

Dr. rer. nat. Frank Morherr

Studienseminar III für Gymnasien in Oberursel

Entwurf zum Unterrichtsbesuch im Modul Physik Fachdidaktik

Thema der Unterrichtseinheit:
Einführung in den freien Fall

Thema der Unterrichtsstunde:
**Alle Gegenstände erfahren im Vakuum die
gleiche Fallbeschleunigung**

Fach: Physik

Klasse: 11.5 (E1), 21 Schüler-12 Mädchen und 9 Jungen

Schule: Burggymnasium Friedberg

Raum: PH 2

Datum: 30. 11. 2012

Zeit: 8:00-8:45



Analyse der Lerngruppe

Ich unterrichte sie in einer Doppelstunde pro Woche, Freitag die erste und zweite Stunde. Insgesamt sind die Schüler und Schülerinnen motiviert und zeigen großes Interesse, Disziplinprobleme gibt es wenig. Dies zeigt sich auch in der Beteiligung am Unterricht. In Unterrichtsgesprächen arbeitet ein Großteil der Klasse engagiert mit. Ich versuche, die unterschiedlichen Phasen des Unterrichts mittels Experimente und Diagrammen, sowie Filmen abwechslungsreich zu gestalten.

Die leistungsstärksten Schüler und Schülerinnen sind [REDACTED]. Sie bringen noch sehr gute Kenntnisse aus der Mittelstufe mit. [REDACTED] hat mit [REDACTED] die beste Klausur geschrieben und ist auch in anderen Fächern stark. Leider beteiligt sie sich mündlich nur mittelmäßig, obwohl Sie es kann, was man sieht, wenn man Sie mal so drannimmt. Gute Leistungen und gute Beteiligung liefern auch [REDACTED] die auch immer intensiv fragen, wenn Sie noch Unklarheiten sehen. [REDACTED] haben rechnet schon des Öfteren Hausaufgaben an der Tafel vor. [REDACTED] beteiligt sich noch recht gut, [REDACTED] eher gelegentlich. Die Beiträge von [REDACTED] sollten mehr inhaltlichen Bezug haben. Sie gehört auch leistungsmäßig zu den schwächsten, obwohl Sie die E-Phase wiederholt, ich hatte sie letztes Halbjahr in meinem Mathematikurs [REDACTED] beteiligt sich noch recht rege und hat eine gute stoffliche Übersicht. [REDACTED] beteiligen sich gelegentlich, aber mit guten Beiträgen. [REDACTED] müssen eher ermahnt werden, da sie teilweise den Unterricht stören. [REDACTED] sind sehr still und beteiligen sich von sich aus wenig. Daher nehme ich sie des Öfteren von mir aus dran [REDACTED] ist zwar auch recht still, beteiligt sich aber gelegentlich [REDACTED] ein diagnostiziertes [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] hmal dauert es etwas, bis er eine Frage stellt, die eigentlich gerade umfassend geklärt wurde, weil er offenbar so mit der Sache beschäftigt war, dass er die Antwort nicht mitbekommen hat. Er beteiligt sich wenig, ich nehme ihn aber des Öfteren dran, wenn es darum geht, einen Text im Buch oder Arbeitsauftrag zu lesen.

Analyse der Raumsituation

Der Unterricht findet im Physikraum Ph2 statt. Es ist eine Tafel, Beamer, Overhead, Video und DVD-Anlage, sowie Anschlüsse für Schülerversuche vorhanden. Der Raum ist etwas breit, dafür nicht sehr tief, und die Eckfenster sorgen für eine etwas ungünstige Beleuchtung. Die sonstige Ausstattung lässt aber keine Wünsche offen.

Kurzer Überblick zum Lernstand

In der ersten Doppelstunde des Schuljahres haben wir uns über physikalische Einheiten und Größen, sowie deren Umrechnung in fundamentale Einheiten (SI-System) unterhalten. In der zweiten und dritten Doppelstunde wurden vektorielle Größen behandelt und die Addition sowie die Zerlegung von Vektoren wiederholt, die den Schülern und Schülerinnen schon aus der Mittelstufe vertraut sein sollten. Die Zerlegung wurde am Beispiel eines Bogenschützen, der einen Bogen spannt und an der schiefen Ebene geübt. Im Anschluss haben wir uns mit der gleichförmigen Bewegung beschäftigt. Dazu wurde von den Schülern und Schülerinnen eine Messtabelle über eine gleichförmige Bewegung auf dem Schulhof aufgenommen und das t-s-Diagramm gezeichnet. Der Sinn einer Ausgleichsgerade wurde mit den Schülern und Schülerinnen diskutiert und das Ablesen und Errechnen der Geschwindigkeit geübt. Die Schüler und Schülerinnen haben gelernt, t-v-Diagramme zu zeichnen und aus diesen den zurückgelegten Weg abzulesen. Ebenso haben die Schüler und Schülerinnen gelernt, Diagramme zu interpretieren und die Art der Bewegung aus Diagrammen abzulesen. Durch ein Schülerexperiment mit den Phywe-Experimentierkästen haben die Schüler und Schülerinnen sich selbst das Zeit-Weg-Gesetz und das Zeit-Geschwindigkeits-Gesetz für die gleichmäßig beschleunigte Bewegung erarbeitet. Außerdem wurde das allgemeine Gesetz mit Anfangsgeschwindigkeit und Anfangsweg erarbeitet. Nach verschiedenen Übungen hierzu, bei denen die Schüler und Schülerinnen die Anwendung und das Bestimmen verschiedener und der Ausgabe eines Selbstdiagnosebogens haben die Schüler und Schülerinnen die Klausur geschrieben. In der Klausur kam schon ein freier Fall als gleichmäßig beschleunigte Bewegung vor mit $a=g=10\text{m/s}^2$, in der einen Gruppe als Kugel, die in einen Brunnen fällt, in der anderen als Modellierung des Sprunges von Felix Baumgartner. Der Begriff „freier Fall“ tauchte allerdings nicht auf und würde bisher auch nicht diskutiert. Für die Schüler und Schülerinnen war es nur ein Beispiel einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung.

Allgemeine didaktische Überlegungen, Überlegungen zur Unterrichtseinheit

Der hessische Lehrplan sieht vor, in der E-Phase die Themen Zeit-Weg-Gesetz und gleichförmige und beschleunigte Bewegungen zu behandeln. Als Beispiel einer beschleunigten Bewegung ist der freie Fall verpflichtend zu unterrichten. Dies hat einerseits historische Gründe, beginnend bei den Fallversuchen von Galilei am schiefen Turm von Pisa, der die noch von Aristoteles her rührende Meinung, dass schwere Gegenstände schneller fallen als leichtere (im Sinne von legen den gleichen Weg in kürzerer Zeit zurück, was hier physikalisch bedeuten soll, dass schwerere Gegenstände eine größere Fallbeschleunigung erfahren als leichtere Gegenstände), widerlegt hat. Sein Gedankenexperiment soll in dieser

Stunde nachvollzogen werden. Andererseits ist der freie Fall auch für die Behandlung von Würfeln bedeutsam, da er hier eine der Bewegungen ist, die sich überlagern. Deren didaktische Bedeutung geht sogar auf Wagenschein und Klafki zurück, als Übergang zum Orbit von Raumfahrzeugen in der in den sechziger Jahren des vorangehenden Jahrhunderts aufkommenden Raumfahrt. Auch in der Raumfahrt sieht man die Bedeutung, dass Gegenstände unabhängig von ihrer Masse im Vakuum gleichschnell fallen, denn sonst würden die leichten Astronauten immer gegen die Wände ihrer schwereren Raumfahrzeuge stoßen, sowie bei Außenbordaktivitäten immer von ihrem Raumschiff abgetrieben werden.

Für Aristoteles gab es ein Grundprinzip: Je schwerer ein Körper ist, desto mehr hat er das Bestreben zu seinem Bestimmungsort, dem Weltzentrum zu gelangen. Daraus folgt zwingend: „Der schwere Körper fällt schneller als der leichte.“ (Dorn-Bader, Physik)

Galilei konstruierte aus diesem Satz einen Widerspruch. Das Gedankenexperiment von Galilei ist das folgende:

Wenn man einen schweren (schnell fallenden) Körper mit einem leichten (langsam fallenden) Körper verbindet, so müsste der langsam fallende (leichte) den schnell fallenden (schweren) Körper zurückhalten. Andererseits sind beide Körper zusammen schwerer als der schwerere Körper allein; deshalb sollte die Kombination auch schneller fallen als der schwerere Körper. (Dorn-Bader, Physik)

Ein idealer freier Fall findet im luftleeren Raum statt und ist eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung mit der für alle Körper am gleichen Ort konstanten Erdbeschleunigung g . Die Bewegungsgesetze des freien Falls lauten $s = \frac{1}{2}gt^2$ (Zeit-Weg-Gesetz) bzw. $v = gt$ (Zeit-Geschwindigkeits-Gesetz), wobei gilt, dass $g=9,81\text{m/s}^2$ (auf Meereshöhe, 45° geografische Breite). Die Fallbeschleunigung ist dabei für alle Körper unabhängig ihrer Masse konstant (Metzler, Physik Seite 20). Die klassische Methode zur experimentellen Auswertung der Gesetzmäßigkeiten des freien Falls ist ein Demonstrationsexperiment, bei dem die Fallzeiten einer Stahlkugel nach elektrischer Auslösung bis zum Auftreffen auf einen Fangteller per Stoppuhr oder Lichtschranke misst.

Der freie Fall ist ein besonderer Fall der Lehrens und Lernens und damit des Verstehens von Physik schlechthin. Obwohl und weil er von "fertigen" Physikern als einfach angesehen wird, bereitet er Laien große Schwierigkeiten, die weniger in den fachwissenschaftlichen Anforderungen begründet sind, als vielmehr in den stillschweigenden Voraussetzungen, die bei der Konzeptualisierung des freien Falls zugrundegelegt werden müssen. Der Fall wird nicht einfacher dadurch, dass wir im Alltag mit zahlreichen Fällen zu tun haben, denn der freie Fall ist kaum dabei, eher ist das Gegenteil der Fall. Der freie Fall ist ein Idealfall. Er ist es zum einen im wissenschaftstheoretischen Sinne. Die verschiedensten Erscheinungen, von

denen manche erst auf den zweiten Blick überhaupt als etwas Fallendes zu erkennen sind, werden physikalisch auf den freien Fall zurückgeführt, indem die phänomenologischen Abweichungen vom Idealfall durch das Vorhandensein äußerer Einflüsse (z.B. der Luftwiderstand) wediskutiert werden. Zum anderen ist der freie Fall auch im fachdidaktischen Sinne ideal, weil an ihm die Lernschwierigkeiten der Schülerinnen und Schüler, die mit der Überwindung der Differenz zwischen lebensweltlicher und physikalischer Sehweise zusammenhängen, an einem experimentell relativ einfachen, umfassend zugänglichen und überschaubaren Fall erfahrbar gemacht und erörtert werden können.

Methodische und didaktische Überlegungen zur Unterrichtsstunde

Stundenziele und Kompetenzen (Didaktischer Schwerpunkt)

Schwerpunktartig wird in dieser Stunde die Unabhängigkeit der Fallbeschleunigung im Vakuum von der Masse erarbeitet. Bei vielen Schüler und Schülerinnen besteht die Vorstellung, schwere Körper würden schneller fallen (d.h. im physikalischen Sinn mit einer größeren Fallbeschleunigung, in diesem Sinne ist das hier zu verstehen) als leichtere. Sie beruht auf der Erfahrung, dass leichtere Körper zum Beispiel in Luft eher abgebremst werden als schwerere. In der Erfahrungswelt der Schüler fällt eine Feder langsamer zu Boden als ein Hammer, da eine Feder durch den Luftwiderstand abgebremst wird. Daraus ziehen Schüler und Schülerinnen oft den Schluss, dass leichtere Gegenstände generell langsamer (d.h. im physikalischen Sinn mit einer kleineren Fallbeschleunigung) fallen, als schwerere. Dass dem nicht so ist, wird in der Regel schon in der Mittelstufe mit einer evakuierten Fallröhre demonstriert, da man schlecht ganze Physikräume leerpumpen kann. Sie enthält eine kleine Bleikugel und eine Flaumfeder, wird luftleer gepumpt und schnell umgedreht. Beide Körper beginnen gleichzeitig zu fallen. Man sieht und staunt: Die leichte Feder fällt wie ein Stein zu Boden, wenn die umgebende Luft fehlt. Lässt man die Luft wieder in die Fallröhre hinein zischen, dann zeigt die Wiederholung Trotzdem hält sich diese Vorstellung hartnäckig bis in die Oberstufe, unter anderem aufgrund der in der Umgebung immer vorhandenen Luft. Nicht wenige Schüler meinen auch, dass im Vakuum Gegenstände überhaupt nicht nach unten fallen, da sie schwerelos seien.

Als Einstieg in die Stunde wird den Schülern das Video eines Free-Fall-Towers gezeigt. Die Schüler sollen beschreiben, was sie sehen. Der Name Free-Fall-Tower suggeriert, dass es sich um einen freien Fall handelt. Hier werde ich den Schülern und Schülerinnen erst mal die physikalische Definition eines freien Falls diktieren: „Der freie Fall ist die gleichmäßig beschleunigte Fallbewegung eines Körpers, der frei vom Einfluss äußerer Kräfte (z.B. Luftwiderstand) nur aufgrund der Erdanziehungskraft zu Boden fällt“. Nach dieser Definition

sollen die Schüler und Schülerinnen erkennen, dass der Free-Fall-Tower in Wirklichkeit keinen freien Fall darstellt, da hier Luftwiderstand vorhanden ist. Ausgehend von der Frage an die Schüler und Schülerinnen, warum trotzdem von freiem Fall gesprochen wird, soll geklärt werden, dass der Fall hier so kurz und die Masse des Körpers so groß ist, dass der Luftwiderstand hier vernachlässigt werden kann. Um zum Gedankenexperiment zu Galilei zu kommen, sollen sich die Schüler und Schülerinnen jetzt vorstellen, was passiert mit einer Person, die beim Fallen nicht angegurtet ist, bzw. deren Gurt direkt vor dem Fallvorgang gelöst wird. Mit der vorherrschenden Schülervorstellung, dass leichtere Gegenstände mit einer kleineren Beschleunigung fallen, sollte die Idee kommen, dass der Mensch mit einer kleineren Beschleunigung fallen müsste, also hinter der Plattform zurückbleibt.

Nun folgt die Überlegung von Galilei, die an der Tafel entwickelt wird:

Angenommen, die Plattform fällt schneller nach unten, als der Körper. Dann heißt das, dass für die Fallzeit t_P der Plattform und die Fallzeit t_M des Menschen $t_M > t_P$. Nimmt man den Gurt nun wieder hinzu, dann würde die Plattform den Mensch beschleunigen, aber andererseits der Mensch die Plattform abbremsen. Für die Fallzeit der Plattform mit Mensch t_{P+M} würde dann gelten $t_M > t_{P+M} > t_P$.

Andererseits ist die Plattform mit Mensch schwerer als die Plattform alleine. Daher müsste gelten $t_P > t_{P+M}$. Damit ergibt sich der Widerspruch $t_{P+M} > t_P > t_{P+M}$. Dieser lässt sich nur auflösen, wenn unsere Annahme falsch ist, wenn also alle Dinge mit derselben Beschleunigung fallen. Um seine Annahme zu überprüfen, hat Galilei Körper verschiedenen Gewichts gleichzeitig vom schiefen Turm zu Pisa geworfen. Auch hier muss der Luftwiderstand vernachlässigbar sein. Wir können es mit den technischen Mitteln heute besser, indem wir eine evakuierte Fallröhre verwenden. Die Fallröhre vom Anfang wird nun evakuiert und der Versuch mit der Feder und dem Bleistück nochmals durchgeführt. Diesmal kommen Feder und Bleistück gleichzeitig unten an. Zum Abschluss zeige ich noch das Video vom Mond, auf dem ein Astronaut Feder und Hammer fallen lässt. Sollte am Ende noch Zeit sein, überlegen sich die Schüler und Schülerinnen, wie ein Experiment kreiert werden muss, um die Erdbeschleunigung g zu messen bzw. zu berechnen.

Durch die Betrachtung des Free-Fall-Towers und des fallenden Feder und des Bleistücks in der nichtevakuierten Fallröhre, in der die Feder durch den Luftwiderstand abgebremst wird, knüpft die Stunde an das Vorwissen der Schüler und Schülerinnen an. Außerdem erhalten die Schüler und Schülerinnen einen Anwendungskontext des freien Falls. Das Gedankenexperiment von Galilei, welches die Schüler und Schülerinnen nachvollziehen fordert das Denken heraus, denn Galilei kommt ja zu seinem Ergebnis nur durch Denken und das Erreichen eines Widerspruchs. Das Üben beschränkt sich in dieser Stunde auf eine korrekte Beschreibung des Gesehenen und der schlüssigen Formulierung des

Gedankenexperiments. Übungen zum freien Fall im Sinne von Rechenaufgaben können erst gestellt werden, wenn die Schüler und Schülerinnen mittels des Phywe-Experimentierkastens den Versuch zum freien Fall durchgeführt haben und durch Auswertung der Messergebnisse die Erdbeschleunigung g selbst ermittelt haben. Dies wäre mittels des einführenden Beispiels auch mittels Video-Analyse durch Measure-Dynamics möglich, aber ich möchte die Schüler und Schülerinnen selbstständig experimentieren lassen. Methoden und Medienevielfalt ist durch die gezeigten Videos und Versuche, sowie die Diskussion des Gedankenexperiments an der Tafel gegeben. Das spektakuläre Video des Falls von Feder und Hammer auf dem Mond dient auch dazu, das Lernen nachhaltig zu unterstützen. Im Klassengespräch werden die Schüler und Schülerinnen dazu aufgefordert, Vermutungen zu äußern und sich gegenseitig über das gestellte Problem auszutauschen. Die Schüler sollen möglichst selbstständig auf den Widerspruch und die Lösung des Problems kommen. Das Neue, oder auch wieder „Neue“, (denn einige werden in der Mittelstufe schon mal besprochen haben, dass im Vakuum alle Körper gleichschnell fallen), wird vernetzt und korrigiert hoffentlich die vorherrschende Vorstellung, dass schwere Gegenstände prinzipiell schneller fallen. Ich habe versucht, die Experimente für diese Stunde sinnvoll einzubetten, allerdings beschränkt sich das experimentieren diese Stunde darauf, dass die Schüler die Vakuumröhre selbst evakuieren und umdrehen können. Aber ich eröffne Ihnen die Aussicht, nächste Stunde selbstständig zu experimentieren, um g zu bestimmen. Wäre g bereits bekannt, könnten die Schüler ihre Reaktionszeit messen, indem einer ein Lineal zwischen den Fingern eines Partners fallen lässt, und dieser es auffangen muss, und aufgrund des gefallenen Weges auf die Reaktionszeit zurückgeschlossen werden kann. Durch die Ankündigung des Experiments haben die Schüler und Schülerinnen auch eine Vorschau auf das Neue.

Lernziele und Kompetenzen

Fachwissen

Die Schüler und Schülerinnen sollen lernen,

- dass im Vakuum alle Gegenstände die gleiche Fallbeschleunigung erfahren

Erkenntnisgewinnung

Die Schüler und Schülerinnen sollen lernen,

- dass Gedankenexperimente dazu dienen können, zu einer Erkenntnis zu gelangen (die natürlich durch Versuche zu überprüfen ist)

Kommunikation

Die Schüler und Schülerinnen sollen lernen

- miteinander über ein physikalisches Problem zu diskutieren und argumentieren
- einen Vorgang genau beschreiben zu können

Literaturverzeichnis

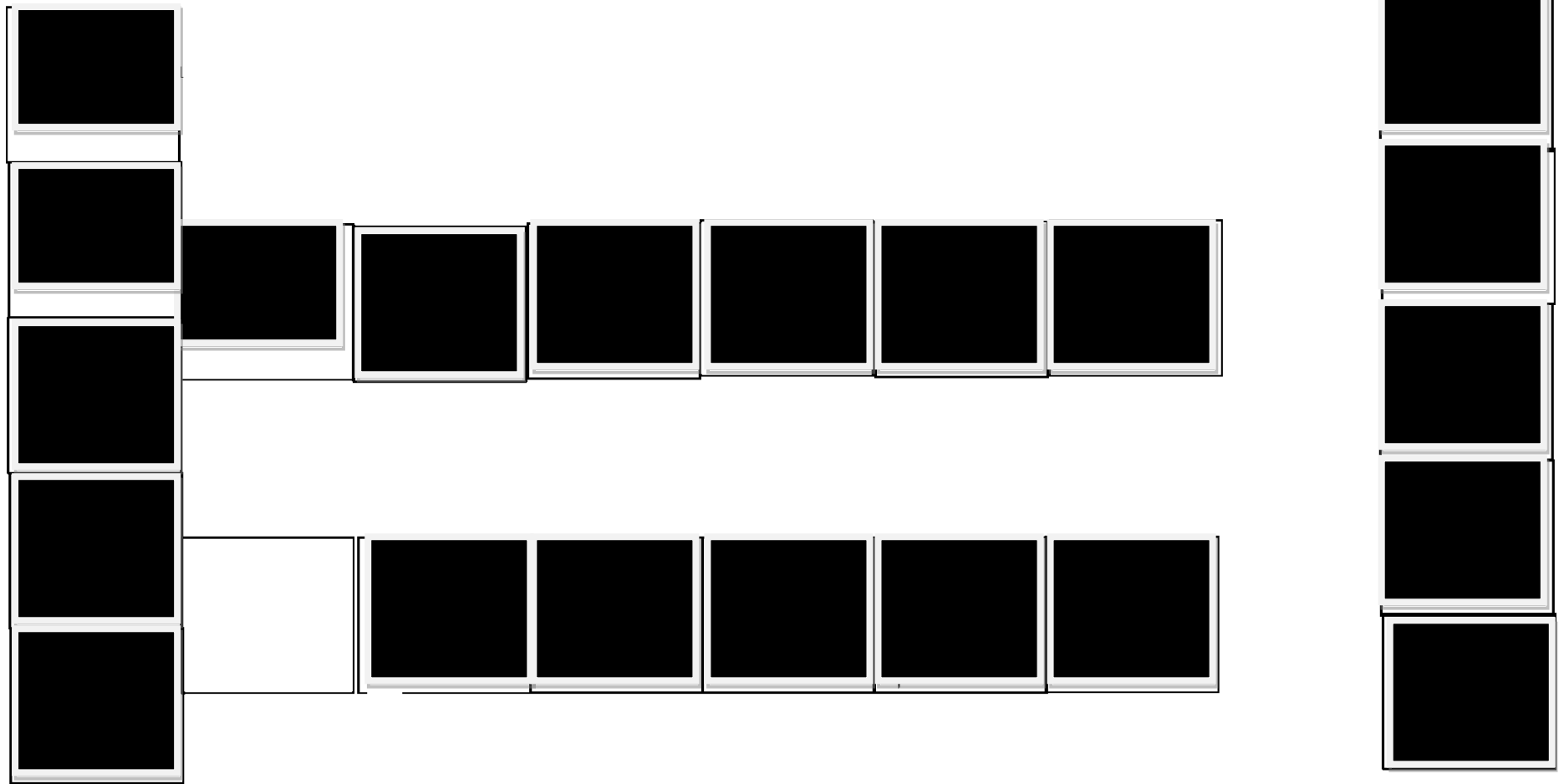
- [1] Hessisches Kultusministerium (Hrsg.) (2010): *Lehrplan Physik. Gymnasialer Bildungsgang der Jahrgangsstufen 6G bis 9G und gymnasialer Oberstufe*, Wiesbaden.
- [2] Dorn Bader: Physik 11 Ausgabe A – Hessen, Schroedel; 2002
- [4] Physik Oberstufe Gesamtband, Cornelsen; 2007
- [5] Lehrbuch Physik Gymnasiale Oberstufe, Duden Paetec; 2011,
- [6] Fokus Physik Oberstufe Einführungsphase, Cornelsen; 2009
- [7] Metzler Physik Oberstufe Einführungsphase, Schroedel 2010
- [7] Duit, R.: *Der Physikunterricht nach den TIMSS und PISA Schocks*, Didaktik der Physik – Frühjahrstagung Kassel, 2006, S. 1-12
- [8] Mikelskis-Seifert, S und Raabe, T.: *Physik Didaktik – Handbuch für die Sekundarstufe I und II*, Cornelsen, 2006
- [9] Gerd Brenner u.a., Fundgrube. Methoden, Cornelsen Scriptor, Berlin 2005
- [10] Wolfgang Mattes, Methoden für den Unterricht. 75 kompakte Übersichten für Lehrende und Lernende, Schönigh, Paderborn 2002
- [11] Hilbert Meyer: Unterrichtsmethodik I+II (Theorie + Praxisband), Cornelsen Scriptor, Berlin 2005
- [12] Dennis Nawrath: Kontextorientierung - Rekonstruktion einer fachdidaktischen Konzeption für den Physikunterricht, Dissertation
- [13] Unterricht Physik Nr. 98,: kontextorientiert unterrichten
- [14] Müller, Rainer: Physik in Alltagskontexten lehren, TU Braunschweig
- [15] Muckenfuß, H.:“Themen und Kontexte als Strukturelemente des naturwissenschaftlichen Unterrichts, PhyDid 2004
- [16] Piko Briefe Physik
- [17] http://www.youtube.com/watch?v=5C5_dOEyAfk
- [18] <http://www.youtube.com/watch?v=V62Vpkv9woY&feature=related>
- [19] Studiumsmitschriften über Klafki und Wagenschein

Geplanter Tabellarischer Verlauf:

Siehe unten.

Geplanter Tabellarischer Unterrichtsverlauf

Phase/ Unterrichtsschritte	Didaktische Funktion/Intendierte Kompetenzerweiterung/ Förderaspekte	Unterrichtsgeschehen	Sozialform/ Methode	Material
8:00 Einstieg in die Stunde	Schüler wird das Thema transparent gemacht	Begrüßung der Schüler, Vorstellen der Gäste	Lehrergespräch	Tafel
8:05 Einführung in die Stunde	Thema wird an Objekt aus der Erfahrungswelt der Schüler demonstriert, Erinnerung an bereits Bekanntes	Video des Free-fall-Towers wird gezeigt, Fallröhrenversuch wird von den Schülern durchgeführt	Lehrer-Schüler-Interaktion	Fallröhre nicht evakuiert, Video
8:15 Beschreibung	Blick wird auf Gesehenes gerichtet, Gesehenes wird reflektiert	Schüler beschreiben den Versuch	Schülergespräch	
ab 8:20 Problemstellung	Problem wird transparent gemacht, Schüler werden zum Nachdenken angeregt	Voraussetzungen des Gedankenexperiments von Galilei werden dargestellt	Lehrergespräch	Tafel
8:25 Gedankenexperiment	Schüler werden zum Denken und nachdenken und zur Konversation und Diskussion untereinander angeregt	Gedankenexperiment und Widerspruch werden zusammen mit den Schülern an der Tafel entwickelt	Lehrer-Schülergespräch	Tafel
8:35 Sicherung	Durch eigene Handlung festigt sich das Bild	Schüler übernehmen das Tafelbild	Schüler	Heft
8:40 Festigen	Festigen des gerade Gelernten	Fallröhrenversuch mit evakuierter Fallröhre wird wiederholt, Video vom Mond wird gezeigt	Lehrer-Schüler-Interaktion	Fallröhre evakuiert, Video
8:45 Stundenende				



Lehrer

Leistungserwartung:
+ : gute Mitarbeit
0 : mittelmäßige Mitarbeit
- : wenig Mitarbeit

