

# **Reihe „Pädagogik und Fachdidaktik für Lehrer/innen“**

Herausgegeben von der

**Abteilung „Schule und gesellschaftliches Lernen“**

des Instituts für Interdisziplinäre Forschung und Fortbildung  
der Universität Klagenfurt

Edeltraud Schwaiger

## **Physikunterricht und Schülervorstellungen**

PFL – Naturwissenschaften, 2000-02

IFF, Klagenfurt, 2002

Betreuung  
Thomas Stern

**Die Universitätslehrgänge „Pädagogik und Fachdidaktik für Lehrer/innen“ (PFL) sind interdisziplinäre Lehrerfortbildungsprogramme der Abteilung „Schule und gesellschaftliches Lernen“ des IFF. Die Durchführung der Lehrgänge erfolgt mit Unterstützung des BMBWK.**

# Inhaltsverzeichnis

## Abstract/Kurzfassung

## Physikunterricht und Schülervorstellungen

<b>1</b>	<b>Schülervorstellungen über Kräfte und über Abbildungen mit Linsen. ....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Schülerbefragungen mit Testaufgaben.....</b>	<b>2</b>
2.1	Datenerhebung zum Kraftbegriff .....	2
2.2	Datenerhebung zu den Schülervorstellungen Optik .....	4
2.2.1	Konkrete Klassensituation in einer 7. Klasse Gymnasium .....	5
2.2.2	Konkrete Klassensituation in einer 4. Klasse Realgymnasium .....	5
<b>3</b>	<b>Ergebnisse/Datenüberblick.....</b>	<b>6</b>
3.1	Ergebnisse – Kraftbegriff – sechste Klasse .....	6
3.2	Ergebnisse – OPTIK .....	8
3.2.1	OPTIK – 7. Klasse.....	8
3.2.2	OPTIK - 4. Klasse .....	10
<b>4</b>	<b>Diskussion und Interpretation.....</b>	<b>13</b>
4.1	Untersuchung zum Kraftbegriff .....	13
4.2	Untersuchung zur Optik .....	14
4.2.1	Siebente Klasse Gymnasium .....	14
4.2.2	Vierte Klasse Realgymnasium .....	15
<b>5</b>	<b>Erhebung von Schülermeinungen zum abgelaufenen Physikunterricht.....</b>	<b>17</b>
<b>6</b>	<b>Schlussfolgerung und Konsequenzen.....</b>	<b>18</b>
	<b>Literatur .....</b>	<b>20</b>
	<b>Anhang.....</b>	<b>21</b>

# Physikunterricht und Schülervorstellungen

(Abstract/Kurzfassung)

In dieser Studie beschäftige ich mich mit dem Problem der Präkonzepte, die Schüler aus dem Alltag in den Physikunterricht mitnehmen oder dort entwickeln.

Anhand eines Arbeitsblattes mit dem „Münzproblem“ und dem „Raketenproblem“ teste ich, inwieweit die aristotelischen Vorstellungen zum Kraftbegriff nach dem Mechanikunterricht noch weiter bestehen. Mit Hilfe eines einfachen Experimentes zur Optik untersuche ich, welche Vorstellungen Schüler/innen zu Vorgängen in einer Linse haben, wobei sich die Schüler/innen zuerst selbständig eine Hypothese überlegen und dann mit Schülerversuchen eine Erklärung in der Gruppe finden und präsentieren müssen.

Es zeigt sich:

- Die tief verankerte Alltagsvorstellung, dass jede Bewegung einer Kraft bedarf, bleibt trotz intensivem Bemühen auch nach dem Physikunterricht noch bestehen.
- Die „ad hoc“ konstruierten Vorstellungen zum nicht alltäglichen Linsenproblem werden durch gemeinsames Überlegen und Arbeiten in der Gruppe aber leichter aufgegeben.

Obwohl das Ziel meiner Untersuchung die Schülervorstellungen betraf, zeigte sich überraschenderweise, dass die gewählten Fragestellungen für die Schüler/innen sehr gut geeignete Anlässe sind, sich intensiv mit physikalischen Fragestellungen auseinanderzusetzen und ein Verständnis zu entwickeln. Ich sehe es daher als das Hauptergebnis meiner Studie an, dass derartige Beispiele das Interesse und Verstehen in der Physik nachhaltig fördern. Die Schüler/innen müssen aber genügend Zeit zum Überlegen haben und (alleine oder in der Gruppe) die gefundene Lösung dokumentieren.

Ich werde daher verstärkt nach Problemstellungen suchen, die Schüler/innen neugierig machen zu untersuchen, „was hier wirklich passiert!“.

Edeltraud Schwaiger

BG – BRG Tulln  
Donaulände 72  
3430 Tulln  
Tel: 02272/66227

e-mail: karl.schwaiger@pgv.at

# 1 Schülervorstellungen über Kräfte und über Abbildungen mit Linsen.

Das Unterrichtsfach Physik wird von sehr vielen Schülern als schwierig eingestuft. In der Literatur zur Didaktik der Naturwissenschaften wird als Ursache für die Ablehnung des Faches Physik neben der Mathematik und der Fachsprache auch das Problem der Alltagsvorstellungen, der Präkonzepte der Schüler/innen zu physikalischen Begriffen bzw. Vorgängen genannt.

Ich habe dieses Problem als zentralen Teil meiner Studie aus 2 Gründen gewählt: Erstens fällt mir im Unterricht immer wieder auf, dass Schüler zum Beispiel bei der Beschreibung von Bewegungen im Hinblick auf Kraft, Geschwindigkeit und Beschleunigung Schwierigkeiten haben, von ihrer Alltagsvorstellung auf die doch idealisierte Ebene der reibungsfreien Bewegung zu wechseln. Ich lege daher immer großen Wert auf die Darstellung des Kraftbegriffes und ein Verständnis des Trägheitsgesetzes. Trotzdem finde ich bei Unterrichts- oder Prüfungsgesprächen immer wieder, dass die Alltagsvorstellungen die Überlegungen der Schüler/innen dominieren. Dies zeigte sich wieder bei der jetzigen sechsten Klasse Gymnasium bei einem Prüfungsgespräch zum Thema waagrechter Wurf am Beispiel des Tennisspielens. Auf meine Frage: „Wie weit kommt ein Tennisball, der mit einer bestimmten Geschwindigkeit horizontal über das Netz fliegt?“ erhielt ich als Antwort: „Das kommt darauf an, wie lange noch die Kraft des Schlägers weiterwirkt“. Eine anschließende Diskussion mit der gesamten Klasse ergab folgende Sichtweisen der Schüler: Die Kraft des Schlägers wirkt solange, „...bis der nächste draufhaut“, „...bis der Ball den Boden erreicht“, „...bis der Ball an Höhe verliert“, „...bis kein Kontakt zwischen Ball und Schläger mehr vorhanden ist.“ Die aristotelische Vorstellung einer Bewegung, die immer einer Kraft bedarf, ist bei vielen Schülern trotz Physikunterricht noch weiter vorhanden. Erst mit einer genauen Wiederholung des Kraftbegriffes als einer Größe, die eine Änderung der Geschwindigkeit bewirkt, akzeptierten alle (?), dass die Kraft nur solange wirkt, solange ein Kontakt des Schlägers mit dem Ball besteht. Da mir aus der Literatur mit dem „Münzproblem“ sowie dem „Raketenproblem“ zwei interessante Denkaufgaben zum Kraftbegriff bekannt sind, beschloss ich, zu untersuchen, inwieweit der aristotelische Kraftbegriff das Denken der Schüler immer noch dominiert.

Den zweiten Anstoß die Vorstellungen der Schüler zu untersuchen, erhielt ich beim IFF-Seminar „Konstruktives Lernen in den Naturwissenschaften“ mit Prof. Peter Labudde im November 2001. Prof. Labudde setzte bei vielen Seminarteilnehmern mit sogenannten „Stolpersteinen“ einen Denkprozess im Sinne „was passiert hier wirklich“ in Gang. Speziell das mit einfachen Mitteln durchführbare Optikexperiment - mit einer Sammellinse (Lupe) wird eine Kerzenflamme abgebildet und die Frage gestellt, was mit dem Bild passieren wird, wenn die Hälfte der Linse mit einem Papier abgedeckt wird - setzte viele in Erstaunen und in nachfolgenden Diskussionen in Kleingruppen stellte sich heraus, dass dieses Problem auch „studierte Naturwissenschaftlern“ von Anfang an gar nicht so klar war. Bereits beim Seminar stellte ich mir die Frage: „Wie gehen Schüler/innen mit diesem optischen Stolperstein um? Wie lösen Schüler der Oberstufe, die bereits Wellenoptik gelernt haben, dieses Problem, wie Schüler der Unterstufe, die nur mit der geometrischen Optik vertraut sind?“

Eine Untersuchung zu den Alltagsvorstellungen von Schülern ist natürlich nichts Neues, es gibt dazu bereits eine Menge von Daten. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse (Häußler, Perspektiven für die Unterrichtspraxis S. 177) zeigt, dass zwischen **tief verankerten Vorstellungen**, die durch den Unterricht meist nicht zu ändern sind, und in einer bestimmten Situation **ad-hoc-konstruierten Vorstellungen** unterschieden wird. Beide Fälle kann ich in meiner Untersuchung behandeln: der Kraftbegriff eignet sich für die tief verankerten alltäglichen Vorstellungen und die Vorgänge in einer Linse für die nicht alltäglichen Vorstellungen.

Meine **Forschungsfrage** lautet daher konkret:

- Welche Vorstellung haben die Schüler/innen in der sechsten Klasse nach dem Mechanikunterricht zum Kraftbegriff?

Meine Vermutung: Meine Untersuchung wird bestätigen, dass eine durch die Alltagserfahrung tief verankerte Vorstellung durch den Physikunterricht nicht geändert wird.

- Welche ad – hoc konstruierten Vorstellungen haben Schüler/innen bezüglich der Vorgänge in einer Linse, einem Problem, das im Alltag nicht relevant ist? Wie erklären dies Schüler, die nur mit der geometrischen Optik (4. Klasse) vertraut sind, wie Schüler, die bereits Wellenoptik (7. Klasse) gelernt haben?

Meine Vermutung: Viele Schüler werden erwarten, dass bei Abdeckung der Hälfte der Linse auch die Hälfte des Bildes der Kerze verschwindet und erstaunt sein, dass dies nicht der Fall ist. Für das Verständnis der Vorgänge in der Linse werden Kenntnisse aus der Wellenoptik (z.B. Huygens'sches Prinzip) hilfreich, die geometrische Optik mit der Konstruktion von Bildern mittels einzelner Strahlen aber eher hinderlich sein.

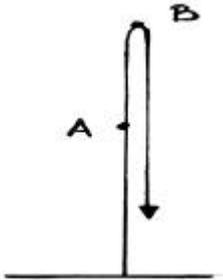
## 2 Schülerbefragungen mit Testaufgaben

Ich habe sowohl Datenerhebungen zum Thema Kraftbegriff als auch zum Thema Schülervorstellungen in der Optik durchgeführt. Die Methode beschränkte sich beim Kraftbegriff auf einen Fragebogen und ein nachfolgendes Gespräch mit den Schülern. Beim Thema Optik war der Fragebogen ergänzt durch Schülerexperimente, Erstellung eines Plakates und Präsentation dieses Plakates. Die konkreten Arbeitsaufgaben sind im folgenden Abschnitt dargestellt.

### 2.1 Datenerhebung zum Kraftbegriff

Anregungen für einprägsame Denkaufgaben zum Kraftbegriff habe ich schon vor längerer Zeit in einem Artikel von Clement (John Clement: Students preconceptions in introductory mechanics; American Journal of Physics) gefunden. Für den konkreten Einsatz in dieser sechsten Klasse Gymnasium habe ich sie folgendermaßen adaptiert:

- **Münzproblem:**

<p>Eine Münze wird senkrecht hochgeworfen.          Zeichne im Punkt A und im Punkt B alle auf die Münze wirkenden Kräfte ein und bezeichne bzw. charakterisiere diese Kräfte.           (Die Reibung ist zu vernachlässigen)</p>	
---	---

- **Raketenproblem:**

Eine Rakete bewegt sich antriebslos im Raum vom Punkt A zum Punkt B. Auf die Rakete wirken keine äußeren Kräfte.

- Im Punkt B wird für zwei Sekunden das Antriebssystem gezündet. In dieser Zeit bewegt sich die Rakete zum Punkt C. Zeichne den Weg (die Bahn) der Rakete von A über B bis nach C ein.
- Im Punkt C wird das Antriebssystem wieder ausgeschaltet. Zeichne die Bahn der Rakete vom Punkt C weiter ein.



**Klassensituation:**

Die Schüler/innen dieser sechsten Klasse Gymnasium (17 Schülerinnen und 3 Schüler) erhielten am 28. Jänner ein Arbeitsblatt (siehe Anhang) mit den konkreten Aufgaben. Von den Lerninhalten her hatte ich das Thema „Bewegungen, Energie und Impuls“ bereits zur Gänze abgeschlossen. Das Problem des Kraftbegriffes hatten wir gemeinsam etwa 3 Unterrichtsstunden vorher noch einmal genau am Beispiel des Tennisballes (siehe Kapitel 1) analysiert. Die Schüler/innen waren nicht darauf vorbereitet, dass sie sich noch einmal mit Mechanik befassen sollten. Sie waren aber gerne bereit, die gestellten Aufgaben zu bearbeiten, zumal sie keine Namen auf die Zettel schreiben mussten. Es wurde wohl eine maximale Zeit von 10 Minuten vereinbart, diese aber bei Bedarf verlängert, sodass kein Schüler unter Zeitdruck kam.

## 2.2 Datenerhebung zu den Schülervorstellungen Optik

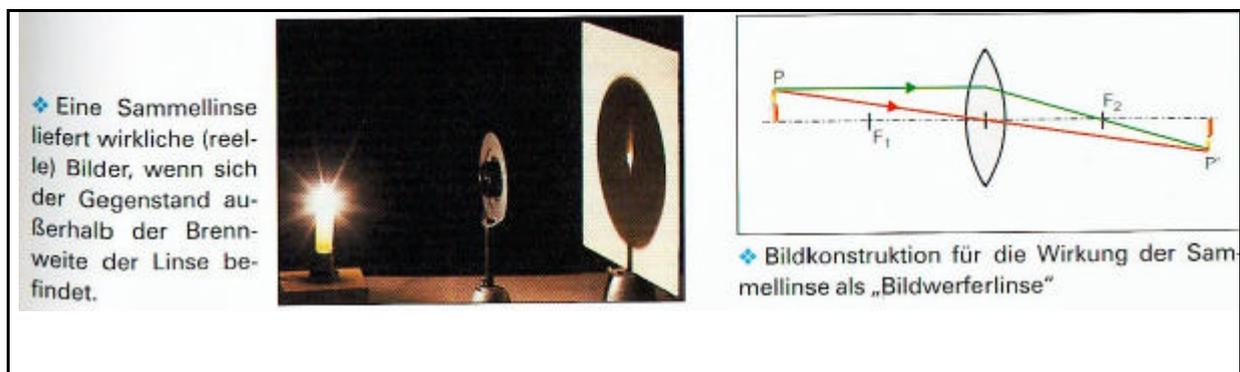
Der prinzipielle Ablauf der in jeweils einer Doppelstunde durchgeführten Untersuchung verlief in der Oberstufe (7. Klasse G) und in der Unterstufe (4. Klasse RG) gleich.

### Allgemeiner Ablauf der Unterrichtseinheit: Stolperstein – OPTIK

(Anregung für den Versuch von Prof. Labudde)

Die Schüler erhalten zu Beginn der Stunde einen Zettel mit Arbeitsanweisungen (siehe Anhang), die sie im Verlaufe der ersten halben Stunde nach entsprechender Aufforderung ausführen sollen.

Auf dem Lehrerpult ist ein einfacher Versuch aufgebaut: (Die folgende Abbildung stammt aus dem Physikbuch: Von der Physik 4, Albrecht u.a.; Verlag E. Dörner, 1999; S. 55)



Mittels einer Sammellinse (statt einer Linse aus der Sammlung verwendete ich eine von zuhause mitgebrachte Lupe) bilde ich eine Kerzenflamme auf einer Leinwand vor der Tafel ab. Durch Verschieben der Linse, Ändern des Abstandes zur Kerze wird auf eine genaue Scharfstellung des Bildes geachtet. Jeder Schüler kann das scharf gestellte Bild der Kerze von seinem Platz aus sehen.

Frage: „Was passiert mit dem Bild der Kerzenflamme, wenn die Hälfte der Linse mit einem Papier abgedeckt wird?“

Auf Grund von Schülerfragen wird genau festgelegt, wie später abgedeckt werden soll:

Vereinbarung: „Das Papier wird genau vor der Linse (auf Seite der Kerze) von unten bis zur Hälfte vor die Linse geschoben“

- ✎ Jeder Schüler/in muss in **Einzelarbeit eine Hypothese** aufstellen, was passieren wird, diese auf dem Arbeitsblatt **beschreiben** (auch eine Zeichnung ist möglich) und muss seine/ihre Meinung **begründen**.

**Durchführung des Versuches durch den Lehrer mit dem Hinweis, was genau gemacht wird, aber nicht was passiert.** Das Papier wird vom Lehrer mehrmals von unten direkt vor der Linse vor diese geschoben, nicht nur bis zur Hälfte sondern auch immer weiter. Es wird auch gezeigt, was passiert, wenn die Linse von oben mit dem Papier oder auch auf der anderen Linsenseite abgedeckt wird.

- ✎ Jeder Schüler/in muss in **Einzelarbeit den Ausgang des Experimentes auf dem Arbeitsblatt genau beschreiben**.
- ✎ Jeder Schüler muss in **Einzelarbeit eine Erklärung finden** und diese aufschreiben. Die ausgefüllten Arbeitsblätter werden eingesammelt.

Die Schüler/innen werden nach dem Zufallsprinzip (mittels Spielkarten) in Vierergruppen geteilt. Jede Gruppe kann mit Schülerversuchsgeräten den Versuch und beliebige Abänderungen davon **selbst durchführen**. In der Gruppe muss nun zur Erklärung des Versuches eine **Gruppenmeinung gefunden** und auf einem **Plakat** dargestellt werden. Dieses Plakat wird von einem Gruppenmitglied (Wahl wieder nach dem Zufallsprinzip mittels Karten) vor der gesamten Klasse **präsentiert**.

### **2.2.1 Konkrete Klassensituation in einer 7. Klasse Gymnasium**

Die Schüler/innen dieser siebenten Klasse Gymnasium (9 Mädchen und 10 Burschen) wurden am Donnerstag den 20.12.2001 für sie unerwartet in den Physiksaal gerufen. Da ich über Stundentausch keine Doppelstunde in dieser Klasse erreichen konnte, musste ich mir einen Teil einer Stunde von einem Kollegen an diesem Tag „schenken“ lassen. Dies war in der Woche vor den Weihnachtsferien möglich. Für die Schüler schien der Versuch mit der Kerze erst eine Einstimmung auf Weihnachten zu sein, aber mit der konkreten Aufgabenstellung waren sie zu Beginn ganz schön überfordert! Von den Lerninhalten her hatte ich im Unterricht das Thema Wellenoptik behandelt. Den Schülern waren Begriffe wie Interferenz, Beugung, Kohärenz, Laser, ... vertraut. In einer der letzten Unterrichtsstunden haben wir den Aufbau eines Hologramms und seine Unterschiede zu einem Photo genau behandelt. Die Schüler/innen waren nicht darauf vorbereitet, dass sie sich mit der Funktionsweise von Linsen befassen sollen. Sie waren aber dennoch bereit, die gestellten Aufgaben zu bearbeiten, zumal sie keine Namen auf die Zettel schreiben mussten. Es wurde bei jedem einzelnen Schritt eine maximale Zeit vereinbart, diese aber bei Bedarf verlängert, sodass kein Schüler unter Zeitdruck kam.

Der gesamte erste Teil mit Ausfüllen des Arbeitsblattes dauerte in etwa eine halbe Stunde. Die Schüler/innen hatten den Rest der Stunde ihren normalen Unterricht beim Kollegen, die Untersuchung war für sie damit beendet. Sie wussten nicht, dass sie am selben Tag zwei Stunden später in meiner regulären Physikstunde noch einmal an diesem Problem - allerdings mit Schülerversuchen und in Gruppen - arbeiten sollten. Die Schülerversuche machten aber allen Spaß und sie arbeiteten ernsthaft an dem Problem „wieso diese verdammte Flamme nicht verschwindet“. Hefte und Bücher durften verwendet werden. Bei der Erstellung der Plakate fand natürlich ein Informationsaustausch zwischen den Gruppen statt. Die Präsentation der Plakate wurde gerne durchgeführt. Insgesamt hat diese Untersuchung allen Spaß gemacht.

### **2.2.2 Konkrete Klassensituation in einer 4. Klasse Realgymnasium**

Diese vierte Klasse Realgymnasium umfasst 13 Mädchen und 19 Knaben, also insgesamt 32 Schüler/innen. Aufgrund einer günstigen Supplierung stand mir am Dienstag 19. März 2002 zusammen mit meiner regulären Physikstunde eine Doppelstunde im Physiksaal zur Verfügung. Der Termin für die Untersuchung war damit gegeben.

In der ersten Stunde erhielten alle 32 anwesenden Schüler/innen (1 Schüler hat gefehlt) das Arbeitsblatt (siehe Anhang) mit den konkreten Aufgaben. In dieser von der Schülerzahl her riesigen Klasse sind die Schüler/innen es nicht unbedingt gewohnt selbständig zu arbeiten oder eigenständig Lösungen zu suchen. Ich musste daher die doppelte Zeit als geplant für den ersten Teil (Aufgabe 1a und b) zur Verfügung stellen und auch einzelne Schüler immer

konkret auf die Aufgabenstellung hinweisen, um zumindest bei mehr als der Hälfte der Schüler/innen neben der (sehr ungenauen) Hypothese auch eine Begründung zu erhalten.

In den vorhergehenden Unterrichtsstunden hatte ich das Thema „Brechung und Linsen – Wirkung der Sammellinse als Lupe und als Bildwerferlinse“ abgeschlossen. In der allerletzten Physikstunde hatten wir die Entstehung des reellen Bildes wiederholt (auch die geometrische Konstruktion, immer mit dem Hinweis, dass von den vielen Lichtstrahlen konkret nur 3 spezielle gezeichnet werden) und die Funktionsweise des Auges analysiert.

Die konkrete Durchführung des Experimentes brachte nicht dieses Erstaunen wie in der 7. Klasse. Die Aufgabe den konkreten Ausgang des Experimentes genau zu beschreiben, erforderte wieder viel Zeit und Aufforderung meinerseits auf Genauigkeit zu achten. Aber sowohl dabei als auch beim Suchen und Aufschreiben einer möglichen Erklärung waren viele überfordert. Ein Wort, vielleicht ein kurzer Satz genügen doch, ich wurde auch aufgefordert: „... ich kann das sowieso nicht, warum erklären Sie uns das nicht einfach?“.

Die nun folgende Gruppenbildung (acht Vierergruppen!) nach dem Zufallsprinzip mittels Spielkarten ergab eine gute gemischte Aufteilung. Die Durchführung des Experimentes war oft chaotisch, statt sich um eine Erklärung zu kümmern, wurde nur mit den Kerzen gespielt. Die Aufgabe unter Angabe der Namen der Gruppenmitglieder ein Plakat mit einer konkreten Erklärung zu erstellen, brachte aber doch viele zu einem konzentrierten Arbeiten. Ich rotierte wie ein „Dompteur“ durch die acht Arbeitsgruppen und musste immer wieder zu einer genaueren Formulierung, einer genaueren Erklärung drängen. Für die Präsentation der Plakate vor der gesamten Klasse blieb leider keine Zeit mehr.

## 3 Ergebnisse/Datenüberblick

### 3.1 Ergebnisse – Kraftbegriff – sechste Klasse

Antworten zum **Münzproblem**:

Richtige Lösung: sowohl im Punkt A als auch im Punkt B wirkt nur die Schwerkraft = Gewichtskraft = Gravitationskraft

Für Punkt A wird die richtige Lösung nur 3 mal gegeben.

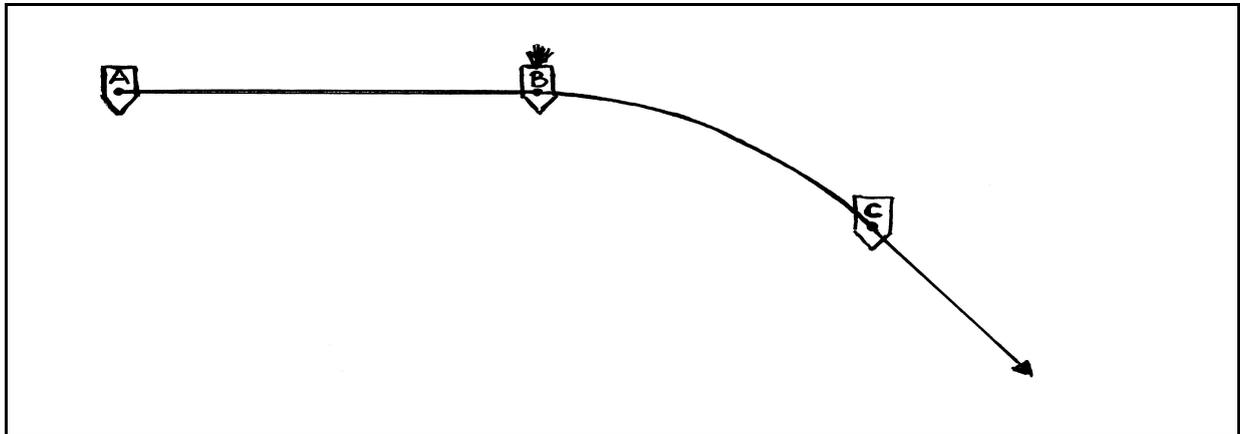
Vorherrschend sind folgende Antworten: „Wurfkraft nach oben und Gravitationskraft nach unten“ (7 mal), statt Wurfkraft wird auch Antriebskraft oder Aufwurfskraft angegeben; „Beschleunigungskraft nach oben und Gravitationskraft nach unten“ (2 mal); „kinetische Energie und Hubkraft“ (2 mal); „keine Kräfte“; „kinetische Energie“; „Impuls und Gravitationskraft“; „potentielle und Bewegungsenergie“

Für Punkt B – den oberen Umkehrpunkt - wird die richtige Lösung 11 mal gegeben

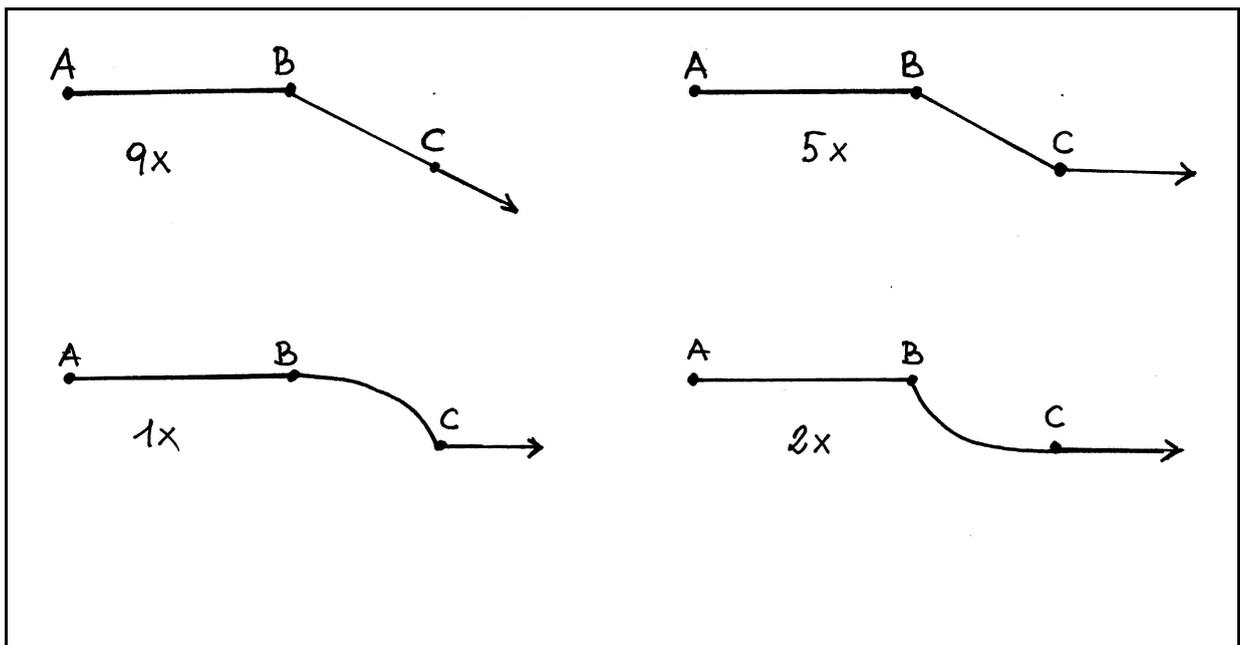
Weitere Antworten: „Gravitationskraft und Wurfkraft“; „Gravitationskraft und Luftwiderstand“; „Antrieb“; „potentielle Energie und Gravitationskraft“; „potentielle und Bewegungsenergie“; „Luftwiderstand, Schwerkraft, Wurf/Schlagkraft“

Antworten zum **Raketenproblem: Einzeichnen der Bahn**

Richtige Bahn kommt nur 2mal vor!



Die restlichen Antworten:



## 3.2 Ergebnisse – OPTIK

Aus der Unmenge von gegebenen Antworten werde ich im folgenden Abschnitt nur eine Auswahl angeben. Es sind dies Antworten, die eine interessante oder auch eine ungewöhnliche Lösung zeigen.

### 3.2.1 OPTIK – 7. Klasse

(von 19 Schülern der Klasse waren an diesem Tag nur 16 anwesend)

#### Antworten auf 1. Frage: Wie wird sich das Bild der Kerzenflamme ändern?

Vermutung	Begründung
(8-mal) „ <i>obere Hälfte wird verdeckt</i> “	„...weil Linse verkehrte Bilder erzeugt, müsste daher obere Hälfte des verkehrten Bildes verschwinden“, .....
„ <i>Bild wird umgedreht</i> “	„die optischen Strahlen werden durch die optische Linse gebrochen und durch die spezielle Krümmung verkehrt dargestellt. Wenn diese Krümmung nun nur zur Hälfte da ist, wird das Licht anders gebrochen und das Bild daher „richtig“ dargestellt.“
(3-mal) „ <i>Bild der Kerzenflamme ändert sich nicht</i> “	„weil der obere Teil der Linse immer noch das ganze Licht einfängt“, „Bild ist unabhängig von der Größe der Linse“
„ <i>Gar nicht, Flamme wird kleiner, aber weiterhin erkennbar sein, möglicherweise wird sie umgedreht.</i> “	„Da es sich nicht mehr um eine vollständige Linse handelt, wird der Umkehrprozess nicht mehr durchgeführt.“
„ <i>Die Flamme dreht sich um 90° und liegt</i> “	„Die Linse kann das Bild nicht auf den Kopf stellen, weil die untere Hälfte fehlt. Deshalb legt sie die Flamme um“

#### Antworten auf 2. Frage:

##### Teil a) Beschreibe genau den Ausgang des Experimentes

Die Beschreibung des Versuches hat bei allen Schülern gut geklappt. Im Folgenden sind einige typische Antworten angegeben:

„*Es ändert sich nix! Trotz Abdeckung der Linse wird die Flamme abgebildet*“

„*Je höher das Papier geschoben wird, desto dunkler wird die Flamme*“

„*Bei der Hälfte noch fast keine Reaktion, auch bei Dreiviertel keine Änderung, erst wenn ganz abgedeckt ist, sieht man keine Flamme mehr.*“

„*Linse wird verdeckt, dadurch ändert sich die Intensität aber weder Gestalt noch Position des Bildes*“

## Teil b) Suche eine Erklärung und schreibe diese möglichst genau auf

„Solange ein Stück der Linse frei ist, kann sie Licht der Flamme einfangen.“

„Linse ist (nach außen) gewölbt – auch wenn Lichtstrahlen nur auf einen kleinen Teil der Linse fallen, werden sie in der Mitte gebrochen und es entsteht ein scharfes Bild“

„weil es sich um Elementarwellen handelt“

„Jeder Punkt der Flamme sendet Licht auf jeden Punkt der Lupe, d.h. jeder Teil der Lupe bringt vollständiges Abbild der Kerze auf die Leinwand. Wenn daher Teil der Lupe abgedeckt wird, wird nur Intensität des Lichtes geschwächt und das Bild daher dunkler.“

„Solange noch ein bisschen der Linse frei bleibt, wird das gesamte Licht der Flamme dort auf- bzw. eingefangen, und es geschieht dasselbe, wie wenn die Linse komplett frei ist. Es kommt also nicht auf die Größe der Linse an. Warum genau das so ist?“

„Durch die Wölbung der Linse ist es egal, wie viel man von der Linse abdeckt, damit das Bild scharf gesehen wird. Dadurch dass nur ein Teil der Linse abgedeckt wird, trifft auf den anderen Teil Licht, das in der Linse gebrochen wird. Dadurch bleibt das Bild erhalten.“

„Ich habe mich geirrt! Nun brauche ich eine andere Erklärung. Vorher haben wir auch die Flamme auch bei einer kleineren Linse gesehen. Durch die Abdeckung wird die Linse auch kleiner. Was heißen kann (möglicherweise), dass es egal ist, wie groß die Linse ist, die Flamme ist immer sichtbar. Das Bild ist unabhängig von der Größe der Linse, abhängig von der Flamme“

## Erstellung von 4 Plakaten in 4 Gruppen zu je 4 Schüler/innen:

### Plakat 1: (nur Text)

„Jeder Punkt auf der Linse projiziert jeden Punkt der Kerze auf die Platte. Solange mindestens ein Punkt der Linse unabgedeckt ist, wird die ganze Flamme projiziert. Die einzige Änderung erfolgt in der Lichtintensität, sie nimmt ab, je mehr von der Linse abgedeckt ist.“

### Plakat 2: (nur Text)

„Bei Verdeckung ? Abnahme der Lichtintensität (= Amplitude)  
Jeder Punkt der Linse projiziert jeden Punkt der Flamme ? bei teilweiser Verdeckung bleibt „Bild“ erhalten. Jeder Punkt der Linse enthält die ganze Information über das Bild und projiziert dieses an den Schirm.“

### Plakat 3: (nur Text)

„El Versucho: „Wieso verschwindet diese verdammte Flamme nicht?“  
WIESO IST DAS NUN SO?  
Nun unsere Erklärung: Licht hat Wellencharakter und breitet sich in alle Richtungen aus! Die zur Verfügung stehende Linse ist eine SAMMELLINSE. Folglich sammelt sie das von der Kerze ausgestrahlte Licht in allen Punkten. Je mehr von der Linse verdeckt wird, desto weniger Licht kann sie sammeln. Die ganze Flammendarstellung wird dunkler, verschwindet aber nicht. Erst, wenn die gesamte Linse abgedeckt wird, verschwindet auch das Bild ganz!“

### Plakat 4: (Text + Zeichnung)

„Jeder Punkt der Flamme sendet einen Lichtstrahl auf jeden Punkt der Linse ? jeder Punkt der Linse sendet ein vollständiges Bild auf den Hintergrund. Je mehr die Linse abgedeckt wird, desto dunkler wird das Bild, da weniger Punkte der Linse ein vollständiges Bild aussenden. Solange mindestens ein Punkt der Linse von dem Lichtstrahl der Flamme getroffen wird, wird die Flamme abgebildet.“

### 3.2.2 OPTIK - 4. Klasse

#### Antworten auf 1. Frage: Wie wird sich das Bild der Kerzenflamme ändern?

Vermutung	Begründung
(14 mal) „Man sieht nur den Wachsteil der Kerze nicht mehr“, „Man sieht nur die verkehrte Flamme der Kerze“, „Nur Hälfte des Bildes bleibt, wahrscheinlich bleibt nur die Flamme“,	„Es wird der Teil des Lichtes abgehalten, welchen der Wachsteil abstrahlt“, „nur Hälfte der Lichtstrahlen kommen durch“ „weil untere Hälfte bei Linse verdeckt, wird bei Bild obere Hälfte abgeschnitten“
„Flamme wird weg sein“	„weil Bild verkehrt herum projiziert wird, glaube ich, kann nur Flamme weg sein“
„So viel wie man von der Linse abdeckt, verschwindet auf dem Bild auf der Leinwand (untere Hälfte), vielleicht auch nur unscharf“	„Wenn die Hälfte der Linse abgedeckt wird, wird auch nur die Hälfte des Bildes auf der Leinwand zu sehen sein“
„Ein Teil der Kerze verschwindet, genau der Teil, der vom Blatt vor der Linse verdeckt wird, Bild wird auch unscharf“	„Das wäre für mich logisch: Hälfte der Linse weg, so Hälfte des Bildes weg. Unscharf, denn es gibt nur noch eine Hälfte der Linse“
„Ich glaube, das Bild bleibt zum Teil erhalten, aber es ist unscharf und ungenau	„Weil nicht mehr so viele Lichtstrahlen aufeinandertreffen. Ein paar Strahlen bleiben am Blatt hängen“
„Das Bild ändert sich nicht gravierend. Nur dass der untere Teil am Schirm verschwommen und unschärfer erscheint.“	„Die Lichtstrahlen können nicht so einfach durch das Papier durchdringen, es kommen nur einige durch, so erkennt man Einzelheiten nicht genau und das Bild wirkt unscharf.“
„Man sieht die Kerze nur zur Hälfte und die abgedeckte Hälfte wird verschwommen projiziert“	„Weil durch das Papier Lichtstrahlen durchdringen“
„Vielleicht wird das Bild wieder umgedreht“	„Weil die Strahlen anders einfallen und sie könnten vielleicht so einfallen, dass das Bild umgedreht wird“
„Am Schirm bildet sich der Schatten des Papiers ab. Der Schatten bleibt unten am Schirm“	„Licht wird so gebrochen, dass das Bild am Schirm verkehrt erscheint. Die Lichtstrahlen, die auf das Blatt fallen, bilden den Schatten auf dem Schirm.“
Zeichnung mit Konstruktion des Bildes der Spitze eines Pfeiles mittels Parallel-, Brennpunkt- und Mittelpunktstrahl..	„Ich glaube, dass sich nichts ändern wird, da nur der Brennpunktstrahl, der nach der Linse parallel wird, nicht durch kann!!!“
„Kerze wird kleiner, aber sie bleibt sonst wie sie ist. (verkehrte)“	„Die Linse wird dadurch kleiner, aber es ist trotzdem eine Sammellinse, darum bleibt das Bild verkehrt.“
„Es ändert sich nichts“	„Es erscheint mir unlogisch. Es wird nur ein kleiner Bereich der Linse abgedeckt sonst nichts.“
Zeichnung mit Strahlen, die von vielen Punkten der Flamme ausgehen. Auch Parallelstrahlen und Mittelpunktstrahlen, die nach der halb abgedeckten Linse nach unten verlaufen.	„Man sieht das ganze Bild, da die Lichtstrahlen der Flamme sowieso durchkommen.“

## Antworten auf 2. Frage:

### Teil a) Beschreibe genau den Ausgang des Experimentes

21 Schüler geben eine im Prinzip richtige Beschreibung, die aber von sehr ausführlich („Es geschieht gar nichts. Man sieht die Kerze immer noch vollständig, egal, ob von unten oder von oben verdeckt wurde. Je mehr man die Linse verdeckt hat, desto blasser wird das Bild. Nur wenn die Linse fast zur Gänze verdeckt wird, verschwindet das Bild“) bis zu nur einem Satz („Das Bild der Kerze bleibt gleich“) variiert.

Es werden aber auch Beschreibungen folgender Art angegeben:

„Das Blatt wird hinaufgeschoben, doch die Lichtstrahlen kommen trotzdem durch. Das Bild wird nur schwächer.“

„Blatt hinter der Linse: Kerze erscheint auf der Leinwand nur ein bisschen unscharf. Blatt vor der Linse: Kerze verschwindet kurz.“

„Blatt war nicht unmittelbar vor der Kerze, d.h. Lichtstrahlen dringen durch.“

„Wenn hinter der Lupe ein Blatt ist, wird das Bild nur schwächer. Es verschwindet nicht ganz. Wenn man vor die Lupe das Blatt hält, verschwindet auf dem Bild genau der Teil der auch bei der wirklichen Kerze verschwindet.“

„Umso weiter das Blatt hinauf verschoben wird, umso weiter wird das Bild von oben abgedeckt. Man muss das Blatt über die ganze Linse legen um das Bild zu verdecken.“

„Meine Erklärung stimmt! Das Blatt beginnt die Kerze von oben nach unten abzudecken. Grund Umkehrlinse. Über der Hälfte - dann gibt es kein Bild!!“

### Teil b) Suche eine Erklärung und schreibe diese möglichst genau auf

„Wenn die Linse auch nur einen Teil offen ist, kommen trotzdem - wenn auch nur wenige - Strahlen durch“

„Weil es egal ist, wo die Strahlen „durch“ die Linse gehen.“

„Es könnte sein, dass ein paar Lichtstrahlen durch das Papier gehen und somit das Bild erhalten bleibt. Wenn es nur zur Hälfte abgedeckt wird, gibt es noch andere Lichtstrahlen, die über das Blatt scheinen und somit bleibt das Bild erhalten.“

„Licht breitet sich geradlinig in alle Richtungen aus. Ein kleiner Spalt der Linse genügt, das Licht fällt durch die Linse und erzeugt ein Bild.“

„Es gibt unendlich viele Lichtstrahlen und diese können nur von der Linse abgehalten werden, wenn sie vollständig verdeckt ist. So lange noch ein Teil der Linse frei ist, werden Lichtstrahlen gebrochen.“

„Das Licht der Kerze beleuchtet jeden Teil der Linse und so bleibt das Bild erhalten, auch wenn noch ein Spalt frei ist.“

„Es wird nur der Brennpunktstrahl, der dann parallel verläuft, verdeckt. Es bleiben noch genug Strahlen über, um das Bild zu projizieren.“

„Licht kommt von überall überall hin.“

„Licht kommt zur Linse von der ganzen Kerze. Halbe Linse leitet Licht von der ganzen Kerze auf den Schirm und ergibt ganzes Bild.“

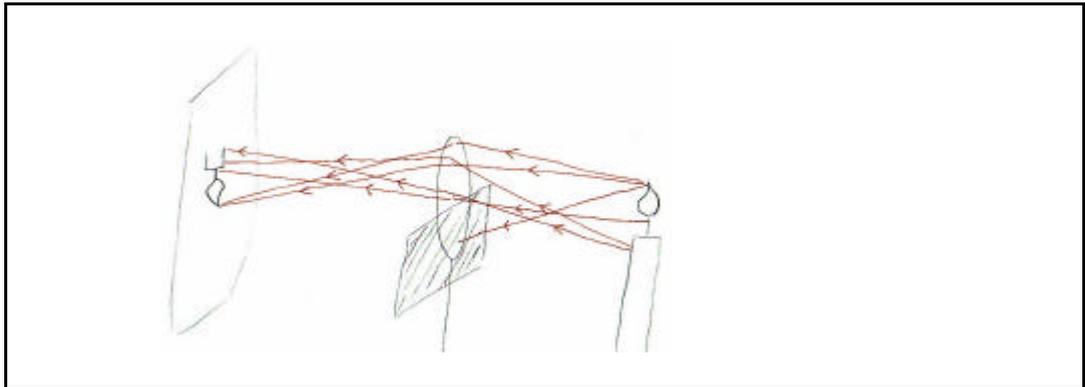
„Weil die Strahlen gebrochen werden. Weil das Auge die Strahlen verlängert? Ich habe keine Ahnung.“

## Erstellung von 8 Plakaten in 8 Gruppen zu je 4 Schüler/innen:

Alle Plakate enthalten sowohl Text als auch Zeichnungen. Vom Inhalt her kann man sie in 2 Kategorien einteilen:

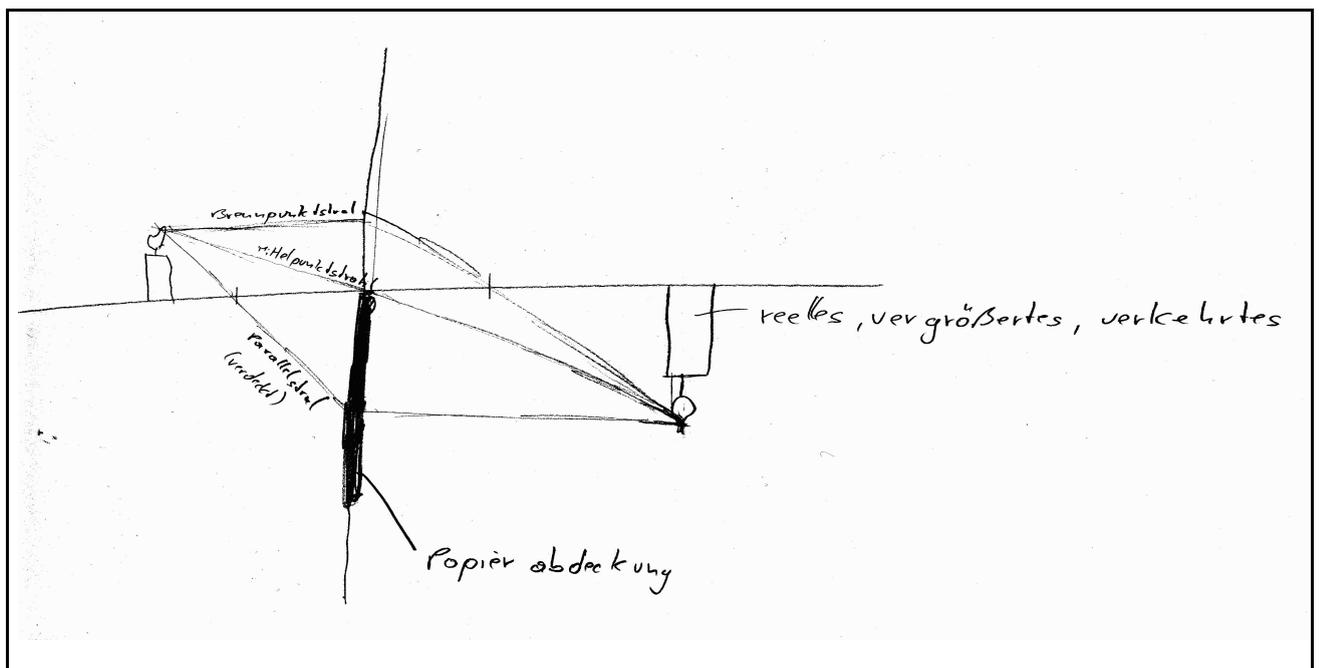
- Auf 6 Plakaten wird folgendermaßen begründet:

*„Da das Licht in alle Richtungen strahlt, kommen Lichtstrahlen von jedem Punkt der Flamme zu jedem Punkt der Linse. Dadurch entsteht das reelle Bild auch, wenn nur ein kleiner Teil der Linse nicht verdeckt ist.“*



- Die Begründung auf den restlichen zwei Plakaten basiert auf der im Unterricht behandelten Konstruktion des Bildes:

*„Wenn man die Hälfte der Linse verdeckt, bleibt das Bild vollständig erhalten, da nur ein paar Strahlen verdeckt werden.“*



## 4 Diskussion und Interpretation

### 4.1 Untersuchung zum Kraftbegriff

Aus meiner Sicht des Beobachters hatten die Schüler/innen der sechsten Klasse bereits mit der Art der Fragestellungen Schwierigkeiten. Beim Einzeichnen der Kräfte wurde ich immer wieder gefragt: „Was genau sollen wir hier tun?“ Ähnliche Aufgaben sind im vorhergehenden Unterricht nicht verlangt worden - nur in der Form: „Zeichne die Schwerkraft ein“ - damit war dieses auf Verstehen ausgerichtete Beispiel vollkommen neu in seiner Art.

Die Mehrzahl der Schüler/innen sieht für eine aufwärts gerichtete Bewegung auch eine aufwärts gerichtete Kraft („Wurfkraft, Beschleunigungskraft“) als notwendig an. Eine bekannte Alltagsvorstellung (aristotelische Vorstellung), die durch den Physikunterricht von vielen nicht geändert wird. (Siehe auch Häußler S. 181: „... Fällt der Stein, bedarf es keiner Erklärung durch eine antreibende Kraft. .... Wird er hinauf gehoben oder geworfen, so ist allerdings aus „Alltagssicht“ eine Kraft nötig.“)

Im oberen Umkehrpunkt wird von einem Großteil der Schüler/innen nur die Schwerkraft eingezeichnet, da keine Bewegung aufwärts mehr erfolgt. Einige Schüler/innen geben bei der Charakterisierung der Kräfte die Begriffe kinetische oder potentielle Energie oder auch den Impuls an. Ist für sie Kraft und Energie oder Impuls einfach austauschbar? Leider konnte ich bei einem Gespräch in der nachfolgenden Stunde hier keine Klärung finden. Auch in der Literatur finden sich Hinweise darauf, dass Schüler Kraft- und Energiebegriff vermischen, dass Impuls und Energie oft als das Gleiche gesehen wird. So schreibt Viennot bezüglich der intuitiven Vorstellung von Schülern über die Bewegung eines hochgeworfenen Balles: „... der Ball fliegt solange, bis sein ?Impuls aufwärts? verbraucht ist, dann fällt er.“

Auch das Einzeichnen der Bahn der Rakete ist für viele Schüler/innen eine ungewohnte Tätigkeit. Sogar der erste Teil, die Bahn von A nach B bereitet Schwierigkeiten: „*Eine Rakete bewegt sich doch immer mit der Spitze voran. Hier treibt sie **antriebslos seitlich** durch das Weltall! Wie soll denn das gehen?*“ Da aber die Lage von B vorgegeben ist, kann man A und B nur durch eine Gerade verbinden. Anders schon der Weg von B nach C. Hier verläuft zusätzlich zur waagrechten gleichförmigen Bewegung eine beschleunigte Bewegung in senkrechter Richtung. Eine Analogie zum im Unterricht genau behandelten waagrechten Wurf herzustellen, gelingt nur wenigen. Einige zeichnen die Parabel aber mit der falschen Krümmung. Ich glaube, viele Schüler/innen probieren eher irgendeine Bahn, als dass sie konkret mit ihrem physikalischen Hintergrundwissen überlegen. Ich musste immer wieder darauf achten, dass auch die Bahn der Rakete nach dem Punkt C eingezeichnet wurde. Die sehr oft falsche Darstellung der Bewegung ab dem Punkt C ist ebenso als „schnelle intuitive“ Antwort zu sehen.

**Nach dem Absammeln der Zettel waren die Schüler/innen sehr an der Auflösung der Aufgaben interessiert.** Ich wollte aber zuerst ihre Antworten sichten, um auf Fehler hinweisen zu können. Dies erwies sich im Nachhinein als absoluter Fehler! Das Interesse an diesen Beispielen schwand exponentiell mit der Zeit. Bereits in der nächsten Unterrichtsstunde nahmen die Schüler/innen die Ergebnisse ohne jeden Kommentar zur Kenntnis, aber ich glaube nicht, dass sie sie auch wirklich erreicht haben. Es hat sie einfach nicht mehr interessiert. Für mich gilt daher: **Man muss jeden Zeitpunkt nützen, an dem Schüler/innen etwas wissen wollen**, auch wenn es gerade nicht in unser Stundenkonzept oder in unseren Zeitablauf im Unterricht passt.

Wenn ich zum ersten Teil meiner Forschungsfrage zurückkehre, dann muss ich zur Kenntnis nehmen: Obwohl ich versucht habe, meinen Schülern/innen im Unterricht den Kraftbegriff als eine Größe näher zu bringen, die mit einer Beschleunigung verbunden ist, ist ihr intuitiver Kraftbegriff immer noch proportional der Geschwindigkeit - solange es eine Geschwindigkeit aufwärts gibt, muss es auch eine Kraft aufwärts geben. Dieses tief verankerte Präkonzept wird durch die wissenschaftliche Vorstellung nicht ersetzt, auch wenn man sich intensiv darum bemüht. Der Physikunterricht beschreibt Bedingungen, die im Alltag mit der allgegenwärtigen Reibung nicht gegeben sind. **Die physikalische Sicht zum Kraftbegriff ist der Alltagssicht sehr fremd. Dieses Defizit zeigt sich aber erst an Beispielen, bei denen auf Verstehen Wert gelegt wird.**

Meine Untersuchung bestätigt daher die vorherrschende Meinung: „Fast alle empirischen Untersuchungen zeigen, dass sich die Alltagsvorstellungen nicht zugunsten physikalisch fundierter Begriffe und Modelle ausrotten lassen.“ (Labudde, S. 39)

## 4.2 Untersuchung zur Optik

### 4.2.1 Siebente Klasse Gymnasium

Interessant sind die Prognosen der Schüler/innen vor der konkreten Durchführung des Versuches: Die Hälfte der Klasse erwartet, dass bei Abdeckung der unteren Linsenhälfte die obere Hälfte des Bildes verschwinden wird, da eine Linse ja verkehrte Bilder erzeugt. Eine Vorstellung, die man sehr oft findet. Ein/e Schüler/in meint, dass es der Linse auf Grund der fehlenden unteren Linsenhälfte nicht mehr gelingt, das Bild umzudrehen und dieses daher aufrecht erscheinen wird. Für einen/e Schüler/in gelingt der Linse dieses Umdrehen nicht mehr vollständig und das Bild wird daher „nur“ waagrecht umgelegt. (Hier wäre es interessant, wie sich diese Schüler konkret den Umkehrprozess in der Linse vorstellen. Die geometrische Optik mit den Bildkonstruktionen liegt bei diesen Schüler/innen schon einige Jahre zurück.)

Für drei von 16 Schüler/innen ist die richtige Lösung von Anfang an klar: Von jedem Punkt der Kerze kommen auf jeden Punkt der Linse Lichtstrahlen. Wenn die untere Linsenhälfte abgedeckt wird, bleibt immer noch die obere Hälfte da und es entsteht ein vollständiges aber lichtschwächeres Bild.

Die Schüler/innen waren bei der Durchführung des Versuches sehr gespannt und aufmerksam, was wirklich passiert. Die Beschreibung des Versuchsausganges ist auch durchwegs richtig und vollständig. (Ein/e Schüler/in gibt sogar konkret zu, dass er/sie sich in der Hypothese bei der ersten Frage geirrt hat, er/sie überlegt, dass es möglicherweise egal ist, wie groß die Linse ist.)

Bei der nachfolgenden Erklärung in Einzelarbeit kommt immer wieder der Begriff der Elementarwelle aus dem Optikunterricht vor, aber es wird auch mit Lichtstrahlen argumentiert. Das Huygens'sche Prinzip, dass von jedem Punkt, der von einer Welle getroffen wird, Elementarwellen ausgehen, die dann überlagern bzw. von der Linse gesammelt werden und so das Bild hervorbringen, wird immer wieder erwähnt. Eine Übertragung von der Wellenoptik auf dieses Beispiel der Strahlenoptik mit Linsen findet erfreulicherweise bei vielen Schülern statt.

Die praktische Durchführung mit Schülerversuchen in Gruppen fand großen Anklang. Es wurde ernsthaft gearbeitet, warum „diese verdammte Flamme nicht verschwindet“. Beim Schreiben der Plakate wurde in allen Gruppen ähnlich argumentiert: „Jeder Punkt der Linse projiziert Licht von jedem Punkt der brennenden Kerze“. Die Präsentation der Plakate vor der gesamten Klasse zeigte, dass alle denselben Lösungsweg hatten. Wer von der Gruppe präsentieren musste, wurde wieder mittels Karten ermittelt, d.h. nicht die Gruppe bestimmte wer vor der Klasse spricht, es konnte jeden treffen. Da die Schüler dies wussten, musste jeder entsprechend mitarbeiten.

Schüler/innen der 7. Klasse bei der Arbeit



Präsentation der Plakate in der 7. Klasse



#### 4.2.2 Vierte Klasse Realgymnasium

In dieser Klasse mit 32 Schüler/innen war es nicht so einfach alle zu einem intensiven Arbeiten zu motivieren. Einzelarbeit ohne einen Blick darauf, was der Nachbar schreibt, ist bei so vielen Schülern im Physiksaal unmöglich. Viele Schüler/innen wollten sich einfach nicht um eine Erklärung bemühen; für sie wäre es wesentlich einfacher, wenn ich die Lösung sagen, oder das Experiment durchführen würde. So passiert es ja auch meistens im Unterricht! (Wagenschein – S. 164 - unterscheidet hier das „Verstandene vom bloß Eingeredetem“)

Für die Schüler der Oberstufe war es ein Ansporn eigene Gedanken auf dem Arbeitsblatt zu formulieren, da sie diese anonym abgeben konnten. Bei einigen Schülern der vierten Klasse war die Anonymität aber eher ein Freibrief möglichst wenig zu tun. Für diese Schüler wäre es vielleicht besser gewesen, auf einer Namensnennung zu bestehen. Dafür aber hätten sich viele aus Angst vor einem Fehler nicht getraut, ihre eigene Meinung zu schreiben.

Viele Schüler/innen vermuten vor der konkreten Durchführung des Experimentes, dass eine Hälfte des Bildes verschwinden wird. Einige geben an, dass beim umgekehrten Bild nur mehr die Flamme sichtbar sein wird. Aber nicht alle berücksichtigen, dass das reelle Bild einer Sammellinse verkehrt ist - obwohl dieses reelle Bild im Experiment von Beginn an gezeigt wurde! – sie meinen, dass gerade die Flamme nicht mehr zu sehen sein wird. Einige vermuten, dass das Bild unscharf oder verschwommen wird, da einige Strahlen durch die Abdeckung fehlen und so die Scharfstellung nicht mehr gewährleistet sei. Ein/e Schüler/in schreibt, dass das Papier einen Schatten werfen wird, der aber unten am Schirm bleibt. Auch wird vermutet, dass durch das Papier doch noch Lichtstrahlen dringen. Aufgrund der fehlenden Strahlen könnte es auch sein, dass das Bild wieder umgedreht wird, d.h. aufrecht erscheint.

Die richtige Lösung kommt bereits in den Vermutungen vor. „Das Bild bleibt erhalten“ – es wird aber weiter überlegt, dass es „*unscharf sein könnte, da doch einige Strahlen fehlen.*“

Sehr interessant und unerwartet ist für mich die „geometrische“ Lösung. Im Unterricht wurde die Konstruktion des Bildes bei der Sammellinse mit Hilfe von Parallel-, Mittelpunkts- und Brennpunktstrahl behandelt. Das Einzeichnen der Abdeckung zeigt, dass nur ein Strahl nicht durchkommt, die beiden anderen sehr wohl! Warum sollte sich also am Bild etwas ändern? Es wird nur lichtschwächer!

Die konkrete Durchführung des Experimentes brachte nicht diesen „Aha – Effekt“ wie in der Oberstufe. Vielen Schüler/innen war es einfach egal, was hier passiert („ich muss ja eh nicht meinen Namen auf den Zettel schreiben“). Entsprechend erfolgten auch die Beschreibungen des Experimentes. Sie sind oft sehr kurz. Erst nach meiner Aufforderung mehr zu schreiben, werden noch Sätze hinzugefügt.

Einige Schüler/innen sehen sogar das, was sie erwarten. Sie geben an, dass die Hälfte des Bildes verschwindet! Ein Schüler/in schreibt auch: „*Meine Erklärung stimmt, ... Blatt über der Hälfte ... kein Bild!*“, obwohl das Experiment doch anders ausgeht. Diesen Effekt beschreibt auch Häußler - S.173: „Häufig beobachten die Schüler aber etwas anderes, nämlich das, was ihnen ihre Vorstellung gewissermaßen gestattet.“

Die Erklärungen des Versuches die die Schüler/innen der 4.RG liefern, sind großteils sehr dürftig. Nur vereinzelt gibt es ausführlichere Beschreibungen: „*Licht breitet sich in alle Richtungen geradlinig aus, ein kleiner Spalt der Linse genügt, um ein Bild zu erzeugen*“ oder „*es kommen immer Lichtstrahlen durch einen Teil der Linse.*“

Die Einteilung der Gruppen für die Schülerversuche nach dem Zufallsprinzip mittels Spielkarten hat sich als sehr positiv herausgestellt. Jeder musste mit den ihm zugeteilten Mitschülern arbeiten. Für manche Schüler/innen war aber nur eine lustige Spielerei mit Kerzen im Vordergrund! Die Scharfstellung des Bildes mittels Verschieben der Linse faszinierte noch viele Schüler, aber das Suchen nach einer Erklärung, das konkrete Herumprobieren - wie weit kann abgedeckt werden und was passiert mit dem Bild, was ändert sich, wenn nicht direkt vor der Linse, sondern in der Nähe der Kerze abgedeckt wird, ... - konnte ich nirgends beobachten. Einzig der Auftrag mit Nennung der Namen der Mitglieder der Gruppe ein Plakat zu erstellen, brachte einige wenige zum Nachdenken. Den meisten war es meiner Meinung nach egal, warum das Bild erhalten bleibt. Sie interessierten sich eher dafür, wo – in welcher Gruppe - doch endlich eine akzeptable Erklärung, eine gute Formulierung oder graphische Darstellung gefunden war und diese wurde dann übernommen. Daher ist auch die Einteilung der Plakate in zwei Kategorien möglich: Erklärung über die Lichtausbreitung von jedem Punkt der Kerze in alle Richtungen oder grafische Erklärung über die noch vorhandenen Parallel- und Mittelpunktsstrahlen.

Während ich in meiner Forschungsfrage vermutet habe, dass die geometrische Optik mit der Konstruktion der Bilder für eine Erklärung eher hinderlich sein wird, hat sich gezeigt, dass dies nicht der Fall ist. Die Schüler/innen argumentieren sowohl nur mit der geometrischen Konstruktion, als auch allgemein mit Lichtstrahlen, die von jedem Punkt der Kerze ausgehen und von der Linse gesammelt werden.

Insgesamt war ich nach dieser Doppelstunde sehr frustriert. Die Schüler/innen hatten wohl meinen Arbeitsauftrag erfüllt, aber nach meinem Gefühl hat diese Stunde außer der Erstellung der 8 Plakate nichts gebracht. Ob ich dieses Experiment in einer vierten Klasse noch einmal wiederholen würde??? Im ersten Moment war ich nur froh, dass ich die Untersuchung beendet hatte, die Beispiele wurden nicht im Physikheft aufgeschrieben und auch nicht bei mündlichen Stundenwiederholungen gefragt.

Sechs Wochen nach der Untersuchung hatte ich in der vierten Klasse eine schriftliche Wiederholung zur gesamten Optik angesetzt. Obwohl das Linsenproblem im Physikheft nicht vermerkt worden war (die Plakate waren seit ihrer Erstellung für das Verfassen dieser Studie bei mir zu Hause verwahrt!) und somit nicht konkret Lernstoff war, war ich neugierig, was sich die Schüler/innen von dieser Stunde gemerkt haben. Ich habe daher eine Frage gestellt, die konkret das Problem mit der halbabgedeckten Linse wieder aufgriff und für dieses Beispiel bei richtiger Beantwortung Zusatzpunkte vergeben. Von 33 Schülern gaben 16 eine ausführliche richtige Antwort mit Begründung, 7 nannten nur den richtigen Ausgang des Experimentes, 5 gaben eine falsche Antwort und 5 gaben keine Antwort auf diese Frage (ob aus Zeitmangel oder weil sie mit der Frage nichts anfangen konnten, habe ich nicht nachgefragt). **Mehr als zwei Drittel richtiger Antworten haben mich positiv überrascht. Dieser „Stolperstein zur Optik“ hat den Schüler/innen nachhaltig die Vorgänge in einer Linse bewusst gemacht, sie haben verstanden und nicht „nur gelernt“.** Auf Grund der Schwierigkeiten mit der großen Klasse bei der konkreten Durchführung hatte ich eine derartig nachhaltige Wirkung wirklich nicht erwartet!

Schüler/innen der 4. Klasse bei der Arbeit am Linsenproblem



Unzufriedenheit und Frustration war meine Sicht der Unterrichtsstunden für die Untersuchung, aber hatten die Schüler/innen dies auch so empfunden? Auf Anraten meines PFL – Betreuers Thomas Stern befragte ich meine Schüler/innen in der letzten Unterrichtsstunde vor den Ferien noch mit einem „Minute Paper“ nach ihrer Meinung über den abgelaufenen Physikunterricht. Das heißt, ich sammelte noch Informationen auf der Ebene der Reflexion der Schüler/innen.

## 5 Erhebung von Schülermeinungen zum abgelaufenen Physikunterricht

Ich habe die Schüler/innen der vierten Klasse in der letzten Stunde vor den Ferien gebeten, mir schriftlich ihre Meinung zum abgelaufenen Physikunterricht zu geben. Sie hatten für die Beantwortung der folgenden Frage nur kurz Zeit (ungefähr 5 Minuten) und durften ohne weiteres Heft oder Buch verwenden:

- Was hast du heuer im Physik-Unterricht dazugelernt und verstehst jetzt besser als vor einem Jahr?

Die Antworten haben mich sehr überrascht. Obwohl das letzte im Unterricht durchgenommene Kapitel Bewegung mit konkreten Geschwindigkeitsmessungen im Freien war, gaben 27 der 33 Schüler/innen Teile aus dem Gebiet der Optik an: Linsen, Auge, Fata Morgana, Regenbogen, Brechung, Fotoapparat, Farben bei Fernseher und Diaprojektor, Brillen, Spiegel. Dabei wurde achtmal konkret das Thema Linsen genannt.

Im Folgenden einige konkrete Beispiele von Schülerantworten:

Helmut: *„Ich weiß jetzt genau, wie Linsen funktionieren“*,

Thomas: *„Mir haben die Versuche der Optik (Brechung,...) sehr gut gefallen. Ich verstehe, warum es unterschiedlich dicke Brillen gibt. Ich habe die Linsen und Optik sehr gut verstanden“*,

Birgit: *„Wirkungsweise von Linsen durch Versuche sehr anschaulich gemacht“*

Julia: *„Ich habe gelernt, mit welchen Linsen man Kurzsichtigkeit und Weitsichtigkeit korrigieren kann, außerdem haben wir durch Versuche den Verlauf der Strahlen besser verstanden“*,

Petra: *„Ich habe mir gemerkt, was eine Linse macht. Dank dem Physikunterricht konnte ich mir merken, wie die Sammellinse die Lichtstrahlen bricht und wie sie abgelenkt werden.“*

Boris: *„Optik, Brechung und alles, was mit Linsen zu tun hat, versteh ich jetzt besser“*. Boris gibt auch eine konkrete Zeichnung des Stolpersteines der halbabgedeckten Linse dazu!

Martin: *„Ich habe die Linsen viel besser verstanden. Am Anfang dachte ich, es ist sehr schwer, aber nachher blickte ich durch.“*

Bernhard: *„Ich habe die Brechung sehr gut verstanden, da sie viele Versuche mit uns gemacht haben, und dieses Thema hat mir außerdem sehr gut gefallen.“*

Obwohl ich mit den Unterrichtsstunden zu den Vorgängen in einer Linse total unzufrieden war, hat dieses Beispiel bei den Schülern bleibende Eindrücke geweckt, die sie auf den gesamten Bereich der Optik ausgedehnt haben! Die Methode, das „Nachdenklich machen“ und vor allem die Schülerversuche und das Arbeiten in der Gruppe mit anschließendem Erstellen eines Plakates waren dafür sicher ausschlaggebend.

## 6 Schlussfolgerung und Konsequenzen

Meine Untersuchung hat sich in erster Linie mit den Präkonzepten der Schüler/innen befasst - den tief verankerten und den ad hoc konstruierten - und folgende Ergebnisse gezeigt:

Wie erwartet, sind die tief verankerten Vorstellungen zum Kraftbegriff wirklich sehr tief verankert. „Die erreichten Änderungen der vorunterrichtlichen Vorstellungen bleiben weit hinter den Erwartungen zurück, die man üblicherweise an den naturwissenschaftlichen Unterricht stellt. In aller Regel gelingt es nicht, die Alltagsvorstellungen durch die wissenschaftlichen Vorstellungen zu ersetzen, auch wenn man sich intensiv darum bemüht.“ (Jung, in Häußler, S. 182). Auch Labudde (S.39) schreibt: „...der Schüler lernt im besten Fall bewusst mit beiden Vorstellungen, seiner Alltagsvorstellung und der physikalischen Vorstellung zu leben“. Ob es mir mit dem Münzproblem und dem Raketenproblem gelungen ist, den Schüler/innen diesen Unterschied bewusst zu machen, bezweifle ich.

Bei den ad-hoc konstruierten Vorstellungen bezüglich der Vorgänge in einer Linse handelt es sich um ein Problem, mit dem Schüler/innen im Alltag eher nicht konfrontiert sind. Diese Vorstellungen sind leichter zu ändern sein, was auch meine Untersuchung zeigt. Die Schüler/innen der vierten wie der siebenten Klasse haben in ihrer Erklärung richtig argumentiert, ohne Unterschied ob sie nur Kenntnisse in geometrischer Optik oder auch in Wellenoptik hatten. Sie haben ihre Annahme, dass vielleicht das halbe Bild verschwinden wird, aufgegeben - wie die schriftliche Wiederholung in der vierten Klasse zeigte, sogar nachhaltig aufgegeben.

Das für mich aber unerwartete Ergebnis aus dieser Untersuchung liegt in der Tatsache, dass **diese Fragestellungen, diese Stolpersteine, bei den Schüler/innen ein Interesse geweckt haben, herauszufinden, was hier wirklich passiert.** Der Stolperstein zur Optik wurde nicht im Heft aufgeschrieben, trotzdem ist das Problem mit richtiger Lösung einem Großteil der Schüler/innen der vierten Klasse nachhaltig in positiver Erinnerung geblieben. Sie haben die Vorgänge in der Linse verstanden, damit war der Lehrstoff interessant und der gesamte Bereich der Linsen plötzlich klar und anschaulich. Dies zeigte sich nicht nur bei der schriftlichen Wiederholung, sondern auch in der letzten Unterrichtsstunde, wo die Schüler/innen mir im Minute-Paper mitgeteilt haben, dass sie im Optikunterricht viel mit Verständnis und damit nachhaltig gelernt haben. Dass für die Schüler/innen der vierten Klasse Verstehen sehr wichtig ist, zeigt sich noch in folgenden Aussagen: „*Wenn man etwas versteht, braucht man weniger lernen*“; „*was nützen einem Fakten, wenn man nicht versteht, diese Fakten anzuwenden*“; „*Es hat meistens keinen Sinn, etwas zu wissen, was man aber nicht versteht*“; „*Man merkt es sich länger, wenn man es versteht.*“, „*Wenn ich etwas nicht verstehe, interessiert es mich auch nicht!*“

Im Nachhinein gesehen hätten die Beispiele „Münzproblem“ und „Raketenproblem“ im Mechanikunterricht der sechsten Klasse ebenfalls zu einem besseren Verständnis in der Mechanik führen können. Die Schüler/innen haben ihr Interesse an diesen Beispielen ja deutlich bekannt gegeben, aber ich habe ihnen nicht genügend Zeit für das Lösen dieser Probleme gegeben. Die vereinbarten zehn Minuten reichten vielleicht für ein erstes selbständiges Hypothesenbildern, aber dabei ist es auch geblieben. Die Schüler/innen hatten keine Zeit zum nochmaligen Überlegen und Diskutieren in der Gruppe.

Welche Folgerung ziehe ich für meinen weiteren Physikunterricht?

**Einfache Problemstellungen, wie ich sie zum Erfassen der Präkonzepte in dieser Untersuchung verwendet habe, wecken das Interesse der Schüler/innen sich mit physikalischen Fragestellungen auseinanderzusetzen und sich ihrer Vorstellungen über physikalische Vorgänge bewusst zu werden. Damit die Schüler/innen ein Verständnis entwickeln können, müssen sie diese Beispiele mit genügend Zeit und ohne Notendruck bearbeiten können. Sie sollten selbständig zuerst allein und dann in der Gruppe daran arbeiten, wenn möglich mit Schülerversuchen, und ihre Ergebnisse durch Plakate oder Referate dokumentieren.**

Eine Schülerin (Melanie) aus der vierten Klasse hat sehr treffend formuliert: „*Ich finde es amüsant und faszinierend zugleich die alltäglichen Dinge zu hinterfragen und nicht alles als selbstverständlich anzunehmen!*“ Diese Faszination gilt es durch entsprechende Denkbeispiele zu wecken. **Ich werde daher verstärkt nach derartigen „Stolpersteinen“ suchen, die die Schüler/innen neugierig machen, zu erkunden, was hier wirklich passiert, und sie damit zum Verstehen bringen.**

# Literatur

John Clement: Students preconceptions in introductory mechanics; American Journal of Physics 50/1/Jan. 82,

Peter Häußler, W. Bünder, R. Duit, W. Gräber, Jürgen Mayer (1998): Perspektiven für die Unterrichtspraxis – Naturwissenschaftsdidaktische Forschung, IPN – Institut f. Pädagogik der NW an der Universität Kiel

Viennot: Spontaneous Reasoning in elementary dynamics; European Journal Science Education 79/Vol.1 Nr. 2

Peter Labudde: Erlebniswelt Physik, Verlag Dümmler, 1993

Martin Wagenschein: Die Pädagogische Dimension der Physik ; Verlag Westermann 1976

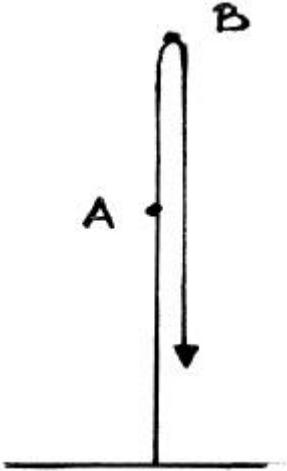
Von der Physik 4, Albrecht u.a.; Verlag E. Dörner, 1999

# Anhang

## Fragebogen 6. Klasse – Kraftbegriff

Name:

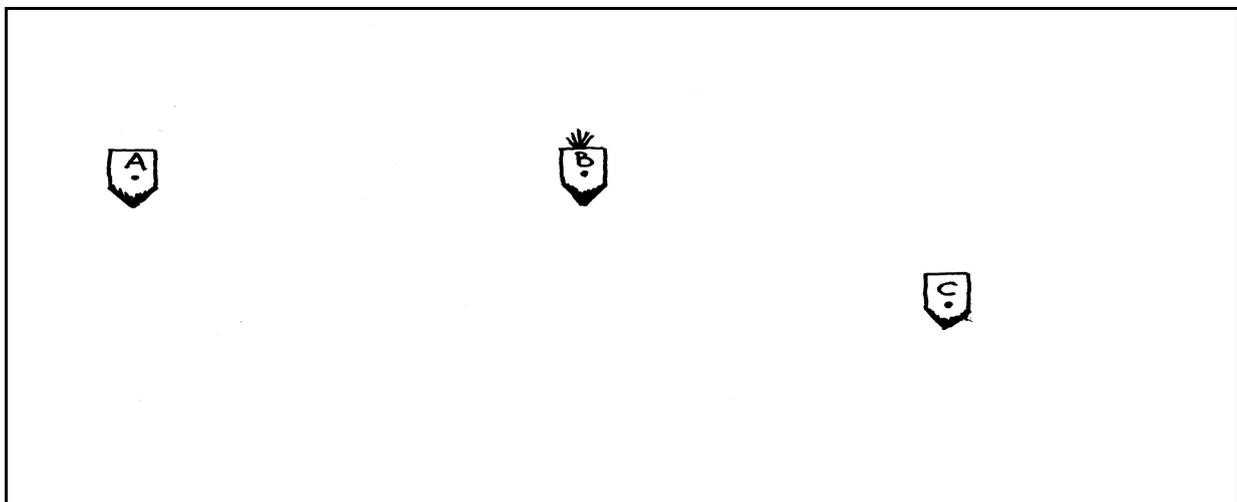
### 1. Münzproblem:

<p>Eine Münze wird senkrecht hochgeworfen.</p> <p>a. Zeichne im Punkt A alle auf die Münze wirkenden Kräfte ein und charakterisiere diese.</p> <p>b. Zeichne auch im Punkt B alle auf die Münze wirkenden Kräfte ein und charakterisiere sie.</p> <p>Die Reibung ist zu vernachlässigen</p>	
---	--

### 2. Raketenproblem:

Eine Rakete bewegt sich seitwärts antriebslos im Raum vom Punkt A zum Punkt B. Auf die Rakete wirken keine äußeren Kräfte.

- Im Punkt B wird für zwei Sekunden das Antriebssystem gezündet. In dieser Zeit bewegt sich die Rakete zum Punkt C. Zeichne den Weg (die Bahn) der Rakete von A bis nach C ein.
- Im Punkt C wird das Antriebssystem wieder ausgeschaltet. Zeichne die Bahn der Rakete vom Punkt C weiter ein.



## Arbeitsblatt – Optik

1.a) Beschreibe (oder zeichne) wie sich deiner Meinung nach das Bild der Kerzenflamme ändern wird.

- .
- .
- .

b) begründe deine Antwort:

- .
- .
- .

*auf Rückseite des Blattes:*

2.a) Beschreibe genau den Ausgang des Experimentes:

- .
- .
- .

b) Suche eine Erklärung und schreibe diese möglichst genau auf:

- .
- .
- .