur Reibung vor der eigentlichen Besprechung voranzustellen.

Zum anderen waren aber auch bereits Ansätze zur Verallgemeinerung zu sehen („bei (fast) jeder Bewegung“).

Die zweite Frage ging dann aus diesen Gründen weg vom konkreten Gegenstand, hin zur abstrakteren Sichtweise der Schulphysik. Diese (deutlich schwierigere) Aufgabe zeigte nicht nur die Fragen der Schüler zur Reibung auf, sondern spiegelte auch ihr Bild der Physik und des bisherigen Unterrichts wieder:

- Welche Fragen zur Reibung kann die Physik (deiner Meinung nach) beantworten?

Was ist Reibung?
Kann man Reibung messen?

Wie entsteht sie?

Wogehin Bewegungsenergie hin?

Abb. 7: Antworten der Schüler zum Laborbuch I b

Insgesamt zeichneten sich hier vor allem zwei Typen von Antworten ab. Zum einen die Fragen nach Messungen und konkreten Messwerten. Zum anderen Fragen, die ein größeres Bild von Physik aufzeigen wie z.B. die mehrfach gestellte Frage nach dem Verbleib der Bewegungsenergie.

Zusammen genommen bildeten diese beiden ersten Fragen des Laborbuches die Grundlage für mögliche Gruppenthemen (siehe 5.2.2) in der offenen Arbeitsphase.

Die letzte Frage des ersten Laborbuchs sollte vor allem mögliche Präkonzepte und mögliches Vorwissen der Schüler aufdecken, damit dieses sinnvoll in die Reihe integriert werden kann.

Hier zeigte sich jedoch, dass kaum Vorkenntnisse bei den Schülern vorhanden waren. Viele beantworteten diese Frage nicht (was ja freigestellt wurde), andere gaben nur begrenzt sinnvolle Antworten wie: „Ich denke, die Schubkraft eines Wagens wird in die Schwerkraft umgewandelt.“

Die eifrige und zielgerichtete Bearbeitung des Laborbuchs zeigte seine hohe Akzeptanz. Eine Reihe von Nachfragen der Schüler bestätigte die Idee, das Laborbuch bereits in der Einführungsstunde und nicht erst beim freien Arbeiten einzuführen, da hier schnell und allgemeingültig geantwortet werden konnte.

Unerwartet schwierig verlief die Wiederholungsphase zu Beginn der Stunde. Hier konnten nicht (wie erwartet) zügig die wesentlichen Inhalte erklärt werden, was zu einer ausführlicheren Besprechung führte. Dies lag sicher zum Teil an einer optimistisch offenen Fragestellung.

Mit einer kurzen Skizze als Anstoß war die Klasse dann jedoch problemlos in der Lage, die Inhalte zu wiederholen.

Der Übergang zu den Reibungs- experimenten verlief (nicht zuletzt auch wegen der Beteiligung eines Schülers und des unüblichen Aufbaus, was beides für großes Interesse sorgte)

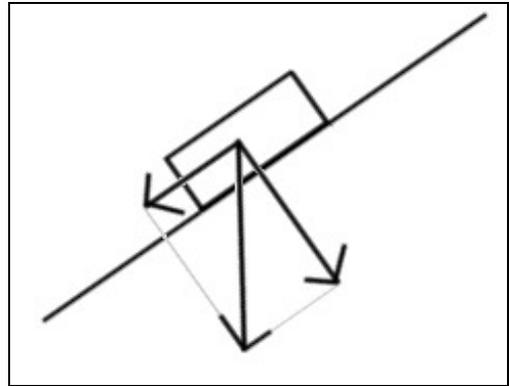


Abb. 8: Skizze zur schiefen Ebene

problemlos. Während ein Schüler sehr

schnell die Reibung als Erklärung dafür anführte, dass der Schüler nicht von der Schräge abrutschte, hatte der Rest der Klasse damit größere Probleme.

Dies war so antizipiert. Eine Reihe von Impulsfragen konnte hier eine Diskussion in der Klasse anregen, in die jedoch bis zum Ende immer wieder steuernd eingegriffen werden musste. Dennoch führte diese Phase zu einer Reihe von Theorien, die ohne mein Eingreifen wieder verworfen wurden.

Zusammenfassend hat die Einführungsstunde meine Erwartungen größtenteils erfüllt. Das Laborbuch wurde ebenso wie das Ausstellungskonzept von der Klasse gut angenommen.

In der Wiederholungsphase hätte eine engere Fragestellung schneller zu Ergebnissen führen können.

Ich würde wieder mit einer Reihe von Experimenten in das Thema einsteigen, jedoch hat sich die Haftreibung (auf Grund der in 2.1 beschriebenen Sonderstellung) als ein wenig hinderlich herausgestellt, wenn es darum geht, Gemeinsamkeiten herauszuarbeiten. D.h. bei der Zusammenstellung der Experimente wären Änderungen denkbar. So halte ich zurückblickend einen Einstieg mit Experimenten zur Gleit- und Rollreibung für sinnvoll, da hierbei die Kennzeichen der Reibung am

deutlichsten erkennbar sind. Erst später würde ich ein Experiment zur Haftreibung hinzu nehmen.

5.2 Offene Erarbeitungsphase

5.2.1 Vorbemerkungen

Für Recherche, Konzeption und Aufbau der Ausstellung stehen den Schülern vier Schulstunden zur Verfügung. Dieser Zeitraum ist recht knapp bemessen, ergibt sich aber aus den äußeren Rahmenbedingungen.

Inhaltlich wäre eine Bearbeitung des Themas zu einem früheren Zeitpunkt nicht sinnvoll gewesen. Zum Schuljahresende fallen leider viele Stunden wegen sonstiger Veranstaltungen aus. Deshalb ergibt sich nur ein kleines Zeitfenster für die Durchführung.

Die große Freiheit, die die Schüler in diesem Arbeitsabschnitt haben, versuche ich mit Hilfe des Laborbuchs ein wenig in geordnete, d.h. ergebnisorientierte Bahnen zu lenken.

5.2.2 Didaktische Analyse der offenen Erarbeitungsphase

Aus den Einträgen der Schüler im ersten Laborbuch haben sich eine Reihe von Schwerpunkten herauskristallisiert, welche die Schüler bearbeiten wollen. Diese wurden von mir strukturiert und folgendermaßen zusammengefasst:

- Auto-/ Fahrradfahren
- Fallschirmspringen
- Sport
- Feuer machen
- Eigenschaften der Reibung
- Reibungsarten
- Reibung verringern
- Reibung mikroskopisch

So sind z.B. diverse Sportarten (Langlauf, Laufen, Schlittschuhfahren) zum Oberthema „Sport“ zusammengefasst. Alle Fahrzeuge werden im Thema „Auto-/ Fahrradfahren“ gesammelt.

Dies entspricht in weiten Teilen meinen im Vorfeld angestellten Überlegungen. Abzuwarten bleibt die Schwerpunktsetzung der Schüler innerhalb der einzelnen Gruppen.

Obwohl diese Themen so von mir formuliert wurden, können doch alle Schüler ihre Antworten im ersten Laborbuch in diesen Punkten wiederfinden. Um am Ende eine möglichst umfassende Ausstellung präsentieren zu können, wird jedes Thema nur einmal vergeben. Hierzu dürfen die Gruppen eine Vorauswahl treffen, und im Anschluss daran wird gewürfelt.

Zu allen Themen sind Informationen im zur Verfügung stehenden Recherchematerial (siehe 9.1) vorhanden.

Alternativ wäre es (gerade in Anbetracht der kurzen Zeit) möglich, feste Themen mit entsprechenden Literaturstellen vorzugeben; dies widerspricht jedoch dem Grundgedanken, die Schüler eigenverantwortlich und ergebnisorientiert arbeiten zu lassen.

Im Qualitätsprogramm des Sickingen-Gymnasiums in Landstuhl steht in Klassenstufe 8 die „Lesekompetenz“ im Vordergrund. Dies schließt auch die Recherche und das Bearbeiten von Texten, die nicht didaktisch präpariert wurden, mit ein und soll deshalb weiter trainiert werden.

Auch soll der Schritt weg von akribisch vorbereiteten Versuchen hin zu freiem Experimentieren gewagt werden. D.h. die Planung von Experimenten, das Beschaffen der notwendigen Materialien, gegebenenfalls Improvisation bis hin zu Durchführung, Auswertung und Präsentation sollen von den Schülern geleistet werden.

Dazu wurde zuvor von mir versucht, eine große Anzahl möglicher Experimente zu antizipieren und die Physiksammlung um dafür benötigte Materialien zu ergänzen. Eine Kopplung von Gruppenthemen mit einer Liste von möglichen Experimenten wäre von mir (und vermutlich auch von den Schülern) als zu starke Vorgabe empfunden worden.

5.2.3 Methodische Analyse der offenen Erarbeitungsphase

Kernpunkt der Reihe ist (wie in 4.1 beschrieben) das offene, freie Arbeiten der Schüler. Dies bedeutet in erster Linie ein möglichst geringes Eingreifen des Lehrers.

Ich habe dies konsequent so interpretiert, dass ich jeweils zu Beginn und Ende der Stunde für zwei bis drei Minuten kurz das Wort ergreife und in der Zwischenzeit zum reinen „Dienstleister“ werde. D.h. ich beantwortete

Fragen, beschaffte Material und gebe (wenn danach gefragt wird) einige Tipps. Unbedingt vermeiden möchte ich ein aktives Eingreifen in die Arbeit der Gruppen.

Deshalb ist von Anfang an die Eigenständigkeit der Gruppen und die Eigenverantwortlichkeit der Klasse für das Endergebnis zu betonen. Ich erhoffe mir von diesem sehr produktorientierten Zugang eine starke Motivation der Schüler und einen gegenseitigen Ansporn.

Diese große Freiheit stellt auch eine Gefahr dar. So hat man in diesem Konzept eigentlich keine Möglichkeiten einzugreifen, wenn inhaltlich Falsches erarbeitet wird oder es zu Spannungen innerhalb der Gruppen kommt.

Um den Fall der physikalisch falschen Ergebnisse abzufangen, wurde von mir eine gesonderte Sammlung mit kurzen, diesmal pädagogisch bearbeiteten Fachtexten vorbereitet, die den betroffenen Gruppen im Notfall nahegelegt werden kann. Damit wird den Gruppen die Möglichkeit gegeben, ihre Fehler selbst zu erkennen und entsprechend zu korrigieren. Ein zweites Korrektiv für kleinere Ungenauigkeiten stellt die gegenseitige Präsentation der Ergebnisse am Ende der offenen Arbeitsphase dar.

Bei Spannungen innerhalb von Gruppen kann ich auf eine Schülerin, die an der Mediatorenausbildung an unserer Schule teilgenommen hat, verweisen. Sollte sie selbst betroffen oder für die spezielle Situation ungeeignet sein, werde ich die Mediatorenrolle einnehmen, um der Gruppe eine Chance zu geben, ihre Konflikte selbst zu lösen.

Die erste Möglichkeit zur Vermeidung von Konflikten liegt in der Gruppeneinteilung, die gleich zu Beginn der zweiten Reihenstunde vorgenommen wird. Hierbei werden den Schülern die Rahmenbedingungen (sechs Gruppen mit maximal vier Teilnehmern) vorgegeben. Die eigentliche Einteilung erfolgt danach eigenverantwortlich. Dafür wird der Klasse fünf Minuten Zeit gegeben, eine passende Einteilung zu finden. In dieser Zeit können die Themen für die Gruppenarbeit von mir an die Tafel angeschrieben werden. Auf Probleme kann dann schnell und unbürokratisch reagiert werden.

Alternativ könnte ich auch eine feste Einteilung vorgeben oder die Gruppen könnten ausgelost werden. Da die Schüler in ihren Gruppen jedoch über einen Zeitraum von mehreren Stunden hinweg zusammenarbeiten müssen,

halte ich eine Einteilung von Schülern für besser, da hier auch der Gedanke der Eigenverantwortlichkeit stärker betont werden kann.

Jede Gruppe erhält zur leichteren Identifikation eine Nummer und kann drei Themenwünsche abgeben. Die eigentliche Zuordnung der Themen zu den Gruppen erfolgt mit Hilfe eines großen Schaumgummiwürfels für alle gut sichtbar. Diese Methode stellt sicher, dass sich keine Gruppe ungerecht behandelt fühlt.

Da die Klasse zu ersten Mal auf solch ein konkretes Ziel hinarbeitet, will ich mit Hilfe der Laborbücher jeweils die grobe Richtung einer Stunde vorgeben. Dabei handelt es sich nicht um Arbeitsanweisungen, sondern um kurze Fragen zum Inhalt, zur Präsentation oder den Experimenten der Gruppe. Dies gibt den Schülern mehr einen Anhaltspunkt als dass es ein striktes Korsett darstellt.

Dabei sollen die Fragen so gestaltet sein, dass folgender Ablauf angeregt wird:

2. Reihenstunde: Recherche
3. Reihenstunde: Inhalte & Experimente I
4. Reihenstunde: Experimente II & Präsentation I
5. Reihenstunde: Präsentation II & Standaufbau

5.2.4 Lernziele

Die Lernziele der offenen Arbeitsphase sind vielfältig. Neben den fachlichen Zielen sind sie im methodischen, handwerklichen und sozialen Bereich zu finden.

Die fachlichen Lernziele liegen dabei natürlich in der Hand der Schüler selbst und unterscheiden sich von Gruppe zu Gruppe zum Teil sehr stark.

Methodische Lernziele:

Die Schüler sollen...

- ... zu einem Thema Informationen sammeln können.
- ... gefundene Informationen bewerten und strukturieren können.
- ... Inhalte präsentieren können
- ... Experimente planen, durchführen und auswerten können.

Handwerkliche Lernziele:

Die Schüler sollen...

- ... sinnvoll mit dem Material der Physiksammlung umgehen können.
- ... Experimente aufbauen können.

Soziale Lernziele:

Die Schüler sollen...

- ... in ihren Gruppen Aufgaben verteilen und Verantwortung übernehmen.
- ... sich innerhalb ihrer Gruppe organisieren.
- ... die Gruppen untereinander koordinieren.
- ... zusammen auf ein gemeinsames Ziel hinarbeiten.

Fachliche Lernziele:

Die fachlichen Lernziele hängen vom Thema und der Schwerpunktsetzung innerhalb der Gruppe ab. Deshalb müssen hier gruppenspezifische Angaben gemacht werden.

Gruppe „Auto-/ Fahrrad fahren“:

Die Schüler sollen...

- ... Punkte erwünschter und unerwünschter Reibung bei Auto und Fahrrad identifizieren können.
- ... Methoden zur Vergrößerung bzw. Verringerung der Reibung an diesen Punkten beschreiben können.

Gruppe „Fallschirmspringen“:

Die Schüler sollen...

- ... die Funktionsweise eines Fallschirms erläutern können.
- ... den Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Luftreibung darstellen können.

Gruppe „Sport“:

Die Schüler sollen...

- ... typische Reibungsvorgänge im Sport identifizieren können.
- ... beschreiben können wie Reibung im Sport genutzt werden kann, bzw. wie Reibung im Sport verringert wird.

Gruppe „Feuer machen“:

Die Schüler sollen...

- ... verschiedene Methoden des Feuer Machens mit Hilfe von Reibung beschreiben können.
- ... erklären können, warum durch Reibung Hitze entsteht.

Gruppe „Eigenschaften der Reibung“:

Die Schüler sollen...

- ... erläutern können, von welchen Größen der Betrag der Reibung abhängt bzw. unabhängig ist.

Gruppe „Reibungsarten“:

Die Schüler sollen...

- ... verschiedene Reibungsarten beschreiben können.
- ... die Reibungsarten zueinander (quantitativ) in Beziehung setzen können.

Gruppe „Reibung verringern“ (nicht gewählt):

Die Schüler sollen...

- ... Methoden zur Verringerung von Reibung beschreiben können.
- ... erklären können, warum die Reibung mit diesen Methoden verringert werden kann.

Gruppe „Reibung mikroskopisch“ (nicht gewählt):

Die Schüler sollen...

- ... ein einfaches Modell zur Beschreibung der Reibung detailliert erläutern können.
- ... die grundlegenden Ideen des Modells zur Reibung von Tomlinson beschreiben können.

5.2.5 Durchführung und Reflexion

Erste Stunde der offenen Erarbeitungsphase:

Diese erste Stunde war für Gruppeneinteilung, Themenvergabe und Recherche geplant. Alle drei Ziele wurden auch gut erreicht. Bevor jedoch damit begonnen werden konnte, wurde ich gleich mit einer Vielzahl von Fragen bestürmt, die den Schülern offensichtlich auf der Zunge brannten. Vorwiegend ging es dabei um die Modalitäten zur Ausstellung selbst. Wann diese wo stattfindet und wer kommen soll/ darf waren die zentralen Fragen.

Dieser Beginn der Stunde zeigte mir das starke Interesse der Schüler an der Ausstellung und auch der starke Bezug dazu. Diese Phase konnte noch einmal dazu genutzt werden, den Schülern gegenüber zu betonen, dass es sich um ihre Ausstellung handelt, und sie deshalb Konzept, Struktur und Ablauf festlegen müssen.

Meine Rolle als reiner Helfer wurde auch noch einmal verdeutlicht.

Dadurch, dass zwei Schüler fehlten, wurde festgelegt, dass von den sechs Gruppen jeweils drei aus drei Mitgliedern und drei aus vier Mitgliedern bestehen sollten. Die fehlenden Schüler können sich in den folgenden Stunden bereits bestehenden Gruppen zuordnen.

Während sich vier Gruppen sehr schnell fanden, gab es bei den restlichen sechs Schülern Probleme, sich in zwei Gruppen aufzuspalten. [REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

Die Verteilung der Themen verlief erwartungsgemäß problemlos. Jeder Gruppe konnte eines ihrer drei Wahlthemen zugeordnet werden. Zwei Themen („Reibung verringern“ und „Reibung mikroskopisch“) wurden nicht gewählt. Auch wenn diese Vorschläge von den Schülern kamen, vermute ich, dass sie sich hier zu wenig unter diesen Schlagworten vorstellen konnten. Zu überlegen wäre es, in Zukunft zu den einzelnen Gebieten einen kurzen Überblick zu geben. Dies würde den Schülern die Wahl erleichtern.

Fast alle Gruppen hatten sich für das Thema „Feuer machen“ gemeldet, was offensichtlich einen großen Reiz besaß.

Es wurden nochmals die Zielvorgaben für eine Ausstellung aus der Einführungsstunde aufgegriffen und formuliert. Mit diesen Vorstellungen wurden die Schüler in die offene Arbeitsphase entlassen.

Zur folgenden Recherche wurde den Schülern eine große Auswahl von Physikbüchern (Klasse 5 bis Oberstufe, vereinzelt auch Universität) zur Verfügung gestellt. Dieses Material wurde sehr gut angenommen. Die

Schüler fanden erstaunlich schnell die für ihr Themengebiet geeignete Literatur und klärten Fachbegriffe weit gehend selbst.

Weiterhin standen zwei Computer mit Internetzugang zur Verfügung, die in dieser Stunde jedoch nur schwach frequentiert wurden. Die Schüler gaben an, lieber am heimischen PC recherchieren zu wollen.

Das Laborbuch zu dieser Stunde (siehe Abb. 9) beschäftigte sich mit der Recherche, einer ersten inhaltlichen Klärung und einer ersten Aufteilung von Verantwortung innerhalb der Gruppe:

Beim zweiten Laborbuch geht es darum, das Thema der eigenen Gruppe ein wenig genauer kennen zu lernen und sich ein paar Gedanken über den folgenden Ablauf zu machen.

- **Wo wollt ihr überall zu euerem Gruppenthema recherchieren?**
- **Welchen Fragen wollt ihr in eurer Gruppe nachgehen? Welche Fragen sollen später an euerem Stand beantwortet werden?**
- **Wie wollt ihr die Recherche aufteilen? Wer ist wofür verantwortlich?**

Abb. 9: Laborbuch II (gekürztes Layout)

Bei der Frage nach den Quellen wurden fast durchgehend das Internet, Bücher und Filme genannt. Nur eine Gruppe zählte hier konkretes Material auf.

Die Antworten blieben damit auf dem erwarteten allgemeinen Level. Die Arbeit der Gruppen hat aber dennoch gezeigt, dass die Frage ihr Ziel nicht verfehlt hat, da keine der Gruppen sich auf nur eine Quelle beschränkt hat. Von den Referaten im Physikunterricht sind die Schüler gewohnt, vor allem Angaben aus dem Internet mit Hilfe anderer Medien oder weiterer Quellen zu verifizieren. Dies ist durchgehend so geschehen.

Einige Gruppen gaben als Recherchequelle auch Lehrer, Eltern oder andere Personen an. Diese Informationsquellen waren von mir vorher nicht bedacht worden, erwiesen sich aber als äußerst nützlich.

Die zweite Frage nach den Themen der Gruppe bzw. den Inhalten am Stand wurde von den Gruppen im Anschluss an die Recherchephase beantwortet, bzw. dann noch einmal ergänzt. Hier zeigte sich bereits zu diesem sehr frühen Zeitpunkt eine sehr genaue Vorstellung von den Inhalten.

- **Welchen Fragen wollt ihr in eurer Gruppe nachgehen? Welche Fragen sollen später an eurem Stand beantwortet werden?**

Gruppe „Feuer machen“:

- ① Wie funktioniert das Feuerzeug?
- ② Wie wurde früher Feuer gemacht?
- ③ Streichholz ④ Holzstaubexplosion!

Gruppe „Fallschirmspringen“:

Verschiedene Auswirkung bei verschiedenen Gewichten
unterschiedlicher Größe des Fallschirms
Auswirkungen beim Anhängen eines Eies

Abb. 10: Antworten der Schüler zum Laborbuch II b

Ebenfalls implizit enthalten sind hier eine Reihe von Hypothesen, die sich bei den Schülern im Zuge der ersten Recherche herausgebildet haben. Aufgabe der folgenden Stunden wird es sein, diese zu überprüfen bzw. zu ergänzen.

Die dritte Frage zur Verteilung der Rechercheaufgaben sollte die Schüler dazu bewegen, sich Gedanken zur Teamorganisation zu machen. Wie sich herausgestellt hat, haben alle Gruppen beschlossen, gleichberechtigt zu arbeiten. Alle Gruppenmitglieder haben Aufgaben und damit Verantwortung übernommen. Dabei waren weder „Drückeberger“ zu erkennen noch solche Schüler, die die Kontrolle an sich reißen wollen.

Insgesamt ist auch diese Stunde gut gelaufen. Meine große Begeisterung für das Ziel „Ausstellung“ hat sich auf die Klasse übertragen, so dass alle mit großen Eifer mitgearbeitet haben.

Größere Probleme gab es weder bei der Gruppeneinteilung noch bei der Themenvergabe. Die Recherche verlief erstaunlich geordnet.

Was zu diesem Zeitpunkt fehlte, war eine Möglichkeit, Ergebnisse der Recherche überprüfen zu können. Hier wären sicherlich ausgefeiltere

Rückmeldemöglichkeiten denkbar, jedoch wären diese alle mit einem größeren Zeitaufwand für die Schüler verbunden.

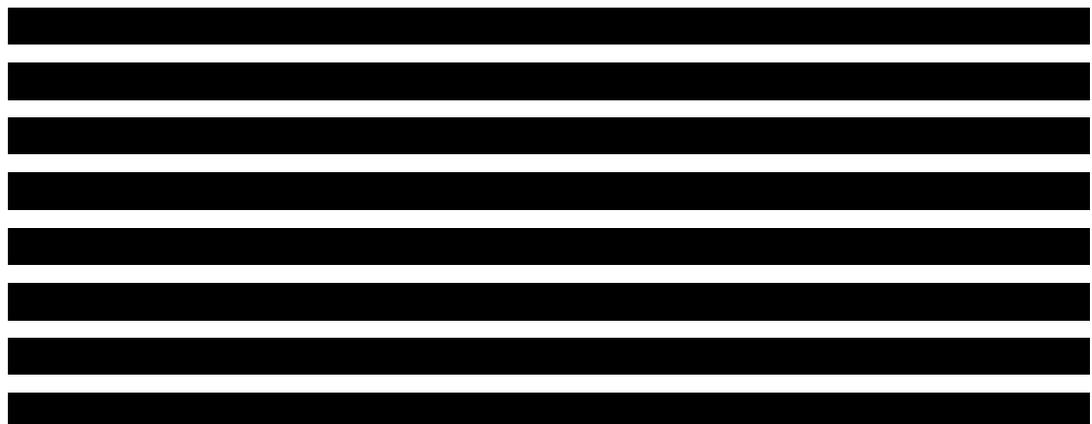
Zweite Stunde der offenen Erarbeitungsphase:

Durch viele Unterrichtsausfälle (Pfingsten, Bundesjugendspiele) lagen zwischen der zweiten und der vorangegangenen Stunde der offenen Arbeitsphase fast zwei Wochen. Aus diesem Grund konnte nicht unmittelbar weitergearbeitet werden, sondern es musste den Schülern Gelegenheit gegeben werden, sich das bereits Recherchierte wieder ins Gedächtnis zu rufen.

Deshalb ging das Laborbuch zu dieser Stunde hauptsächlich darum, noch einmal die Inhalte des Gruppenthemas präzise zu fassen. Weiterhin sollten die Experimente geplant werden. Die Gruppen, die bereits zu Hause weitergearbeitet hatten, konnten sich bereits jetzt auf diesen Punkt konzentrieren.

Zur Recherche standen den Schülern wieder eine große Auswahl an Literatur sowie die beiden Computer mit Internetzugang zur Verfügung. Für die Experimente konnten die Schüler auf die komplette Physiksammlung sowie auf die von mir ergänzten Materialien zugreifen. Ebenfalls war es möglich, Material von zu Hause mitzubringen.

Die Recherchephase wurde von allen Gruppen recht schnell abgeschlossen. Es war gut zu sehen, dass sich die Mitglieder fast aller Gruppen auch zu Hause weiter informiert hatten. Bei zwei Gruppen war schön zu beobachten, dass sie sich arbeitsteilig Expertenwissen in Teilthemen angelesen hatten, und sich nun in Kurzvorträgen dieses Wissen weitergaben.



Es war offensichtlich, dass mit dem Eintreten in die Experimentierphase ein Motivationsschub einherging. Eine Gruppe zeigte sich sehr experimentierfreudig (Benutzung der Bohrmaschine zum Feuer machen, Staubexplosionen). Ich habe dies zugelassen und sogar befürwortet. Jedoch war es dringend angebracht, noch einmal (zusätzlich zu den im Physikunterricht sowieso vereinbarten Sicherheitsregeln) am Ende der Stunde eine Sicherheitsbelehrung zu geben. Diese betraf den allgemeinen Umgang mit Experimenten und insbesondere den Umgang mit Maschinen. Vor der Durchführung gefährlicherer Versuche war ich unbedingt zu verständigen und auf meine Anwesenheit war zu warten.

Die meisten Experimente (vor allem die etwas komplexeren) wurden in dieser Stunde nicht durchgeführt, sondern nur die benötigten Materialien zusammengesucht und schnell zusammengebaut.

Die einfacheren Versuche wurden weit gehend spielerisch und wenig ziel- bzw. ergebnisorientiert durchgeführt. Dies war zu erwarten und erschien mir auch angebracht.

Dem Laborbuch (siehe Abb. 11) wurde in dieser Stunde nur wenig Beachtung geschenkt. Es wurde in fast allen Fällen nur nebenbei bzw. kurz vor Ende der Stunde ausgefüllt.

Beim dritten Laborbuch geht es darum, den inhaltlichen Teil eurer Ausstellung festzulegen und zu fixieren. Weiterhin sollt ihr euch über sinnvolle Experimente klar werden und diese planen.

- **Was wollt ihr an eurem Stand inhaltlich präsentieren?**
- **Wie wollt ihr diese Inhalte präsentieren und strukturieren?**
- **Welche Versuche möchtet ihr durchführen und welche Materialien benötigt ihr dafür jeweils? Wie sollen die Versuche gezeigt werden?**

Abb. 11: Laborbuch III (gekürztes Layout)

Dabei wurde die erste Frage durchgehend knapp aber sinnvoll beantwortet. Die Gruppen schränkten hier ihr Thema zumeist deutlich ein und beschränkten sich auf wenige Aspekte.

➤ **Was wollt ihr an eurem Stand inhaltlich präsentieren?**

Gruppe „Sport“:

Luftwiderstandsveränderung durch Form.

Gruppe „Feuer machen“:

Feuerbohren
Funktion eines Feuerzeugs

Abb. 12: Antworten der Schüler auf Fragen im Laborbuch III a

Die Frage nach Struktur und Präsentation wurde von mir offensichtlich zu einem zu frühen Zeitpunkt gestellt und konnte demzufolge auch nur unzureichend von den Gruppen beantwortet werden. Zumeist wurden nur allgemeine Aussagen wie: „Mit Experimenten und Plakaten“ getroffen.

Es wäre sinnvoller gewesen, an diesem Punkt den Aufbau der Plakate skizzieren zu lassen, indem Überschriften und Textblöcke angedeutet werden.

Die dritte Frage wurde aus zwei Gründen gestellt. Zum einen, um den Bedarf nach weiteren Materialien für die Versuche abschätzen und ggf. rechtzeitig besorgen zu können, wobei sich gezeigt hat, dass sich fast alle Experimente mit den vorhandenen Mitteln realisieren ließen. Zum anderen aber auch, um die Schüler zu einer konkreten Auseinandersetzung mit den Versuchen anzuregen. Viele Detailfragen zu Experimenten kamen in den Gruppen erst bei der Beantwortung dieses Punktes auf.

➤ **Welche Versuche möchtet ihr durchführen und welche Materialien benötigt ihr dafür jeweils? Wie sollen die Versuche gezeigt werden?**

Gruppe „Reibungsarten“:

1. Versuch zur ~~Reibung~~ Haftreibung (Holzquader; Kraftmesser)
2. Versuch zur ~~Reibung~~ ^{Roll}reibung (Holzquader; Kraftmesser; ^{bis 1N} Walzen)
3. V. zur ~~Reibung~~ ^{Haft} ~~Reibung~~ (Holzquader, Brett, Schauer, Kraftmesser, ^{Apparatur} ~~Apparatur~~, ^{bis 1N} ~~bis 1N~~)

Abb. 13: Antworten der Schüler auf Fragen im Laborbuch III c

Insgesamt arbeiteten die Schüler auch in dieser Stunde sehr gut mit. Sowohl was den Inhalt betrifft als auch bei den Experimenten zeigten sich im Verlauf der 45 Minuten große Fortschritte.

Die Klasse hatte sich nun gut in die Praxis des eigentlich ungewohnten eigenverantwortlichen Arbeitens eingefunden. Vieles, was zu Beginn noch nachgefragt wurde, wurde nun selbst organisiert.

Weniger zufriedenstellend war die Bearbeitung des Laborbuches. In der nächsten Version mussten die Fragen konkreter formuliert und ggf. erläutert werden.

Dritte Stunde der offenen Erarbeitungsphase:

Nachdem die Schüler in den beiden vergangenen Stunden komplett frei arbeiten konnten, sollte nun in dieser Stunde verstärkt mit Hilfe des Laborbuchs auf das Ziel und den zeitlichen Rahmen aufmerksam gemacht werden.

Dazu waren zunächst die Termine der verbleibenden Stunden bis zur Ausstellung auf dem Laborbuch IV (siehe Abb. 14) vermerkt. Dabei stand auch jeweils meine konkrete Vorstellung dessen, was in diesen Stunden geschehen soll. Dies waren für die folgende Stunde die Fertigstellung der Stände (d.h. bei Verteilung der Laborbücher noch knapp zwei mal 45 Unterrichtsminuten), und danach der Aufbau der Stände in der Aula der Schule sowie die gegenseitige Präsentation.

Weiterhin waren die Fragen diesmal deutlich konkreter und ergebnisorientierter formuliert, um von der sehr freien Experimentierphase aus einen Anstoß in Richtung „Erstellen des Endproduktes“ zu geben.

Beim vierten Laborbuch geht es darum, sich jetzt endgültig darüber klar zu werden, wie der Stand aussehen soll. Welche Inhalte sollen wie präsentiert werden, und welche Versuche werden gezeigt?

Weitere Termine: 19.06. Stände fertig stellen
 23.06. Gegenseitige Präsentation und Aufbau

- **Ihr habt für euren Stand bei der Ausstellung eine Stellwand, Tische und eure Versuche zur Verfügung. Skizziert kurz die Gestaltung eurer Stellwand.**
- **Zu einem Stand gehört auch eine Präsentation. D.h. ihr müsst eure Inhalte vorstellen und erklären können. Schreibt in Stichworten die Inhalte Eurer Präsentation auf. Wie lang wird eure Präsentation etwa dauern?**

Abb. 14: Laborbuch IV (gekürztes Layout)

Nach Ausgabe des Laborbuches und Hinweis auf die Termine war die Klasse zunächst sichtlich geschockt. Dies zeigt deutlich, wie ungewohnt für die Schüler das selbstorganisierte Lernen ist und bestätigt mich in meiner Entscheidung, recht klare Vorschläge für die verbleibenden Stunden aufzuschreiben.

Diese Vorgaben sorgten meiner Ansicht nach auch dafür, dass die Klasse nicht in ihrem Schock verharrte, sondern in der Lage war, ihn in positive Energie umzusetzen und sich in die Arbeit stürzte.

Auf das Problem der Zeitplanung aufmerksam gemacht, wurden nun in einzelnen Gruppen Zeitpläne erstellt und auch eigenständig „Hausaufgaben“ vergeben.

[REDACTED]

[REDACTED]

Vierte Stunde der offenen Erarbeitungsphase:

Diese vierte Stunde im offenen Unterricht war für die abschließenden Arbeiten gedacht. D.h. es sollten die Experimente abgeschlossen, die Stellwände fertiggestellt und die Präsentationen endgültig geplant werden. Im Idealfall sollten nur noch abschließende Arbeiten durchgeführt werden. Im Anschluss an die Stunde sollte in der folgenden Pause mit allen Exponaten in die Aula umgezogen werden, in der die Ausstellung stattfand. Es war weder zeitlich möglich, noch hätte ich es den Gruppen gegenüber als fair empfunden, die sich mit der Zeitvorgabe arrangiert hatten, wenn weitere Stunden zur Fertigstellung angehängt worden wären.

Deshalb galt es, mögliche Auswege zu finden. Ich habe den Gruppen vorgeschlagen, entweder noch zu Hause letzte Arbeiten durchzuführen (z.B. Plakate anfertigen) und/ oder inhaltlich zu kürzen. Weitere Lösungsvorschläge der Gruppen habe ich versucht aufzugreifen.

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]



Beim Laborbuch (siehe Abb. 15) in dieser Stunde ging es um die abschließende Präsentation. Welche Experimente sollten durchgeführt, und wie die Inhalte mit Hilfe der Experimente vermittelt werden, waren die zentralen Fragestellungen. Bei den Antworten hierzu handelte es sich um Aufzählungen der Experimente und einen Verweis auf zugehörige Erklärungen und Plakate.

Beim fünften Laborbuch geht es ein letztes Mal um euren Stand und um die Präsentation dazu. Am Ende der Stunde sollten alle Arbeiten abgeschlossen sein.
Nächster Termin: 23.06. Aufbau und gegenseitige Präsentation

- **Welche Experimente werden (von wem) durchgeführt?**
- **Wie ordnet ihr eure Inhalte den einzelnen Experimenten zu?**
- **Was hättet ihr noch gerne an eurem Stand aufgebaut oder vorgestellt, was jedoch in der vorgegebenen Zeit nicht mehr klappt?**

Abb. 15: Laborbuch V (gekürztes Layout)

Die dritte Frage „Was hättet ihr noch gerne an eurem Stand aufgebaut oder vorgestellt, was jedoch in der vorgegebenen Zeit nicht mehr klappt?“ ging in den doch recht hektischen Vorbereitungen dieser Stunde regelrecht unter.

Keine Gruppe hatte die Zeit, sich in Ruhe mit dieser (oder den vorherigen) Fragen zu beschäftigen.

Zum ersten Mal wurde das Laborbuch bei all der zu bewältigenden Arbeit als störend empfunden. Die Antworten sind auch generell alle sehr knapp und allgemein gehalten. Dies wurde noch dadurch verstärkt, dass die Fragen eher den Charakter einer abschließenden Vollständigkeitsmeldung hatten, als dass sie neue Aspekte aufgegriffen oder Fragen angeregt hätten.

Berücksichtigt man all die Abschlussarbeiten, mit denen die Schüler in dieser Stunde beschäftigt waren, wäre es besser gewesen, ganz auf dieses Laborbuch zu verzichten. Viele Gruppen haben noch bis in die anschließende Pause hinein gearbeitet und hatten deshalb keine Zeit, sich damit zu beschäftigen. Auch eine Umformulierung der Fragen erscheint mir im Hinblick darauf wenig sinnvoll.

Da, wie oben erwähnt, einige Gruppen noch bis in die Pause weitergearbeitet haben, hat mich die Klasse gebeten, den Aufbau in die Pause vor der Präsentation zu verschieben. Wir haben uns am Tag der Ausstellung in der ersten Pause getroffen und die Exponate in der Aula aufgebaut.

5.3 Präsentation

5.3.1 Vorbemerkungen

Im Anschluss an den Aufbau der Stände findet die gegenseitige Präsentation der Ergebnisse statt. Damit wird eine Reihe von Zielen verfolgt:

Erstens besteht auf Grund der Struktur der Reihe das Problem, dass sich sechs Expertengruppen gebildet haben, das gemeinsame Wissen sich jedoch auf die Einführungsstunde beschränkt. Durch die Präsentationen kann bei allen ein breiteres Wissen über das Thema geschaffen werden.

Zweitens handelt es sich um eine Möglichkeit, den eigenen Vortrag zu überprüfen und ggf. abzuändern. Durch die zahlreichen, im Laufe des Schuljahres gehaltenen Referate hat sich eine sehr gute Kultur bei Präsentationen ausgebildet. D.h. die Schüler stellen sinnvolle Fragen und geben konstruktive Rückmeldungen.

Drittens bietet sich hier für mich die letzte Möglichkeit einzugreifen, sollten sich fehlerhafte Inhalte bis hierher gehalten haben.

5.3.2 Durchführung und Reflexion

Der Aufbau verlief erstaunlich schnell und unproblematisch. Eigenständig räumten die Schüler die Aula zunächst auf, stellten dann Stellwände und Tische in einem Halbrund auf und postierten sich an ihren Ständen.

Die Reihenfolge der Präsentationen wurde mit Hilfe eines großen Schaumstoffwürfels bestimmt.

Allgemein zeigte sich, dass die Präsentationen sehr gut vorbereitet waren. Viele Gruppen nutzten Stichwortkärtchen, formulierten aber frei. Andere trugen komplett frei vor. Keine einzige Gruppe las vorformulierte Sätze ab. Die Präsentationen besaßen fast alle eine gute Struktur.

Inhaltlich gab es keine gravierenden Beanstandungen. Mehrmals jedoch waren Zusammenhänge offensichtlich nicht vollständig durchdacht worden. Weitere Probleme gab es bei der Schwerpunktsetzung, die nicht immer klar war.

[REDACTED]

Hier hätten bessere Ergebnisse durch eine stärkere Betonung der Zielvorstellung erreicht werden können. Zurückblickend muss festgestellt werden, dass hier ein stärkerer Akzent auf das gemeinsame Besprechen des Endproduktes hätte gesetzt werden müssen.

Eine stärkere Kontrolle einhergehend mit einer stärkeren Steuerung der Vorgehensweise würde ebenfalls zu einheitlicheren Ergebnissen führen. Jedoch war es ja genau Ziel der Reihe, die Schüler frei arbeiten zu lassen, um möglichst viele unterschiedliche Ergebnisse zu erhalten.

Die Ziele dieser Präsentationsstunde wurden durchgehend erreicht. Dadurch, dass alle Schüler auch selbst eine Präsentation hielten, waren sie bei ihren Mitschülern sehr aufmerksam. Die Rückfragen waren sinnvoll,

konstruktiv und haben in der Regel eigene Ergebnisse mit denen des gerade Präsentierenden in Verbindung gesetzt.

Einige Vorträge wurden noch im Hinblick auf die eigentlichen Ausstellung umstrukturiert. So wurden z.B. Theorie und Experiment stärker zueinander in Beziehung gesetzt.

6. Ausstellung

6.1 Vorbemerkungen

Von Anfang an war eine der Voraussetzungen, dass es sich um eine Ausstellung der Schüler handelt. Entsprechend wird die komplette Ausstellung in die Hand der Schüler übergeben. Lediglich die Koordination mit den anderen Lehrern/ Klassen habe ich übernommen.

Die Schüler wünschten sich als Besucher nur die anderen Klassen der achten Jahrgangsstufe sowie interessierte Lehrer. Obwohl die Schulleitung anbot, auch die Schüler anderer Altersstufen teilnehmen zu lassen, wurde dies abgelehnt.

Die drei anderen achten Klassen kamen alle zusammen mit ihren Lehrern zur Ausstellung. Ich selbst zog mich komplett in den Hintergrund zurück um die Gelegenheit nutzen, die Vorträge noch einmal anzusehen.

Die Klasse hatte beschlossen, die Besucher durch den Klassensprecher zu begrüßen. Es gab keine feste Reihenfolge der Stände, so dass sich die etwa 80 Besucher gleichmäßig verteilen konnten. Die Präsentationen an den Ständen wurden immer wieder dann durchgeführt, wenn sich eine ausreichende Anzahl an Zusehern eingefunden hatte.

6.2 Stände und Präsentationen

6.2.1 Gruppe 1: Fallschirmspringen

Die Präsentation zum Thema Fallschirmspringen bestand aus vier Abschnitten.

Im ersten gaben die Schüler einen geschichtlichen Überblick über die Entwicklung des Fallschirms. Sie beschrieben die ersten Anwendungen, technische Verbesserungen, Kennzahlen und Rekorde.

Der zweite Teil beschrieb die physikalische Theorie. Die wirkenden Kräfte wurden zunächst qualitativ



Abb. 16: Stand „Fallschirmspringen“

beschrieben, bevor ein kurzer Überblick über die formelmäßigen Zusammenhänge gegeben wurde.

Anschließend wurden einige Experimente mit selbst gebauten Fallschirmen durchgeführt. Dabei wurden unterschiedlich große Schirme mit unterschiedlichen Gewichten fallen gelassen. Schön zu sehen war dabei auch der Fall, dass sich der Schirm nicht wie geplant öffnet.

Abgeschlossen wurde die Präsentation durch eine Reihe von Filmen, die Fallschirmsprünge zeigten.

6.2.2 Gruppe 2: Eigenschaften der Reibung

Die Gruppe, die sich mit den „Eigenschaften der Reibung“ beschäftigte, hat sich in ihrem Vortrag sehr auf Demonstrationen mit Hilfe einer schiefen Ebene konzentriert.

Hier hat sie mit unterschiedlichen Untergründen, Gewichten und Auflageflächen gearbeitet, um die Abhängigkeiten bzw. Unabhängigkeiten zu demonstrieren. Sie zeigte, dass die Reibung abhängig vom Gewicht und von der Unterlage (d.h. vom Material) ist. Dagegen spielt die Auflagefläche keine Rolle. Dies war fachlich einer der besten Vorträge der Ausstellung, durch die eher unspektakuläre Darbietung wirkte er jedoch sehr trocken.

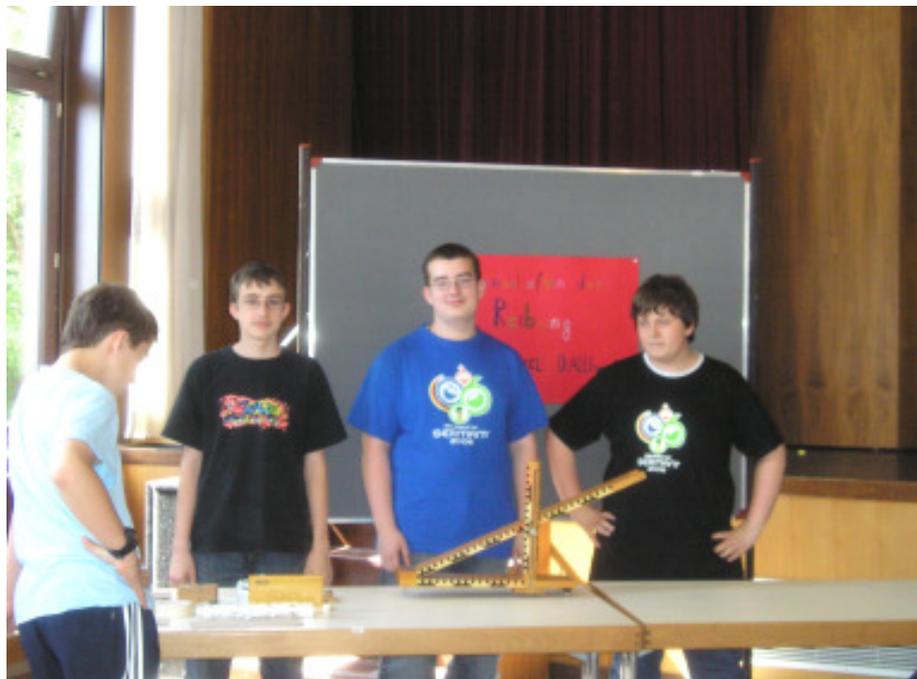


Abb. 17: Stand „Eigenschaften der Reibung“

Hier wurden im Vergleich zur späteren Ausstellung die größten Veränderungen vorgenommen, indem der ganze Vortrag deutlich gestrafft wurde.

Im Vortrag wurde komplett auf Formeln verzichtet. Nur einige Vergleichswerte wurden genannt.

6.2.3 Gruppe 3: Reibung im Sport/ Luftreibung

Hier wurde an zwei unterschiedlichen Beispielen der Einfluss der Reibung auf Bewegungen gezeigt. Zum einen wurde die Beschleunigung zweier Spielzeugautos an einem Hang verglichen. Dabei wurde der Luftwiderstand des einen Fahrzeugs durch Anbringen eines Segels deutlich vergrößert. Verglichen wurden unterschiedliche Segelgrößen und Formen.

Auf den Plakaten und im Vortrag wurde noch die Abhängigkeit der Reibungskraft vom Quadrat der Geschwindigkeit thematisiert.

In einem zweiten Versuch wurde eine Drucklufttrakete abgefeuert, deren Flugbahn mit der eines Balles verglichen wurde.

Dabei zeigte sich die starke Abweichung der sehr leichten Luftrakete von der des Balles. Während dieser die von den Schülern vermutete parabelförmige Flugkurve beschrieb, schien die Rakete förmlich in der Luft stehenzubleiben und abzustürzen.

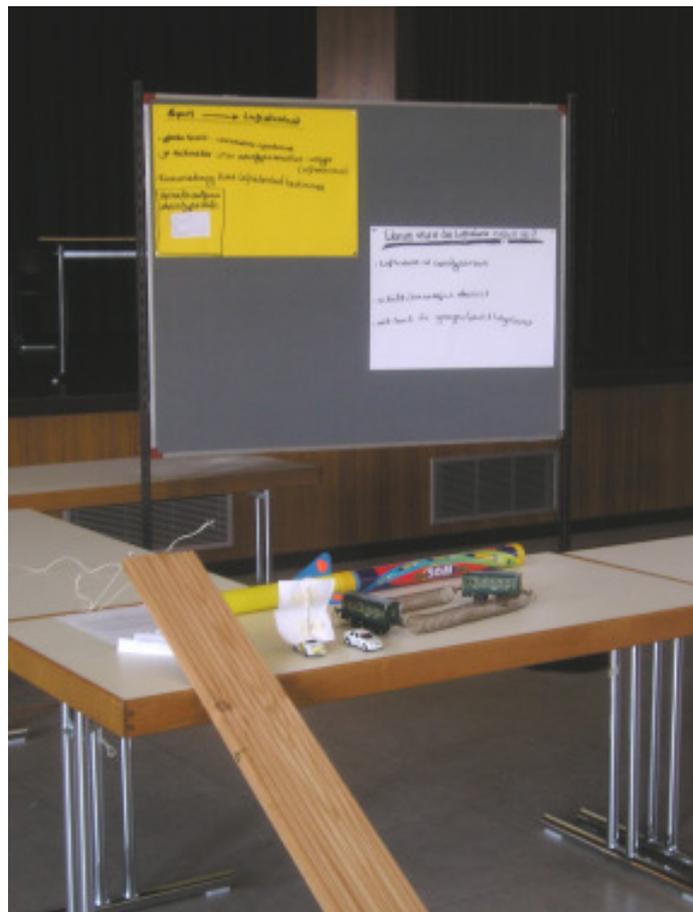


Abb. 18: Stand „Luftreibung“

6.2.4 Gruppe 4: Reibungsarten

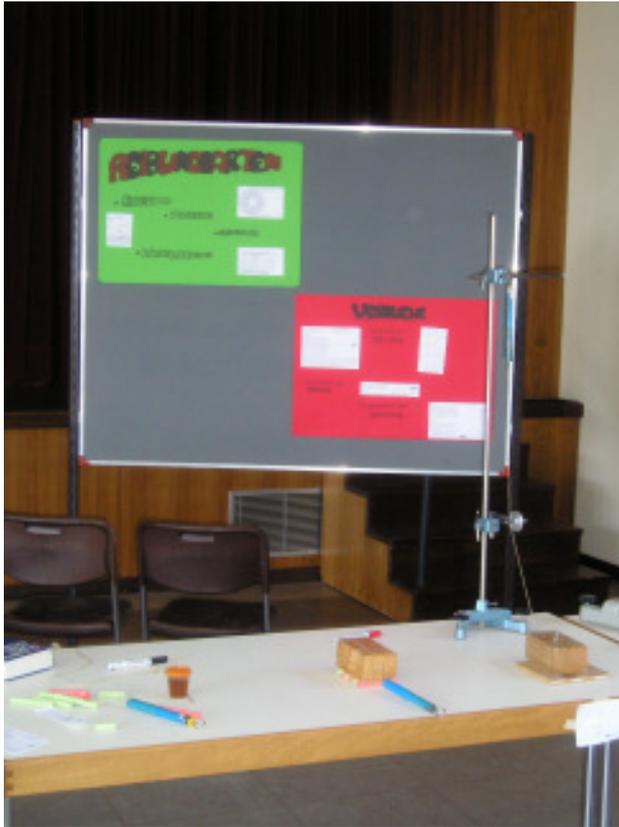


Abb. 19: Stand „Reibungsarten“

An diesem Stand wurde die Unterscheidung zwischen Haft-, Gleit- und Rollreibung thematisiert. Eigenschaften dieser Reibungsarten wurden untersucht.

Zu diesem Zweck hatte die Gruppe zu jedem der Typen einen exemplarischen Versuch aufgebaut, mit dessen Hilfe die Reibungskräfte quantitativ bestimmt werden konnten.

Mit weiteren Reibungsarten hatten sich die Schüler zwar beschäftigt, verzichteten jedoch bei der Präsentation

darauf, da sie hier Erklärungsprobleme hatten.

Der Vortrag war sehr strukturiert gehalten und die Aufgabenverteilung am Stand klar. Durch die gute Schwerpunktsetzung konnten auch viele Details am Rande erwähnt werden, ohne den Blick auf das Wesentliche zu verstellen.

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

6.2.5 Gruppe 5: Feuer machen

Für dieses Thema hatten sich die meisten Interessenten gefunden. Entsprechend enthusiastisch gingen die Schüler das Thema an. Schön zu beobachten war dabei, dass nach dem anfänglichen Experimentieren auch die Frage „Warum wird es eigentlich heiß?“ angegangen wurde.

Aufbauend auf dem Energiebegriff der Mechanik haben sich die Schüler einiges Wissen angelesen und gut aufbereitet.



Abb. 20: Stand „Feuer machen“

Nach den eher unspektakulären Experimenten Streichholz und Feuerzeug folgte das Highlight: Feuer machen wie in der Steinzeit. Dazu haben die Schüler mit Hilfe eines Bogens ein Holzstück in Rotation versetzt und in einer Kuhle eines zweiten Holzstückes reiben lassen.

Recht schnell stellte sich dabei heraus, dass ungeübte Zivilisationsmenschen so kein Feuer machen können. Deshalb wurde kurzerhand zur Bohrmaschine gegriffen. Mit großer Lautstärke und unter großem Applaus konnte so in kürzester Zeit mitgebrachter Zunder entzündet werden. Dieses praktisch durchgeführte Feuerbohren drängte bei der Präsentation den Theorieteil sehr an den Rand. So werden sich hier viele Zuschauer an das Experiment erinnern, aber nur wenige werden wissen, warum sich der Zunder entzündet.

6.2.6 Gruppe 6: Reibung beim Auto-/ Fahrradfahren

Diese Gruppe begann in der Erarbeitungsphase mit dem sehr guten Konzept, Punkte gewollter und ungewollter Reibung beim Auto/ Fahrrad zu lokalisieren und zu untersuchen.

Leider beschränkten sie sich am Ende darauf, Kugel- und Walzenlager losgelöst vom eigentlichen Objekt zu untersuchen.

Dabei zeigten die Schüler für beide Lagertypen jeweils ein Beispiel. [REDACTED]

[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]



Abb. 21: Stand „Reibung beim Auto/ Fahrrad“

6.3 Durchführung und Reflexion

Die Durchführung der Ausstellung lag vollständig in der Hand der Schüler. Obwohl die Schulleitung anbot, die Ausstellung einer größeren Schülergruppe zugänglich zu machen, beschränkten sie sich selbst auf die Schüler ihrer Klassenstufe sowie interessierte Lehrer.

Die Besucher wurden am Eingang vom Klassensprecher kurz begrüßt und mit den wichtigsten Informationen versorgt. Die einzelnen Stände waren unabhängig voneinander, und an jedem Stand gab es zusätzlich zu den Plakaten auch Experimente und Erklärungen.

Aus organisatorischen Gründen trafen die Klassen über einen Zeitraum von 15 Minuten unabhängig voneinander ein. Die ersten Besucher gaben der Klasse also nochmals die Gelegenheit, vor kleinerem Publikum zu testen.

Die gute Mischung von spektakulären (Feuerbohren, Luftrakete) und eher unscheinbaren Experimenten (Reibungsarten, Eigenschaften der

Reibung) sorgte dafür, dass alle Schüler immer wieder einen neuen Anlaufpunkt hatten und alle Stände durchgehend gut besucht waren.



Abb. 22: Die Ausstellung



Abb. 23: Alle Stände waren durchgehend gut besucht

Obwohl die Schüler, die die Ausstellung besuchten, vorher keine Aufgaben erhalten hatten und es sich um die fünfte Stunde freitags handelte, gab es nur wenige, die sich nicht mit den Ständen beschäftigt haben.



Abb. 24: Die Drucklufttrakete (Kreis) wurde von einer Schülerin (Rechteck) abgeschossen

Sehr positiv für die Schüler war die Resonanz bei Lehrern, die vorbeigekommen sind und sich die Ausstellung angesehen haben.

7. Nachbesprechung und Evaluation

7.1 Vorbemerkungen

Während eine Nachbesprechung eigentlich erst für die nächste Unterrichtsstunde nach der Ausstellung geplant war, ergab sich im Anschluss an das gemeinsame Aufräumen eine ungeplante Gelegenheit dazu.

In der folgenden Unterrichtsstunde wird ein letztes Laborbuch ausgefüllt, das eine Reihe von Fragen zur Evaluation beinhaltet, bevor wir noch einmal, jetzt mit einigen Tagen Abstand, über die Ausstellung sprechen.

7.2 Durchführung und Ergebnisse

In der kurzen, ungeplanten Nachbesprechung im Anschluss an das Wegräumen der Ausstellung, äußerten sich die Schüler vor allem zur Ausstellung selbst.

Der generelle Tenor war dabei, dass sie als schön aber anstrengend empfunden wurde. Detaillierter wurde kritisiert, dass die Besucher hauptsächlich an den Versuchen und weniger an der Theorie interessiert waren. D.h. die Organisation der Ausstellung selbst wurde hinterfragt, wobei mit so wenig Abstand keine Lösungsansätze genannt werden konnten.

Trotz der anstrengenden Zeit waren sich die Schüler darin einig, auch in Zukunft an solchen Projekten arbeiten zu wollen. Auf die Frage, ob wir das ganze inhaltlich jetzt noch im Unterricht abschließend besprechen sollten, wurde dies als nicht notwendig abgelehnt.

Das sechste Laborbuch stellte in drei Abschnitten Fragen zur Beurteilung der Unterrichtsreihe. Im ersten Abschnitt wurden offene Fragen zur Reihe selbst gestellt (siehe Abb. 25). Dabei ging es um das generelle Erstellen der Ausstellung, das Teamwork, die Recherche, das Experimentieren und die Ausstellung selbst.

Beim letzten Laborbuch soll ein wenig auf die letzten Stunden zurückgeblickt werden. Angefangen in der Stunde, in der wir uns gemeinsam über Reibung unterhalten haben, über eure Konzeption der Ausstellung bis hin zur Ausstellung selbst.

- **Was fandest du gut daran, eine Ausstellung selbst zu erstellen?**
- **Was fandest du schlecht beim Erstellen der Ausstellung?**
- **Wie hat das Teamwork in deiner Gruppe funktioniert? Wie habt ihr die Verantwortung aufgeteilt? Wer hat Entscheidungen getroffen?**
- **Wo habt ihr überall recherchiert? Habt ihr alle benötigten Informationen gefunden?**
- **Seid ihr schnell mit euren Versuchen zurechtgekommen? Was war leicht daran, was schwer?**
- **Wie hat dir die Ausstellung mit den Besuchern gefallen? Was war gut, was schlecht?**

Abb. 25: Laborbuch VI – Teil 1 (gekürztes Layout)

Im zweiten Abschnitt konnten Fragen auf einer Skala von eins bis vier beantwortet werden. Dabei wurde bewusst eine gerade Anzahl von Bewertungsschritten gewählt, um die gern gewählte Mitte nicht zu ermöglichen. Hierbei ging es nicht nur um eine Bewertung einzelner Aspekte, sondern vor allem auch um eine Einschätzung der eigenen Kenntnisse und Fähigkeiten (siehe Abb. 26).

Und jetzt noch einige Fragen, die du einfach mit einem Kreuz beantworten kannst, Dabei ist die 1 die beste Note bzw. volle Zustimmung, und die 4 die schlechteste bzw. komplette Ablehnung.

Wie hat dir der Unterricht zur Reibung insgesamt gefallen?

1 2 3 4

Wie gut hat Euer Teamwork funktioniert?

1 2 3 4

Wie gut kennst du dich jetzt mit Reibung aus?

1 2 3 4

Sollen wir in Zukunft öfter solche Projekte machen?

1 2 3 4

Hättest du im „normalen“ Unterricht mehr über Reibung gelernt?

1 2 3 4

Bist du jetzt besser im Experimentieren?

1 2 3 4

Denkst du, dass deine nächste Ausstellung besser werden würde?

1 2 3 4

Abb. 26: Laborbuch VI – Teil 2

Abschließend wurde nach sonstigen Kommentaren gefragt.

Generell wurden die Fragen mit viel Sorgfalt und oft sehr ausführlich und konstruktiv beantwortet.

Bei der Frage nach den positiven Aspekten daran, selbst eine Ausstellung zu erstellen, wurden vor allem drei Aspekte betont. Dies waren die Arbeit im Team, die Verantwortung, die die Schüler selbst übernommen haben, sowie das Präsentieren der Ergebnisse.

Damit sind sicherlich die wesentlichen Ziele der Reihe in methodischer Hinsicht von den Schülern erkannt und gewürdigt worden.

➤ Was fandest du gut daran, eine Ausstellung selbst zu erstellen?

Es machte Spaß auf diese Weise selbst etwas über das Thema in Erfahrung zu bringen. Außerdem schulte die Arbeit die Gruppenzugehörigkeit.

Ich fand gut, dass man seine Ideen selbst präsentieren durfte und die Verantwortung selbst tragen.

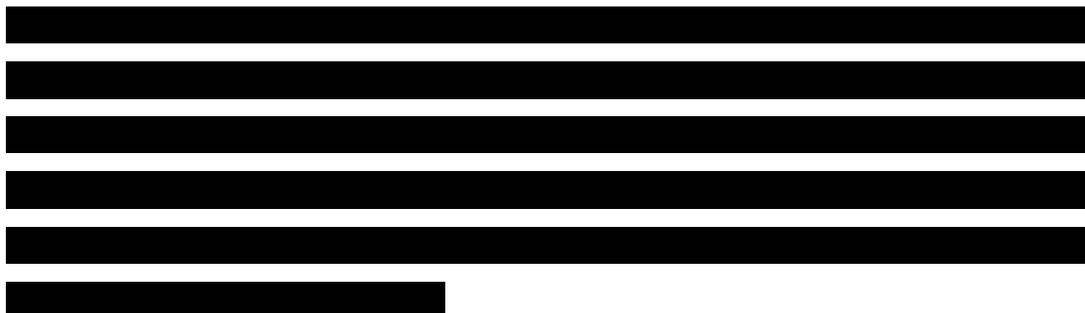
Man konnte so mehr über ein Thema erfahren als im normalen Unterricht.

Man lernt, sich selbst zu informieren, selbst zu recherchieren, und man lernt, mit anderen zu arbeiten.
Kein Unterricht! :)

Abb. 27: Antworten der Schüler auf Fragen im Laborbuch VI a

Bei der Frage nach den weniger guten Aspekten wurde vor allem der Zeitmangel bzw. der Zeitdruck kritisiert. Dies ist nachvollziehbar und berechtigt. In nur vier Schulstunden eine Ausstellung von Grund auf zu erstellen war von Beginn an ein sehr ambitioniertes Ziel. Der späte Zeitpunkt im Schuljahr sowie die Berücksichtigung der noch zu behandelnden Themen machten eine wesentlich längere Arbeitszeit jedoch kaum möglich.

Dadurch entstand für die Zeit der Ausstellungskonzeption ein extrem hoher Arbeitsaufwand, der über das Maß dessen, was normalerweise von einem Nebenfach beansprucht werden sollte, sicherlich hinausgeht.



➤ **Was fandest du schlecht beim Erstellen der Ausstellung?**

Uns stand nicht genügend Zeit zur Verfügung,
um alle nötigen Informationen zu bearbeiten.

Wenig Zeit.

- Streit
- ziemlich viel Arbeit

Abb. 28: Antworten der Schüler auf Fragen im Laborbuch VI b

Besondere Vorkommnisse in der Gruppendynamik wurden von den Schülern bereits in den vorangehenden Fragen angesprochen, weshalb die Frage nach dem Teamwork wenig neues brachte.

Fast alle Gruppen hatten eine gut funktionierende Zusammenarbeit. Dabei wurden bei allen Gruppen die Entscheidungen gemeinsam gefällt und die Verantwortung gemeinsam getragen.

Einzelne inhaltliche Gebiete wurden aufgeteilt aber am Ende doch immer miteinander abgesprochen.

Bei der Frage nach den Quellen der Recherche wurden Bücher, das Internet, das Fernsehen sowie Personen aus dem Bekanntenkreis, Schüler höherer Klassenstufen oder Lehrer genannt.

Die Rückmeldungen zu den durchgeführten Experimenten zeigten einen direkten Zusammenhang zwischen Recherche und späterer Durchführung. Gruppen, die gute Quellen fanden und sich damit beschäftigten, hatten wenig Probleme mit der Durchführung. Wurden die Quellen aber nur oberflächlich betrachtet, machte sich dies später bemerkbar und das Versäumnis musste nachgearbeitet werden.

Generell gab es bei allen Gruppen einige Anlaufschwierigkeiten, die dann aber fast alle überwunden werden konnten. Probleme bereiteten den Schülern eher die thematische Zuordnung und die Erklärungen zu den Versuchen.

- **Seid ihr schnell mit euren Versuchen zurecht gekommen? Was war leicht daran, was schwer?**

Wir sind insgesamt gut zurecht gekommen, da wir viele Quellen hatten.

-die Versuche waren schnell aufgebaut, aber in der Praxis war es schwieriger als in der Theorie

Wir fanden es schwer einen Versuchsaufbau zu finden wo man das sieht wo über was das Thema ging.

Die Versuche selbst waren eher leicht aber die Erklärung war schon etwas schwerer.

Abb. 29: Antworten der Schüler auf Fragen im Laborbuch VI e

Die abschließende Frage mit freier Antwortmöglichkeit, nach der Ausstellung selbst, entstand aus der kurzen Nachbesprechung im Anschluss an die Ausstellung.

Allgemein war an den Antworten abzulesen, dass es den Schülern aus den unterschiedlichsten Gründen gut gefallen hat. Sei es, weil sie ihr Können beweisen konnten oder sie präsentieren durften. Große Kritik gab es jedoch am Ablauf der Ausstellung. Wobei die Schüler weniger ihre eigene Organisationsform kritisierten als das mangelnde Interesse der Besucher an der von ihnen erarbeiteten Theorie.

Der immer wieder aufgeschriebene und auch in Gesprächen geäußerte Satz war: „Die wollten ja immer nur die Experimente sehen!“

Dieses Manko der Ausstellung sollte bei einer Wiederholung unbedingt bereits im Vorfeld thematisiert werden. In der Erarbeitungsphase sollten bereits mögliche Lösungsansätze mit den Schülern besprochen werden. Seien es Informationen, die bereits früher an die Klassen gegeben werden (Handouts oder kurze Besuche) oder gar angeleitete Führungen.

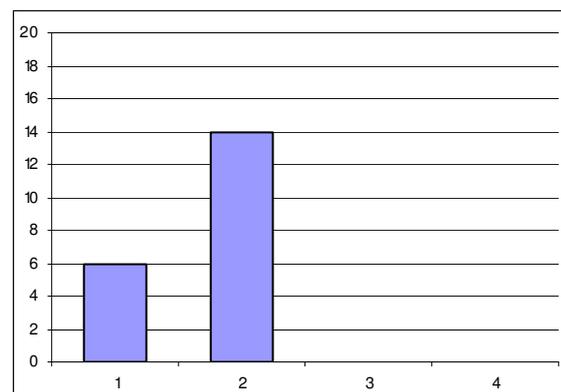
Auch die Art der Präsentation sollte frühzeitig thematisiert werden. Zu beobachten war der große Besucherzustrom beim Feuerbohren, der

Rakete und beim Fallschirm im Gegensatz zu den weniger spektakulären Experimenten. Ohne auf physikalische Erklärungen zu verzichten oder auf das Niveau einer „Knoff-Hoff-Show“ abzufallen, müsste von Beginn an mehr Aufmerksamkeit auf die Auswahl der Experimente gelegt werden.

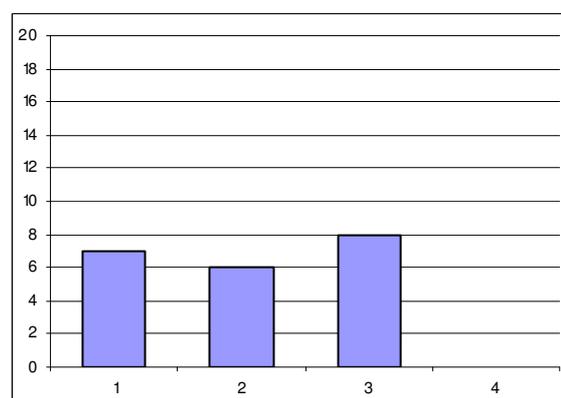
Hier nun eine Kurzzusammenfassung der Ergebnisse aller Bewertungsfragen, bevor näher darauf eingegangen wird. Dabei war eins die beste Note bzw. volle Zustimmung, während entsprechend vier die schlechteste Note bzw. komplette Ablehnung bedeutete.

Bei der Auswertung fiel auf, dass ein Schüler bei den Bewertungen seinen sonstigen Aussagen genau widersprochen hatte. Es ist davon auszugehen, dass er beste und schlechteste Bewertung miteinander vertauscht hat. Deshalb wurden die Bewertungen dieses Schülers in der Auswertung nicht berücksichtigt.

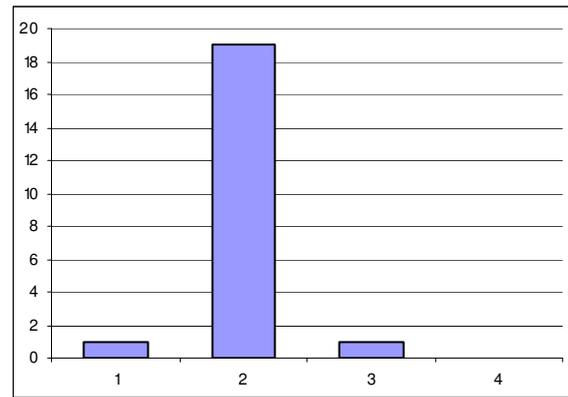
Wie hat dir der Unterricht zur Reibung insgesamt gefallen?
Schnitt: 1,7



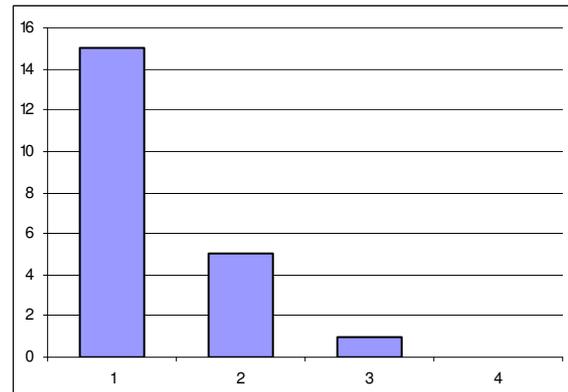
Wie gut hat euer Teamwork funktioniert?
Schnitt: 2,1



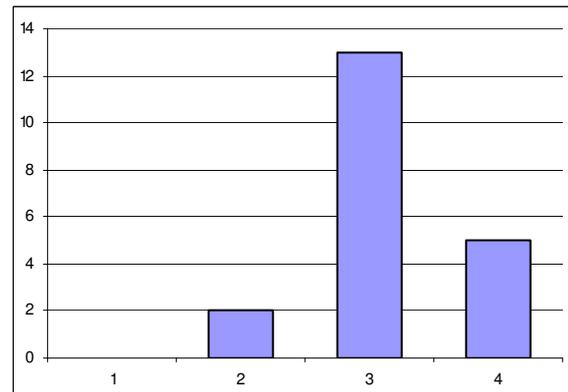
Wie gut kennst du dich jetzt mit Reibung aus?
Schnitt: 2,0



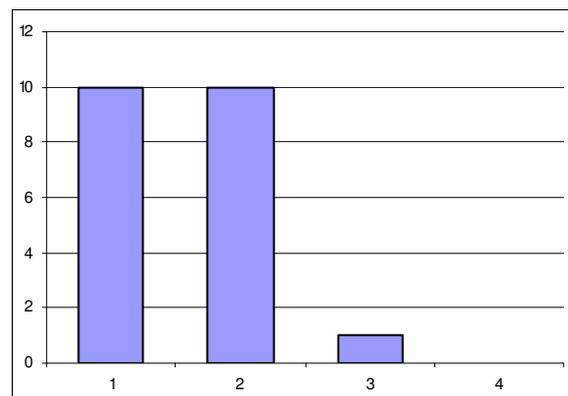
Sollen wir in Zukunft öfter solche Projekte machen?
Schnitt: 1,3



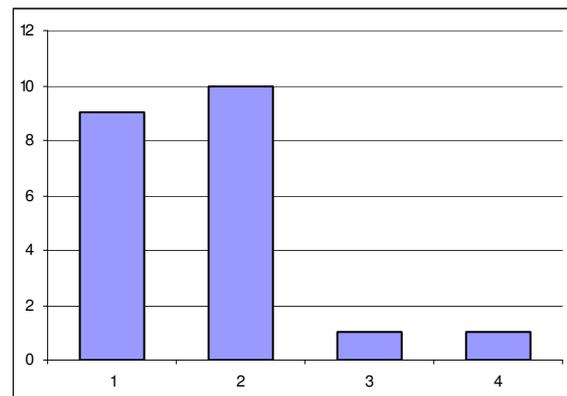
Hättest du im „normalen“ Unterricht mehr über Reibung gelernt?
Schnitt: 3,2



Bist du jetzt besser im Experimentieren?
Schnitt: 1,6



Denkst du, dass deine nächste Ausstellung besser werden würde?
Schnitt: 1,7



In der Gesamtbewertung zeigte sich, dass die Schüler großen Spaß an dieser offenen Form der produktorientierten Arbeit hatten. Die Gesamtbeurteilung der Reihe fiel ebenso positiv aus, wie der Wunsch einer Wiederholung.

Dies bestätigt die Grundannahme, dass produktorientiertes, selbstständiges Arbeiten für eine große Motivation sorgen kann.

Große Fortschritte sahen die Schüler bei ihren Fähigkeiten im Experimentieren. Dies kann ich von meiner Seite aus bestätigen, da die Klasse bisher eher durch sehr verhaltenes, fast schon unbeholfenes Arbeiten mit Versuchen aufgefallen ist. Im Laufe der Reihe hat sich hier bei vielen eine große Sicherheit herausgebildet.

Für eine gute Selbsteinschätzung steht auch die Aussage, dass eine weitere Ausstellung auf Grund der hier gemachten Erfahrungen besser werden würde. Bereits die Antworten in Textform haben gezeigt, dass sich die Klasse durchaus kritisch mit ihrer Arbeit auseinandersetzen konnte. Auch hier sehen die Schüler Verbesserungsmöglichkeiten und weisen (trotz aller Begeisterung) auf die Schwachstellen dieser Umsetzung hin.

Sehr gemischte Rückmeldungen gab es erwartungsgemäß bei der Beurteilung des Teamworks. Obwohl die schlechteste Note nicht vergeben wurde, beurteilten es dennoch insgesamt acht Schüler als eher schlecht.

Auf Grund der Anonymität des letzten Laborbuchs konnte nicht mehr nachvollzogen werden, um welche Schüler es sich dabei handelt. [REDACTED]

[REDACTED]

Fachlich schätzten sich die Schüler als gut, nicht aber als sehr gut ein. Dies ist nachvollziehbar, da den Schülern bis zum Ende der Überblick über die komplette Thematik fehlte und es ihnen somit nicht wirklich möglich war,

ihre Lernerfolge einzuschätzen. Weiterhin war jeder Schüler nur ein wirklicher Experte in seinem Spezialgebiet. Hier wäre zu überlegen, den Schülern z.B. einen Stichwortkatalog als Überblick über das Thema zu geben. Ebenso wären Leitfragen denkbar, auf die jedoch zu Gunsten der freien Arbeitsform verzichtet wurde.

Die Frage danach, ob man im „normalen“ Unterricht mehr gelernt hätte, wurde von 90% der Schüler verneint. Dies spricht ebenfalls für den Lernerfolg der Reihe und zeigt, dass das Konzept angenommen wurde.

Bei der Auswertung aller Fragen war zu merken, dass sich die Schüler viele Gedanken über die Reihe gemacht haben. Sehr gut wurden Vor- und Nachteile dieser Unterrichtsform erkannt.

Dass es nichts weiteres zu sagen gab, zeigte auch die freie Nachbesprechung nach Einsammeln der Laborbücher. Hier wurden keine neuen Aspekte genannt.

An einigen Stellen wurden mögliche Verbesserungsvorschläge in Bezug auf die Organisation der Ausstellung gemacht, ohne dass diese jedoch vollständig ausdiskutiert wurden.

8. Gesamtreflexion der Reihe

8.1 Fachliche Konzeption

Fachlich muss man sich natürlich die Frage stellen, was die Schüler im Laufe der Unterrichtsreihe gelernt haben, und ob es gerechtfertigt ist, so viel Zeit dafür zu investieren.

Was die Theorie der Reibung selbst betrifft, so wurde bei allen Schülern ein fundiertes Grundkonzept geschaffen, das die wesentlichen Kenntnisse zum Thema beinhaltet. Dies wurde vor allem bei der gegenseitigen Präsentation der Ergebnisse und den dabei gestellten Fragen deutlich.

Durch die tiefgehende, selbsttätige Beschäftigung mit der Thematik denke ich, dass diese Konzepte nicht nur kurzfristig für die notenrelevante Zeit vorhanden sind, sondern auf Dauer gefestigt werden konnten.

Darüber hinaus haben alle Schüler in ihrem speziellen Thema deutlich tiefere Kenntnisse erworben, wobei diese auf Dauer (realistisch betrachtet) nur in der jeweiligen Gruppe Bestand haben werden.

Fast wichtiger erscheint mir aber, dass die Schüler ihre Fähigkeiten beim Experimentieren enorm verbessert haben. Dies betrifft nicht nur die reine Durchführung, sondern auch Planung, Hypothesenbildung und Auswertung. Trotz dieser positiven Punkte würde ich beim nächsten Mal auf einer stärkeren Sicherung der Ergebnisse in schriftlicher Form beharren. So kam im Zuge des offenen Arbeitens die Idee auf, an jedem Stand ein kleines Handout mit den wichtigsten Inhalten auszulegen. Diese Idee wurde jedoch von den Schülern aus organisatorischen Gründen verworfen.

Eine solches Handout, bei dem jede Gruppe auf maximal einer Din-A4-Seite das wesentliche zusammenfasst, und das für alle Schüler der Klasse ausgeteilt wird, empfände ich als sinnvolle Ergänzung.

Auch für die Besucher wäre eine solches Handout sicherlich hilfreich gewesen. Aber auch so konnten die Gäste einiges an Erkenntnissen mitnehmen. Beobachtungen während der Ausstellung haben gezeigt, dass im direkten Gespräch von Schüler zu Schüler sehr viel Wissen in sehr kurzer Zeit vermittelt werden konnte. Grundlegende Tatsachen zur Reibung konnten deshalb auch den interessierten Besuchern vermittelt werden.

Gespräche nach der Ausstellung zeigten neben der großen Neugierde auf das, was da geboten wurde, nun auch den Wunsch, so etwas einmal selbst zu machen.

Die Gruppenthemen von den Schülern mit Hilfe des ersten Laborbuchs finden zu lassen hat sich bewährt. Dass zwei der Themen (Reibung vermindern und Reibung mikroskopisch) nicht bearbeitet wurden, halte ich nicht für schlimm. Das Modell der gezackten Oberflächen, die sich ineinander verhaken, wurde in allen Gruppen besprochen. Eine weitergehende mikroskopische Behandlung ist in dieser Altersstufe kaum realisierbar.

Das Vermindern von Reibung durch Schmiermittel wurde nicht besprochen. Auch dies ist kein wesentlicher Inhalt des Physikunterrichts, und ich denke, dass dies den Schülern aus ihrem Alltag bekannt ist.

Generell hat sich die Reibung als Thema für eine solche Konzeption bewährt. Obwohl die Reibung bei allen Bewegungsvorgängen eine Rolle spielt, lässt sie sich sehr leicht isoliert betrachten.

8.2 Methodische Konzeption

Es gab für mich zu Beginn zwei Kernpunkte, die entscheidend für die ganze Reihe waren. Dies war zum einen die Verkündung des gemeinsamen Ziels und die Einteilung der Gruppen samt Themenvergabe.

Es hat sich ausgezahlt, beides vorher ausführlich zu planen und zu inszenieren, da die Schüler hierauf sehr positiv reagiert haben.

Die in der Literatur beschriebenen Vorteile offenen Unterrichts mit seiner starken Handlungsorientierung, Eigenverantwortlichkeit und in diesem Fall der Produktorientierung haben sich voll bestätigt.

Die Schüler waren über die komplette Dauer der Ausstellung hochmotiviert und begeistert dabei. Darüber hinaus hat sich auch bei den schwächeren Schülern eine Motivationssteigerung über die Reihe hinaus gezeigt.

Der Einsatz des Laborbuchs hat sich bewährt. Es handelte sich dabei um ein einfaches, unaufdringliches Mittel, um den Schülern einige Denkanstöße zu geben und ihnen die eigenen Vorstellungen zu vermitteln.

Schlecht daran war die Planung des Laborbuchs im Vorfeld der Reihe. Dadurch habe ich mich selbst bei einer Stunde zu sehr eingeschränkt. Statt das Laborbuch genau auf die Bedürfnisse und die Situation der Schüler abzustimmen, habe ich mich zu sehr von der Vorplanung beeinflussen lassen. Zwar habe ich die Laborbücher immer basierend auf den

Erfahrungen der vorangehenden Stunde angepasst, blieb jedoch dieses eine mal zu eng an meinen eigenen Vorgaben.

Dadurch, dass die Schüler für Organisation und Ablauf selbst verantwortlich waren, lief nicht alles ideal. So war z.B. die Ausstellung selbst phasenweise ein wenig chaotisch. Dennoch denke ich, dass dies wichtige Erfahrungen sind, die die Schüler hier sammeln konnten. Auch wenn ich beim nächsten Mal die Planung der Ausstellung konkreter ansprechen würde, bliebe die Organisation selbst weiterhin den Schülern überlassen.

Die Einbindung erkrankter Schüler hat sich als schwierig herausgestellt. Hier würde sich eine Alternative bieten, indem man die Rolle eines „Moderators“ einführt, die von solchen Schülern übernommen werden könnte. Ihre Aufgabe wäre es, sich bei allen Gruppen zu informieren um später die Besucher begleiten bzw. einweisen zu können.

Beim offenen Arbeiten hat sich gezeigt, dass die in 4.1 aufgezeigten Vorteile nahezu ausnahmslos zutreffen. Den dort beschriebenen Nachteilen konnte mit Hilfe der Laborbücher begegnet werden.

8.3 Weitere Bemerkungen

Besonders kritisch sehe ich bei der hier praktizierten Form des Unterrichts die hohe persönliche Arbeitsbelastung der Schüler. Diese waren über den kompletten Zeitraum über die Unterrichtsstunden hinaus voll involviert und trugen ihre Fragen und Probleme auch in den Unterricht anderer Fächer hinein.

Diese Belastung wäre auf keinen Fall dauerhaft und in mehreren Fächern gleichzeitig zu bewältigen. Deshalb muss eine solche Reihe leider immer die Ausnahme bleiben und kann nicht der Regelfall sein.

Es war gut zu beobachten, dass es mir selbst sehr leicht fiel, meine passive Rolle im Hintergrund einzunehmen, während die Schüler nur langsam bereit waren dies zu akzeptieren.

Eine alternative Art der Durchführung wäre das Erstellen einer Ausstellung zu einem zuvor im Unterricht bearbeiteten Thema. Dadurch würde die Recherche weit gehend entfallen. Dafür würde aber mehr Wert auf Strukturierung und Darbietung des Wissens gelegt.

9. Fazit

Das Thema Reibung hat sich als für die Schüler sehr interessant und gut zu bearbeiten gezeigt. Die Zurückhaltung, die andere Lehrer dieser Thematik gegenüber an den Tag legen, kann ich basierend auf meinen Erfahrungen in dieser Unterrichtsreihe, nicht nachvollziehen.

Besonders günstig hat sich das Thema dabei für das Konzept einer Ausstellung gezeigt, da die Aufteilung in Unterthemen gut funktioniert hat. Die Ausstellung als Ziel der Unterrichtsreihe hat für einen hohen Identifikationsgrad und eine starke Motivation bei den Schülern gesorgt.

Auch wenn die Ausstellung selbst nicht ideal organisiert war, hat sie alle beteiligten Schülern inhaltlich weitergebracht.

Die in der Literatur angesprochenen Vorteile des offenen Unterrichts kann ich bestätigen. Den negativen Aspekten dieser Unterrichtsform konnte mit Hilfe der Laborbücher gut begegnet werden.

Alle Aspekte der Reihe wurden von den Schülern gut angenommen und begeistert mitgetragen.

Die Lernziele wurden in nahezu allen Bereichen vollständig erreicht. Nur eine Gruppe hat meine Erwartungen in fachlicher Hinsicht nicht erfüllt.

10. Anhang

10.1 Literatur

Folgende Literatur stand den Schülern für ihre Recherche zur Verfügung:

- M. Barmeier et al. : Prisma Physik, 1. Auflage, Ernst Klett Verlag, Stuttgart 2006.
- R. Bayer et al. : Impulse Physik 2, 1. Auflage, Ernst-Klett-Verlag, Stuttgart 2004.
- F. Bergmann, H. Schröder: Einführung in die Physik – Sekundarstufe I, Diesterweg-Verlag, Frankfurt am Main 1979.
- M. Bergmann, K. Bethge: Schülerduden – Die Physik, 3. Auflage, Dudenverlag, Mannheim 1995.
- W. Bredthauer et al.: Impulse Physik 1, 1. Auflage, Ernst-Klett-Verlag, Stuttgart 2003.
- C. Gerthsen, H. Vogel: Physik, 17. Auflage, Springer-Verlag, Berlin 1993.
- H.-J. Gärtner: Wege in die Physik + Chemie 5/6, 1. Auflage, Ernst-Klett-Verlag, Stuttgart 1986.
- W. Kuhn: Physik 2, 1. Auflage, Westermann Schulbuchverlag, Braunschweig 2005.
- J. Grehn (Hrsg.): Metzler Physik, 2. Auflage, Metzlersche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart 1992.
- J. Grehn, J. Krause (Hrsg.): Metzler Physik, 3. Auflage, Schrödel Verlag, Hannover 2003.
- J. Orear: Physik Band 1 und 2, Carl Hanser Verlag, München 1991.
- H. Stroppe: Netz – Formeln und Sätze der Physik, Carl Hanser Verlag, München 1991.
- P.A. Tipler: Physik, 1. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg 1994.
- H.-J. Wilke (Hrsg.): Physikalische Schulexperimente – Band 1 Mechanik/ Thermodynamik, Volk und Wissen Verlag, Berlin 1997.

Darüber hinaus habe ich noch folgende Quellen benutzt:

- W. Demtröder: Experimentalphysik 1, 3. Auflage, Springer-Verlag, Berlin 2003.

- W. Demtröder: Experimentalphysik 2, 2. Auflage, Springer-Verlag, Berlin 2002.
- W. Demtröder: Experimentalphysik 3, 1. Auflage, Springer-Verlag, Berlin 1996.
- T. Fließbach: Mechanik, 4. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg 2003.
- H. Gudjons: Pädagogisches Grundwissen, 7. Auflage, Klinkhardt Verlag, Bad Heilbrunn 2001.
- A. Kaiser, R. Kaiser: Studienbuch Pädagogik, 8. Auflage, Cornelsen Verlag, Berlin 1996.
- Landesarbeitsgemeinschaft der Jungen Philologen: Ratgeber für das Referendariat, 3. Auflage, Philologenverband, Mainz 2002.
- H. Meyer: Unterrichtsmethoden I: Theorieband, 10. Auflage, Cornelsen Verlag, Berlin, 2003.
- H. Meyer: Unterrichtsmethoden II: Praxisband, 10. Auflage, Cornelsen Verlag, Berlin, 2003.
- G.A. Tomlinson: A Molecular Theory of Friction, Philosophical Magazine, 1929, 7.

Folgende Quellen im Internet wurden benutzt:

- <http://www.nano-world.org>
- <http://www.physik-am-auto.de/reibung/reibung.htm>

10.2 Bildverzeichnis

Abbildung 1:	Partikel im Tomlinsonschen Mechanismus.	7
Abbildung 2:	Mechanische Adiabaticität.	7
Abbildung 3:	Laborbuch I (gekürztes Layout)	21
Abbildung 4:	Folie zur Bekanntgabe der Ausstellung	23
Abbildung 5:	Tafelbild zur Einführungsstunde	25
Abbildung 6:	Antworten der Schüler zum Laborbuch I a	26
Abbildung 7:	Antworten der Schüler zum Laborbuch I b	27
Abbildung 8:	Skizze zur schiefen Ebene	28
Abbildung 9:	Laborbuch II (gekürztes Layout)	36
Abbildung 10:	Antworten der Schüler zum Laborbuch II b	37
Abbildung 11:	Laborbuch III (gekürztes Layout)	39
Abbildung 12:	Antworten der Schüler auf Fragen im Laborbuch III a	40
Abbildung 13:	Antworten der Schüler auf Fragen im Laborbuch III c	40
Abbildung 14:	Laborbuch IV (gekürztes Layout)	41
Abbildung 15:	Laborbuch V (gekürztes Layout)	44
Abbildung 16:	Stand „Fallschirmspringen“	48
Abbildung 17:	Stand „Eigenschaften der Reibung“	49
Abbildung 18:	Stand „Luftreibung“	50
Abbildung 19:	Stand „Reibungsarten“	51
Abbildung 20:	Stand „Feuer machen“	52
Abbildung 21:	Stand „Reibung beim Auto/ Fahrrad“	53
Abbildung 22:	Die Ausstellung	54
Abbildung 23:	Alle Stände waren durchgehend gut besucht	54
Abbildung 24:	Die Drucklufttrakete (Kreis) wurde von einer Schülerin (Rechteck) abgeschossen	55
Abbildung 25:	Laborbuch VI – Teil 1 (gekürztes Layout)	57
Abbildung 26:	Laborbuch VI – Teil 2	58
Abbildung 27:	Antworten der Schüler auf Fragen im Laborbuch VI a	59
Abbildung 28:	Antworten der Schüler auf Fragen im Laborbuch VI b	60
Abbildung 29:	Antworten der Schüler auf Fragen im Laborbuch VI e	61

10.3 Versicherung

Hiermit erkläre ich, dass ich diese Arbeit selbstständig und nur mit Hilfe der angegebenen Literatur angefertigt habe. Das Thema wurde nicht bereits im Rahmen einer früheren Prüfung schriftlich bearbeitet.

Mit der Ausleihe und mit der Verwendung von Zitaten zu wissenschaftlichen Zwecken bin ich einverstanden.

Stefan Altherr