

Wissenschaftliche Hausarbeit im Rahmen der Ersten Staatsprüfung
für das Lehramt an Gymnasien im Fach Physik,
eingereicht dem Amt für Lehrerbildung - Prüfungsstelle Gießen

Thema:

**Einführung des 1. Newtonschen Axioms
über den Impuls
– Erprobung und Evaluation anhand einer
schülerorientierten Unterrichtssequenz**

Verfasserin:

Stephanie Behrendt, Feldstraße 14, 35630 Ehringshausen

Gutachterin:

Prof. Dr. Claudia von Aufschnaiter

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Theoretischer Hintergrund	6
2.1	Unterrichtskonzeptionen für den Physikunterricht	6
2.2	Sozialformen des Physikunterrichts	8
2.3	Schülervorstellungen	10
2.4	Unterrichtsansätze zum Einstieg in die Oberstufenphysik	11
3	Fragestellungen der Arbeit	17
4	Darstellung des Unterrichtsganges	19
4.1	Physikalischer Hintergrund	19
4.2	Stellung im Lehrplan, Bedeutung in der Schulphysik	22
4.3	Übliche Vorgehensweise im Unterricht	23
4.4	Durchführung der Unterrichtssequenz	24
4.4.1	Allgemeine Hinweise zur Unterrichtsgestaltung	24
4.4.2	Erläuterungen zu den Aufgabenkarten	26
4.4.2.1	Erste Kartenserie	26
4.4.2.2	Zweite Kartenserie	35
4.4.2.3	Dritte Kartenserie	40
4.4.2.4	Vierte Kartenserie	46
4.4.2.5	Fünfte Kartenserie	52
5	Datengrundlage	57
5.1	Beschreibung der Lerngruppe	57
5.2	Geplanter Unterrichtsverlauf	57
5.3	Methodisches Vorgehen	59
5.3.1	Fragebögen	59
5.3.2	Abgaben der Schüler	60
5.3.3	Beobachtungen	61
5.3.4.	Reflexionsgespräch mit den Schülern	61
6	Ergebnisse	62
6.1	Auswertung der Fragebögen	62
6.1.1	Fragebogen zum Interesse an Physik	62
6.1.2	Zwischenfragebogen zu ausgewählten Aufgaben	64

6.1.3	Abschlussfragebogen	70
6.2	Reflexionen zu den Kartenserien	74
6.2.1	Reflexionen zur ersten Kartenserie	74
6.2.2	Reflexionen zur zweiten Kartenserie	77
6.2.3	Reflexionen zur dritten Kartenserie	78
6.2.4	Reflexionen zur vierten Kartenserie	79
6.2.5	Reflexionen zur fünften Kartenserie	81
6.3	Ergebnisse des Reflexionsgesprächs mit den Schülern	82
7	Zusammenfassung und Ausblick	84
	Literaturverzeichnis	87
	Anhang	
	Erklärung	

1 Einleitung

Im Physikunterricht der Oberstufe soll ein Angebot geschaffen werden, das die bisher erworbenen Kenntnisse im Fach Physik abrundet und zusammenführt. Somit können die Schüler, die Physik abwählen mit einer anschlussfähigen physikalischen Grundbildung entlassen werden, die ihnen ermöglicht eine Vielzahl von Alltagssituationen aus physikalischer Sicht zu hinterfragen, zu bewerten und zu bewältigen. Gleichzeitig dient der Unterricht in Jahrgangsstufe 11 als Bindeglied zwischen dem Unterricht der Mittelstufe und der Oberstufenphysik. Für Schüler, die Physik erfolgreich, vielleicht sogar als Leistungskurs, weiter betreiben wollen, soll ein Angebot geschaffen werden, das einen ersten Einblick in wissenschaftliche Arbeitsweisen und Methoden der Physik bietet. Des Weiteren soll versucht werden die vorhandene Motivation für das Fach Physik zu erhalten bzw. an Stellen verlorengegangener Motivation diese wieder, soweit möglich, neu zu entfachen. Auch sollen neben fachlichen Zielen soziale Kompetenzen ausgebaut und entwickelt werden.

Um diese vielfältigen Ziele zu erreichen bedarf es gut durchdachter Methoden und neuer Ansätze im Physikunterricht. In der vorliegenden Arbeit wird eine Unterrichtssequenz erprobt und untersucht, die versucht mittels schülerorientiertem und experimentbetontem Unterricht den negativen Entwicklungen entgegenzuwirken und ein lebendiges und interessantes Angebot für die Schüler zu schaffen. Zugleich soll damit der Einstieg in den Dynamikunterricht gelingen, der ein wichtiges Feld sowohl zum Abrunden des in der Mittelstufe erlangten Wissens als auch zum Einstieg in die Oberstufenphysik darstellt.

In Kapitel 2 werden die theoretischen Grundlagen der Arbeit in Bezug auf die Gestaltung der Unterrichtssequenz gelegt. In Kapitel 3 werden die Fragestellungen mit denen sich die Arbeit befasst erläutert. Das folgende Kapitel 4 befasst sich mit der Darstellung des Unterrichtsganges. Kapitel 5 stellt informiert über die der Arbeit zugrunde liegende Datengrundlage. In Kapitel 6 Erfolgt die Auswertung der zur Verfügung stehenden Daten. Kapitel 6 fasst schließlich die gewonnenen Erkenntnisse zusammen und bietet einen Ausblick auf weitere Ansatzpunkte.

Zur besseren Lesbarkeit der Arbeit wird auf die weibliche Form bei bestimmten Formulierungen (v. a. Schülerinnen) verzichtet.

2 Theoretischer Hintergrund

2.1 Unterrichtskonzeptionen für den Physikunterricht

An dieser Stelle wird lediglich auf die Unterrichtskonzeption des entdeckenden Unterrichts eingegangen, da diese die Grundlage für die in dieser Arbeit beschriebene Unterrichtssequenz darstellt. Über weitere Unterrichtskonzepte informieren zahlreiche didaktische Werke in umfassender Form (z.B. Kircher, 2007 S. 155ff, Mikelskis-Seifert & Rabe, 2007, S. 44ff).

Entdeckender Unterricht

Entdeckendes Lernen zeichnet sich durch einen stark schülerorientierten Unterricht aus. Im schulischen Sinne ist das „Entdecken“ natürlich nicht auf die Gewinnung neuer Erkenntnisse im Rahmen physikalischer Forschung zu beziehen, sondern viel mehr auf das Entdecken subjektiv neuer Sachverhalte für den Lernenden.

Auf folgende Hypothesen gehen in die lernpsychologische Begründung des entdeckenden Lernens ein:

- Das entdeckende Lernen erzeugt in einzigartiger Weise Motivation und Selbstvertrauen.
- Das entdeckende Lernen ist die wichtigste Quelle für intrinsische Motivation.
- Entdeckendes Lernen sichert das Gelernte langfristig im Gedächtnis.
- Die Entdeckungsmethode ist die Hauptmethode der Vermittlung von Fachwissen.
- Die Entdeckung ist eine notwendige Voraussetzung, um vielfältige Problemlösetechniken zu lernen.

(Kircher, 2007, S. 161)

Diese Hypothesen sind etwas überspitzt formuliert und müssen in der Praxis relativiert werden. Meist ergeben sich in Folge dessen Mischformen mit anderen Unterrichtsansätzen. Häufig wird in diesem Zusammenhang das Konzept des „sinnvoll übernehmenden Unterrichts“ (vgl. Kircher, 2007,

S. 161) dem entdeckenden Unterricht entgegengesetzt, welches dem darbietenden Unterricht zugeordnet werden kann. Aus didaktischen Gründen sind beide Konzeptionen im Unterricht sinnvoll und notwendig.

Zu den Zielen des entdeckenden Unterrichtes gehört die Befriedigung der im Allgemeinen vorhandenen Neugierde der Schüler, woraus eine besondere Motivation für den Physikunterricht erzeugt werden kann. Hierbei eignen sich die Jugendlichen naturwissenschaftliche Fähigkeiten und Fertigkeiten (Prozessziele) wie etwa genaues Beobachten und sorgfältiges Experimentieren an. Entdeckendes Lernen geschieht in den Sozialformen des Gruppenunterrichts oder des individualisierten Unterrichts (siehe Kapitel 2.2). Daraus ergeben sich vielfältige soziale Zielsetzungen wie Zusammenarbeit, Hilfsbereitschaft, Persönlichkeitsentwicklung und Kommunikationsfähigkeit. Ebenfalls gefordert werden Einstellungen wie Flexibilität und Ausdauer bei der Lösung der gestellten Aufgaben sowie Werthaltungen wie „Freude an der Physik“. Erfolgserlebnisse, die im Rahmen des entdeckenden Lernens erzielt werden, können zur Stärkung des Selbstbewusstseins und zur „Ich-Identität“ beitragen. Diese Erfolgserlebnisse fördern wiederum die Motivation der Schüler und können längerfristiges Interesse begründen.

Aus den genannten vielfältigen Zielsetzungen kann der entdeckende Unterrichtsansatz als unverzichtbar für den Physikunterricht angesehen werden.

Organisatorisch erfordert die entdeckende Unterrichtskonzeption eine umfassende Vorbereitung. Schülerarbeitsmittel müssen bereitgestellt werden (was häufig zu Problemen mit nicht ausreichend vorhandenen Materialien führen kann), dem Unterricht muss eine langfristige Grobplanung voraus gehen und der Unterricht muss als Epochenunterricht stattfinden (mind. Doppelstunde). Die Unterrichtsorganisation ist stark schülerorientiert, die Schüler agieren, der Lehrer hat nur beratende Funktion, was eine starke Unbestimmbarkeit des Unterrichtsverlaufes bedingt.

Die Anwendung der entdeckenden Unterrichtskonzeption bringt auch einige Nachteile mit sich. Zunächst bedingt der Ansatz erhöhten organisatorischen evtl. auch finanziellen Aufwand. Dem hohen zeitlichen Bedarf zur Durchführung entdeckenden Unterrichts steht oftmals ein eng organisierter Lehrplan gegenüber. Außerdem kann in dieser Unterrichtsform oft nur eine

eher oberflächliche Begriffsbildung erzielt werden, was damit begründet werden kann, dass die Schüler in der reinen Form des entdeckenden Lernens sehr stark sich selbst überlassen sind. Daher geschieht die Begriffsbildungen häufig aus den Vorstellungen heraus, welche die Schüler bereits gesammelt haben und es kann schwierig sein, zusätzliche und neue Informationen an die Schüler heranzutragen (insbesondere, da an einmal gebildeten Vorstellungen gerne festgehalten wird) (Kircher, 2007, S. 160ff). Um diesen Effekten entgegenzuwirken und einen Konzeptwechsel vollziehen zu können sind laut Kircher (2007, S. 593f) die Strategien des Anknüpfens an alte Vorstellungen, das Umdeuten derselben sowie die Konfrontation mit diesen erfolgreich. Um einen Konzeptwechsel zu erreichen empfiehlt sich eine Unterrichtsstrategie, die zunächst mit dem Phänomen vertraut macht, existierende Vorstellungen bewusst macht, in die wissenschaftliche Sichtweise einführt, dann die neue Sichtweise anwendet, um schließlich den Lernprozess rückblickend noch einmal nachzuvollziehen. Insbesondere der dritte Aspekt, der in der Regel durch den Lehrer geschieht, ist in einer reinen Form des entdeckenden Lernens schwer zu realisieren, aber auch der zweite Aspekt dürfte problematisch sein. Der erste, vierte und fünfte Aspekt lässt sich jedoch gut im entdeckenden Unterricht nachvollziehen. (Kircher, 2007, S. 593f)

2.2 Sozialformen des Physikunterrichts

Im Allgemeinen wird zwischen Gruppenunterricht, individualisiertem Unterricht und Frontalunterricht unterschieden.

In diesem Abschnitt wird lediglich in knapper Form auf die Sozialform des Gruppenunterrichts eingegangen, da diese die Grundlage für die in dieser Arbeit beschriebene Unterrichtssequenz darstellt. Genauere Informationen über diese und weitere Sozialformen finden sich in zahlreichen didaktischen Werken (z.B. Kircher, 2007, S. 176ff).

Gruppenunterricht

Der Gruppenunterricht kann als *die* schülerorientierte Sozialform schlechthin gelten. Im Physikunterricht nimmt der Gruppenunterricht im Allgemeinen noch

eine relativ untergeordnete Rolle ein, es ist aber zu erwarten, dass sich dies in Zukunft ändern wird (Kircher, 2007, S. 177).

Gruppenunterricht fördert in besonderem Maße das „soziale Lernen“ bei den Schülern. Die Schüler sollen dabei zu solidarischem Handeln erzogen werden, Konfliktfähigkeit, Selbstbewusstsein und Rücksichtnahme sowie Kommunikations-, Interaktions- und Handlungskompetenzen werden trainiert. Um Gruppenunterricht sinnvoll durchführen zu können, müssen einige Voraussetzungen gegeben sein. So muss das Thema geeignet sein, in der Klasse müssen bestimmte soziale Voraussetzungen (z.B. Kooperationsbereitschaft und -fähigkeit) gegeben sowie ein geeigneter Raum (z.B. Versorgung mit Elektrizität, Wasser, Gas) vorhanden sein. Auch die Vorbereitung des Gruppenunterrichts stellt besondere Ansprüche. Die benötigten Arbeitstechniken sind auf die Fähigkeiten der Schüler abzustimmen, Arbeitsaufträge sind verständlich und eindeutig zu formulieren, die zeitlichen Vorgaben sind realistisch zu planen, für schneller arbeitende Gruppen ist eine sinnvolle Beschäftigung zu planen und schließlich sind die Gruppen nach sinnvollen Gesichtspunkten zu bilden.

Im naturwissenschaftlichen Unterricht wird zwischen arbeitsgleichem und arbeitsteiligem Gruppenunterricht unterschieden (nähere Informationen hierzu finden sich in der Fachliteratur (z.B. Kircher, 2005, S. 180). Als Gruppenstärke erweist sich dabei eine Anzahl von drei bis fünf Schülern als sinnvoll.

Das Für und Wider des Gruppenunterrichts lässt sich wie folgt zusammenfassen:

- Für den Gruppenunterricht existieren relevante pädagogische, psychologische, soziologische und gesellschaftspolitische Begründungen.
- Zielgerichtetes Arbeiten, soziale Interaktion, sprachliche und symbolische Verständigung werden durch und über physikalische Theorien und über die Physik hinausreichende Probleme gefordert und gefördert.
- Gruppenunterricht fordert ein erhöhtes Maß an Vor- und Nachbereitungszeit und ist risikoreicher als Frontalunterricht, dafür aber lebendiger, interessanter und letztlich auch befriedigender für Schüler und Lehrer.

- Gruppenarbeit bietet sich besonders im Physikunterricht an, da Schülerversuche die Möglichkeit bieten das Verständnis für Lebenswelt und Alltag zu fördern und fachliche sowie soziale Kompetenzen zu erwerben. Durch Gruppenunterricht wird Physikunterricht wertvoller und sinnvoller.
- Aufgrund der vielfältigen fachlichen und sozialen Ziele stellt Gruppenunterricht die wichtigste Sozialform im Physikunterricht dar und dient auch zur Vorbereitung von Projektunterricht.
- Gruppenunterricht kann dazu beitragen Physikunterricht attraktiver zu gestalten.

(Kircher, 2007, S. 282)

2.3 Schülervorstellungen

Wenn Schüler in den Physikunterricht kommen, haben sie aufgrund vielfältiger Alltagserfahrungen bereits tief verankerte Vorstellungen zu Begriffen, Phänomenen und Prinzipien entwickelt, die im Unterricht eine Rolle spielen. Meist stimmen diese Alltagsvorstellungen nicht mit den zu lernenden wissenschaftlichen Vorstellungen überein. Diese Diskrepanz führt häufig zu Lernschwierigkeiten (Kircher, 2007, S. 581).

Ein wichtiges Feld der Fachdidaktik stellt daher die Erforschung der lebensweltlichen und wissenschaftlichen Vorstellungen von Schülern dar. Denn nur wenn diese bekannt sind, kann man den Unterricht durch Berücksichtigung dieser Vorstellungen entsprechend anpassen, um so an die Vorstellungen der Schüler anzuknüpfen und so eine Entwicklung in Richtung wissenschaftlicher Vorstellungen herbeizuführen. Die Mechanik stellt dabei das best erforschte Teilgebiet der Physik dar, worüber viele gesicherte Ergebnisse vorliegen, die mehrfach in der Literatur zusammenfassend beschrieben werden (z.B. in Kraus, 2005, S. 4ff) (Stelter, 2007 S. 10f).

Im Folgenden sollen einige der wichtigsten Alltagsvorstellungen, die für den in dieser Arbeit vorgestellten Unterrichtsgang relevant sind, vorgestellt werden:

- a) Kräfte werden unabhängig von der Zeitspanne gesehen, in der sie wirken.

- b) Die Kraft geht allein von einem Körper aus. Sie wird nicht als Wechselwirkung zwischen mindestens zwei Körpern verstanden.
 - c) Der Zustand der Ruhe wird als fundamental anderer Zustand angesehen als ein Bewegungszustand mit $v = 0$.
 - d) Im Ruhezustand wirken keine Kräfte.
 - e) Körper besitzen Kräfte als eine ihnen innewohnende Eigenschaft.
 - f) Kraft ist mit einer Aktivität verbunden, so dass ein ruhender Gegenstand (beispielsweise ein Tisch, der einen Gegenstand trägt) keine Kraft ausüben kann.
 - g) Trägheit wird häufig als „Trägheitsgegenkraft“ gedacht, die ein Körper z.B. beim Bremsen entgegenbringt.
 - h) Eine größere Masse bedingt automatisch eine größere Kraft.
 - i) Kräfte können einen Körper verlassen (ähnlich wie ausgehender Treibstoff).
 - j) Kräfte wirken immer beschleunigend, niemals abbremsend.
 - k) Die Kraft ist proportional zur Geschwindigkeit. Immer wenn eine Bewegung vorliegt muss auch eine Kraft wirken.
 - l) Die Begriffe „Kraft“ und „Energie“ werden von Schülern häufig synonym gebraucht.
 - m) Unter dem Begriff „Beschleunigung“ fassen Schüler einerseits die größere Geschwindigkeit und andererseits den Prozess der eigentlichen Geschwindigkeitsänderung.
 - n) Wird ein Körper schneller, nimmt auch seine Beschleunigung zu.
- (Kraus, 2005, S. 4ff)

In Kapitel 2.4 werden anhand der hier erwähnten Vorstellungen verschiedene Unterrichtsansätze diskutiert und bewertet.

2.4 Unterrichtsansätze zum Einstieg in die Dynamik der Oberstufenphysik

Im Folgenden sollen einige typische Zugänge zum Dynamikunterricht dargestellt und auf Grundlage der im vorherigen Kapitel beobachteten Vorstellungen bewertet werden.

Kraftbegriff anhand statischer Zustände

Eine Möglichkeit besteht darin, den Kraftbegriff zunächst statisch einzuführen. Von dieser Methode wird häufig auch in der Mittelstufe Gebrauch gemacht. So wird häufig zunächst von Kräften ausgegangen, die auf ein hängendes Massestück wirken, oder auf die Hebelgesetze eingegangen. Dieser Ansatz birgt jedoch Nachteile. Zum Einen stellen die vollständigen Kräftebilanzen bei statischen Aufgabenstellungen meist eine Überforderung der Schüler dar, zum Anderen kann die Statik als Spezialfall der Dynamik angesehen werden, wobei sich die Problematik ergibt, dass ausgehend von der Statik nicht auf die Dynamik gefolgert werden kann. Weiterhin geht die ursprüngliche Definition der Kraft von einem dynamischen Ansatz aus, nämlich der Änderung des Impulses in einer Zeitdifferenz. Da eine statische Herangehensweise diesen Aspekt jedoch bewusst ignoriert, kann dies dazu führen, dass bei Schülern die in 2.2 unter Punkt a) beschriebene Fehlvorstellung induziert bzw. unterstützt wird.

Messung von Kräften

Diese Herangehensweise wird oftmals mit dem zuvor beschriebenen Ansatz kombiniert. Für die Messung von Kräften mit einfachen, z. T. selbst gebauten Kraftmessern spricht, dass dies ohne viel Aufwand als Schülerexperiment durchgeführt werden kann, die Schüler so die Kraft als Messgröße kennenlernen und sich in der Messtechnik üben können. Dieser Einsieg geht jedoch auch vom zuvor beschriebenen statischen Kraftbegriff aus; Fundament ist ein am Kraftmesser nach unten hängendes Massestück. Neben der oben genannten Fehlvorstellung birgt dieser Ansatz jedoch zusätzlich die Gefahr der Verfestigung weiterer fehlerhafter Alltagsvorstellungen. Da dieser Grenzfall des dynamischen Kraftbegriffs sowohl den Blick auf das Wechselwirkungsprinzip als auch auf die Kraftwirkung als Bewegungsänderung verstellt, besteht die Gefahr dass sich die in Kapitel 2.2 unter den Punkten b) (Kraft geht allein von einem Körper aus), c) (Ruhe ist fundamental anders als $v=0$) und d) (Kräfte wirken bei Ruhezuständen nicht) dargestellten Fehlvorstellungen verfestigen. Hieraus folgt, dass der

Zusammenhang zwischen statischem und dynamischem Kraftbegriff von den Schülern nur schwer hergestellt werden kann.

Muskelkraft

Es erscheint nahe liegend, den Kraftbegriff über die Muskelkraft einzuführen. Schließlich ist in diesem Zusammenhang das Wort „Kraft“ gebräuchlich und den Schülern bekannt. Es scheint daher ein vielversprechender Ansatz zu sein, diese bei den Schülern vorhandene Vorstellung aufzugreifen und zu dem physikalischen Kraftbegriff weiterzuentwickeln. Auch den in 2.2 Punkt a) und d) beschriebenen Fehlvorstellungen kann leicht vorgebeugt werden, da entsprechende Beispiele gefunden werden können. Die Schüler können beispielsweise erkennen, dass beim Halten eines Expanders Kraft aufgewendet wird, ohne dass eine Bewegung stattfindet. Auch die Zeitspanne, über die die Kraft wirkt, ist entscheidend, schließlich kann der Expander nur für eine bestimmte Zeit gehalten werden. Des Weiteren bietet sich auch hier die Möglichkeit für eine experimentelle Herangehensweise. Allerdings finden durch diesen Ansatz die in 2.2 unter den Punkten b) e) und f) genannten Fehlvorstellungen neuen Nährboden.

Aus dieser kurzen Auflistung möglicher Ansätze kann die Schlussfolgerung getroffen werden, dass die bisher genannten Unterrichtsansätze sich als wenig sinnvoll für einen Einstieg in die Oberstufenphysik erweisen, da sie die beschriebenen Fehlvorstellungen fördern und produzieren. Es erscheint daher notwendig auf die statische Einführung des Kraftbegriffs zu verzichten und einen dynamischen Ansatz zu wählen.

Einstieg über das Trägheitsprinzip

Der oben gestellten Forderung scheint der Einstieg über das Trägheitsgesetz gerecht zu werden. Mit einfachen Versuchen können die Schüler die Auswirkungen der Trägheit erfahren und in Verbindung mit dem ersten newtonschen Axiom (alle Körper sind träge) scheinen wichtige Eigenschaften von Kräften erfasst zu sein. Zudem werden in diesem Ansatz viele bedeutende Alltagsvorstellungen einbezogen. Allerdings verleitet das Trägheitsprinzip zu einer besonders hartnäckigen Alltagsvorstellung (Kapitel 2.2 Punkt e)). Mit

dieser Fehlvorstellung werden wiederum die in Kapitel 2.2 unter Punkt g) und h) und b) beschriebenen Vorstellungen gefördert.

Die genannten Punkte sprechen nicht gegen einen Einstieg über das erste newtonsche Axiom, allerdings ist die Akzentuierung entscheidend. Der Schwerpunkt darf nicht auf die Körpereigenschaft „Trägheit“ gelegt werden, sondern sollte viel mehr entsprechend der ursprünglichen Formulierung Newtons auf der Beibehaltung des Bewegungszustandes eines Körpers liegen. Damit dies gelingen kann, sollte vor dem Kraftbegriff der Impulsbegriff eingeführt werden.

Einstieg über den Impuls

Obwohl der Impuls in Jahrgangsstufe 11 in vielen Rahmenrichtlinien nur ein Wahlthema ist, erscheint es nach den obigen Ausführungen als sinnvoll den Impulsbegriff vor dem Kraftbegriff einzuführen. Ein Ansatz besteht darin, den im Alltag gebräuchlichen Begriff „Schwung“ zum physikalischen Begriff „Impuls“ weiterzuentwickeln. Damit wird auch der unter Punkt i) (Kapitel 2.2) genannten Alltagsvorstellung entgegengewirkt, da offensichtlich ein Körper, der einen Impuls hat „etwas“ verlieren oder übertragen kann, so dass die zunächst falsche Vorstellung, die von der Kraft ausging, in die physikalisch korrekte Vorstellung, die sich nun auf den Impuls bezieht, überführt werden kann. Durch die mengenartige Charakterisierung des Impulses, der zu- oder abnehmen kann, wird zugleich der unter Punkt j) dargestellten Alltagsvorstellung (Kapitel 2.2) begegnet.

Historisierender Ansatz

In diesem Zusammenhang böte sich ein Einstieg über einen historisierenden Unterrichtsgang an. Anhand von historischen Texten könnten die Schüler historische Fehlvorstellungen (Punkte e) und i)) herausarbeiten und diesen so begegnen. Allerdings wird dabei die wichtigste Fehlvorstellung, die häufig auch als aristotelische Sicht bezeichnet wird (Punkte k) (Kraft ist der Geschwindigkeit proportional) und l) (Kraft und Energie werden synonym gebraucht) aufgegriffen.

Um diesen Vorstellungen vorzubeugen sollte der Impulsbegriff im Zusammenhang mit der Beibehaltung des Impulses bzw. der Impulsänderung unterrichtet werden.

Problematischer Beschleunigungsbegriff

Durch die Forderung die Kraft dynamisch einzuführen, kann die Grundgleichung der Mechanik ($F=m \cdot a$) zur Definition der Kraft verwendet werden. Die Kraft wird damit als Ursache für eine Bewegungsänderung also als Ursache einer Beschleunigung eingeführt. Daraus ergibt sich die Frage nach der Wirkung der Kraft, die mit einer Änderung des Impulses in einem bestimmten Zeitintervall beantwortet werden kann. Ein Vorteil des Ansatzes liegt darin, dass mit der Frage nach der Wirkung einer Kraft das Wechselwirkungsprinzip ins Blickfeld rückt, da durch diese Frage die Frage nach dem Verursacher von Kraft und Gegenkraft gestellt werden kann und somit der in Kapitel 2.2 (Punkt b)) beschriebenen Fehlvorstellung begegnet werden kann. Gegen dieses Vorgehen spricht jedoch, dass der Begriff der Beschleunigung für Schüler und Schülerinnen schwer zu fassen ist und häufig mit zwei weiteren Fehlvorstellungen in Verbindung gebracht wird (Kapitel 2.2 Punkte m): Beschleunigung wird zwiespältig gedacht und n): wird ein Körper schneller, wächst auch seine Beschleunigung). Außerdem ist die Beschleunigung eine schwer zugängliche Messgröße, was den Zugang zusätzlich erschwert.

Daher kann man zu dem Schluss gelangen die Kraftwirkung zunächst nicht als Beschleunigung sondern als Impulsänderung pro Zeit einzuführen.

Kraft als Impulsänderungsrate

Da es sich anbietet den Begriff der Beschleunigung zunächst zu vermeiden, wird die Grundgleichung in der Form $\vec{F} = \Delta \vec{p} / \Delta t$ verwandt. Demzufolge bietet sich folgender Einstieg an:

- Der „Schwung“ heißt Impuls
- Der Impuls bleibt erhalten, wenn die Reibung zu vernachlässigen ist
- Der Impuls ändert sich, wenn eine Kraft wirkt.

Diese Reihenfolge wird sowohl der Forderung gerecht den Impuls als Grundlage zu wählen, als auch der Forderung Impulserhaltung und

Impulsänderung in den Vordergrund zu stellen. In der Erfahrungswelt der Schüler sind alle Bewegungen reibungsbehaftet, dieses Thema muss daher eigens thematisiert werden. Anschließend kann eine idealisierte, reibungsfreie Bewegung, bei der der Impuls erhalten bleibt, verstanden werden. Dies sind die Grundlagen für die newtonschen Gesetze (Kraus, 2005, S. 4ff).

3 Fragestellungen der Arbeit

Im Wesentlichen soll in der vorliegenden Arbeit drei Fragestellungen nachgegangen werden. Zum einen soll überprüft werden, ob die thematische Vorgehensweise für das Verständnis der Schüler förderlich ist, oder ob der Lernprozess durch das gewählte Vorgehen behindert wird. Zum anderen ist es Ziel der Arbeit, herauszufinden, ob Schüler durch die gewählte Methode, der Bearbeitung von Aufgabenkarten in Gruppenarbeit, angesprochen bzw. motiviert werden können. Schließlich sollen die von Kraus (2005, S. 8ff). vorgeschlagenen Aufgabenkarten zur Unterrichtssequenz, die der Arbeit zu Grunde liegen, auf Stärken und Schwächen überprüft werden und gegebenenfalls Verbesserungsmöglichkeiten diskutiert werden.

3.1 Birgt die thematische Vorgehensweise in der vorgestellten Unterrichtssequenz Vorteile?

In der Arbeit soll der Frage nachgegangen werden, ob der Ansatz, zuerst den Impuls, dann das erste newtonsche Axiom und schließlich die Kraft einzuführen, das Verständnis und den Lernerfolg der Schüler positiv beeinflussen. Diese Frage kann in der vorliegenden Arbeit sicherlich nur ansatzweise behandelt werden, da sich eventuell vorhandene positive oder negative Effekte der Vorgehensweise erst im späteren Unterrichtsverlauf in größerem Maße bemerkbar machen dürften. Außerdem liegen keine Vergleichsdaten von Klassen vor, die nach der herkömmlichen Reihenfolge vorgegangen sind.

3.2 Birgt die Vorgehensweise anhand von Aufgabenserien Vorteile?

Viele Schüler verlieren im Laufe ihrer Schullaufbahn das Interesse am Fach Physik. Dies ist insbesondere daran zu erkennen, dass ein relativ großer Prozentsatz der Schüler die Möglichkeit nutzt das Fach Physik nach der

Jahrgangsstufe 11 abzuwählen. In der Arbeit soll der Frage nachgegangen werden, ob das anfangs in der Mittelstufe zunächst vorhandene und dann abnehmende Interesse der Schüler für das Fach Physik mittels der Methode der Aufgabenkarten sowie durch den schülerorientierten und experimentbetonten Unterricht geweckt werden kann und positives Erleben im Physikunterricht ermöglicht. Des Weiteren soll untersucht werden, ob und in wie weit diese Methode den Lernerfolg der Schüler fördert und unterstützt.

3.3 Optimierung der Unterrichtssequenz

Im Verlauf des Unterrichts soll getestet werden, ob die Schüler beim Bearbeiten der Aufgabenkarten die einzelnen Unterrichtsziele erreichen. An Stellen, an denen dies nicht der Fall ist oder sich Schwierigkeiten ergeben soll versucht werden Alternativen und Verbesserungsmöglichkeiten aufzuzeigen und zu finden.

4 Darstellung des Unterrichtsganges

In der vorliegenden Arbeit wurde ein Unterrichtsentwurf von Kraus (2005, S. 8ff) getestet (die genaue Beschreibung findet sich in Kapitel 4.4). Hierbei wird anhand von Aufgabenserien das erste Newtonsche Axiom erarbeitet. Es wird hierzu ein Zugang über den Impuls gewählt.

4.1 Physikalischer Hintergrund

4.1.1 Sir Isaac Newton

Sir Isaac Newton wurde am 4. Januar 1643 in Woolsthorpe-by-Closterworth in England geboren und verstarb am 31. März 1727 in Kensington. Er war Physiker, Mathematiker, Astronom, Alchemist, Philosoph und Verwaltungsbeamter.

Im Jahr 1669 wurde er am Trinity College in Cambridge Inhaber des Lukasischen Lehrstuhls für Mathematik. 1699 wurde Newton Wardein (Beamter, dem die Kontrolle des Münzmeisters, des Prägegutes und seiner Qualität der Legierung und des Gewichts oblag (Wikipedia, 2007)) der Königlichen Münze in London. Damit war seine Karriere als schöpferischer Wissenschaftler faktisch beendet. 1701 trat er von seinen Pflichten als Professor in Cambridge zurück.

Seine größten wissenschaftlichen Betätigungsfelder stellten die Infinitesimalrechnung, die Theorie des Lichts sowie die Gravitationstheorie dar. Im Bereich der Optik entwickelte er ein Spiegelteleskop, den nach ihm benannten Newton-Reflektor, zerlegte das Licht in seine Spektralfarben, begründete die Emissionstheorie des Lichts und beschäftigte sich mit Phänomenen der Interferenz. Auf mathematischem Gebiet sind die

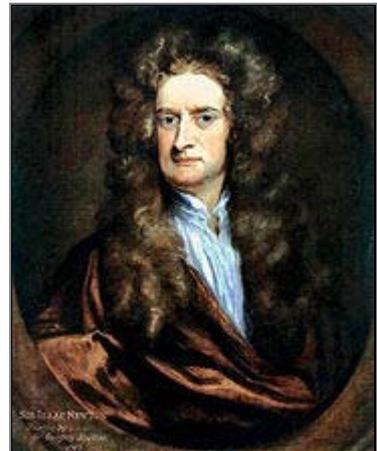


Abb. 4.1: Isaac Newton (Godfrey Kneller, National Portrait Gallery London, 1702) (aus: Wikipedeia, 2007)

Differentialrechnung, die Entwicklung des binomischen Lehrsatzes und der Binomialverteilung zu erwähnen.

Sein für die Physikalische und astronomische Forschung einflussreichstes Werk sind die 1687 erschienenen „Philosophiae naturalis principia mathematica“. Neben vielen anderen behandelten Fragen werden in ihnen die Keplerschen Gesetze aus dem Newtonschen Gravitationsgesetz hergeleitet und zusammen mit den Newtonschen Axiomen der Mechanik zu der Grundlage der klassischen theoretischen Physik und der Himmelsmechanik ausgebaut.

Seine große Bedeutung im Bereich der Mathematik und Physik kommt auch dadurch zum Ausdruck, dass er in vielen Bereichen Namensgeber für wichtige Verfahren, Größen und Gesetze war. So sind beispielsweise das Newtonsche Näherungsverfahren und die Newton-Cotes-Formeln in der Mathematik, die SI-Einheit der physikalischen Größe der Kraft (Newton), die Newtonschen Axiome sowie der Asteroid Newtonia und ein Mondkrater nach ihm benannt. Zwischen 1978 und 1984 zierte sein Porträt sogar die englische 1-Pfund-Note. (Wikipedia, 2007; DTV, 1997)

4.1.2 Newtonsche Axiome

In seinem berühmten Werk „Philosophiae Naturalis Principia Mathematica“ (Mathematische Prinzipien der Naturphilosophie), das 1687 erschien, formuliert Isaac Newton drei Grundsätze (Axiome) der Bewegung, die als newtonsche Axiome, Grundgesetze der Bewegung, newtonsche Prinzipien oder auch newtonsche Gesetze bekannt sind. Die Gesetze, die in Newtons Werk auch mit Lex prima, Lex secunda und Lex tertia bezeichnet werden, bilden das Fundament der klassischen Mechanik.

Erstes newtonsches Axiom: Das Trägheitsprinzip („lex prima“)

Das Trägheitsprinzip gilt nur in Inertialsystemen und wurde zuerst 1638 von Galileo Galilei aufgestellt, weshalb es auch als Galileisches Trägheitsprinzip bezeichnet wird:

Ursache der Beschleunigung eines Körpers ist eine auf ihn einwirkende Kraft, d.h., jeder Körper verharrt im Zustand der Ruhe oder der gleichförmigen, geradlinigen Bewegung, solange keine Kräfte auf ihn

einwirken. (Fachredaktion für Naturwissenschaften und Technik des Bibliographischen Instituts, 1973, S. 589f.)

Unter den oben genannten Voraussetzungen ist also die Geschwindigkeit in Betrag und Richtung konstant. Änderungen des Bewegungszustandes können daher nur durch Krafteinwirkungen von außen erreicht werden.

In der klassischen Mechanik entspricht das erste newtonsche Axiom den Gleichgewichtsbedingungen.

Zweites newtonsches Axiom: Das Aktionsprinzip („lex secunda“)

Das zweite Axiom wird auch als Grundgesetz der Dynamik bezeichnet:

Die zeitliche Änderung des Impulses ist gleich der wirkenden Kraft und erfolgt in Richtung dieser Kraft. (Bayer, Bredthauer, Bruns, et al., 2000, S. 45)

Ist die Masse konstant, so folgt aus diesem Axiom direkt die Gleichung

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} .$$

Drittes newtonsches Axiom: Das Reaktionsprinzip („lex tertia“)

Das dritte newtonsche Axiom wird auch als Wechselwirkungsprinzip bezeichnet:

Kräfte treten immer paarweise auf. Übt ein Körper A auf einen anderen Körper B eine Kraft aus (actio), so wirkt eine gleichgroße, aber entgegengerichtete Kraft von Körper B auf Körper A (reactio). (Wikipedia, 2007)

Als Kurzbezeichnung für das dritte newtonsche Axiom wird oft der lateinische Ausdruck „actio est reactio“ gebraucht.

4.1.3 Impuls

Allgemein gefasst bezeichnet der Impuls die kurzzeitige Wirkung einer physikalischen Größe bzw. ihre kurzzeitige Abweichung von einem Normal- Soll- oder Grundwert (z. B. Strahlungsimpuls, Stromimpuls, Spannungsimpuls) (Fachredaktion für Naturwissenschaften und Technik des Bibliographischen Instituts, 1973, S. 410).

Der Impuls In der Dynamik bezeichnet der Impuls ist eine vektorielle Größe und berechnet sich aus $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$. Die Einheit des Impulses ist $1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$.

In der klassischen Mechanik spielt der Impuls als Erhaltungsgröße eine wichtige Rolle, aber auch in Relativitätstheorie und Quantenmechanik (Unschärferelation) spielt der Impuls eine wichtige Rolle.

4.2 Stellung im Lehrplan, Bedeutung in der Schulphysik

Laut aktuellem Lehrplan des hessischen Kultusministeriums für Physik in der gymnasialen Oberstufe (Hessisches Kultusministerium, 2007) zählen sowohl die newtonschen Axiome als auch der Impuls (insbesondere in seiner Rolle als Erhaltungsgröße) zu den verbindlichen Unterrichtsinhalten in der Jahrgangsstufe 11 (Lehrplan zum 9jährigen Gymnasium). Dabei kommt der mathematischen Beschreibung vektorieller Größen wie dem Impuls besondere Bedeutung zu.

Die Grundlagen für diese Lernziele werden bereits in dem Physikunterricht der Sekundarstufe I gelegt: Für die Jahrgangsstufe 7 schreibt der Lehrplan beispielsweise die umfassende Behandlung von Bewegungen und Kräften vor. Auch der Impuls spielt in der Wärmelehre bereits eine Rolle (kinetische Temperaturdeutung, Brownsche Bewegung, Billardkugelmodell), wenn auch der Begriff „Impuls“ hier noch nicht gebraucht wird. Weiterhin wird in Klasse 7 bereits der Kraftbegriff erarbeitet sowie das Themenfeld Bewegungen behandelt. Dabei wird zwischen gleichförmiger und beschleunigter Bewegung unterschieden, der Begriff der Geschwindigkeit eingeführt und diese anschaulich anhand von Weg-Zeit-Diagrammen behandelt. Auf Kräfte wird in Klasse 7 zunächst am Beispiel von Magneten eingegangen, so dass in der vorliegenden Unterrichtseinheit darauf zurückgegriffen werden kann. Weiterhin werden Kräfte, deren Wirkungen sowie deren Eigenschaften besprochen. Ebenfalls wird auf das Thema Reibung eingegangen. In Jahrgangsstufe 10 werden die bereits erworbenen Kenntnisse des in Jahrgangsstufe 7 nur phänomenologisch vermittelten Stoffs vertieft und

strukturiert. Des Weiteren werden in der Physik typische Arbeitsmethoden eingeführt und angewendet. Inhaltlich werden kraftverstärkende Werkzeuge (z.B. Hebel) behandelt, sowie der Einsatz von Rädern und Rollen zur Kraftersparnis (z.B. Flaschenzug).

Die behandelten Themen in der in dieser Arbeit beschriebenen Unterrichtssequenz bilden ein wichtiges Fundament für den weiteren Physikunterricht in der Oberstufe. In Klassenstufe 11 wird noch einmal beim Behandeln der Kreisbewegungen auf dieses Thema zurückgegriffen, wobei der Drehimpuls zu den fakultativen Unterrichtsinhalten zählt. In Klasse 12 wird schließlich im Rahmen der Behandlung von mechanischen Schwingungen und Wellen auf die erworbenen Kenntnisse zurückgegriffen. Des Weiteren wird auf Bewegungen im elektrischen Feld sowie auf elektromagnetische Kräfte eingegangen. In Jahrgangsstufe 13 werden schließlich die Grenzen der klassischen Mechanik erarbeitet, indem auf Quantenphänomene und die Relativitätstheorie eingegangen wird. Allerdings handelt es sich hierbei teilweise um fakultative oder nur im Leistungskurs behandelte Themen.

4.3 Übliche Vorgehensweise im Unterricht

Typischerweise wird im Physikunterricht der Jahrgangsstufe 11 zuerst auf die Kraft eingegangen bevor der Impuls behandelt wird. Diese Vorgehensweise wird auch durch zahlreiche weit verbreitete Schulbücher unterstützt. Hierzu zählen beispielsweise die Bücher „Dorn-Bader Physik Oberstufe MS“ (Bader & Dorn, 1999), „Oberstufe Physik Ausgabe B Band 1“ (Boysen, Heise, Lichtenberger et al., 2000) sowie „Physik Band II 1. Teil: Klasse 11“ (Kuhn, 1994). Eines der wenigen Bücher, die den Impuls vor der Kraft einführen ist „Impulse Physik 2 Ausgabe B – Klasse 11“ (Bayer, Bredthauer, Bruns et al., 2000).

4.4 Durchführung der Unterrichtssequenz

Die Grundlage für die durchgeführte Unterrichtssequenz entstammt einem Entwurf von Kraus (2005, S. 8ff.).

4.4.1 Allgemeine Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

Der Unterricht fand in zwei Klassen statt. Der zeitliche Rahmen erstreckte sich pro Klasse über vier Termine in vier Wochen mit jeweils einer Doppelstunde, wobei in der vierten Doppelstunde nur die erste Hälfte genutzt wurde. Dabei lag jeweils zwischen dem ersten und zweiten Termin die Klassenarbeit und zwischen dem dritten und vierten Termin eine durch Krankheit der unterrichtenden Physiklehrerin bedingte Ausfallstunde.

Nach der Vorstellung und einer kurzen Einführung zum Thema und zur Arbeitsmethode in der ersten Doppelstunde füllten die Schüler einen Fragebogen zum Interesse an Physik aus (siehe Anhang 4 bis 6). Die Klasse wurde in sechs Arbeitsgruppen mit jeweils drei bis vier Schülern unterteilt, wobei die Schüler die Gruppen selbst einteilen durften. Jede Gruppe bekam einen Satz mit den zu bearbeitenden Karten der ersten Serie, wobei sich die Schüler jeweils nach dem Beenden einer Serie die nächste Kartenserie abholen konnten. Vor die erste Kartenserie war ein Blatt geheftet, auf dem die wichtigsten Hinweise zum Bearbeiten der Karten noch einmal festgehalten waren (Anhang 1).

In jeder Kartenserie fanden die Schüler einmal die Anweisung einen Fragebogen zu der zuletzt bearbeiteten Karte auszufüllen (siehe Anhang 7 bis 13). Des Weiteren war ein Fragebogen nach Beenden der letzten Kartenserie (Anhang 14 bis 17) auszufüllen, in dem die Schüler Angaben dazu machen sollten, wie sie den vergangenen Unterricht empfunden haben. Außerdem waren in diesem Fragebogen drei Aufgaben zu beantworten, die einen Überblick darüber geben sollten, inwiefern die Lernziele erreicht wurden. Die Auswertungen zu den Fragebögen finden sich in Kapitel 6.1.

Zwischen den einzelnen Aufgabenserien wurde bewusst auf gemeinsame Unterrichtsphasen verzichtet. Zwar ist es sicherlich von großem Vorteil, die Ergebnisse zeitnah in der Klasse zu sammeln und zu besprechen, jedoch dürfte

es aufgrund des unterschiedlichen Arbeitstempos der Gruppen nur schwer möglich sein, dass alle Schüler nahezu zeitgleich eine Kartenserie beenden. Daher wurde als Alternative das Vorgehen gewählt, dass die Schüler in jeder Stunde pro Gruppe ein Exemplar ihrer Aufzeichnungen abgeben. Die Ergebnisse der Schüler konnten so bis zur nächsten Stunde durchgesehen und korrigiert werden. In der nächsten Stunde wurden die Abgaben dann während der Arbeitsphase mit den einzelnen Gruppen durchgesprochen und gegebenenfalls bei auftretenden Schwierigkeiten erklärend eingegriffen. In Kapitel 7 findet sich eine rückblickende Betrachtung dieses Ansatzes.

Die vierte Doppelstunde stand nicht komplett für die Unterrichtssequenz zur Verfügung. In den ersten Minuten konnten die Schüler die fünfte Aufgabenserie abschließen, soweit dies noch nicht geschehen war und im Anschluss den abschließenden Fragebogen ausfüllen. Anschließend bekamen die Schüler den Auftrag noch einmal ihre Aufzeichnungen durchzugehen und herauszufinden welche Erkenntnisse jeweils im Mittelpunkt der einzelnen Kartenserien standen. Im anschließenden etwa 30minütigen Unterrichtsgespräch wurden die Ergebnisse zusammengetragen, wobei besonders noch einmal auf die Aufgaben eingegangen wurde, welche den Schülern im Unterricht Schwierigkeiten bereitet hatten. Besonders detailliert wurden die Ergebnisse der letzten Karten der fünften Aufgabenserie besprochen, da hierzu nicht mehr die Notizen der Schüler eingesammelt und kontrolliert wurden. Die gesammelten Ergebnisse wurden in einem Tafelbild festgehalten, das gleichermaßen der Wiederholung als auch der Ergebnissicherung für den weiteren Unterricht nach den Weihnachtsferien dient. Anschließend wurden die Schüler noch kurz zu ihrer Meinung bzgl. der Unterrichtseinheit befragt. Die verbleibende Zeit wurden zur Rückgabe und zur Besprechung der Klassenarbeit genutzt. Eine tabellarische Übersicht über den geplanten Unterrichtsverlauf findet sich in Kapitel 5.2.

4.4.2 Erläuterungen zu den Aufgabenkarten

4.4.2.1 Erste Kartenserie

In der ersten Kartenserie sollen die Schüler die Abhängigkeit des Impulses von Masse und Geschwindigkeit erkennen. Dabei wird zunächst mit den aus der Alltagssprache bekannten Begriffen „Schwung“ bzw. „Wucht“ gearbeitet, bevor der Begriff „Impuls“ als wissenschaftliche Bezeichnung eingeführt wird. De Weiteren lernen die Schüler die Definition und die Einheit des Impulses kennen und lösen erste einfache Aufgaben in denen der Impuls zu berechnen ist.

Karte 1.1

Ein Partner schiebt das Skateboard an, der gegenüberstehende Partner stoppt es.

Dann setzt!! sich eine dritte Person auf das Skateboard und der Schiebeversuch wird wiederholt. Beschreibt die Beobachtung desjenigen, der das Skateboard stoppt, in eigenen Worten.

Lernziel der Karte 1.1 ist es ein Gefühl für den Schwung zu bekommen und erste Erfahrungen und Beobachtungen im Umgang mit dieser Größe zu sammeln. Die Schüler sollen erfahren, dass das Skateboard mit einer weiteren Person schwerer zu stoppen ist bzw. mehr Schwung hat. Zusammen mit den Ergebnissen



Abb. 4.2: Stoppversuche mit dem Skateboard.

der weiter durchzuführenden Experimente sollen die Schüler rückblickend auf diese Karte die Abhängigkeit des Schwungs von der Masse erkennen.

Anmerkung: In der in Kraus (2005, S. 8ff.) vorgeschlagenen Unterrichtssequenz wurden an dieser Stelle Experimentierwagen bzw. Laborstühle verwendet. Im Rahmen dieser Arbeit wurde auf Skateboards, bzw.

aus dem Fachbereich Sport entliehene Rollbretter ausgewichen, da die vorhandenen Experimentierwagen nicht stabil genug schienen um das Gewicht eines Schülers sicher zu tragen und entsprechende rollbare Stühle nicht an der Schule vorhanden sind. Aus Sicherheitsaspekten wurde die Schüler darauf hingewiesen die Skateboards bzw. Rollbretter nur sitzend zu benutzen. Da nur drei Skateboards und Rollbretter für sechs Schülergruppen zur Verfügung standen, wurden die Schüler darauf hingewiesen, dass alternativ die Karten 1.2 bis 1.4 vor der Karte 1.2 bearbeitet werden können.

Karte 1.2

Stellt euch im Abstand von 1,0m auf und werft euch einen Volleyball zu. Werft dabei möglichst waagrecht, also keinen Bogen. Vergrößert nun den Abstand zueinander (bis zu 3m) und wiederholt den Wurfvorgang.
Untersucht, ob sich der Schwung des Volleyballs ändert.

Auch bei dieser Karte geht es darum grundsätzliche Erfahrungen zu sammeln und eine Vorstellung des Begriffs „Schwung“ zu entwickeln. Die Schüler sollen erkennen, dass mit zunehmender Entfernung der „Kraftaufwand“ für den Werfer steigt (da der Ball sonst nicht beim Fänger ankommt). Der Fänger muss also einen größeren „Schwung erzeugen“. Im späteren Unterrichtsverlauf wird dieser zunächst qualitative Begriff des „Kraftaufwandes“ zum physikalischen Begriff der „Kraft“ präzisiert.

Karte 1.3

Werft euch im Abstand von 1,0m zueinander (vorsichtig!) einen Medizinball zu. Werft möglichst waagrecht.
Vergleicht den Schwung/die Wucht des geworfenen Medizinballs mit dem Schwung des Volleyballs.

Die Schüler sollen erkennen, dass die Wucht des Medizinballs im Vergleich zum Volleyball größer ist.

Karte 1.4

Verändert den Abstand zueinander langsam in 20cm-Schritten (knapp eine Schuhlänge) bis zu 2m, also 10 Würfe. Werft euch erneut (möglichst waagrecht) den Medizinball zu und untersucht, bei welchem Wurf der Ball den größten Schwung erhält.

Bringt im Anschluss an den Versuch das Versuchsmaterial zurück.

Mit der Entfernung steigt wie in Karte 1.2 der Kraftaufwand für den Werfer (er muss fester werfen, da der Ball sonst nicht beim Fänger ankommen würde). Dadurch nimmt auch der Schwung des Balls zu. Der Effekt ist hier deutlicher zu erkennen als beim Volleyball (Karte 1.2), da der Schwung durch die größere Masse stärker zunimmt.

Bei den Karten 1.2 bis 1.4 sind evtl. Schwierigkeiten zu erwarten, da die Schüler zu viele Faktoren bei den Wurfexperimenten gleichzeitig ändern, die

das Ergebnis der Beobachtungen unterschiedlich beeinflussen können. So müssen die Schüler bei steigender Entfernung

gleichzeitig die Kraft beim Abwurf erhöhen um die Flugbahn einigermaßen waagrecht zu halten. Hinzu kommt, dass sich der Impuls während des Fluges ändert. Es ist daher zu erwarten, dass die Schüler die Beobachtungen nur schwer in Worte fassen können und teilweise sogar unterschiedliche Beobachtungen zu der Änderung des Schwungs notieren, für die sich auch Begründungen finden lassen. Da es bei der Bearbeitung der Karten an dieser Stelle aber eher auf die qualitativen Erkenntnisse ankommt, welche die Schüler gewinnen, ist vielmehr entscheidend, dass die Schüler eine schlüssige Begründung für ihre Beobachtungen finden, die zwischen den Schülergruppen durchaus variieren kann. Denkbar wären beispielsweise folgende Begründungen: „Der Schwung nimmt mit steigender Entfernung ab, da der Ball auf seinem längeren Weg stärker abgebremst wird“ oder „Der Schwung



Abb. 4.3: Wurfexperimente mit dem Medizinball

nimmt mit steigender Entfernung zu, da der Ball mit höherer Kraft geworfen werden muss um die annähernd waagrechte Flugbahn zu erreichen“.

In Verbindung mit Karte 1.12 kann rückblickend darauf eingegangen werden, dass durch den erhöhten Kraftaufwand die Anfangsgeschwindigkeit erhöht wird und der Schwung dadurch zunimmt. Als problematisch ist bei den Wurfexperimenten der Karten 1.2 bis 1.4 anzusehen, dass oftmals mehrere Größen gleichzeitig verändert werden (Masse und Geschwindigkeit). Dies dürfte insbesondere damit zusammenhängen, dass die Schüler die Geschwindigkeit nur schwer kontrollieren können. Ebenfalls problematisch ist, dass sich der Impuls während des Wurfes ändert, was für die Schüler schwer zu erfassen sein dürfte.

Karte 1.5

Gedankenexperiment: Zwei gleich schnelle Radfahrer kommen dir auf dem Radweg entgegen. Das eine ist ein Rennrad, das andere ein voll gepacktes Postfahrrad. Du willst ein Rad stoppen, indem du es am Lenker festhältst. Welches Rad ist schwerer zu stoppen?

Nachdem die Schüler in den vorherigen Experimenten den Einfluss der Masse auf den Impuls erkannt haben, sollten Sie hier zuweisen, dass das schwerere Rad schwerer zu stoppen ist.

Karte 1.6

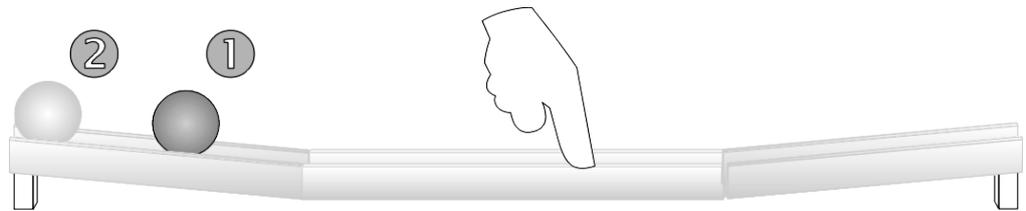
Zusatz:
Erweitert das vorhergehende Gedankenexperiment: Zwei Radfahrer kommen dir auf dem Radweg entgegen. Das eine ist ein Rennrad, das andere ein voll gepacktes Postfahrrad. Unter welchen Voraussetzungen sind diese beiden Fahrräder gleich schwer zu stoppen?

Die Schüler sollen beim Bearbeiten dieser Karte intuitiv zu der Erkenntnis gelangen, dass die Geschwindigkeit ebenfalls einen Einfluss auf den Schwung hat (sofern sie diese Erkenntnis noch nicht bei den Ballexperimenten gewonnen haben). Sie sollten daher erkennen, dass der Masseunterschied durch einen Geschwindigkeitsunterschied ausgeglichen werden kann und daher das

leichtere Rennrad entsprechend schneller fahren muss als das Postfahrrad, um den gleichen Schwung zu besitzen.

Karte 1.7

Legt auf die Galilei-Rinne eine große Metallkugel ① auf halbe Höhe und ② auf volle Höhe und lasst sie jeweils rollen. Einer stoppt die Bewegung der Kugel auf dem ebenen Stück mit der Hand; sie/er sollte dabei wegsehen, so dass man nicht weiß, aus welcher Höhe die Kugel losgelassen wird. Beschreibt den Unterschied.



Überlegt, wie Höhe und Geschwindigkeit zusammenhängen.
(Behaltet die Materialien auf dem Tisch.)

Damit die Schüler den Unterschied zwischen den Kugeln feststellen können, sollte eine möglichst große Metallkugel verwendet werden. Insbesondere mit den Erkenntnissen, welche die Schüler im vorausgegangenen Unterricht (beschleunigte Bewegungen) gesammelt haben, sollte ihnen bewusst sein, dass der stärkere „Schlag“ der höher startenden Kugel von der größeren Geschwindigkeit herrührt, die diese erlangt.



Abb. 4.4: Stoppversuche mit der Galilei-Rinne

Karte 1.8

Legt einen Gummistopfen (Radiergummi) auf die Bahn, so dass dieser durch die Kugel (kleine Metallkugel) weggeschoben wird.

Untersucht den Schwung der Kugel, wenn die Kugel ① auf halber Höhe bzw. ② auf voller Höhe den Stopfen wegschiebt.

Die Schüler sollten in dieser Karte erkennen, dass der Schwung der oben startenden Kugel größer ist. Die Strecke, über die der Radiergummi geschoben wird, fungiert gewissermaßen als Messgröße für den Schwung. Quantitative Messungen können mit dieser Methode natürlich nicht vorgenommen werden. Als Gummistopfen kann ein Radiergummi verwendet werden. Je nach Radiergummi bzw. Größe der Metallkugel ist zu erwarten, dass der Effekt sehr gering ausfällt. In diesem Fall kann auch eine Stiftkappe oder eines der Holzklötzchen verwendet werden, welche später in der zweiten Kartenserie noch als Unterlegklötzchen Verwendung finden.

Karte 1.9

Tauscht die Metallkugel gegen eine Glaskugel aus.
Untersucht erneut, wie die Kugel den Gummistopfen wegschiebt.
Welchen Einfluss nimmt die Masse auf den Schwung?

Die Schüler sollten im Versuch feststellen, dass auch bei der Glaskugel die oben startende Kugel den Stopfen weiter verschiebt, allerdings nicht so weit wie die Metallkugel. Die in Bezug auf Karte 1.8 genannten Schwierigkeiten dürften sich aufgrund der geringeren Masse der Glaskugel noch verstärkt auswirken. Ein Ausweichen auf andere Materialien (Holzklötzchen, Stiftdeckel) wird daher vermutlich nötig sein. Beim Auftreten dieser Schwierigkeiten sollten daher den Schülern entsprechende Hinweise gegeben werden. Problematisch ist es allerdings, das Material nach Karte 1.8 zu wechseln, da dann die Vergleichbarkeit der beiden Versuche nicht mehr gegeben ist. Aus demselben Grund sollte eine Glaskugel verwendet werden, die in ihrer Größe etwa der in Karte 1.8 verwendeten Metallkugel entspricht.

Karte 1.10

Füllt jeder einen der ausgeteilten Fragebögen aus. Benutzt dabei euren Codenamen.

Siehe Kapitel 5.3.1

Karte 1.11

Zusatz:

Vergleicht noch einmal den Prozess, wenn die Metallkugel bzw. die Glaskugel jeweils den Gummistopfen wegschieben. Wie kann man es erreichen, dass beide Kugeln den Stopfen etwa in gleichem Maße wegschieben?

Analog zu dem Gedankenexperiment in Karte 1.6 sollen die Schüler erkennen, dass die fehlende Masse durch höhere Geschwindigkeit ausgeglichen werden kann um so denselben Schwung zu erreichen. Folglich muss die Metallkugel auf geringerer Höhe starten, um mit geringerer Geschwindigkeit auf den Gummistopfen zu treffen als die Glaskugel. So kann erreicht werden, dass der Gummistopfen als Indikator für die Größe des Schwungs von beiden Kugeln gleich weit geschoben wird.

Karte 1.12

Überlegt gemeinsam: Von welchen Größen hängt der Schwung ab? Geht die Experimente noch einmal durch:

1. Würfe mit Medizinball und Volleyball
2. Stoppversuche auf der Galilei-Rinne
3. Gedankenexperiment zum Postfahrrad

Notiert eure Überlegungen.

Rückblickend sollen die Schüler erkennen, welche Größen in den einzelnen Experimenten verändert wurden. Sie sollten zu dem Schluss gelangen, dass bei den Ballwürfen Masse (Medizin- oder Volleyball) bzw. Geschwindigkeit (höhere Anfangsgeschwindigkeit durch kräftigeren Abwurf bei größerer Entfernung) variiert wurden. Auch bei den Stoppversuchen wurden dieselben Größen verändert: die Masse durch Verwendung unterschiedlicher Materialien und die Geschwindigkeit durch unterschiedliche Starthöhen. Noch offensichtlicher zu erkennen sind die variierten Größen bei dem Gedankenexperiment mit Rennrad und Postfahrrad: sie sind dort direkt im Text genannt.

Wegen der bei Karte 1.4 genannten Schwierigkeiten ist es möglich, dass die Schüler bei Punkt 1 zu keinem eindeutigen Ergebnis kommen. Zu Punkt 2 und

3 sollten die Überlegungen den Schülern leichter fallen. Hier bietet sich gegebenenfalls unter Betrachtung der Punkte 2 und 3 noch einmal die Gelegenheit, mit den Schülern die Ergebnisse der Ballexperimente zu reflektieren und so auch in diesem Punkt die entsprechenden Größen zu erkennen.

Karte 1.13

INFO 1. Der Schwung heißt Impuls

Der „Schwung“, den man in vielen Bewegungen erkennt, wird in der Physik als **Impuls** bezeichnet. Er wird definiert als Masse mal Geschwindigkeit und hat das Formelzeichen p :

$$p = m \cdot v$$

Übernehmt die Information in eure Mappe und markiert sie farblich. Betrachtet noch einmal die Experimente an der Galilei-Rinne und überprüft, ob ihr m oder v (oder beide) verändert habt.

Bringt im Anschluss an den Versuch das Versuchsmaterial zurück.

In dieser Karte werden die gesammelten Erkenntnisse noch einmal zusammengefasst. Die Schüler sollen den umgangssprachlichen Begriff des „Schwungs“ durch den physikalischen Begriff des Impulses ersetzen. Durch die Reflexion, welche Größen in den Experimenten verändert wurden, sollen die Schüler die Abhängigkeit des Impulses von Masse und Geschwindigkeit (nochmals) erfassen und so nachvollziehen, wie die Formel für den Impuls zustande kommt.

Karte 1.14

Vergleiche rechnerisch den Impuls eines PKW (Masse: 1.200kg) bei 72km/h mit dem eines LKW (Masse: 40t) bei gleicher Geschwindigkeit.

Hinweis: Die Einheit des Impulses ist $1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$. Notiert die Aufgabe in euer Heft.

Die Schüler berechnen in dieser Aufgabe erstmalig den Impuls. Da die Formel bekannt ist und nicht umgestellt werden muss, sind keine größeren Probleme zu erwarten. Lediglich die Einheiten müssen noch umgerechnet werden, was aber Schülern der Klasse 11 in der Regel auch keine größeren Schwierigkeiten bereiten sollte und allenfalls zu Flüchtigkeitsfehlern führen dürfte. Durch die Berechnung des Impuls in den beiden typischen Beispielen, wie sie auch in der Alltagswelt der Schüler eine Bedeutung haben, gewinnen die Schüler zudem einen Eindruck über typische Größenordnungen des Impulses.

Karte 1.15

Zusatz:

Der Impuls des PKW beträgt laut vorhergehender Rechnung $24.000 \frac{kg \cdot m}{s}$,

der Impuls des LKW hingegen $800.000 \frac{kg \cdot m}{s}$. Inwiefern ist demzufolge

ein Zusammenstoß mit einem LKW viel gefährlicher als ein Zusammenstoß mit einem PKW, auch wenn man selbst in einem PKW durch das Blech und einen Sicherheitsgurt geschützt ist?

Diese Karte dient der Selbstkontrolle, ob die zuvor gestellte Aufgabe richtig gelöst wurde. Darüber hinaus werden die Schüler angeregt, die berechneten Ergebnisse zu interpretieren. Sie sind angehalten, die Ergebnisse noch einmal zu vergleichen, und können so Erfahrungen aus dem alltäglichen Leben (z.B. Zeitungsberichte über tragische LKW-Unglücke) verstehen und physikalisch erklären.

Karte 1.16

Zusatz:

Erkläre den Ausdruck aus der Alltagssprache:

„*Einer Sache einen zusätzlichen Impuls geben*“

physikalisch anhand eines Beispiels.

Sollten die Schüler nicht direkt verstehen, worum es sich handelt, kann hier als Beispiel auf einen Diskussionsprozess hingewiesen werden. Aus aktuellem

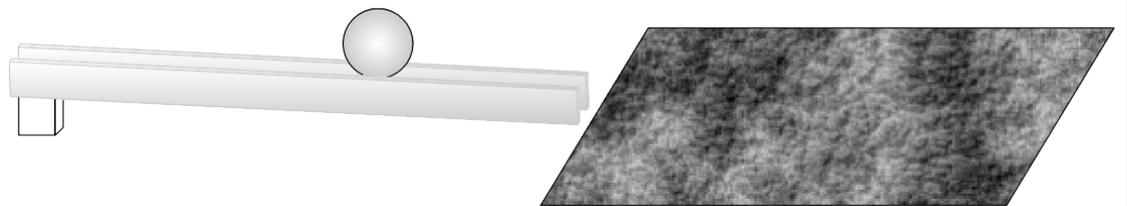
Anlass eignen sich hier die zähen Tarifverhandlungen in Verbindung mit dem Lokführerstreik. Die Schüler können bei dieser Aufgabe zu unterschiedlichen Lösungsvorschlägen kommen. Denkbar wären beispielsweise folgende Lösungen „durch eine neue Idee kommt neuer „Schwung“ in einen Prozess“ oder „durch Auftreten eines wichtigen Politikers wird einer Seite mehr Gewicht verliehen, wodurch der Prozess wieder in Bewegung kommt“.

4.4.2.2 Zweite Kartenserie

In der zweiten Kartenserie sollen die Schüler herausfinden, in wie weit die Reibung den Impuls beeinflusst und wovon die Reibung abhängt. Hierzu führen die Schüler Rollexperimente mit unterschiedlichen Materialien durch und untersuchen die Rolleigenschaften der unterschiedlichen Kugeln auf verschiedenen Materialien.

Karte 2.1

(Für die folgenden Versuche muss der Experimentiertisch möglichst gerade stehen; nutzt dazu die Bierdeckel und legt diese unter die Tischbeine.) Die kleinere Holzkugel rollt die schräg gelegte Aluminiumschiene (kurze Schienen mit Unterlegklötzchen) herunter und rollt dann auf verschiedene Materialien (Schreibblock, Tisch, Boden, Stoff von Jacke...). Prüft, wie weit die Kugel rollt.



Die Schüler sollen erkennen, dass die Kugel abhängig von den verwendeten Materialien unterschiedlich weit rollt. Dabei dürften die Schüler beobachten, dass die Kugel umso weiter rollt, je glatter die verwendete Oberfläche ist. Um die Unterschiede leichter feststellen zu können, sollte die Kugel nicht zu stark beschleunigt werden. Sollten Schüler an dieser Stelle Probleme haben, kann daher empfohlen werden, den Unterlegklotz flach unter die Schiene zu legen um einen kleinen Neigungswinkel zu erhalten. Da die zu gewinnenden

Erkenntnisse eher quantitativen Charakter haben, kann auf das Unterlegen von Bierdeckeln verzichtet werden.

Karte 2.2

Wiederholt die vorhergehende Versuchsreihe mit der größeren Holzkugel und vergleicht die Beobachtungen mit dem vorherigen Ergebnis. Welchen Einfluss hat der veränderte Impuls/Schwung?

In diesem Experiment sollen die Schüler feststellen, dass die größere Holzkugel weiter rollt als die kleinere. In der ersten Kartenserie dürften die Schüler die Abhängigkeit des Impulses von der Masse erkannt haben. Daher sollten sie nun den Schluss ziehen können, dass die größere Masse der großen Holzkugel dafür verantwortlich ist, dass diese weiter rollt bevor sie zum Stillstand kommt.



Abb. 4.5: Rollversuche bei unterschiedlichen Neigungswinkeln der Schiene

Karte 2.3

Wiederholt die vorhergehende Versuchsreihe mit der Glaskugel, der Metallkugel und der Styroporkugel. Benennt die Unterschiede.

Beim Bearbeiten dieser Karte sollte den Schülern auffallen, dass die Kugeln umso weiter rollen, je glatter die Oberfläche ist. Dabei hängt die Rollweite sowohl von der Beschaffenheit der Kugeloberfläche als auch von dem Material des Untergrundes ab. Problematisch ist hierbei, dass mehrere Größen gleichzeitig verändert werden. Durch die unterschiedliche Masse der Kugeln treffen sie mit unterschiedlichem Impuls auf den Untergrund. Die beobachtete Rollweite wird also gleichzeitig durch die unterschiedlichen Impulse und durch die unterschiedlichen Kugeloberflächen beeinflusst. Es ist daher möglich, dass

die Schüler falsche Rückschlüsse ziehen und den Hauptgrund für das unterschiedliche Rollverhalten eher der variierenden Masse zuschreiben anstatt den unterschiedlichen Oberflächen. Dies könnte insbesondere dadurch unterstützt werden, dass in den vorhergehenden Experimenten der ersten Kartenserie häufig der Einfluss der Masse entscheidend war und dies den Schülern noch in guter Erinnerung ist. Um dies zu verhindern wäre es von Vorteil Kugeln von gleicher Masse und gleicher Größe zu verwenden, die lediglich unterschiedliche Oberflächen aufweisen. In der Praxis werden diese jedoch schwer zu beschaffen sein. Auch im durchgeführten Unterricht wurden Kugeln unterschiedlicher Masse verwendet.

Karte 2.4

Ordnet die Materialien danach, wie gut die Kugeln darauf rollen.

Die Schüler sollen nun die in Karte 2.3 gewonnenen Beobachtungen noch einmal reflektieren und systematisieren. Dies empfiehlt sich beispielsweise in Form einer Tabelle. Größere Schwierigkeiten sind bei dieser Aufgabe sicherlich keine zu erwarten.

Karte 2.5

Versucht, die Beobachtungen zu begründen, die ihr bei den Rollversuchen auf verschiedenen Oberflächen gemacht habt.

In der Begründung sollten die Schüler ihre Ergebnisse dahingehend zusammenfassen, dass es eine Größe gibt, welche die Bewegung der Kugeln abbremst. Hat die Kugel einen größeren Impuls, dauert das Abbremsen länger und die Kugel rollt entsprechend weiter. Weiterhin sollten die Schüler erkennen, dass die Größe der bremsenden Kraft von den verwendeten Materialien abhängt.

Karte 2.6

Füllt jeder einen der ausgeteilten Fragebögen aus. Benutzt dabei euren Codenamen.

Siehe Kapitel 5.3.1

Karte 2.7

INFO: Reibung

Sämtliche Bewegungen auf der Erde werden durch Reibung verlangsamt. Die Reibung hängt davon ab, wie die Oberflächen der Unterlage und des bewegten Körpers beschaffen sind. Eine raue Oberfläche erzeugt eine größere Reibung als eine glatte Oberfläche.

Setzt den Inhalt dieser Information mit euren Beobachtungen schriftlich in Beziehung.

Bringt das Versuchsmaterial zurück.

Diese Karte fasst die Ergebnisse, welche die Schüler zuvor gewonnen haben sollten noch einmal zusammen. Rückblickend sollten die Schüler die gewonnenen Versuchsergebnisse noch einmal mit der hier getroffenen Aussage in Verbindung bringen und wiederum den Zusammenhang von Reibung und Oberflächenbeschaffenheit in den durchgeführten Experimenten erkennen.

Karte 2.8

Die kleine Holzkugel rollt die schräge Aluminiumschiene herunter und trifft dann in die gerade Aluminiumschiene. Führt den Versuch mehrfach durch mit verschieden weit geneigten Alu-Schienen. Notiert eure Beobachtungen, wie sich die Kugel auf der geraden Aluminiumschiene bewegt.



Die Schüler sollten beobachten, dass die Kugel auf der geraden Aluminiumschiene abgebremst wird und je nach Neigungswinkel sogar zum Stillstand kommt. Je stärker die erste Schiene geneigt ist, desto weiter rollt die Kugel.

Karte 2.9

Wiederholt den vorhergehenden Versuch mit der Glaskugel und der Eisenkugel. Notiert eure Beobachtungen, wie sich die Kugeln auf der geraden Aluminiumschiene bewegen.

Im Gegensatz zur Holzkugel dürften die Schüler bei der Eisen- und der Glaskugel kaum eine Abbremsung beobachten.

Karte 2.10

Zusatz:

Wiederholt den vorhergehenden Versuch, verwendet jetzt aber zwei gerade Aluminiumschienen hintereinander. Lässt sich ein Unterschied beobachten?

Auf der nun verlängerten Geraden sollten die Schüler beobachten, dass die Glaskugel deutlich abgebremst wird, während bei der Metallkugel allenfalls eine geringfügige Geschwindigkeitsänderung beobachtet werden kann. Sollten die Schüler hier keine deutlichen Beobachtungen machen können, haben sie evtl. eine zu starke Neigung der ersten Schiene gewählt.

Karte 2.11

Zusatz:

Überprüft, welchen Einfluss der Impuls/Schwung darauf hat, wie weit eine Kugel rollt.

Die Schüler sollten zu dem Ergebnis kommen, dass die Kugeln weiter rollen wenn sie einen größeren Impuls haben, also ihre Masse oder ihre Geschwindigkeit zunehmen.

Karte 2.12

Überprüft, inwieweit man bei der Bewegung der großen Metallkugel auf der Aluminiumschiene davon sprechen kann, dass diese Bewegung nahezu ohne Reibung (reibungsfrei) verläuft.

Bringt das Material zurück.

Spätestens seit Karte 2.7 wissen die Schüler, dass die Reibung von den Oberflächen der verwendeten Materialien abhängt. Sowohl die Oberfläche der Schiene, als auch die Oberfläche der Kugel sind sehr glatt, weshalb die Schüler auf weitgehende Reibungsfreiheit schießen könnten. Des Weiteren könnten die Schüler aus der kleinen Auflagefläche der Kugel auf der Schiene schließen, dass hierdurch die Reibung weiter reduziert wird.

4.4.2.3 Dritte Kartenserie

In der dritten Kartenserie sollen die Schüler nun den Schritt von der realen reibungsbeeinflussten zur idealisierten reibungsfreien Bewegung vollziehen. Hierzu werden verschiedene Experimente mit einer Stahlkugel und der Galilei-Rinne durchgeführt, da hier die Bewegung, wie in Karte 2.12 festgestellt, nahezu reibungsfrei verläuft. Die Schüler sollen erkennen, dass bei Reibungsfreiheit der Impuls erhalten bleibt und diese Erkenntnis in ersten einfachen Überlegungen zu Geschwindigkeit und Impuls einer Kugel auf der Galilei-Rinne ausnutzen.

Die gewonnenen Erkenntnisse werden schließlich verallgemeinert, so dass die Schüler auf das erste Newtonsche Axiom schließen können.

Karte 3.1

Verwendet die Galilei-Rinne. Lasst nun eine Kugel von oben rollen und beschreibt die Bewegung.

Überlegt insbesondere, welches Vorzeichen die Geschwindigkeit und die Beschleunigung im markierten Teil während der Aufwärtsbewegung haben müssen.



Welche Rolle spielt die Tatsache, dass die Bewegung beinahe reibungsfrei ist?

Die Schüler sollen erkennen, dass die Geschwindigkeit der Kugel zunimmt, wenn sie bergab rollt, auf der Geraden in etwa gleich bleibt und auf der Steigung wieder abnimmt bis die Kugel zum Stillstand kommt, um anschließend ihre Bewegungsrichtung zu ändern.

Im zweiten Aufgabenteil sollten die Schüler feststellen, dass das

Vorzeichen der Beschleunigung negativ ist, dass der Geschwindigkeit jedoch positiv.

Die Aufgabenstellung impliziert, dass die Richtung der Geschwindigkeit in Richtung der Aufwärtsbewegung festzulegen ist. Die Schüler dürften automatisch von dieser Festlegung ausgehen, auch ohne sich des vektoriellen Charakters der Geschwindigkeit bewusst zu sein.

Allerdings könnte mangelndes Verständnis vektorieller Größen, von dem bei einigen Schülern trotz des vorangegangenen Unterrichts ausgegangen werden muss, zu Problemen mit diesem Aufgabenteil führen. Da in der Vorstellung der Schüler Größen wie Geschwindigkeit und Beschleunigung noch nicht fest mit einer Richtung verknüpft sind, könnte es zu Unsicherheiten bei der Festlegung der Vorzeichen kommen. Häufig bringen die Schüler z. B. aus der Mittelstufenphysik die Vorstellung mit, dass eine negative Beschleunigung mit einem Bremsvorgang gleichzusetzen ist. Zwar ist diese Vorstellung abhängig von der Definition der Bewegungsrichtung, führt in diesem Falle aber zu einem richtigen Ergebnis. Die Festlegung des Vorzeichens der Geschwindigkeit könnte den Schülern schwerer fallen, insbesondere da sie oft keine Vorstellung von einer negativen Geschwindigkeit haben. Zwar wurden diese Sachverhalte im vorangegangenen Unterricht (Bewegungen) behandelt, dennoch stellt erfahrungsgemäß das Verständnis in diesem Bereich für die Schüler eine große Schwierigkeit dar. In jedem Fall kann die Aufgabe genutzt werden, um in einer gemeinsamen Reflexionsphase oder dem Gespräch mit den einzelnen Gruppen



Abb. 4.6: Beobachtung von Geschwindigkeit und Beschleunigung der Kugel

das vergangene Unterrichtsthema noch einmal aufzugreifen und das erworbene Wissen zu vertiefen bzw. Schwierigkeiten zu beseitigen.

Karte 3.2

Beschreibt nun möglichst genau, welche Geschwindigkeiten man an den markierten Stellen 1-7 messen müsste, wenn man zwei Werte kennt:

$$v_2=0,26\text{m/s}, v_4=0,37\text{m/s}.$$

(Falls ihr eine asymmetrische Galilei-Rinne habt, bei der die Schrägen verschieden lang sind, dürft ihr diesen Längenunterschied vernachlässigen.)



Bei dieser Aufgabe sollen die Schüler erkennen, dass die Geschwindigkeiten an den Punkten 1 und 7, 2 und 6 sowie 3,4 und 5 jeweils gleich sind. Dabei kann davon ausgegangen werden, dass sich die Punkte 2 und 6 auf gleicher Höhe befinden und die Reibung vernachlässigt werden kann (Erkenntnis aus Karte 2.12).

Karte 3.3

Berechnet, welchen Impuls/Schwung die Kugel an den sieben markierten Stellen hat, wenn die große Eisenkugel eine Masse von 0,255kg hat.

Überlegt, ob es Sinn macht, wenn man einen Wert $p=0\text{ kg}\cdot\text{m/s}$ erhält.

In dieser Aufgabe sollen die Schüler wie bereits in Karte 1.14 den Impuls berechnen. Daher dient diese Karte gewissermaßen der Wiederholung und Festigung. Darüber hinaus dürften die Schüler erkennen, dass der Impuls bei einer reibungsfreien Bewegung erhalten bleibt. Im zweiten Aufgabenteil sollten die Schüler erkennen, dass man immer dann das Ergebnis $p=0\text{ kg}\cdot\text{m/s}$ erhält, wenn der betrachtete Körper sich nicht bewegt ($v=0\text{ m/s}$) oder keine Masse hat ($m=0\text{ kg}$). Der erste Fall dürfte allen Schülern sinnvoll erscheinen. Hier erweist sich die Einführung des Impulses über den Begriff „Schwung“ als nützlich. Aus ihrer Alltagswelt sind den Schülern Situationen bekannt, in denen

ein Körper keinen „Schwung“ hat. Dies ist immer dann der Fall, wenn der Körper sich nicht bewegt. Der zweite Fall ($m=0$ kg) dürfte für die Schüler schwerer vorstellbar sein, da in allen ihnen bekannten Situationen einem Körper auch immer ein Masse zugeordnet ist.

Karte 3.4

Füllt einen Fragebogen aus. Benutzt bitte euren Codenamen.

Siehe Kapitel 5.3.1

Karte 3.5

Gedankenexperiment nach Galilei

Wenn die Reibung sehr gering ist, erreicht die Kugel stets dieselbe Höhe (gestrichelte Linie) auf beiden Seiten.



Wenn die eine Schräge weniger steil ist, wird die Kugel entsprechend weiter rollen, bis sie dieselbe Höhe erreicht hat.



Wenn aber nur auf einer Seite eine Schräge ist und die Kugel diese Schräge herunterrollt, muss sie auf der Gerade praktisch unendlich rollen!



Galilei schreibt: *Hieraus folgt, dass die Bewegung in der Horizontalen eine unaufhörliche sei.*

Fasst diese Idee in eigene Worte. Inwiefern ist dies nur ein Gedankenexperiment?

Den Gedankengang Galileis nachzuvollziehen dürfte den Schülern aufgrund der kleinschrittigen Vorgehensweise nicht schwer fallen. Auch die Frage, inwiefern es sich um ein Gedankenexperiment handelt, sollten die Schüler beantworten können, zumal bereits in verschiedenen Karten angeschnitten wurde, dass in der Realität immer eine Reibung vorhanden ist.

Karte 3.6

Begründe, weshalb man an den Stellen 3-5 konstante Impulse misst. Welche Rolle spielt die Reibung dabei?



Bereits in Karte 3.2 sollten die Schüler erkannt haben, dass sich die Kugel an diesen Punkten mit gleicher Geschwindigkeit bewegt. Da sich die Masse der Kugel nicht ändert, bleibt auch der Impuls der Kugel an den genannten Punkten gleich. Bereits in der zweiten Kartenserie sollten die Schüler erarbeiten, dass durch vorhandene Reibung der Impuls verringert wird. Daraus lässt sich direkt folgern, dass bei nennenswert vorhandener Reibung der Impuls mit zunehmend zurückgelegter Strecke abnehmen wird. In Karte 2.12. dürften die Schüler jedoch den geringen Einfluss der Reibung zwischen Stahlkugel und Galilei-Rinne erkannt haben, so dass davon ausgegangen werden kann, dass die Reibung zu vernachlässigen ist und die Impulse somit an entsprechenden Stellen (ungefähr) gleich bleiben.

Karte 3.7

INFO: Reibungsfreie Bewegung

Wenn ein Körper sich **reibungsfrei** bewegt, behält er für immer seine anfängliche Geschwindigkeit bei. Also bleibt auch sein **Impuls** gleich.

Übernehmt den Inhalt dieser Information in eure Mappe und markiert sie farblich.

Überlegt euch, warum die meisten Schüler und Studenten diese Aussage kaum glauben können.

Karte 3.7 fasst die Ergebnisse der dritten Kartenserie noch einmal zusammen. Die Frage am Ende bezieht sich u. a. auf Karte 3.5, so dass die Schüler diese beantworten können sollten.

Karte 3.8

Erkläre das 1. Newton'sche Gesetz in eigenen Worten:

Jeder Körper verharrt in Ruhe oder in gleichförmiger Bewegung, solange nichts von außen auf ihn einwirkt.

Die Schüler sollen das erste Newtonsche Gesetz in eigene Worte fassen. Den Schülern dürfte nach Bearbeiten der Kartenserie der Inhalt des Gesetzes klar sein, dennoch könnten beim Versuch, die Gedankengänge in Worte zu fassen, Probleme auftreten. Insbesondere dürfte es den Schülern Schwierigkeiten bereiten, die vielen physikalischen Begriffe, die dem vorangegangenen Physikunterricht, Medien und sonstigen Quellen entstammen, richtig zu verwenden.

Karte 3.9



Zusatz:

Diskutiert den abgebildeten Comic: Im All, weit entfernt von anderen Himmelskörpern, befindet sich ein Raumschiff in Bewegung, als plötzlich der Treibstoff ausgeht. Einigt euch auf die richtigen (Teil-)Aspekte und notiert gemeinsam eine Antwort.

In dieser Aufgabe können die Schüler das erworbene Wissen auf ein praktisches Problem anwenden. Sie sollten feststellen, dass durch das Vakuum im All keine Reibung stattfindet und das Raumschiff sich daher mit gleich bleibender Geschwindigkeit bewegt. Da kein Treibstoff mehr vorhanden ist und keine Himmelskörper in der Nähe sind, deren Gravitation auf das Raumschiff wirken könnte, gibt es keine Kräfte, die Einfluss auf die Bewegung nehmen könnten.

4.4.2.4 Vierte Kartenserie

In der vierten Kartenserie untersuchen die Schüler, wie sich das Vorhandensein einer Kraft auf die Bewegung auswirkt. In Karte 3.8 werden bei der Formulierung des ersten Newtonschen Axioms die Worte „...solange nichts von außen auf ihn einwirkt.“ gebraucht.

Dies impliziert, dass sich die betrachteten Körper anders verhalten wenn „Etwas“ von außen einwirkt. An dieser Stelle wird nun angeknüpft, und das „Etwas“ näher betrachtet und präzisiert. In der dritten Kartenserie haben die Schüler bereits ein Beispiel, nämlich die Reibung, kennen gelernt. Als weiteres Beispiel wird nun zunächst mit Magneten gearbeitet.

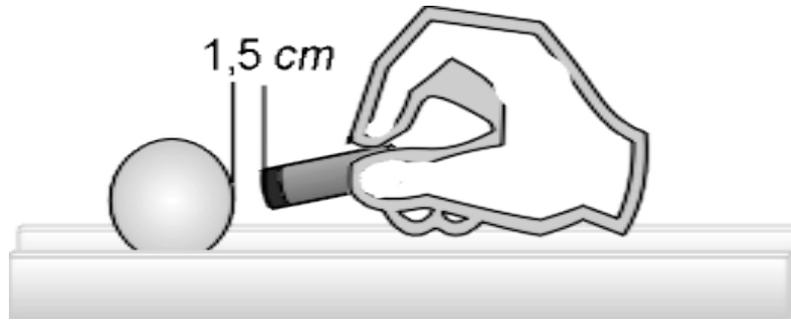
Karte 4.1

Hinweise zum Umgang mit Magneten: Behandelt die Magneten vorsichtig! Lasst sie bitte nicht fallen oder stoßt mit ihnen an. Sie verlieren dann ihre magnetischen Eigenschaften. Legt die Magnete genau so zurück wie ihr sie geholt habt. Achtet auf die Lagerung von Nord- und Südpol und deckt die Magneten ggf. mit den Metalldeckeln wieder ab.

Diese Karte ist in der ursprünglichen Version (Kraus, 2005, S. 8ff.) nicht enthalten. Magnetische Kräfte üben vermutlich eine besondere Faszination auf Schüler aus, was sie dazu veranlassen könnte, mit den Magneten zu spielen und dabei gegebenenfalls die nötige Vorsicht zu vergessen. Um das Experimentiermaterial zu schonen, wurde daher diese Karte eingefügt. Alternativ könnte der Umgang mit dem Experimentiermaterial auch am Anfang der Einheit thematisiert werden. Da jedoch zu erwarten ist, dass die Schüler unterschiedlich schnell mit den vorangegangenen Kartenserien fertig werden und somit zu unterschiedlichen Zeitpunkten mit der vierten Kartenserie beginnen, erscheint die gewählte Methode die bessere zu sein. So ist gewährleistet, dass die Schüler unmittelbar vor Bearbeiten der Kartenserie die Informationen erhalten und diese somit bei Beginn der Experimente präsent sind.

Karte 4.2

Legt die Kugel auf die ebene Aluminiumschiene und steuert ihre Bewegung mittels des Magneten. Haltet dazu den Magneten vor bzw. hinter die Kugel. Weswegen ist es wichtig, dass man den Abstand von ca. 1-1,5cm konstant hält? (Ihr braucht nichts notieren.)



Karte 4.3

Legt die Kugel auf den ebenen Teil der Galilei-Rinne (stellt die Schraube so ein, dass die Kugel nicht von allein rollt). Versucht nun mit Hilfe des Magneten, die Kugel über die volle Länge der Rinne rollen zu lassen. (Ihr braucht nichts notieren.)

Karte 4.4

Lasst die Kugel die ganze Galilei-Rinne entlang rollen. Wie kann man mit dem Magneten die Kugel stoppen, ohne dass der Magnet die Kugel berührt? (Ihr braucht nichts notieren.)

Die Karten 4.2 bis 4.4 dienen zusammen dazu, die Eigenschaften des Magneten zu erfahren und zu beobachten, wie ein Magnet die Bewegung (und damit die Geschwindigkeit) der Kugel beeinflussen kann. Die Schüler sollten des Weiteren erkennen, dass der Einfluss des Magneten auf die Kugel von seiner Position und dem Abstand zur Kugel ist.

Karte 4.5

Zusatz:

Auf dem Tisch findet ihr eine Rinne mit mehreren rollbaren Magneten. Welche Beobachtungen könnt ihr machen?

Die Schüler sollen erkennen, dass ein Magnet auch ohne Berührung bewirken kann, dass sich der Bewegungszustand eines anderen Magneten ändert. Dabei machen die Schüler bereits die Beobachtung, dass ein Magnet seinen Impuls auf einen anderen übertragen kann. Dies wird jedoch in dieser Unterrichtssequenz nicht weiter thematisiert und erst im späteren Unterrichtsverlauf wieder aufgegriffen.

Dieser Zusatz reiht sich nicht besonders gut in die übrigen Versuche ein. Er wurde dennoch mit aufgenommen, da der Versuch auch im späteren, vertiefenden Unterrichtsverlauf zum Thema Impuls noch eine Rolle spielen wird. So kennen einige Schüler bereits das Experiment und es dürfte leichter fallen an das Erfahrene anzuknüpfen.



Abb. 4.7: Versuche mit Rollmagneten.

Karte 4.6

Haltet nun den Magneten seitlich zur Bahn, so dass der Magnet die große Eisenkugel anzieht, aber die Kugel nicht aus der Schiene gerät. Lasst die Eisenkugel langsam daran vorbeigehen, indem ihr sie von ca. $\frac{1}{4}$ der Höhe starten lasst. Versucht, die Bewegung der Kugel möglichst genau zu beschreiben, während sie sich in der Ebene bewegt.

In diesem Versuch sollen die Schüler zunächst erkennen, dass sich die Geschwindigkeit der Kugel beim Vorbeigehen am Magneten ändert. Je nach Größe der Kugel, ihrer Anfangsgeschwindigkeit und der Stärke des Magneten kann der Effekt jedoch recht gering ausfallen, so dass es schwer sein könnte detaillierte Beobachtungen zu machen. Allerdings werden die gewonnenen Beobachtungen in den folgenden Karten noch konkretisiert.

Karte 4.7

Überprüft, ob die Kugel ca. 5cm vor dem Magneten und ca. 5cm hinter dem Magneten wieder dieselbe Geschwindigkeit hat.

Wie lässt sich diese Tatsache erklären? Und welche Rolle spielt die weitgehende Reibungsfreiheit?

Die Schüler sollten beobachten, dass die Geschwindigkeit 5 cm vor und hinter dem Magneten gleich ist. Nachdem sie bereits in Karte 4.2 festgestellt haben, dass der Einfluss des Magneten auf die Kugel mit zunehmender Entfernung rasch kleiner wird, dürfte es klar sein, dass der Magnet in 5 cm Entfernung die Bewegung der Kugel nicht wesentlich beeinflusst. Kommt die Kugel näher an den Magneten, zieht er diese an. Konkret bedeutet das, dass die Kugel in Richtung des Magneten beschleunigt wird. Je nachdem, ob sich die Kugel noch auf den Magneten zu bewegt oder an ihm vorbei gerollt ist und sich von ihm wegbewegt, bedeutet dies, dass die Beschleunigung einmal positiv und einmal negativ wirkt. Diese beiden Beschleunigungen heben sich auf, so dass die Kugel nach dem Magneten wieder dieselbe Geschwindigkeit hat wie vorher. Diese Begründung dürfte den Schülern evtl. schwer fallen. Es ist daher für die Lehrkraft ratsam, beim Herumgehen an diesem Punkt noch einmal nachzufragen, ob die Schüler dies verstanden haben, und evtl. entsprechende Hinweise und Gedankenanstöße zu geben. Die Frage nach dem Einfluss der weitgehenden Reibungsfreiheit sollte den Schülern keine größeren Probleme bereiten, da diese in ähnlicher Form schon in anderen Karten gestellt wurde.

Karte 4.8

Lasst erneut die Kugel an dem seitlich gehaltenen Magneten vorbeierollen.

Erklärt, in welchen Phasen sich die Bewegung der Kugel ändert.

Die Überlegungen zu Karte 4.7 werden hier noch einmal zusammengefasst und konkretisiert.

Folgende Phasen könnten die Schüler unterscheiden:

- Die Kugel bewegt sich mit gleich bleibender Geschwindigkeit bis etwa 5 cm vor dem Magneten
- Die Kugel wird kurz vor dem Magneten beschleunigt und erreicht auf Höhe des Magneten ihre Maximalgeschwindigkeit.
- Die Kugel rollt am Magneten vorbei und bewegt sich von ihm weg. Dabei wird sie abgebremst.
- Wenn sich die Kugel wieder etwa 5 cm vom Magneten entfernt hat, ist der Einfluss des Magneten so gering, dass sie sich wieder gleichförmig bewegt. Dabei hat sie dieselbe Geschwindigkeit wie in der ersten Phase.



Abb. 4.8: Beobachtung der am Magneten vorbeierollenden Kugel

Karte 4.9

Füllt einen Fragebogen aus. Benutzt dabei eure Codenamen.

Siehe Kapitel 5.3.1

Karte 4.10

INFO: Kraft verursacht Bewegungsänderungen

Jede Bewegung, die nicht gleichförmig ist, sondern sich irgendwie ändert (beschleunigt, abgebremst oder in der Richtung geändert), muss einer wirkenden Kraft unterworfen sein.

Übernimm den Inhalt der Karte in eigene Worte.

Überprüft den Inhalt dieser Informationskarte an den Versuchen, die ihr an der ebenen Rinne durchgeführt habt: Wo wirkt eine Kraft, so dass sich die Geschwindigkeit ändert?

Diese Karte fasst die gewonnenen Erkenntnisse der vierten Kartenserie zusammen. Des Weiteren kommt zum ersten Mal der Begriff „Kraft“ ins Spiel. Die Kraft wird dabei als die Größe eingeführt, die Bewegungsänderungen verursacht.

Rückblickend sollten die Schüler erkennen, dass in den durchgeführten Versuchen die Geschwindigkeit durch die Kraft des Magneten geändert wurde. Außerhalb des Einflussbereiches des Magneten blieb die Geschwindigkeit gleich.

Karte 4.11

Zusatz:

Wiederholt den vorhergehenden Versuch mit der kleineren Eisenkugel.

Welchen Einfluss hat die kleinere Masse auf die Änderung der Bewegung?

Die Schüler sollten in diesem Versuch erkennen, dass sich die Geschwindigkeit der kleineren Kugel stärker ändert als die der größeren Kugel. Hier kann wieder auf Erkenntnisse des vorangegangenen Unterrichts zurückgegriffen werden: Die Kugel erhält einen zusätzlichen Impuls durch den Magneten. Dabei ändert sich die Geschwindigkeit der leichteren Kugel stärker, da eine kleinere Masse bewegt wird. Die Impulsänderung ist jedoch dieselbe wie bei der großen Kugel.

Karte 4.12

Zusatz:

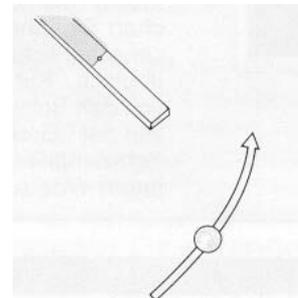
Für diesen Versuch benötigt ihr (wie bei den Versuchen zur Reibung) eine austarierte Platte als Grundlage (nutzt dazu die Holzplättchen)

Lasst die Eisenkugel langsam über den Tisch rollen, indem sie zunächst auf der schräg liegenden Bahn

beschleunigt wird. Führt nun den Stabmagneten seitlich

heran, so dass die Kugel abgelenkt wird, ohne aber den Magneten zu berühren.

Ergänzt zu der Information, dass Kräfte beschleunigen oder abbremsen, eure neue Beobachtung.



Wie bereits in Karte 4.10 angedeutet, kann sich nicht nur der Betrag der Geschwindigkeit sondern auch die Bewegungsrichtung unter Krafteinfluss ändern. Diese Erkenntnis sollen die Schüler im vorliegenden Versuch gewinnen. Dabei sollten die Schüler erfassen, dass bei seitlicher Annäherung die Kugel kaum schneller oder langsamer wird, sondern nur die Richtung ändert. Diese Beobachtung könnte jedoch durch die nun vermehrt auftretende Reibung der Tischplatte verfälscht werden.

4.4.2.5 Fünfte Kartenserie

Karte 5.1

Ein kleiner Experimentierwagen wird mit einem Band gleichmäßig über den glatten Tisch gezogen. Das Band muss dabei waagrecht gehalten werden, so dass man den Wagen nicht anhebt.

Beschreibt, unter welchen Umständen der Wagen beschleunigt wird und wann er sich (nahezu) gleichförmig bewegt.

Welchen Einfluss hat es, ob der Faden gespannt ist oder durchhängt?

Die Schüler sollen erfahren, dass der Wagen beschleunigt, wenn das Seil straff gespannt ist. Hängt das Band durch, wird der Wagen aufgrund der Reibung abgebremst. Ist das Seil nur leicht gespannt, bewegt sich der Wagen annähernd gleichförmig.



Abb. 4.9: Versuche mit einem Experimentierwagen

Karte 5.2

Belastet den Experimentierwagen mit verschiedenen Massestückchen und ergänzt eure Beobachtungen, unter welchen Umständen der Wagen beschleunigt wird und wann er sich (nahezu) gleichförmig bewegt.

Beim Bearbeiten dieser Karte dürften die Schüler erkennen, dass etwas mehr Kraft aufgewendet werden muss, um den Wagen in Bewegung zu setzen. Das

Seil muss wiederum leicht gespannt sein, damit sich der Waagen annähernd gleichförmig bewegt.

Karte 5.3

Wiederholt die Versuche mit dem Experimentierwagen und zwei Massestückchen. Zieht den Wagen aber nun über eine Styropor-Platte. Welche Rolle spielt die Reibung?

Im Gegensatz zu den vorherigen Versuchen sollten sie Schüler feststellen, dass nun noch mehr Kraft aufgewendet werden muss, um den Wagen zu beschleunigen. Auch um den Wagen im Zustand der gleichförmigen Bewegung zu halten, muss der Faden nun straffer gespannt sein. Hängt der Faden durch, bremst der Wagen rasch ab und kommt bald zum Stillstand.

Karte 5.4

Wieso wird der Wagen beim Ziehen nur am Anfang, später aber nicht beschleunigt?

In dieser Karte sollten die Schüler zu dem Schluss kommen, dass ab einem gewissen Punkt die Reibungskraft und die Kraft mit der am Faden gezogen wird gleich groß sind. Da beide Kräfte entgegengesetzt gerichtet sind, heben sie sich auf, so dass der Wagen nicht mehr beschleunigt. Dieser Sachverhalt könnte den Schülern intuitiv bewusst sein, auch wenn ihnen der eigentliche Hintergrund, nämlich die Abhängigkeit der Reibung von der Geschwindigkeit, noch nicht bekannt sein dürfte. Hier bietet sich aber evtl. ein Ansatzpunkt für den folgenden Unterricht, an dem dann angeknüpft werden kann. Finden die Schüler bei dieser Karte keinen Ansatz, kann evtl. mit einem Beispiel abgeholfen werden. Eine mögliche Frage könnte lauten: „Wieso wird ein Auto auf der Autobahn nicht immer schneller, obwohl ich doch niemals den Fuß vom Gas nehme und der Motor somit ununterbrochen eine Kraft auf die Räder überträgt?“.

Karte 5.5

Ihr habt beobachtet, dass es wichtig ist, ob der Faden gespannt ist oder

durchhängt. Überlegt: Wie hängen die aufgewendete Kraft und die Spannung des Fadens zusammen?

Die Schüler sollten erkennen, dass die Fadenspannung ein Maß für die aufgewendete Kraft darstellt. Je größer die Kraft, desto größer die Fadenspannung. Diese Feststellung sollte den Schülern nicht zu schwer fallen, da ihnen dies bereits aus vielen Alltagssituationen bekannt ist (z.B. Tauziehen).

Karte 5.6

Die Aussage:

„Die Kraft ist die Ursache der Bewegung!“

ist falsch. Warum? Notiert eure Einwände, sofern ihr welche findet.

Die Schüler sollten zu dem Ergebnis kommen, dass Kräfte zwar Bewegungsänderungen verursachen, nicht jedoch Ursache der Bewegung selbst sind.

Diese Aussage dürfte den Schülern jedoch Probleme bereiten, insbesondere, da sie in den vorangegangenen Versuchen mit dem Experimentierwagen die Kraft als Größe kennengelernt haben, durch welche der Wagen in Bewegung gesetzt wurde. Dies könnte bei den Schülern die Vorstellung implizieren, dass die Kraft sehr wohl die Bewegung verursacht.

Die Formulierung der Karte könnte einige Schüler dazu veranlassen, direkt zur nächsten Karte weiterzugehen und aufzugeben, bevor sie genauer über die Aussage nachgedacht haben. Andererseits sollte auch vermieden werden, dass sich Schüler zu lange an dieser Aufgabe aufhalten und krampfhaft versuchen, eine Lösung zu finden, ohne wirkliche Fortschritte zu erzielen.

Karte 5.7

Füllt bitte einen Fragebogen aus. Benutzt Euren Codenamen.

Siehe Kapitel 5.3.1

Karte 5.8

INFO: Kraft ist nicht die Ursache für Bewegungen

Kräfte sind nicht die Ursache für Bewegungen, sondern die Ursache für Bewegungsänderungen. Erklärt den Unterschied.

Die Schüler sollen erkennen, dass die Bewegung einer Masse durch eine Geschwindigkeit und eine Richtung charakterisiert ist. Bei einer Bewegungsänderung wird eine dieser Komponenten verändert. Die Vorstellung, dass die Bewegung selbst nicht durch eine Kraft verursacht wird, dürfte einigen Schülern Schwierigkeiten bereiten, da in der Alltagswelt der Schüler eine Bewegung immer aus dem Zustand der Ruhe hervorgeht. Dies bedingt, dass aus Sicht der Schüler eine Bewegung immer aus einer Bewegungsänderung hervorgeht. Da im vorherigen Unterricht bereits unterschiedliche Bezugssysteme behandelt wurden, könnte mit einem Beispiel aus diesem Bereich evtl. dieser Vorstellung begegnet werden.

Karte 5.9

Zusatz:

Ein kleiner Experimentierwagen wird mit 2 Massestücken und an der Stirnseite mit einer Feder versehen. Lasst diesen Wagen mit der Feder gegen ein festes Hindernis stoßen. Versucht, die Bewegungsänderung genau zu beschreiben.

In diesem Experiment sollten die Schüler beschreiben, dass sich der Wagen zunächst nach dem Anschubsen mit nahezu gleich bleibender Geschwindigkeit (geringe Reibungsverluste auf der relativ glatten Tischplatte) auf die Wand zu bewegt. Sobald die Feder die Wand berührt, wird der Wagen stark abgebremst, während die Feder zusammengedrückt wird. Der Wagen kommt kurz zum Stillstand, um dann durch das Zurückschnellen der Feder in die ursprüngliche Form entgegengesetzt zur ursprünglichen Bewegungsrichtung beschleunigt zu werden. Sobald die Feder die Wand nicht mehr berührt, bewegt sich der Wagen wieder annähernd gleichförmig.

Karte 5.10

Wiederholt den vorhergehenden Versuch: Worin besteht die Ursache der Bewegungsänderung?

Mit den zuvor festgehaltenen Beobachtungen sollte es den Schülern leicht fallen, dass die Bewegungsänderung durch die Verformung der Feder, welche diese beim Auftreffen auf die Wand erfährt, verursacht wird.

Karte 5.11

Zusatz:

Wir haben in der ersten Kartenserie den Impuls $p = m \cdot v$ erarbeitet. Überlegt, wie Impuls und Kraft zusammenhängen: Was passiert mit dem Impuls („Schwung“) eines Körpers, wenn eine Kraft auf den Körper wirkt?

Bereits in Karte 4.10 haben die Schüler gelernt, dass Kräfte Bewegungsänderungen verursachen. In den durchgeführten Versuchen der Kartenserien 4 und 5 haben die Schüler verschiedene Kräfte kennengelernt und konnten die Änderung der Geschwindigkeiten verfolgen. Anhand der bekannten Formel für den Impuls sollten die Schüler erkennen können, dass sich auch der Impuls unter Krafteinfluss ändert. Analog zur Änderung der Geschwindigkeit kann sich sowohl der Betrag als auch die Richtung des Impulses ändern.

5 Datengrundlage

5.1 Beschreibung der Lerngruppe

Die Unterrichtssequenz wurde in zwei elften Klassen der Goetheschule Wetzlar durchgeführt. Die Goetheschule ist ein Oberstufengymnasium an dem die Abschlüsse der allgemeinen Hochschulreife und der Fachhochschulreife erworben werden können. Aktuell besuchen noch keine Schüler die das 8jährige Gymnasium durchlaufen die Schule. Insgesamt besuchen 1038 Schüler die Schule (Goetheschule Wetzlar, 2007).

Der Unterricht fand donnerstags in der dritten und vierten Stunde bzw. freitags in der ersten und zweiten Stunde statt. Insgesamt nahmen 43 Schüler am Unterricht teil (20 männlich, 23 weiblich). Zwischen beiden Klassen waren keine größeren Unterschiede festzustellen. Diese Feststellung ergibt sich aus den Aussagen der Klassenlehrerin, den Notendurchschnitten der letzten Klassenarbeit, sowie eigenen Beobachtungen. Auch die Antworten in den Fragebögen vielen in beiden Klassen ähnlich aus. Daher wird in der vorliegenden Arbeit auf eine Unterscheidung zwischen beiden Schülergruppen verzichtet.

5.2 Geplanter Unterrichtsverlauf

Der Unterricht sollte planmäßig in je einer Doppelstunde am 15./16.11., am 29./30.11. und am 06./07.12.2007 stattfinden, wobei eine Klasse jeweils donnerstags und eine jeweils freitags unterrichtet werden sollte. Für den 22./23.11.2007 war die Kursarbeit zum vorher behandelten Unterrichtsstoff angesetzt. Aufgrund der zusätzlich benötigten Zeit zum Ausfüllen der Fragebögen sowie einiger kleinerer erfolgten Einschübe zu der anstehenden bzw. geschriebenen Physikarbeit, wurde allerdings bald klar, dass die veranschlagte Zeit für das Bearbeiten der Aufgabenkarten und der notwendigen Ergebnissicherung nicht mehr ausreichen würde. Daher sollte die Einheit erst am 13./14.12.2007 in der ersten der beiden Doppelstunden abgeschlossen werden. Kurzfristig erkrankte aber die Physiklehrerin der beiden Klassen, so

dass der Abschluss auf den 20./21.12.2007 verschoben werden musste. Da dies die beiden letzten Tage vor den Weihnachtsferien waren, fehlten an diesen Terminen leider viele Schüler.

Der grobe Verlauf der Unterrichtsstunden kann folgender Tabelle entnommen werden:

Zeitansatz		Inhalte
erste Doppel- stunde	15 min	Vorstellung, Begrüßung, Ausfüllen des Fragebogens zum Interesse an Physik.
	5 min	Einführung in die geplante Unterrichtseinheit, Vorstellen des Themas, wichtige Hinweise zur Arbeitsform.
	75 min	Bearbeitung der ersten Kartenserie
zweite Doppel- stunde	45 min	Bearbeitung der zweiten Kartenserie
	45 min	Bearbeitung der dritten Kartenserie
dritte Doppel- stunde	45 min	Bearbeitung der vierten Kartenserie
	45 min	Bearbeitung der fünften Kartenserie
vierte Doppel- stunde	15 min	Bearbeitung des abschließenden Fragebogens.
	30 min	Besprechung der wichtigsten Erkenntnisse des vergangenen Unterrichts, Ergebnissicherung
	5 min	Kurzes Gespräch mit den Schülern zur Reflexion der Unterrichtssequenz
	40 min	Rückgabe und Besprechung der Klassenarbeit durch die Physiklehrerin

Tab. 5.1: Planung des Unterrichtsverlaufs

Für die einzelnen Kartenserien wurde dabei jeweils eine Bearbeitungszeit von 45 min angesetzt. Nur die benötigte Zeit für die erste Serie wurde länger angesetzt, weil diese besonders viele Aufgabenkarten enthält und sich die Schüler zudem erst in die Arbeitsweise ein. Auf die einzelnen Aufgabenkarten und weitere Details zum Unterrichtsablauf geht Kapitel 4.4 ausführlich ein. Die eingesetzten Fragebögen werden im folgenden Kapitel vorgestellt.

5.3 Methodisches Vorgehen

5.3.1 Fragebögen

Während der Unterrichtssequenz haben die Schüler verschiedene Fragebögen ausgefüllt. Die damit erhobenen Daten stellen eine wesentliche Stütze der in Kapitel 6 folgenden Auswertung der Unterrichtssequenz dar.

Fragebogen zum Interesse an Physik

Vor Beginn des Unterrichts füllten die Schüler einen Fragebogen zum Interesse an Physik aus (Anhang 3) (Hoffmann, Häußler, Lehrke u.a., 1998, S. 209f., S. 212).

Der erste Fragenblock erlaubt dabei Rückschlüsse auf die Leistungen der Schüler im Fach Physik. Der zweite Abschnitt gibt Aufschluss darüber, wie sich die Schüler beim Herangehen an schwierigere Lösungen verhalten. Aus diesem Abschnitt können einerseits Rückschlüsse auf die Leistung der Schüler im Fach Physik gezogen werden, andererseits zeigt sich wie selbstbewusst die Schüler an Aufgaben im Fach Physik herangehen. Der dritte Aufgabenblock beschäftigt sich schließlich mit dem Interesse, das die Schüler dem Fach Physik entgegenbringen und mit der Motivation zur Mitarbeit in diesem Fach.

Fragebögen zu ausgewählten Aufgabenkarten

In jeder Aufgabenserie fand sich eine Anweisung für die Schüler einen Fragebogen (Anhang 7) zu der zuletzt bearbeiteten Karte auszufüllen (Hirsch, 2005, S. 64). Mit diesen Fragebogen sollte das situative Erleben der Schüler beim Bearbeiten der Aufgabenkarten erfasst werden. Einerseits werden hierbei das eigene Erleben von Spaß und Interesse an den Aufgaben von den Schülern eingeschätzt (Fragen 1 und 6), andererseits aber auch der empfundene Schwierigkeitsgrad (Fragen 2 (Aufgabe war eine Herausforderung) und 3 (alles gekannt)). Schließlich wird auch noch erfasst, ob die Schüler meinten eigene Ideen verwirklichen zu können, und ob die Arbeit im Team bei der Bewältigung der Aufgaben als hilfreich eingestuft wurde (Fragen 4 und 5). Abschließend können die Schüler noch in eigenen Worten aufschreiben, was

ihnen an der letzten Tätigkeit besonders gut und was ihnen gar nicht gefallen hat.

Fragebogen nach Abschluss der Unterrichtssequenz

Dieser abschließende Fragebogen (Anhang 14) (v. Aufschnaiter, 2007) diente dazu, etwas über die Beurteilung des Unterrichts aus Schülersicht zu erfahren. Rückblickend sollten die Schüler nun noch einmal Fragen zur Motivation, zum Schwierigkeitsgrad, zum Lernerfolg sowie zur Freude am Unterricht beantworten. Neben den anzukreuzenden Antworten konnten sich die Schüler auch noch einmal in eigenen Worten dazu äußern, was ihnen am Unterricht besonders gut oder weniger gut gefallen hat. Die zweite Seite des Fragebogens stellte einen kleinen Test dar, anhand dessen überprüft werden sollte, in wie weit die Schüler die Lernziele erreichten, und wo noch Probleme auftraten. Die zweite Frage wurde dabei dem FCI entnommen (Schecker & Gerdes, 1998). Die erste Frage besteht aus einer einfachen Rechenaufgabe zum Impuls, sie soll zeigen, ob die Schüler die Formel zur Berechnung des Impulses anwenden können. Große Schwierigkeiten sind in der Aufgabe keine zu erwarten, da lediglich die Einheiten umzurechnen und die Zahlen in den Taschenrechner einzugeben sind. Voraussetzung ist bei dieser Aufgabe natürlich, dass die Schüler die Formel zur Berechnung des Impulses kennen. Die zweite Frage soll schließlich klären, ob in der Einheit die Begriffsbildung bzgl. der Begriffe „Kraft“ und „Impuls“ erfolgreich war. Insbesondere soll untersucht werden, ob die Schüler beide Begriffe sauber voneinander trennen können. In der dritten Aufgabe soll getestet werden, ob die Schüler das Trägheitsprinzip verstanden haben und somit Auskunft über die Flugbahn des Balls geben können, wenn keine Kraft mehr auf ihn einwirkt. Da die Schüler im Unterricht noch keine Kreisbewegungen behandelt haben, könnte es bei dieser Frage evtl. zu Problemen kommen, da nicht allen klar sein dürfte, dass die Kraft, die über den Faden auf den Ball ausgeübt wird, diesen auf der Kreisbahn hält.

5.3.2 Aufgabenbearbeitungen der Schüler

Neben den Fragebögen wurden auch Notizen der Schüler zu den bearbeiteten Aufgaben als Datengrundlage genutzt. Nach jeder Doppelstunde wurden die

Gruppen aufgefordert jeweils ein Exemplar ihrer angefertigten Mitschriften abzugeben, welche dann bis zur nächsten Stunde durchgesehen wurden. Einerseits diene dies der Ergebnissicherung, indem mit den Schülern in der nächsten Stunde über die abgaben gesprochen und auf evtl. vorhandene Schwierigkeiten eingegangen wurde. Andererseits konnten hieraus wichtige Erkenntnisse zum Erreichen der Lernziele und zum Auftreten von Problemen gewonnen werden. Daher stützen sich die Erkenntnisse in Kapitel 6.1 neben Unterrichtsbeobachtungen insbesondere auf die hier gewonnenen Erkenntnisse.

5.3.3 Beobachtungen

In die Auswertung der Unterrichtssequenz flossen ebenfalls Beobachtungen aus dem Unterricht ein. Hierzu waren während der meisten Unterrichtszeit die Physiklehrerin der Klasse sowie ein Mitarbeiter des Instituts für Didaktik der Physik der Justus Liebig Universität Gießen als Beobachter anwesend. Ebenfalls berücksichtigt wurden eigenen Beobachtungen. Da die durch Beobachter gewonnenen Daten (insbesondere die, die aus eigenen Beobachtungen resultieren) stark subjektiven Charakter besitzen, fließen sie nur untergeordnet in die Auswertung ein und sind an entsprechender Stelle gekennzeichnet.

5.3.4 Reflexionsgespräch mit den Schülern

In einem kurzen Reflexionsgespräch wurden die Schüler noch einmal mündlich zu ihren Eindrücken bzgl. der Unterrichtseinheit befragt. Die Ergebnisse sind in Kapitel 6.3 dargestellt.

6 Ergebnisse

6.1 Auswertung der Fragebögen

Die Zielsetzung der einzelnen Fragebögen wurde bereits in Kapitel 5.3.1 diskutiert. In die statistische Auswertung wurde nur der Mittelwert der Antworten der Schüler einbezogen. Aufgrund der relativ kleinen Anzahl von Schülern wurde auf das Anwenden weiterer statistischer Methoden verzichtet, da diese nur wenig aussagekräftig wären.

6.1.1 Fragebogen zum Interesse an Physik

Eine Aufstellung mit der genauen Stimmverteilung findet sich in Anhang 4, 5 und 6. Betrachtungen zur Intention des Fragebogens finden sich in Kapitel 5.3.1.

An der Befragung nahmen insgesamt 41 Schüler teil (20 männlich, 21 weiblich), davon planen 6 Schüler (4 männlich, 2 weiblich) Physik als Leistungskurs und 20 Schüler (11 männlich, 9 weiblich) Physik in Jahrgangsstufe 12 als Grundkurs zu belegen. Das Fach nicht mehr belegen wollen 15 Schüler (5 männlich, 10 weiblich).

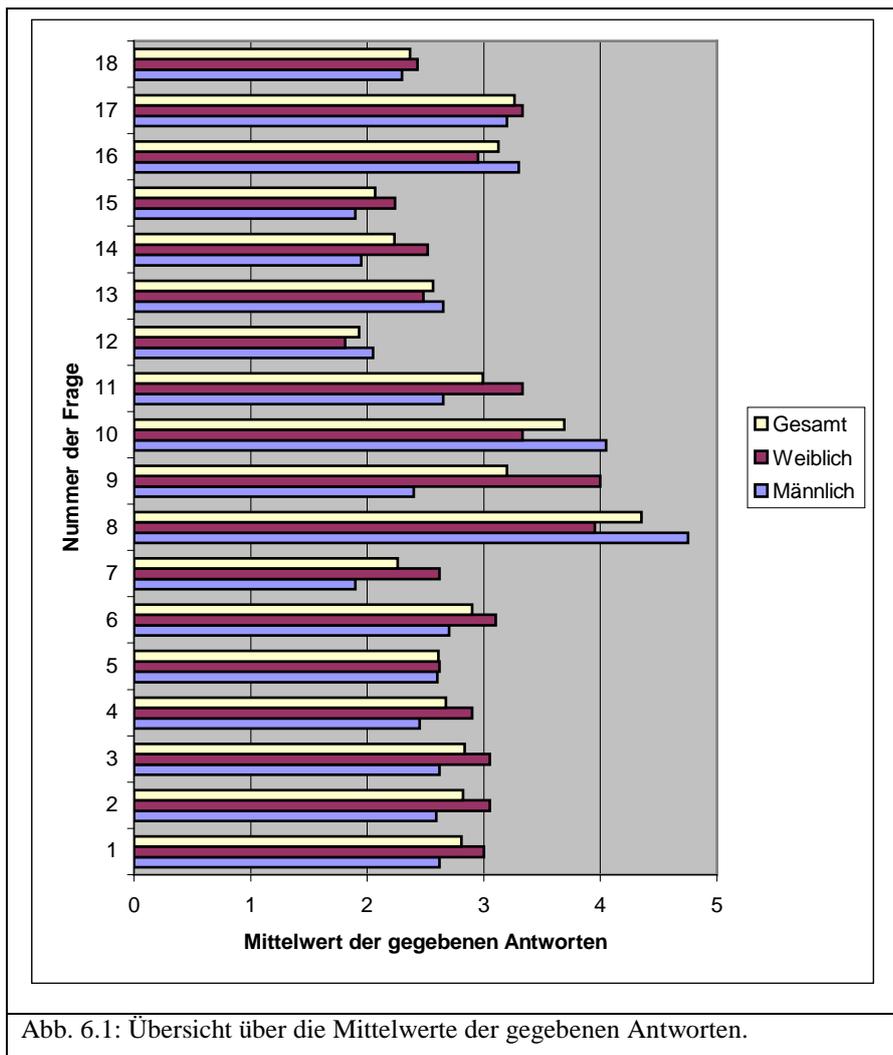


Abb. 6.1: Übersicht über die Mittelwerte der gegebenen Antworten.

Im ersten Block, der dazu herangezogen werden kann die Leistungen der Schüler im Fach Physik einzuschätzen, lagen die Antworten größtenteils im Mittelfeld. Dabei schneiden die männlichen Schüler etwas besser ab als die weiblichen. Besonders groß sind die Abweichungen zwischen den Antworten beider Geschlechter bei den Fragen 9 bis 11. Dies lässt den Schluss zu, dass die Jungen sich eher an schwierige Aufgaben herantrauen. Deutlich wird dies insbesondere an Frage 9, welche die Einschätzung nahe legt, dass Mädchen deutlich weniger Freude daran haben eine schwierige Aufgabe anzugehen, während die Jungen einen besonderen Reiz in der Herausforderung zu sehen scheinen. Ihrer Zukunft im Fach Physik sehen die Schüler eher positiv entgegen. Die Antworten in Frage 7 fallen bei allen Schülern positiver aus als bei den Fragen, in denen die Schüler ihre aktuellen Leistungen einschätzen sollen. Besonders die männlichen Schüler hoffen in Zukunft auf gute Leistungen. Die Motivation sich im Fach Physik anzustrengen, ist bei beiden Geschlechtern sehr hoch, auch wenn bei den männlichen Schülern ein

deutlicher Vorsprung zu verzeichnen ist. Ebenfalls stark beeinflusst wird die Motivation der Schüler durch die bedeutende Rolle der Physik im Alltag (Frage 16). Das relativ hohe Ergebnis in Frage 17 spricht dafür, dass die Schüler den Einsatz der Physiklehrer im Unterricht und in der Vorbereitung schätzen und sich daher sozusagen als Gegenleistung stark einbringen. Ob dies allerdings eine wirkliche Motivationsquelle darstellt, wage ich zu bezweifeln. Es erscheint mir zwar glaubhaft, dass Schüler in diesem Alter den Einsatz ihrer Lehrer erkennen und auch zu schätzen wissen, allerdings bezweifle ich, dass dies konkrete Auswirkungen auf den Einsatz der Schüler im Unterricht hat. Das positive Ergebnis dürfte zum Teil dadurch bedingt sein, dass die Schüler aus Höflichkeit in den Antworten eher etwas höher gegriffen haben oder auch dadurch, dass sie die Argumentation in der Antwort nachvollziehen können und für gut heißen, auch ohne dass ihr persönliches Handeln durch diese Einstellung stark beeinflusst wird.

Erfreulich scheint die Einstellung der Schüler zum Fach Physik zu sein; das relativ niedrige Ergebnis in den Fragen 14 und 15 zeigt, dass die Schüler sich nicht nur gezwungenermaßen im Physikunterricht beteiligen bzw. mit Physik beschäftigen. Dies spricht für ein echtes Interesse an den Inhalten des Physikunterrichts. Dass die Schüler bei einem günstigen Buch mit physikalischen Inhalten auf dem Flohmarkt nicht unbedingt zuschlagen würden (Frage 12), könnte den Rückschluss auf geringes Interesse an den Inhalten zulassen. Ebenso denkbar wäre aber, dass die Schüler heutzutage nicht mehr auf Flohmärkten Bücher kaufen bzw. dort minderwertige Ware vermuten. Das Item könnte zukünftig in Richtung von ebay oder ähnlichen Internetangeboten für gebrauchte Literatur umformuliert werden, um der sich wandelnden Kultur des Gebrauchtgüterkaufes anzupassen.

6.1.2 Zwischenfragebögen zu ausgewählten Aufgaben

Zu den Aufgabenkarten 1.9, 2.5, 3.3, 4.8 und 5.6 sollten die Schüler je einen Zwischenfragebogen ausfüllen (siehe Anhang 7). Die Stimmverteilungen finden sich in Anhang 9 bis 12. Die Verteilung der Mittelwerte der einzelnen Abgegebenen Stimmen findet sich in Anhang 13 sowie am Ende dieses Kapitels. Die verfolgten Ziele die Erwartungen an die Fragebögen wurden in

Kapitel 5.3.1 diskutiert. Besonders wichtig in der Zielsetzung ist die Erfassung hinsichtlich des Erlebens der Schüler während der Unterrichtssequenz. Folgende Tabelle stellt dar, wie viele Schüler jeweils welchen Fragebogen bearbeitet haben (dabei gibt die obere Nummer die Kartenummer an, zu der der Bogen auszufüllen war):

Bögen/Karte	1.9	2.5	3.3	4.8	5.6
Männlich	18	15	15	19	10
Weiblich	20	20	21	18	6
Gesamt	38	35	36	37	16

Tabelle 6.1: Anzahl abgegebener Zwischenfragebögen

Die relativ geringe Anzahl der befragten Schüler zu Karte 5.6 ergibt sich daraus, dass dieser Bogen am vorletzten und letzten Tag vor den Weihnachtsferien ausgefüllt werden sollte, was insbesondere in der Klasse, die am Freitag vor den Ferien Unterricht gehabt hätte, zu großen Fehlzahlen führte. Da nur sieben Schüler anwesend waren, musste auf den Unterricht an diesem Tag verzichtet werden, so dass dieser Aufgabe nur aus einer Klasse Ergebnisse vorliegen.

Die Durchführung der Tätigkeiten bereitete den Schülern besonders bei den Aufgaben 1.9 und 4.8 Freude, aber auch Aufgabe 3.3 erfreute sich noch großer Beliebtheit. Die hinsichtlich des Erlebens von Spaß schlechteren Ergebnisse in Aufgabenserie 2 sind vermutlich einerseits darauf zurückzuführen, dass der Aufgabenkarte kein Experiment zugrunde lag. Andererseits mögen sie mit dem in der zweiten Kartenserie allgemein beobachteten eher abnehmenden Interesse zusammenhängen (siehe Kapitel 6.2.2).

Insgesamt scheint das Bearbeiten der Aufgaben den Jungen deutlich mehr Spaß gemacht zu haben als den Mädchen. Besonders auffällig sind die Unterschiede bei den eher weniger beliebten Aufgaben 2.5 und 5.6. Die Ergebnisse aus Kartenserie 5 können wegen der geringen Zahl befragter Schüler allerdings insgesamt nicht eindeutig gedeutet werden.

Das Bearbeiten der Aufgaben stellte nach Angaben in den Fragebögen für die Schüler in keiner der Karten eine größere Herausforderung (Frage 2) dar, die Antworten vielen in allen Fällen vergleichsweise niedrig aus. Dies deckt sich mit den Ergebnissen aus Frage 3, bei der die Schüler überwiegend das Gefühl

hatten alles gekannt zu haben was für die Durchführung der Tätigkeit notwendig war. Außer bei den Ergebnissen zu Karte 5.6 waren keine größeren geschlechtsspezifischen Unterschiede zu beobachten, wobei die Abweichung bei dem letzten Fragebogen wiederum auf den geringen Stichprobenumfang zurückgeführt werden könnte.

Die Schüler kamen recht übereinstimmend zu dem Schluss, dass die Möglichkeiten eigene Ideen verwirklichen zu können (Frage 4), zwar vorhanden, aber doch recht eingeschränkt war. Dies dürfte auf den meist doch recht eng gesteckten Rahmen der vorgegebenen Aufgaben zurückzuführen sein. Auch das enge Zeitfenster, in dem die Schüler gehalten waren eine Aufgabe zu erfüllen (5 min) könnte die Verwirklichung eigener Ideen eher einschränken. Allerdings gaben die männlichen Schüler deutlich häufiger an, dass sie eigene Ideen verwirklichen konnten, dies war besonders der Fall bei Aufgaben, die eine Erklärung oder Begründung erforderten (2.5, 4.8 und 5.6). Hier dürfte der Reiz für die Schüler darin gelegen haben, sämtliche Ideen, die ihnen zu dem Thema einfielen zusammenzutragen, zu diskutieren und so zu einer Lösung zu kommen.

Die Gespräche mit den Mitschülern wurden bei allen Aufgabenkarten als äußerst hilfreich bewertet (Frage 5), außer im Fragebogen zur vierten Kartenserie treten keine größeren geschlechtsspezifischen Unterschiede auf. Dass die Jungen die Gespräche in dieser Aufgabe hilfreicher fanden, könnte auf den bereits beschriebenen Reiz zurückzuführen sein, Gedankengänge, die zu einer Problemlösung beitragen könnten in der Gruppe zusammenzutragen um so zu einer Lösung zu kommen.

In fast allen Fällen wurden die zuletzt durchgeführten Tätigkeiten als interessant bewertet (Frage 6). Lediglich in Kartenserie 5 wurde unterdurchschnittliches Interesse bescheinigt. Dies könnte einerseits wieder auf die kleine Anzahl an befragten Schülern zurückzuführen sein, andererseits dürfte die Tatsache, dass die Fragebögen am vorletzten Schultag vor den Weihnachtsferien aufgefüllt wurden dazu beigetragen haben, dass das Interesse für den Physikunterricht allgemein etwas geringer ausfiel. Auch in Kartenserie 2 fiel das Interesse etwas geringer aus, was sich mit den Ergebnissen aus Frage 1 deckt (siehe auch Kapitel 6.2.2). Bei den beiden letztgenannten Fragebögen

viel insbesondere das Interesse der Mädchen gering aus, während das Interesse der Jungen weniger stark abfiel.

Neben den Fragen zum Ankreuzen konnten die Schüler noch in freien Worten notieren, was ihnen besonders gut oder besonders schlecht gefallen hat. Hierbei wurde am häufigsten bemängelt, dass die Versuche nach einer Weile eintönig erscheinen und so Langeweile aufkommt. Während in der ersten Kartenserie nur 2 Schüler angaben, dass die Aufgabe langweilig sei, gaben in Serie 2 bereits 14 Schüler an, dass die Aufgaben zu eintönig seien. Nach der zweiten Aufgabenserie scheint das Interesse wieder leicht anzusteigen, zu den Aufgaben 3.3 und 4.8 bemängelten nur noch jeweils neun Schüler die Eintönigkeit der Aufgaben. In Aufgabe 5.6 langweilten sich nur noch sieben Schüler, was aber aufgrund der geringen Teilnehmerzahl einen relativ hohen Anteil darstellt. Für die Erklärung der Ergebnisse kommen drei Faktoren in Betracht:

- Die Kartenserien gehen bzgl. der Lernziele sehr kleinschrittig vor. Es ist möglich, dass die Schüler die neuen Aspekte, die in jeder Karte hinzukamen, nicht immer erfasst haben und so der Eindruck entstanden ist, dass in den Karten immer die gleiche Aufgabe zu lösen war. Dies deckt sich auch mit der Äußerung eines Schülers, der bemängelte, dass Unterscheide manchmal schwer herauszufinden seien.
- In Aufgabenserie 2, aber auch in Serie 3 kamen auch die unterrichtsbeobachtenden Personen zu dem Schluss, dass die Karten zu kleinschrittig aufgebaut sind und die Schüler sehr oft dieselbe Tätigkeit durchführen (wiederholtes Rollen der Kugeln in vielen Variationen). Hier könnte es sich als positiv erweisen die Kartenserien 2 und 3 so zu kürzen, dass diese in einer Unterrichtsstunde behandelt werden können.
- Insbesondere nach der zweiten bzw. dritten Doppelstunde könnte das abnehmende Interesse darin begründet sein, dass der Unterricht einfach zu lange in derselben Form stattfand. Hier könnte überlegt werden, ob es evtl. besser wäre die Methode und auch die Sozialform zwischendurch zu wechseln. Möglich wäre es beispielsweise anfangs wie in der hier beschriebenen Unterrichtssequenz vorzugehen, um dann einen Abschnitt beispielsweise in darbietender Form zu behandeln und

anschließend wieder zu Gruppenarbeit und kartenbasiertem Unterricht überzugehen.

Besonders positiv wurde die Gruppenarbeit beurteilt, was die in Kapitel 2.2 dargestellten Vorzüge zu bestätigen scheint. Allerdings tauchten in der letzten Kartenserie auch vereinzelt Äußerungen auf, dass die Gruppenarbeit zu lange andauere, was sich mit der oben dargestellten Interpretation zur empfundenen Eintönigkeit deckt. Ebenfalls sehr häufig wurden die vielen Versuche positiv angemerkt. Hierbei kam es den Schülern insbesondere darauf an die Versuche eigenständig durchführen und auswerten zu können, was einen Widerspruch zu den Ergebnissen der Fragebögen steht, in denen die Schüler angaben, dass größtenteils keine eigenen Ideen verwirklicht werden konnten. Auch das Experimentiermaterial hatte es den Schülern angetan. Besonders häufig wurde angemerkt, dass das Beobachten der rollenden Kugeln Spaß mache, was im Widerspruch zu der Interpretation steht, dass durch das wiederholte Verwenden der Kugeln als Experimentiermaterial Eintönigkeit hervorgerufen wird. In der vierten Aufgabenserie wurde schließlich die Arbeit mit den Magneten sehr positiv bewertet. Vereinzelt negativ angemerkt wurde dass die Aufgabe bzw. die Versuche zu einfach seien.

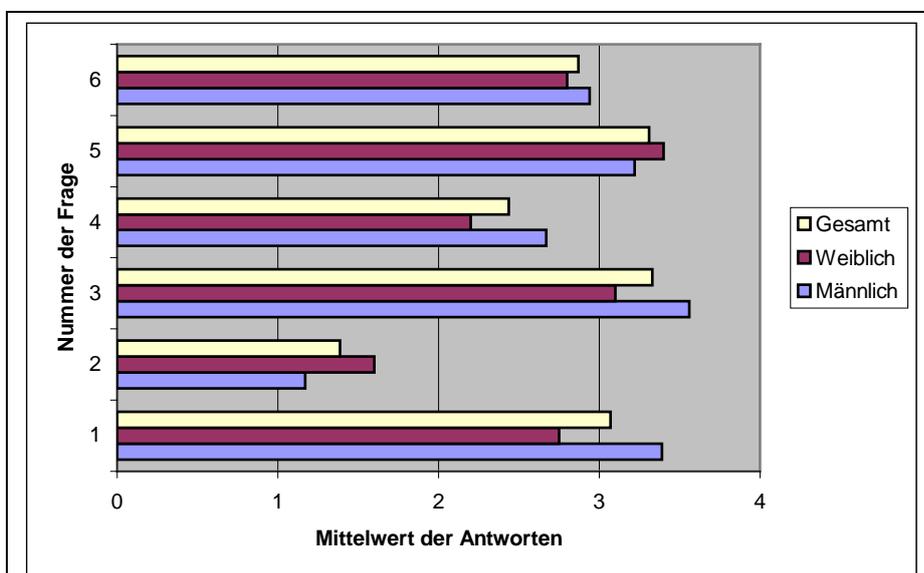


Abb. 6.2: Übersicht über die Mittelwerte der gegebenen Antworten zu Aufgabenkarte 1.9

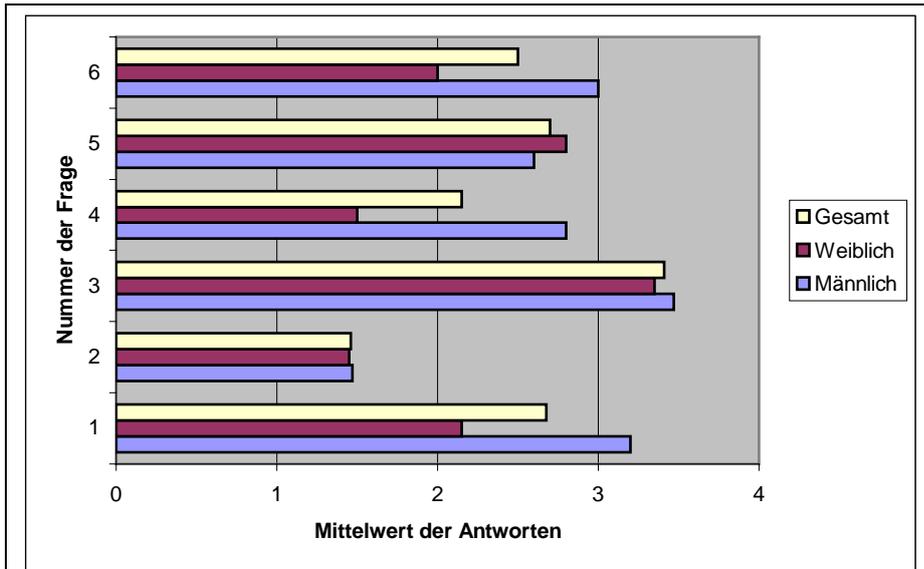


Abb. 6.3: Übersicht über die Mittelwerte der gegebenen Antworten zu Aufgabenkarte 2.5

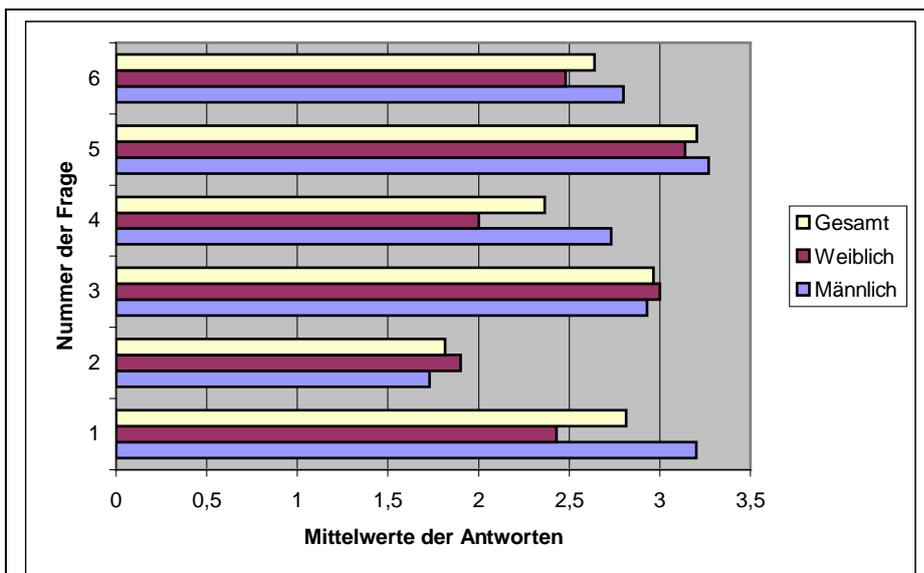


Abb. 6.4: Übersicht über die Mittelwerte der gegebenen Antworten zu Aufgabenkarte 3.3

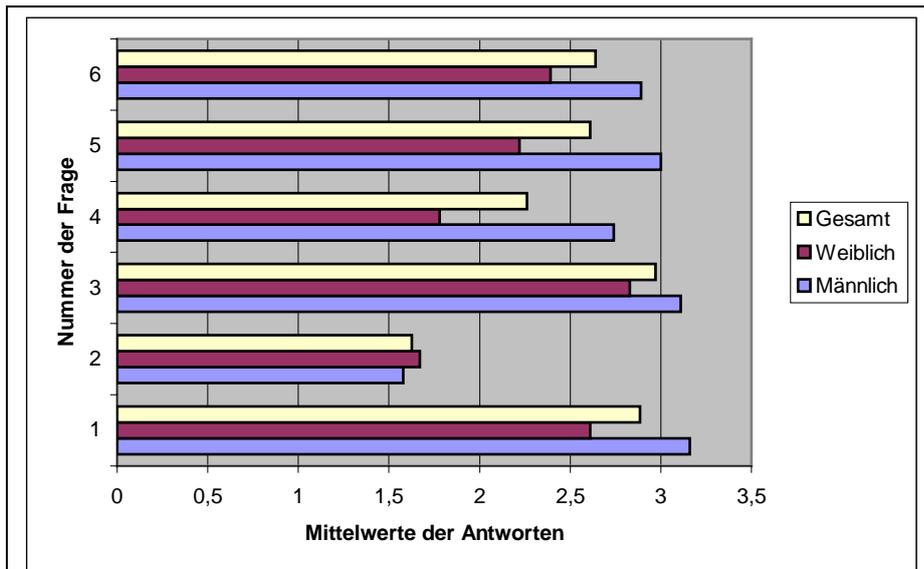


Abb. 6.5: Übersicht über die Mittelwerte der gegebenen Antworten zu Aufgabenkarte 4.8

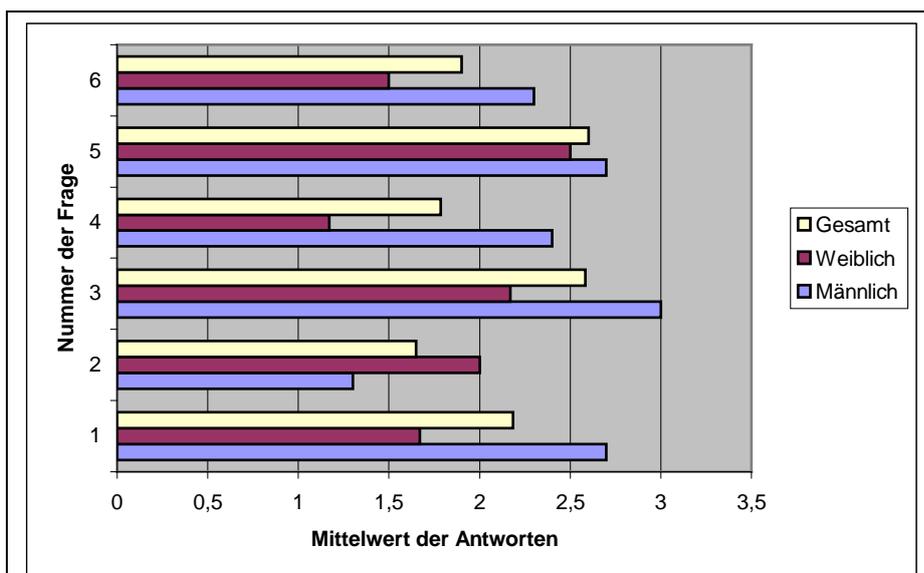


Abb. 6.6: Übersicht über die Mittelwerte der gegebenen Antworten zu Aufgabenkarte 5.6

6.1.3 Abschlussfragebogen

Dieser Fragebogen wurde von den Schülern nach Abschluss der Unterrichtssequenz ausgefüllt. Insgesamt nahmen 25 Schüler (12 männlich, 13 weiblich) an der Befragung teil. Die relativ geringe Anzahl ergibt sich aus denselben Gründen, die schon bei den Zwischenfragebögen dargelegt wurden. Einige Schüler füllten zudem den Abschlussfragebogen aus ohne die fünfte

Aufgabenserie fertig bearbeitet zu haben (in der letzten Unterrichtsstunde wurden wegen der geringen Anzahl anwesender Schüler nur noch die Fragebögen ausgefüllt, auf weiteren Unterricht musste in dieser Klasse verzichtet werden). Die Stimmverteilungen finden sich in Anhang 15 und 16.

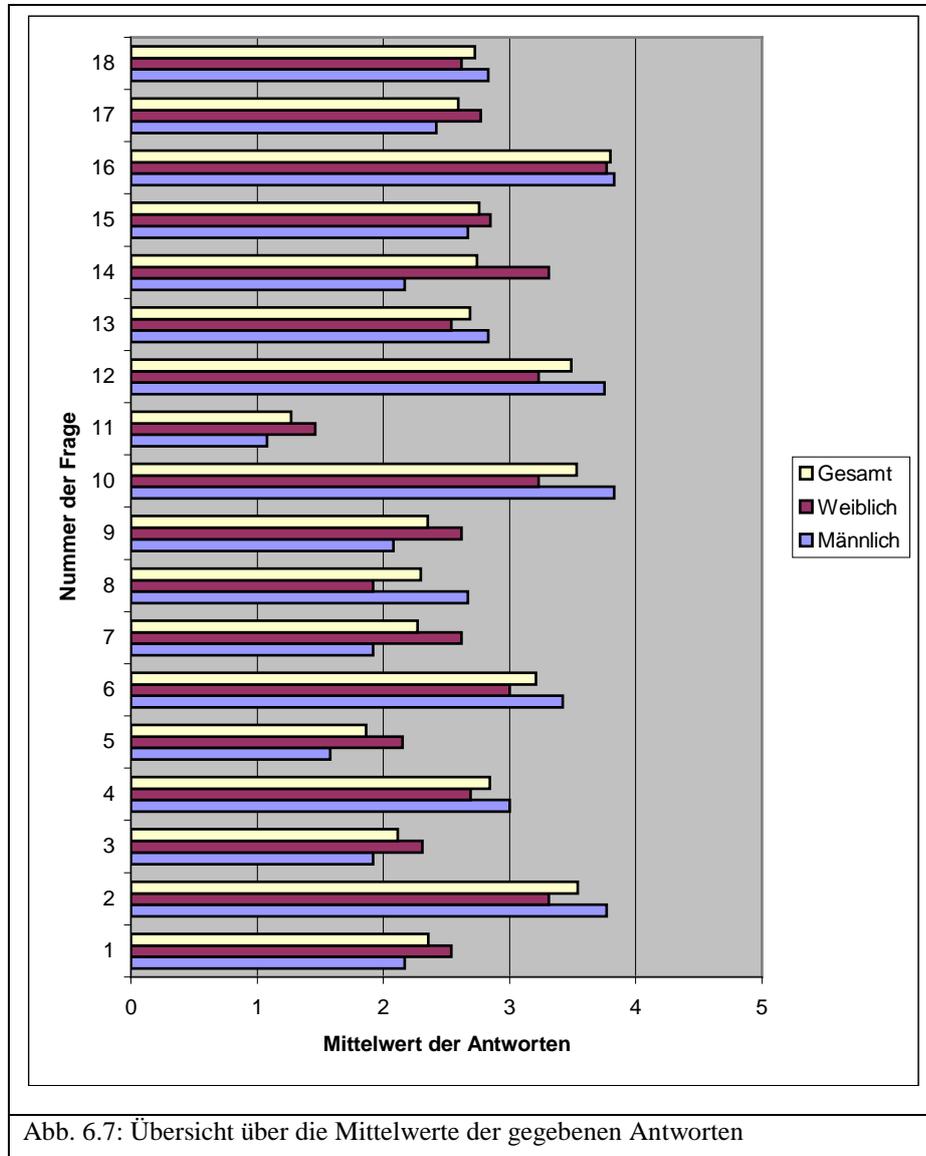


Abb. 6.7: Übersicht über die Mittelwerte der gegebenen Antworten

In der abschließenden Bewertung kamen die Schüler zu dem Schluss, dass der Unterricht für die meisten nicht zu schnell ging (Frage 2). Auch der Schwierigkeitsgrad der Aufgaben wurde als nicht sehr hoch eingestuft (Frage 10) und die Schüler fühlten sich demnach nicht überfordert (Frage 16). Ebenfalls konnten die Schüler nicht über offen gebliebene Fragen klagen (Frage 5), die gegebenen Erklärungen wurden überwiegend positiv bewertet. Auch in Frage 12 gaben die Schüler an die Zusammenhänge gut verstanden zu haben. Die Experimente wurden von den Schülern positiv bewertet, sie gaben

an Spaß beim Experimentieren gehabt zu haben (Frage 3). Dies spiegelt sich auch in Frage 15 wieder, in der die Antworten im Mittelfeld liegen, was darauf schließen lässt, dass die Schüler mit dem Angebot an Experimenten zufrieden waren. Die Angaben zur Freude am Unterricht (Frage 9) lagen eher im mittleren bis positiven Bereich, ebenso die Angaben zum Interesse am Unterricht (Frage 1). Die Schüler vergaben für den Unterricht eine durchschnittliche Notenpunktzahl von 8,32 Punkten (auf einer Notenskala von 0 bis 15 Punkten). Dieses Ergebnis scheint zunächst wenig zufrieden stellend. Eine Interpretation wäre, dass viele die Schüler selbst im Fach Physik eher weniger gute Benotungen gewohnt sind und aus dieser Sicht die Vergabe von rund 8 Punkten bereits eine recht gute Note darstellt. Gestützt würde diese These durch die eher schlechten Ergebnisse der Physikarbeit (laut der Physiklehrerin lag der Durchschnitt deutlich im negativen Bereich, also unter 5 Punkten). Allerdings ist zu vermuten, dass auch Unzufriedenheiten der Schüler diese Note beeinflussen. Die bereits beschriebene empfundene Eintönigkeit dürfte sicherlich einen wichtigen Punkt darstellen. Besonders im abschließenden Reflexionsgespräch betonten die Schüler, dass die Einheit als zu lang empfunden wurde und sie sich spätestens nach der zweiten Doppelstunde einen Methodenwechsel gewünscht hätten. Auch dieser Aspekt dürfte bei der Benotung des Unterrichts eine Rolle gespielt haben.

Auch in diesem Fragenbogen hatten die Schüler noch einmal Gelegenheit in eigenen Worten darzulegen, was ihnen besonders gut bzw. weniger gut am Unterricht gefallen hat. Die Ergebnisse decken sich größtenteils mit den aus den Zwischenfragebögen gewonnenen Ergebnissen. Wiederum wurden die Experimente (8 Schüler), insbesondere das eigenständige Experimentieren (7 Schüler), positiv beurteilt. Die Gruppenarbeit wurde erneut von neun Schülern positiv hervorgehoben. Fünf Schüler gaben an, dass besonders die erste Doppelstunde interessant war, drei Schülern fiel der abwechslungsreiche Unterricht positiv auf. Dem widerspricht, dass zwölf Schüler die Eintönigkeit und die damit verbundene Langeweile kritisieren. Drei Schüler fanden die gestellten Aufgaben zu einfach. Hier könnte es sich evtl. anbieten anspruchsvollere Zusatzaufgaben in die Kartenserien zu integrieren, damit diese Schüler auf ihre Kosten kommen. Zwei Schüler gaben an, dass die Aufgaben teilweise zu zeitaufwändig gewesen seien, allerdings scheint dies

eine Ausnahme zu sein, Beobachtungen können nicht bestätigen, dass einzelnen Aufgaben unangemessen viel Zeit in Anspruch genommen haben.

Hinsichtlich der Aufgaben zur Lernkontrolle kam der Bogen zu den folgenden Ergebnissen:

Die erste Aufgabe (Rechenaufgabe zum Impuls) lösten 7 (5 männlich, 2 weiblich) von insgesamt 25 Schülern korrekt. 12 Schüler (3 männlich, 8 weiblich) lösten zwar die Rechnung korrekt, machten aber Fehler bei der Angabe der Einheit, wobei die Einheiten richtig umgerechnet wurden, dabei wurde die Einheit jedoch falsch oder gar nicht angegeben. 6 Schüler (3 männlich, 3 weiblich) lösten die Aufgabe gar nicht oder falsch. Die beobachteten Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Schüler größtenteils zwar den Impuls im Prinzip richtig berechnen können, aber Probleme mit den Einheiten haben. Falsches kürzen von Einheiten sorgte hier für Probleme oder es wurde erst gar keine Einheit angegeben. Oft nutzen die Schüler die Formel $p=kg*m/s$ zur Berechnung des Impulses, was ebenfalls auf Schwierigkeiten mit den Einheiten deutet. Diese dürfte aber kein spezielles Problem sein, dass durch die Unterrichtssequenz verursacht wurde, sondern vielmehr darauf hindeuten, dass der Umgang mit Einheiten allgemein den Schülern Probleme bereitet.

Die zweite Aufgabe lösten immerhin 4 Schüler zufrieden stellend (2 männlich, 2 weiblich), bei zwei weiteren Schülern (männlich) waren nur kleine Mängel feststellbar. 3 Schülerinnen und 1 Schüler konnten richtige Vorstellungen zum Kraftbegriff darlegen (Kraft bewirkt eine Änderung der Geschwindigkeit/ des Impulses), hatten aber Probleme bei der Beschreibung des Impulses. 4 Schülerinnen und 1 Schüler zeigten richtige Vorstellungen zum Impulsbegriff, aber nicht zum Kraftbegriff. Die häufigste anzutreffende Fehlvorstellung war, dass die Kraft die Ursache der Bewegung bzw. des Impulses ist. Diese Auffassung wurde von drei Schülern und fünf Schülerinnen vertreten. Hier kann man erkennen, dass die Bemühungen in Kartenserie 5 (Karten 5.6 und 5.8: Kraft ist nicht die Ursache der Bewegung) noch nicht ausreichen um diese Vorstellung den Schülern begreifbar zu machen. Hierauf sollte im nachfolgenden Unterricht noch eingegangen werden. Drei Schüler (zwei männlich, 1 weiblich) vertraten die Auffassung, dass Kräfte dauerhaft wirken, Impulse jedoch nur einmalig für einen kurzen Moment. Häufig wird der Impuls

als „Kraftstoß“ eingeführt und interpretiert. Evtl. hängt diese Vorstellung damit zusammen. Ein Schüler setzte den Impuls mit der Geschwindigkeit und die Kraft mit der Beschleunigung gleich. Zwar können Kraft und Impuls mit diesen beiden Größen in Verbindung gebracht werden, die Gleichsetzung ist jedoch falsch. Drei Schülerinnen machten zu dieser Frage keine Angaben.

Die dritte Aufgabe (Flugbahn eines herumgeschleuderten Balles, wenn der faden reißt) wurde von 11 Schülern richtig gelöst (10 männlich, 1 weiblich). 9 Schüler (2 männlich, 7 weiblich) lösten die Aufgabe falsch, 5 Schülerinnen machten keine Angaben. Die Probleme sind sicherlich teilweise auf die in Kapitel 5.3.1 beschriebenen Schwierigkeiten zurückzuführen (bisher wurden Kreisbewegungen noch nicht durchgenommen), deuten aber auch darauf hin, dass das Trägheitsprinzip noch nicht vollständig verstanden wurde. Da es sich in der beschriebenen Unterrichtssequenz aber nur um eine Einführung handelt und die Trägheit noch Thema im weiterführenden Unterricht sein wird, können bestehende Probleme noch beseitigt werden.

6.2 Reflexionen zu den Kartenserien

Während der Durchführung der Unterrichtssequenz haben sich einige Karten als problematisch herausgestellt. An dieser Stelle soll nun auf die beobachteten Probleme eingegangen werden und mögliche Lösungsvorschläge erarbeitet und diskutiert werden. Dabei wird nur auf die Karten eingegangen, die von den Erwartungen, welche in Kapitel 5.2 beschrieben sind, abweichen. Die bearbeiteten Aufgabenkarten, auf die sich die folgenden Überlegungen beziehen, finden sich in Kapitel 4.4.2.

6.2.1 Reflexionen zur ersten Kartenserie

Die erste Kartenserie bereitete den meisten Schülern große Freude. In einer Reflexionsrunde am Ende der Unterrichtssequenz gaben sie an, besonders die Bewegungsaufgaben (Ballwürfe, Skateboard) genossen zu haben. Sicherlich hat jeder Schüler der elften Klasse schon einmal einen Ball in der Hand gehabt, so dass es zunächst nicht unbedingt notwendig erscheint, die Experimente praktisch durchzuführen bevor man über die Erfahrungen spricht, jedoch

erweist sich ein solches Gespräch als leichter, wenn man zuvor die Gegenstände tatsächlich in der Hand hatte. Aus dem stark motivierenden Charakter dieser Bewegungsexperimente lässt sich vielleicht auch ableiten, dass es für den Physikunterricht von gewinnbringendem Vorteil sein könnte solche und ähnliche Bewegungsaufgaben auch an anderen Stellen in den Unterricht mit einzubeziehen.

Aufgrund eigener Beobachtungen komme ich zu dem Schluss, dass der Erfolg dieser ersten Kartenserie auch in dem vielfältigen unterschiedlichen und häufig wechselnden Experimentiermaterial zu sehen ist. Dieser Aspekt kam nach persönlicher Einschätzungen in anderen Kartenserien manchmal etwas zu kurz.

Karten 1.1, 1.5 und 1.6

Bei dieser Karte tauchte das Problem auf, dass die Reibung der Rollen der Skateboards stark vom Gewicht beeinflusst werden. Die Skateboards bremsten teilweise so stark ab, dass sie gar nicht beim „Stopper“ ankamen. Dies führte dazu, dass einige Schüler den Schluss zogen, dass die Reibung fast ausschließlich vom Gewicht abhängen müsse, was zu



Abb. 6.8: Der Skateboard-Versuch sorgte teilweise für falsche Vorstellungen

Fehlvorstellungen führte, die sich in späteren Karten zeigten. Beispielsweise wurde in Karte 1.5 häufig geantwortet, dass das Postfahrrad leichter zu stoppen sei als das Rennrad, da es aufgrund der höheren Masse viel schneller abgebremst würde und kaum noch Schwung habe wenn es beim Stopper ankommt. In Aufgabe 1.6 kam es dann zu Folgefehlern, es wurde teilweise vermutet, dass Rennrad müsse langsamer fahren als das Postfahrrad um die vermeintlichen Geschwindigkeitsverluste der Postfahrrads auszugleichen.

Um diesen Vorstellungen zu begegnen, sollte diese Karte evtl. ausgelassen oder durch eine andere ersetzt werden. Insbesondere sollte ein Experiment gewählt werden, bei dem die Reibung keine allzu große Rolle spielt, da es in der ersten Kartenserie um die Variation von Masse und Geschwindigkeit geht

und die Einflüsse der Reibung erst in der zweiten Kartenserie behandelt werden. Wird an der Karte in der ursprünglichen Form festgehalten, sollte darauf geachtet werden, dass die Schüler, die sich das Skateboard zuschieben, nicht zu weit voneinander entfernt stehen, damit das Skateboard ohne allzu große Reibungsverluste beim „Stopper“ ankommt.

In Karte 1.5 kann den Schülern folgende Frage gestellt werden um die Situation zu verdeutlichen: „Würdet ihr euch lieber einem LKW oder einem gleich schnellen Dreirad mit einem kleinen Kind in den Weg stellen?“. Anhand dieses Beispiels sollte es gelingen die Gedankengänge der Schüler in die richtige Richtung zu lenken.

Bei größeren Problemen sollte gegebenenfalls in der Besprechung der Notizabgaben mit den einzelnen Gruppen sowie im abschließenden Unterrichtsgespräch noch einmal auf diese Punkte eingegangen werden.

Karte 1.8 und 1.9

Anstatt eines Radiergummis verwendeten einige Schüler ein Geodreieck, das sie auf die Schiene legten. Sie berichten in den Fragebögen, die zu Aufgabe 1.9 auszufüllen waren (Anhang 7, 9 und 13), dass diese Methode besonders gut sei. Dies stellt eine weitere Alternative zu der Verwendung von Holzklötzchen, Stiftkappen o. Ä. dar.

Einige Schüler versuchten quantitative Messungen durchzuführen, indem sie verglichen, wie weit der Radiergummi jeweils verschoben wurde. Wird dies in einzelnen Gruppen beobachtet, sollte darauf hingewiesen werden, dass mit dem Versuchsaufbau keine genauen Messungen durchgeführt werden können und dass Beobachtungen wie „startet die Kugel von halber Höhe, wird der Radiergummi genau halb so weit geschoben“ zufälliger Natur sind und keine Rückschlüsse auf die genaue Größe des Schwungs erlauben.

Karte 1.12

Aufgrund der in Kapitel 4.4.2.1 bei Karte 1.4 beschriebenen Probleme (unklare Beobachtungen beim Ballwurf) kamen einige Schüler zu dem Schluss, dass der Schwung von dem Abstand abhängt. Hier können die Schüler darauf hingewiesen werden, dass der Abstand einen Einfluss darauf hat, wie stark die Bälle abgeworfen werden müssen, damit sie beim Fänger ankommen. Durch

den Abstand wird also die Abwurfgeschwindigkeit beeinflusst, wodurch wieder der Einfluss der Geschwindigkeit auf den Schwung deutlich wird.

6.2.2 Reflexionen zur zweiten Kartenserie

Die zweite Kartenserie wurde von vielen Schülern weniger gut bewertet als die erste. Häufig gaben die Schüler an, aufgrund eintöniger Experimente Langeweile zu verspüren. Dies wurde auch am Arbeitsverhalten der Schüler sichtbar. Häufig neigten sie zu Spielereien mit dem Experimentiermaterial oder lenkten sich mit Beschäftigungen ab, die mit dem Unterricht nichts zu tun hatten. Zum einen könnte die Ursache darin liegen, dass diese Kartenserie tatsächlich zu viele Aufgaben enthielt, die im Verhältnis dazu zu wenig neue Erkenntnisse bieten. Hier könnte durch Kürzen der Serie Abhilfe geschaffen werden. Zum anderen könnte die beschriebene Eintönigkeit von den verwendeten Experimentiermaterialien abhängen, die im Wesentlichen immer gleich blieben. Obwohl die Schüler in den Fragebögen (siehe Kapitel 6.1.2) das Beobachten der rollenden Kugeln durchaus positiv beschrieben, könnte trotzdem genau das der Grund für die aufkommende Eintönigkeit sein. Es empfiehlt sich daher darüber nachzudenken, ob in Serie 2 auch andere Materialien eingesetzt werden könnten um den Unterricht etwas interessanter zu gestalten und trotzdem die selben Lernziele zu erreichen.

Karte 2.5

Bei der Bearbeitung dieser Karte traten die in Kapitel 4.4.2.2 unter Karte 2.3 beschriebenen Probleme zu Tage (Veränderung mehrerer Größen gleichzeitig: Masse der Kugeln und Oberflächenbeschaffenheit). Viele Schüler zogen den Schluss, dass die Kugeln umso stärker abgebremst werden, je weniger Masse sie haben, ohne den Einfluss der unterschiedlichen Oberflächen zu erkennen.

Neben der in Kapitel 4.4.2.2 beschriebenen Lösungsmöglichkeit (Kugeln von gleicher Masse und Größe aber unterschiedlicher Oberflächenbeschaffenheit), könnte auch eine Umformulierung der Karte helfen, die den Blick der Schüler auf die unterschiedlichen Oberflächen lenkt (z.B.: „Betrachtet die Oberfläche der Unterlage und prüft, auf welcher Unterlage welche Kugeln am weitesten rollen.“)

Karte 2.12

Einige Schüler gelangten beim Lösen dieser Aufgabe zu der Ansicht, dass die Reibung immer dann besonders niedrig ist, wenn gleiche Materialien aneinander reiben wie beispielsweise die Metallkugel auf der Metallschiene.

Diese Überlegung kann jedoch relativ leicht entkräftet werden, indem man den Schülern die Frage stellt, ob denn auch eine Holzkugel auf einer Holzschiene besonders weit und nahezu reibungsfrei rollen würde. Diese Vorstellung führt bei den Schülern recht schnell zu der Erkenntnis, dass die Reibung von beiden verwendeten Oberflächen abhängt, und besonders gering ist wenn beide Oberflächen sehr glatt sind.

6.2.3 Reflexionen zur dritten Kartenserie

Auch die Kartenserie 3 wurde von den Schülern als eher eintönig und langweilig empfunden. Meiner Ansicht nach ist dies auf ähnliche Probleme wie zu Kartenserie 2 beschrieben (ähnliche Versuchsaufbauten), zurückzuführen.

Karte 3.1

Die in Kapitel 4.4.2.3 zu dieser Karte beschriebenen Probleme (Vorzeichenfestlegung von Geschwindigkeit und Beschleunigung) traten wie vermutet bei einigen Schülern auf. Offensichtlich bereitet die Vorstellung einer negativen Geschwindigkeit oder einer negativen Beschleunigung den Schülern große Probleme. Evtl. kann versucht werden, den Schülern eine Hilfestellung in Form eines Beispiels (Fahrt morgens zur Schule und mittags Fahrt nach Hause von der Schule weg) an die Hand zu geben.

Karte 3.2 und 3.3

Hier traten einige Probleme auf, da einige Schüler davon ausgingen, dass die in der Zeichnung eingetragenen Punkte 2 und 6 genau auf der Hälfte der Schrägen liegen. Durch symmetrische Überlegungen kamen sie zu dem Schluss, dass die Geschwindigkeit in den Punkten 3 und 5 genau doppelt so groß sein sollte wie in den Punkten 2 und 6. Diese Überlegung wird allerdings durch die gegebene Geschwindigkeit in Punkt 4 widerlegt. Dass die Überlegungen der Schüler durch diese gegebene Geschwindigkeit durchkreuzt werden ist in sofern

schade, da Symmetrieüberlegungen eine wichtige Rolle in der Physik spielen und Schüler eher in der Anwendung dieser Methoden bestärkt werden sollten. Es wäre daher ratsam, die Geschwindigkeit in Punkt 4 auf den Wert 5,2 m/s abzuändern. Es wäre aufgrund von Symmetrieüberlegungen auch möglich diese Geschwindigkeitsangabe ganz wegzulassen, allerdings dürfte die Aufgabe dann für schwächere Schüler nicht mehr lösbar sein.

Da in der Aufgabe nicht darauf hingewiesen wird, dass die Reibung zu vernachlässigen ist, haben einige Schüler versucht die Geschwindigkeiten zu schätzen, indem sie die Geschwindigkeit in Punkt 6 etwas niedriger annahmen als in Punkt 2 und die Geschwindigkeiten in Punkt 3 und 5 etwas höher bzw. niedriger annahmen als in Punkt 4. Da diese Überlegungen nicht falsch sind und die Formulierung der Karte „... möglichst genau“ prinzipiell eine Schätzung nicht ausschließt, sollte dieser Lösungsweg als richtige Alternative zum in Kapitel 4.4.2.3 beschriebenen Lösungsweg gewertet werden. Auf Nachfragen sollte den Schülern jedoch mitgeteilt werden, dass sie die Reibung nicht zu berücksichtigen brauchen.

Karte 3.8

Wie bereits in Kapitel 4.4.2.3 vermutet, traten bei der eigenständigen Formulierung des newtonschen Axioms Probleme auf. Es viel den Schülern offensichtlich schwer, für ihre Gedankengänge die richtigen Worte zu finden. Dieses Defizit versuchten einige Schüler auszugleichen, indem sie auf ihnen bekannte Physikalische Begriffe zurückgriffen wie beispielsweise „Energie“ oder „Energieumwandlung“. Dies zeigt die bereits vermutete Unsicherheit in der Verwendung physikalischer Begriffe. Es muss daher Ziel des weiteren Unterrichts in Klasse 11 sein, die Vielzahl der physikalischen Begriffe in der Mechanik zu präzisieren und voneinander abzugrenzen.

6.2.4 Reflexionen zur vierten Kartenserie

Die vierte Aufgabenserie bereitete den Schülern wieder deutlich mehr Freude. Insbesondere das neu hinzukommende Experimentiermaterial (Magnete) wurde positiv aufgenommen.

Karte 4.1

Leider blieb der gewünschte Effekt der Karte, die zum behutsamen Umgang mit den verwendeten Magneten anhielt, teilweise ohne Erfolg. Zwar wurden die Schüler zu Beginn der Unterrichtsstunde auch mündlich noch einmal auf die entsprechenden Punkte hingewiesen, allerdings erscheint es wohl empfehlenswert dies noch etwas eindringlicher zu tun. In schwierigen Klassen oder bei Durchführung ähnlicher Experimente mit jüngeren Schülern empfiehlt es sich die Magnete persönlich auszugeben und dabei noch einmal auf den sorgsamen Umgang hinzuweisen.

Karte 4.6 bis 4.8

Teilweise fiel es den Schülern schwer, an dieser Stelle genauere Beobachtungen zu machen. Die Bewegungsänderungen des Magneten waren teilweise nur undeutlich zu erkennen. Hierdurch wurde teilweise die Hilfe einer Lehrkraft nötig. Interessant war, dass sehr viele Schüler durch die Frage, was wohl passiert, wenn man den Magneten andersherum an die Bahn hält, verwirrt werden konnten. Häufig gaben sie zunächst die Antwort, dass sich das Rollverhalten der Kugel genau umgekehrt ändern müsse, dass also die Kugel zunächst abgebremst würde um nach dem Magneten wieder zu beschleunigen. Dies zeugt davon, dass das Verständnis der Schüler für den Magnetismus nicht allzu tief reicht. Dies mag damit zusammenhängen, dass das Thema schon relativ früh in der Mittelstufe behandelt wird und die Ergebnisse des damaligen Unterrichts den Schülern nicht mehr präsent sind. In einer Gruppe zeigten sich die in Aufgabenserie 1 und 2 (Kapitel 6.2.1 und 6.2.2) beschriebenen Probleme (Fehlvorstellung: „Die Reibung hängt insbesondere von der Masse ab“). Die Schüler griffen auf diese Vorstellung zurück, indem sie die Bewegungsänderungen der Kugel dadurch erklärten, dass die Kugel durch den Magneten leicht nach oben gezogen werde (also scheinbar leichter wird) und somit die Reibung abnimmt. Dies zeigt wiederum, dass in den Kartenserien 1 und 2 Änderungen vorgenommen werden sollten um diese Vorstellung erst gar nicht entstehen zu lassen.

6.2.5 Reflexionen zur fünften Kartenserie

Aufgrund der wenigen Schüler, welche die fünfte Kartenserie bearbeitet haben, sind hier nur schwer allgemeingültige Aussagen zu treffen. Die folgenden Beobachtungen beziehen sich daher meist nur auf wenige Schüler und vereinzelt auftretende Sachverhalte.

Karte 5.1 bis 5.3

Bei der Bearbeitung dieser Karten tauchte wiederum die in Kapitel 6.2.1 und 6.2.2 beschriebene Fehlvorstellung auf, dass die Masse wesentlich die Größe der Reibung bestimmt. Wiederum ergibt sich daher Handlungsbedarf in den vorangegangenen Aufgabenserien.

Karte 5.4

Erwartungsgemäß bereitete das Bearbeiten der Karte den Schülern Schwierigkeiten, da ihnen der fachliche Hintergrund noch fehlt (Geschwindigkeitsabhängigkeit der Reibung) und sie so keine plausiblen Lösungen warum der Wagen nur am Anfang beschleunigt wird, finden konnten. Mögliche Hilfestellungen wurden bereits in Kapitel 4.4.2.5 diskutiert. Im weiterführenden Unterricht bietet es sich daher an, das Experiment noch einmal aufzugreifen.

Karte 5.6

In der Alltagswelt der Schüler hat Bewegung immer eine Ursache. Daher regt die Aussage der Karte, dass die Kraft nicht die Ursache der Bewegung sei, die Schüler dazu an eine andere Ursache zu suchen. Wegen des aktuellen Unterrichtsthemas scheint es naheliegen, dass diese Ursache der Impuls sein muss, so dass einige Schüler zu diesem Schluss kamen. Die Vorstellung, dass einem Körper „einfach so“, ohne spezielle Ursache, ein Bewegungszustand zugeordnet werden kann, scheint den Schülern fremd. Wie schwierig dies sein kann, zeigt sich darin, dass sogar Schulbücher sich diese Vorstellung zu Nutze machen und die Kraft zunächst als Ursache der Bewegung einführen um dann später in gleichförmige und beschleunigte Bewegungen zu unterscheiden, wovon letztere durch Kräfte verursacht werden (vgl. Kuhn, 1994, S.19).

Karte 5.11

Die Schüler kamen bei ihren Überlegungen, wie Kräfte den Impuls beeinflussen häufig zu dem Schluss, dass der Impuls durch das Wirken einer Kraft vergrößert werde. Um zu erreichen, dass die Schüler erkennen, dass der Impuls geändert (nicht unbedingt vergrößert) wird, empfiehlt es sich in die Aufgabenkarte Hinweise einzubringen, die noch einmal auffordern die Ergebnisse aus den Karten 4.4 (die Kugel mit dem Magneten stoppen) und 4.12 (Richtungsänderung der Kugel durch seitliches annähern eines Magneten) mit in die Überlegungen einzubeziehen. Problematisch ist hierbei, dass die Karte 4.12 lediglich als Zusatz zu bearbeiten war. Neben Zusatzaufgabe 5.9 (Federwagen fährt gegen eine Wand) stellt Karte 4.12 jedoch die einzige Karte dar, in der eine Richtungsänderung der Bewegung zu beobachten ist. Daher wäre es von Vorteil, diese Aufgabe fest in die Serie mit aufzunehmen und dafür evtl. eine andere Aufgabe zu streichen bzw. als Zusatzaufgabe zu nutzen. Aufgabe 4.12 scheint hier geeigneter als Aufgabe 5.9, da die Kraftwirkung hier unmittelbarer zu beobachten ist.

6.3 Ergebnisse des Reflexionsgesprächs mit den Schülern.

Im abschließenden Reflexionsgespräch gaben die Schüler an, dass ihnen der Unterricht überwiegend gut gefallen habe; insbesondere besser als der ihnen sonst bekannte übliche Unterricht. Sie gaben die Empfehlung, die Unterrichtssequenz in leicht abgeänderter Form auch mit zukünftigen elften Klassen durchzuführen. Aus Sicht der Schüler wäre es dabei empfehlenswert, die Sequenz etwas zu kürzen, wobei einige Karten, die als überflüssig angesehen wurden durchaus wegfallen könnten. Positiv wurden wiederum die vielen Experimente und die Gruppenarbeit angemerkt, wobei angegeben wurde, dass die Schüler insbesondere gegen Ende der Gruppenarbeit überdrüssig wurden.

Aus den Aussagen der Schüler lässt sich also der Schluss ziehen, dass der Unterricht als zu eintönig empfunden wurde und an dieser Stelle Handlungsbedarf besteht. Dies steht auch im Einklang mit den in Kapitel 6.1 beschriebenen gewonnenen Erkenntnissen aus den Fragebögen sowie den

Aussagen der Unterrichtsbeobachter. Daraus lassen sich zwei mögliche Handlungsfelder ableiten, die dazu beitragen könnten die Unterrichtssequenz zu verbessern:

- Die Kartenserien sollten auf Karten, die wenig zum Lernerfolg beitragen, bzgl. der Lernziele mit anderen Karten identisch sind überprüft werden. Gegebenenfalls können solche Karten gestrichen werden.
- Der Unterricht sollte bzgl. der Sozialform und der Arbeitsweise abwechslungsreicher gestaltet werden, zwischen den Gruppenarbeitsphasen sollten gemeinsame Phasen stattfinden.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Der vorliegenden Arbeit liegt eine Unterrichtssequenz (Kraus, 2005, S. 8ff) zu Grunde, die unter mehreren Gesichtspunkten betrachtet wird. Zielsetzung der Arbeit ist einerseits die Betrachtung der Zweckmäßigkeit des gewählten Ansatzes (Einführung des ersten newtonschen Axioms über den Impuls). Andererseits soll die Form des kartenbasierten Unterrichts in Gruppen dahingehend untersucht werden, ob dadurch Interesse der Schüler für das Fach Physik geweckt und positives Erleben des Physikunterrichts erreicht werden kann. Schließlich soll die Arbeit dazu beitragen, die zugrunde liegende Unterrichtssequenz zu verbessern, indem die Aufgaben der Kartenserien kritisch diskutiert werden.

In Kapitel 2 werden zunächst die theoretischen Hintergründe dargelegt, die zu der Gestaltung der Unterrichtssequenz in der vorliegenden Form führen. Dabei wurde insbesondere auf die Vorzüge der Sozialform der Gruppenarbeit, des Unterrichtsansatzes des entdeckenden Lernens, sowie einer Einführung in den Dynamikunterricht über den Impuls eingegangen.

Die zu untersuchende Unterrichtssequenz wurde im Unterricht mit Schülern zweier elften Klassen der Goetheschule Wetzlar in jeweils vier Doppelstunden durchgeführt. Dabei wurden anhand von Fragebögen zum Interesse an Physik, zum Erleben der Schüler während der Unterrichtssequenz und zur abschließenden Betrachtung und Bewertung der Sequenz Daten erhoben. Ergänzt wurden diese Daten aus Ergebnissen, die aus dem Durchsehen von Notizen der Schüler gewonnen wurden, sowie durch Aussagen von Unterrichtsbeobachtern und eigene Beobachtungen. Ebenfalls einbezogen wurden die Äußerungen der Schüler in einer abschließenden Besprechung.

Die Aufgaben der Kartenserien scheinen gut geeignet um das Thema einzuführen. Nach Angaben der Schüler sowohl in den Zwischenfragebögen als auch im Abschlussfragebogen schien der Schwierigkeitsgrad angemessen und die Schüler hatten das Gefühl die Lernziele erreicht zu haben. Auch die durchgesehenen Abgaben und die Beobachtungen während dem Unterricht können dies weitgehend bestätigen. Größere Schwierigkeiten traten eher selten auf. Auch der Test zum Erreichen der Lernziele am Ende des abschließenden Fragebogens, erbrachte hinsichtlich der Einheit relativ gute Ergebnisse. Zu

Tage tretende Schwierigkeiten waren oftmals auf Inhalte zurückzuführen, die nicht im direkten Zusammenhang mit der Einheit standen. Die Begriffsbildung zu den Begriffen „Impuls“ und „Kraft“ scheint nach der zweiten Frage des Tests noch eher oberflächlich und nicht abgeschlossen, was die Hinweise in Kapitel 2.1 zur Unterrichtskonzeption des entdeckenden Lernens zu bestätigen scheint. Da es sich aber in der vorliegenden Unterrichtssequenz nur um eine Einführung handelt, wird es Aufgabe des weiteren Unterrichts sein, diese Begriffe weiter zu präzisieren und evtl. vorhandenen Fehlvorstellungen entgegenzuwirken.

Wie Beobachtungen zeigten, konnten die Schüler durch den schülerorientierten und experimentbetonten Unterricht vielfach zu Mitarbeit und Engagement im Unterricht bewegt werden. Insbesondere der Einsatz zahlreicher Experimente, das eigenständige Bearbeiten derselben und die gewählte Sozialform der Gruppenarbeit trugen zur Motivation und zum Interesse der Schüler bei. Geschmälert wird dass positive Erleben der Schüler durch die teilweise durch eintönig empfundenen Unterricht aufkommende Langeweile, die die Schüler vielfach kritisierten. Hier besteht sicherlich noch Handlungsbedarf, die Einheit weiter zu verbessern um bei den Schülern länger anhaltendes Interesse hervorzurufen. Gleichzeitig bestätigten Die Schüler, insbesondere in einer anschließenden Reflexionsrunde, dass ihnen diese Form von Unterricht stärker zusage wie die üblicherweise praktizierte. Insgesamt bleibt zu hoffen, dass die gewonnene Motivation der Schüler anhält und weiteres Interesse für das Fach Physik begründet.

Lediglich die gewählte Vorgehensweise, die Kartenserien ohne größere Unterbrechung durchlaufen zu lassen (siehe Kapitel 4.4.1), erscheint fragwürdig. Sammlungsphasen mit der gesamten Klasse könnten vielleicht helfen einige Probleme und Missverständnisse besser und effektiver zu beseitigen als die gewählte Form (Rücksprache mit den einzelnen Gruppen nach Durchsicht der abgegebenen Mitschriften und Sammlungsphase zum gesamten Unterricht am Ende der Sequenz). Außerdem könnte durch den dann stattfindenden Wechsel der Sozialform der Unterricht abwechslungsreicher gestaltet werden. Es könnte sich an dieser Stelle sogar anbieten neben den gemeinsamen Sammlungsphasen zwischen den längeren Gruppenarbeitsphasen auch einzelne Aufgaben im Klassenverband zu bearbeiten und zu diskutieren.

Soweit dies nach der Durchführung der Sequenz, ohne Beobachtung und Auswertung des weiteren Unterrichts gesagt werden kann, bietet dieser Ansatz eine gute Grundlage für den weiterführenden Unterricht. Zwar mag diese Vorgehensweise etwas zeitaufwendiger sein als mögliche Alternativen, dennoch ist zu erwarten, dass diese Zeit später wieder aufgeholt werden kann, da durch die Einführung der Kraft bereits wichtige Grundlagen für den weiteren Unterricht gelegt sind. Um die Qualität des gewählten Ansatzes genauer und abschließend beurteilen zu können, bedarf es jedoch weiterer umfassender Untersuchungen, die über einen längeren Zeitraum den Lernerfolg in Klassen messen, die nach verschiedenen Ansätzen vorgegangen sind, so dass vergleichbare Daten vorliegen.

Literaturverzeichnis

Aufschnaiter, C. v. (2007). *Fragebogen zur Auswertung von Schulpraktika*.
JLU Gießen, unveröffentlicht.

Bader, F. & Dorn, F. (1999). *Dorn-Bader Physik Oberstufe Band MS*.
Hannover: Schroedel Schulbuchverlag.

Bayer, R. Bredthauer, W., Bruns, K. G., Klar, G., Lichtfeldt, M., Schmidt, M.
& Wessels, P. (2000). *Impulse Physik 2 Ausgabe B – Klasse 11 der
Gymnasien*. Stuttgart: Ernst Klett Verlag.

Boysen, G., Heise, H., Lichtenberger, J., Schepers, H. & Schlichting H. (2000).
Oberstufe Physik Ausgabe B Band 1. Berlin: Cornelsen Verlag.

Euler, M., Kreß, K., Kuhn, W., Lochhaas, H. & Zwitlinger, K. (1994). *Kuhn
Physik Band II 1. Teil: Klasse 11*. Braunschweig: Westermann
Schulbuchverlag.

Fachredaktion für Naturwissenschaften und Technik des Bibliographischen
Instituts (Hrsg.) (1973). *Meyers Physik-Lexikon*. Mannheim: Meyers
Lexikonverlag.

Goetheschule Wetzlar (2007). *Die Goetheschule Wetzlar im Überblick*. Online
unter [http://www.goetheschule-
wetzlar.eu/index.php?option=com_content&task=view&id=36&Itemid
=45](http://www.goetheschule-wetzlar.eu/index.php?option=com_content&task=view&id=36&Itemid=45) (letzter Zugriff am 16.12.2008)

Hirsch, J. (2005). *Interesse, Handlungen und situatives Erleben von
Schülerinnen und Schülern beim Bearbeiten physikalischer Aufgaben*.
Berlin: Logos Verlag.

Hoffmann, L., Häußler, P. & Lehrke, M. (1998). *Die IPN- Interessenstudie
Physik*. Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften.

- Kircher, E., Girwidz, R. & Häußler, P. (2007). *Physikdidaktik Theorie und Praxis*. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag
- Kraus, M. E. (2005). Alltagsvorstellungen bestimmen den Dynamikunterricht. *Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule*, 54(5), 4-7.
- Kraus, M. E. (2005). Impuls in 11 - Ein Unterrichtsgang zum 1. Newton'schen Axiom. *Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule*, 54(5), 8-12.
- Kultusministerium Hessen (2007). *Lehrplan Physik Gymnasialer Bildungsgang Jahrgangsstufen 7 bis 13*. Online unter http://www.kultusministerium.hessen.de/irj/servlet/prt/portal/prtroot/slimp.CMReader/HKM_15/HKM_Internet/med/31e/31e40e9f-ba45-b901-be59-2697ccf4e69f,22222222-2222-2222-2222-222222222222,true.pdf (letzter Zugriff am 02.01.2008)
- Mikelskis-Seifert, S. & Rabe, T. (Hrsg.) (2007). *Physik Methodik Handbuch für die Sekundarstufe I und II*. Berlin: Cornelsen Verlag Scriptor.
- o. A. (1997). *dtv Lexikon in 20 Bänden Band 13*. München: Deutscher Taschenbuch Verlag.
- Schecker, H. & Gerdes, J. (1998). Der Force Concept Inventory - Ein diagnostischer Test zu Schülervorstellungen in der Mechanik. *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht*, 52(5), 283-288.
- Stelter, F. (2007). *Untersuchung der Vorstellungen von Studierenden mit Fach Physik zum Kraftbegriff*. Unveröffentlichte Hausarbeit im Rahmen der 1. Staatsprüfung an der Universität Hannover.

Wikipedia (2007). *Isaac Newton*. Online unter

http://de.wikipedia.org/wiki/Newton%2C_Sir_Isaac (letzter Zugriff am 11.12.2007)

Wikipedia (2007). *Wardein*. Online unter

http://de.wikipedia.org/wiki/Newton%2C_Sir_Isaac (letzter Zugriff am 11.12.2007)

Anhang

Anhang 1: Arbeitsblatt mit Hinweisen vor der ersten Karte

Hinweise zum Bearbeiten der Karten:

- Bearbeitet immer eine Karte nach der anderen, schaut euch die folgende Karte bitte nicht an, bevor ihr mit der vorhergehenden fertig seid.
- Macht euch bitte kurze Notizen zu den einzelnen Aufgaben, damit ihr später das Gelernte nachvollziehen könnt. Nach jeder Doppelstunde gibt bitte ein Mitglied eurer Gruppe ein Exemplar eurer Aufzeichnungen ab.
- Eine Kartenserie solltet ihr in etwa in 45 min bearbeiten. Wenn ihr schnell vorankommt, könnt ihr die Zusatzkarten mit bearbeiten, ansonsten könnt ihr sie weglassen. Bitte haltet euch nicht länger als 5 min mit einer Karte auf.
- Statt der Karten 1.2-1.6 könnt ihr zuerst die Karten 1.7-1.11 bearbeiten wenn das Material nicht ausreicht.

Fragebögen:

- Denkt euch bitte einen Codenamen aus und merkt ihn euch gut. Verwendet diesen Namen immer beim Ausfüllen der Fragebögen in den folgenden Stunden.
- Vermerkt immer ein w oder ein m für männlich oder weiblich.
- Notiert bitte das Datum auf den Bögen.
- Die Fragebögen sollen helfen Physikunterricht zu verbessern. Bitte beantwortet daher die Fragen sorgfältig und ehrlich.

Anhang2: Tafelbild zur Ergebnissicherung

Impuls

Impuls=Masse · Geschwindigkeit
 $p = m \cdot v$
Einheit: $[p] = [m] \cdot [v] = \text{kg} \cdot \text{m/s}$

Reibung verringert
den Impuls

Trägheitsgesetz
(1. newtonsches
Axiom):
Der Impuls ist
konstant, wenn
keine Kraft
vorhanden ist.

Eine Kraft, die auf einen
Körper wirkt, verändert
den Impuls.
Kraft \Rightarrow Impulsänderung

Geschwindigkeit kann größer
oder kleiner werden

Geschwindigkeit kann
die Richtung ändern
(Bsp. Kurvenfahrt)

Die Masse kann sich ändern
(Bsp. Raketenstart)

Anhang 3: Fragebogen zum Interesse an Physik

Fragebogen zum Interesse an Physik

Bitte lies jede der folgenden Fragen sorgfältig durch und kreuze **eine** Antwort an.

Dein Codename: _____

	sehr gut 1	2	3	4	sehr schlecht 5
Ich verstehe den Stoff in Physik ...	<input type="checkbox"/>				
Ich behalte den Stoff in Physik ...	<input type="checkbox"/>				
Meine Leistungen in Physik sind nach meiner eigenen Einschätzung ...	<input type="checkbox"/>				
Ich beteilige mich am Physikunterricht ...	<input type="checkbox"/>				
Ich glaube, dass mich die anderen in der Klasse für ... halten.	<input type="checkbox"/>				
Ich glaube, dass mein Physiklehrer/ meine Physiklehrerin meine Leistungen als ... einschätzt.	<input type="checkbox"/>				
Ich erwarte, dass in Zukunft meine Leistungen in Physik ... sein werden.	<input type="checkbox"/>				

	Stimmt vollkommen 1	2	3	4	Stimmt gar nicht 5
Es hat für mich wenig Sinn, dass ich mich im Physikunterricht anstrenge, da ich in dem Fach doch nicht viel erreichen kann.	<input type="checkbox"/>				
Wenn in Physik eine Aufgabe kompliziert und schwierig wird, macht mir das gerade Spaß und ich bin gespannt, wie ich die Sache hinkriege.	<input type="checkbox"/>				
Wenn ich merke, dass eine Aufgabe in Physik kompliziert wird, lasse ich am liebsten die Finger davon.	<input type="checkbox"/>				
Wenn ich eine neue Aufgabe in Physik bearbeiten soll, bin ich sicher, dass ich sie schaffen werde.	<input type="checkbox"/>				

	trifft nicht zu 1	2	3	trifft völlig zu 4
Wenn ich auf dem Flohmarkt ein billiges Buch zu Themen aus dem Physikunterricht finden würde, würde ich es mir sofort kaufen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Durch den Physikunterricht ist mein Interesse an Naturwissenschaften größer geworden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ich würde mich nicht mit Physik beschäftigen, wenn ich es nicht müsste.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich beteilige mich nur am Physikunterricht weil ich keine schlechte Zensur bekommen möchte.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Physik ist für viele Bereiche unserer Gesellschaft so wichtig, dass jeder Schüler ein Mindestmaß an Physikkenntnissen erwerben muss.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lehrer verwenden viel Zeit und Arbeit um den Physikunterricht vorzubereiten und durchzuführen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wenn sich die Lehrer Mühe geben, guten Physikunterricht zu machen, dann sollten auch die Schüler als Gegenleistung im Unterricht mitarbeiten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Physikunterricht sollte nicht für alle Schüler verpflichtend sein. Es sollten nur diejenigen Schüler teilnehmen, die auch daran interessiert sind.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

- Wirst du:
- Physik abwählen?
 - Physik als LK wählen?
 - Physik als GK wählen?

Anhang 4: Stimmverteilung bei den Jungen

Fragebogen zum Interesse an Physik

Bitte lies jede der folgenden Fragen sorgfältig durch und kreuze **eine** Antwort an.

Dein Codename: _____

	sehr gut 1	2	3	4	sehr schlecht 5
Ich verstehe den Stoff in Physik ...	0	11	6	2	1
Ich behalte den Stoff in Physik ...	0	9	8	2	1
Meine Leistungen in Physik sind nach meiner eigenen Einschätzung ...	1	8	9	1	1
Ich beteilige mich am Physikunterricht ...	1	11	6	2	0
Ich glaube, dass mich die anderen in der Klasse für ... halten.	1	9	7	3	0
Ich glaube, dass mein Physiklehrer/ meine Physiklehrerin meine Leistungen als ... einschätzt.	0	8	10	2	0
Ich erwarte, dass in Zukunft meine Leistungen in Physik ... sein werden.	4	14	2	0	0

	Stimmt vollkommen 1	2	3	4	Stimmt gar nicht 5
Es hat für mich wenig Sinn, dass ich mich im Physikunterricht anstrenge, da ich in dem Fach doch nicht viel erreichen kann.	0	0	1	3	16
Wenn in Physik eine Aufgabe kompliziert und schwierig wird, macht mir das gerade Spaß und ich bin gespannt, wie ich die Sache hinkriege.	6	3	8	3	0
Wenn ich merke, dass eine Aufgabe in Physik kompliziert wird, lasse ich am liebsten die Finger davon.	0	1	6	4	9
Wenn ich eine neue Aufgabe in Physik bearbeiten soll, bin ich sicher, dass ich sie schaffen werde.	1	9	6	4	0

	trifft nicht zu 1	2	3	trifft völlig zu 4
Wenn ich auf dem Flohmarkt ein billiges Buch zu Themen aus dem Physikunterricht finden würde, würde ich es mir sofort kaufen.	9	4	4	3
Durch den Physikunterricht ist mein Interesse an Naturwissenschaften größer geworden.	1	9	6	4

Ich würde mich nicht mit Physik beschäftigen, wenn ich es nicht müsste.	7	5	6	1
Ich beteilige mich nur am Physikunterricht weil ich keine schlechte Zensur bekommen möchte.	10	5	2	3
Physik ist für viele Bereiche unserer Gesellschaft so wichtig, dass jeder Schüler ein Mindestmaß an Physikkenntnissen erwerben muss.	0	3	8	9
Lehrer verwenden viel Zeit und Arbeit um den Physikunterricht vorzubereiten und durchzuführen.	1	3	7	9
Wenn sich die Lehrer Mühe geben, guten Physikunterricht zu machen, dann sollten auch die Schüler als Gegenleistung im Unterricht mitarbeiten.				
Physikunterricht sollte nicht für alle Schüler verpflichtend sein. Es sollten nur diejenigen Schüler teilnehmen, die auch daran interessiert sind.	6	6	4	4

- Wirst du:
- Physik abwählen?
 - Physik als LK wählen?
 - Physik als GK wählen?

Anhang 5: Stimmverteilung bei den Mädchen

Fragebogen zum Interesse an Physik

Bitte lies jede der folgenden Fragen sorgfältig durch und kreuze **eine** Antwort an.

Dein Codename: _____

	sehr gut 1	2	3	4	sehr schlecht 5
Ich verstehe den Stoff in Physik ...	0	6	10	4	1
Ich behalte den Stoff in Physik ...	0	4	12	5	0
Meine Leistungen in Physik sind nach meiner eigenen Einschätzung ...	0	4	12	5	0
Ich beteilige mich am Physikunterricht ...	0	8	8	4	1
Ich glaube, dass mich die anderen in der Klasse für ... halten.	0	7	8	6	0
Ich glaube, dass mein Physiklehrer/ meine Physiklehrerin meine Leistungen als ... einschätzt.	0	4	13	2	2
Ich erwarte, dass in Zukunft meine Leistungen in Physik ... sein werden.	0	9	11	1	0

	Stimmt vollkommen 1	2	3	4	Stimmt gar nicht 5
Es hat für mich wenig Sinn, dass ich mich im Physikunterricht anstrenge, da ich in dem Fach doch nicht viel erreichen kann.	1	1	3	9	7
Wenn in Physik eine Aufgabe kompliziert und schwierig wird, macht mir das gerade Spaß und ich bin gespannt, wie ich die Sache hinkriege.	1	3	7	8	2
Wenn ich merke, dass eine Aufgabe in Physik kompliziert wird, lasse ich am liebsten die Finger davon.	0	4	8	7	2
Wenn ich eine neue Aufgabe in Physik bearbeiten soll, bin ich sicher, dass ich sie schaffen werde.	0	3	10	6	2

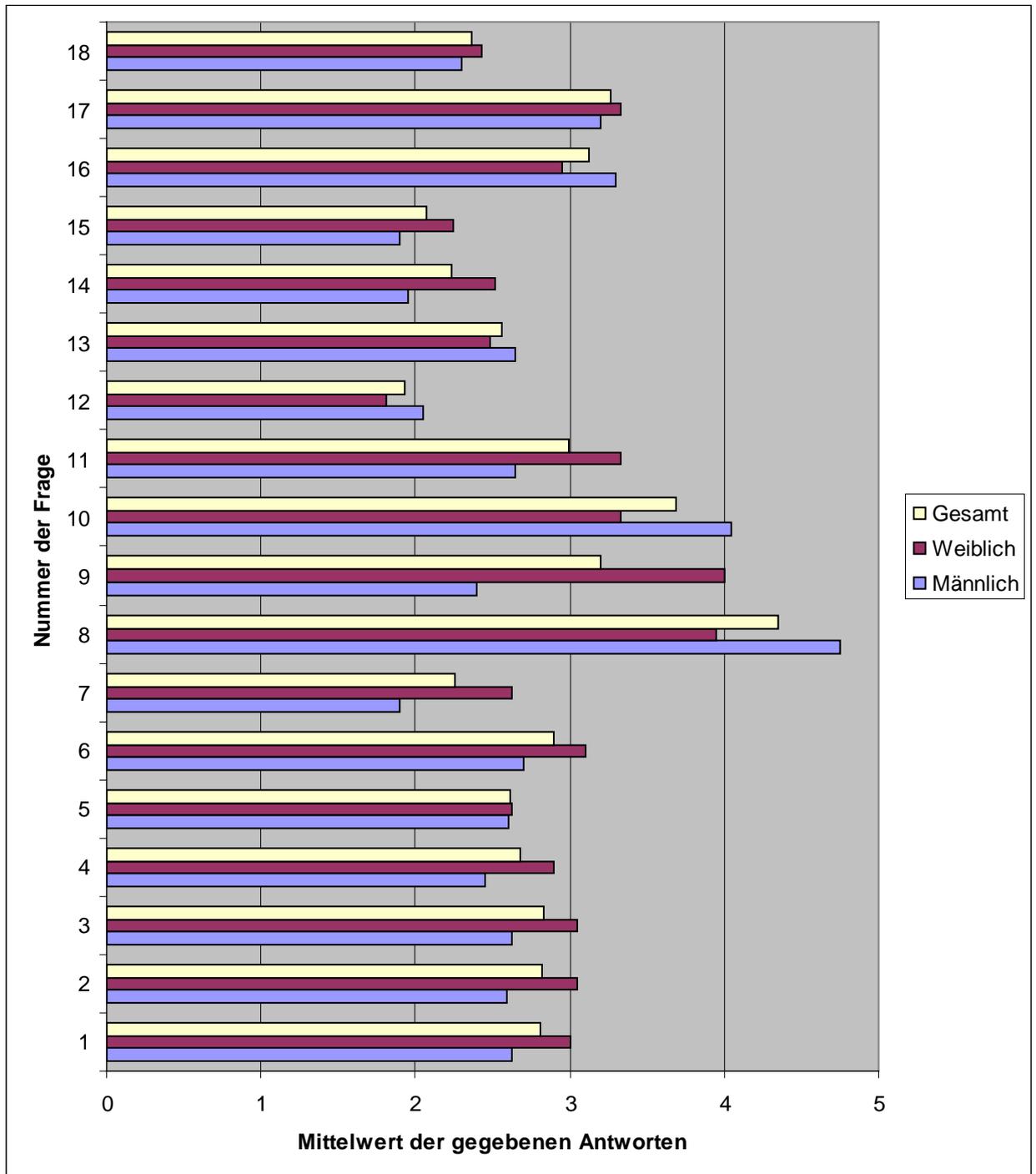
	trifft nicht zu 1	2	3	trifft völlig zu 4
Wenn ich auf dem Flohmarkt ein billiges Buch zu Themen aus dem Physikunterricht finden würde, würde ich es mir sofort kaufen.	11	5	3	2
Durch den Physikunterricht ist mein Interesse an Naturwissenschaften größer geworden.	3	10	7	2

Ich würde mich nicht mit Physik beschäftigen, wenn ich es nicht müsste.	3	8	6	4
Ich beteilige mich nur am Physikunterricht weil ich keine schlechte Zensur bekommen möchte.	4	9	7	1
Physik ist für viele Bereiche unserer Gesellschaft so wichtig, dass jeder Schüler ein Mindestmaß an Physikkenntnissen erwerben muss.	1	3	13	4
Lehrer verwenden viel Zeit und Arbeit um den Physikunterricht vorzubereiten und durchzuführen.	0	1	12	8
Wenn sich die Lehrer Mühe geben, guten Physikunterricht zu machen, dann sollten auch die Schüler als Gegenleistung im Unterricht mitarbeiten.				
Physikunterricht sollte nicht für alle Schüler verpflichtend sein. Es sollten nur diejenigen Schüler teilnehmen, die auch daran interessiert sind.	3	9	6	3

- Wirst du:
- Physik abwählen?
 - Physik als LK wählen?
 - Physik als GK wählen?

Anhang 6: Auswertung des Fragebogens zum Interesse an Physik

Darstellung der Mittelwerte der gegebenen Antworten zu den einzelnen Fragen (die Fragen wurden dabei von oben nach unten durchnummeriert):



Anhang 7: Zwischenfragebogen zu den einzelnen Kartenserien

?interessant-wichtig-schwierig?

Name: _____

Nummer der zuletzt bearbeiteten Karte: _____

	trifft gar nicht zu	trifft sehr begrenzt zu	trifft weitgehend zu	trifft völlig zu
Die Durchführung der letzten Tätigkeit hat mir Spaß gemacht.				
Die Durchführung der letzten Tätigkeit war für mich eine Herausforderung.				
Ich habe das Gefühl, alles gekannt zu haben, was für die Durchführung der letzten Tätigkeit notwendig war.				
Bei der Durchführung der letzten Tätigkeit konnte ich eigene Ideen verwirklichen.				
Für die Durchführung der Tätigkeit waren die Gespräche mit meinen Mitschüler(inne)n hilfreich.				
Ich fand die Durchführung der letzten Tätigkeit interessant.				

Was mir an der letzten Tätigkeit überhaupt nicht gefallen hat:

Was mir an der letzten Tätigkeit besonders gut gefallen hat:

Anhang 8: Stimmverteilung des Fragebogens zu Karte 1.9

rot: weiblich; blau: männlich

?interessant-wichtig-schwierig?

Name: _____

Nummer der zuletzt bearbeiteten Karte: _____

	trifft gar nicht zu	trifft sehr begrenzt zu	trifft weitgehend zu	trifft völlig zu
Die Durchführung der letzten Tätigkeit hat mir Spaß gemacht.	0 0	12 3	1 5	7 10
Die Durchführung der letzten Tätigkeit war für mich eine Herausforderung.	8 15	12 3	0 0	0 0
Ich habe das Gefühl, alles gekannt zu haben, was für die Durchführung der letzten Tätigkeit notwendig war.	0 0	3 1	12 6	5 11
Bei der Durchführung der letzten Tätigkeit konnte ich eigene Ideen verwirklichen.	5 4	8 1	5 40	2 3
Für die Durchführung der Tätigkeit waren die Gespräche mit meinen Mitschüler(inne)n hilfreich.	1 2	1 0	7 8	11 8
Ich fand die Durchführung der letzten Tätigkeit interessant.	2 2	5 5	8 3	5 8

Was mir an der letzten Tätigkeit überhaupt nicht gefallen hat:

Was mir an der letzten Tätigkeit besonders gut gefallen hat:

Anhang 9: Stimmverteilung des Fragebogens zu Karte 2.5

rot: weiblich; blau: männlich

?interessant-wichtig-schwierig?

Name: _____

Nummer der zuletzt bearbeiteten Karte: _____

	trifft gar nicht zu	trifft sehr begrenzt zu	trifft weitgehend zu	trifft völlig zu
Die Durchführung der letzten Tätigkeit hat mir Spaß gemacht.	2 0	13 3	5 6	0 6
Die Durchführung der letzten Tätigkeit war für mich eine Herausforderung.	12 9	7 5	1 1	0 0
Ich habe das Gefühl, alles gekannt zu haben, was für die Durchführung der letzten Tätigkeit notwendig war.	0 0	2 0	9 8	9 7
Bei der Durchführung der letzten Tätigkeit konnte ich eigene Ideen verwirklichen.	10 3	10 1	0 7	0 4
Für die Durchführung der Tätigkeit waren die Gespräche mit meinen Mitschüler(inne)n hilfreich.	0 1	7 4	10 10	3 0
Ich fand die Durchführung der letzten Tätigkeit interessant.	5 0	10 5	5 5	0 5

Was mir an der letzten Tätigkeit überhaupt nicht gefallen hat:

Was mir an der letzten Tätigkeit besonders gut gefallen hat:

Anhang 10: Stimmverteilung des Fragebogens zu Karte 3.3

rot: weiblich; blau: männlich

?interessant-wichtig-schwierig?

Name: _____

Nummer der zuletzt bearbeiteten Karte: _____

	trifft gar nicht zu	trifft sehr begrenzt zu	trifft weitgehend zu	trifft völlig zu
Die Durchführung der letzten Tätigkeit hat mir Spaß gemacht.	0 0	12 3	9 6	0 6
Die Durchführung der letzten Tätigkeit war für mich eine Herausforderung.	7 5	9 9	5 1	0 0
Ich habe das Gefühl, alles gekannt zu haben, was für die Durchführung der letzten Tätigkeit notwendig war.	0 0	4 4	13 8	4 3
Bei der Durchführung der letzten Tätigkeit konnte ich eigene Ideen verwirklichen.	9 2	5 3	5 7	2 3
Für die Durchführung der Tätigkeit waren die Gespräche mit meinen Mitschüler(inne)n hilfreich.	1 0	2 3	11 5	7 7
Ich fand die Durchführung der letzten Tätigkeit interessant.	1 2	10 4	9 4	1 5

Was mir an der letzten Tätigkeit überhaupt nicht gefallen hat:

Was mir an der letzten Tätigkeit besonders gut gefallen hat:

Anhang 11: Stimmverteilung des Fragebogens zu Karte 4.8

rot: weiblich; blau: männlich

?interessant-wichtig-schwierig?

Name: _____

Nummer der zuletzt bearbeiteten Karte: _____

	trifft gar nicht zu	trifft sehr begrenzt zu	trifft weitgehend zu	trifft völlig zu
Die Durchführung der letzten Tätigkeit hat mir Spaß gemacht.	1 0	6 4	10 8	1 7
Die Durchführung der letzten Tätigkeit war für mich eine Herausforderung.	7 10	10 7	1 2	0 0
Ich habe das Gefühl, alles gekannt zu haben, was für die Durchführung der letzten Tätigkeit notwendig war.	1 1	3 1	12 12	2 5
Bei der Durchführung der letzten Tätigkeit konnte ich eigene Ideen verwirklichen.	8 2	6 6	4 6	0 5
Für die Durchführung der Tätigkeit waren die Gespräche mit meinen Mitschüler(inne)n hilfreich.	6 0	4 5	6 9	2 5
Ich fand die Durchführung der letzten Tätigkeit interessant.	2 0	7 6	9 9	0 4

Was mir an der letzten Tätigkeit überhaupt nicht gefallen hat:

Was mir an der letzten Tätigkeit besonders gut gefallen hat:

Anhang 12: Stimmverteilung des Fragebogens zu Karte 5.6

rot: weiblich; blau: männlich

?interessant-wichtig-schwierig?

Name: _____

Nummer der zuletzt bearbeiteten Karte: _____

	trifft gar nicht zu	trifft sehr begrenzt zu	trifft weitgehend zu	trifft völlig zu
Die Durchführung der letzten Tätigkeit hat mir Spaß gemacht.	3 1	2 5	1 0	0 4
Die Durchführung der letzten Tätigkeit war für mich eine Herausforderung.	1 7	4 3	1 0	0 0
Ich habe das Gefühl, alles gekannt zu haben, was für die Durchführung der letzten Tätigkeit notwendig war.	1 1	4 0	0 7	1 2
Bei der Durchführung der letzten Tätigkeit konnte ich eigene Ideen verwirklichen.	5 3	1 2	0 3	0 2
Für die Durchführung der Tätigkeit waren die Gespräche mit meinen Mitschüler(inne)n hilfreich.	1 0	1 4	4 5	0 1
Ich fand die Durchführung der letzten Tätigkeit interessant.	4 3	1 1	1 6	0 0

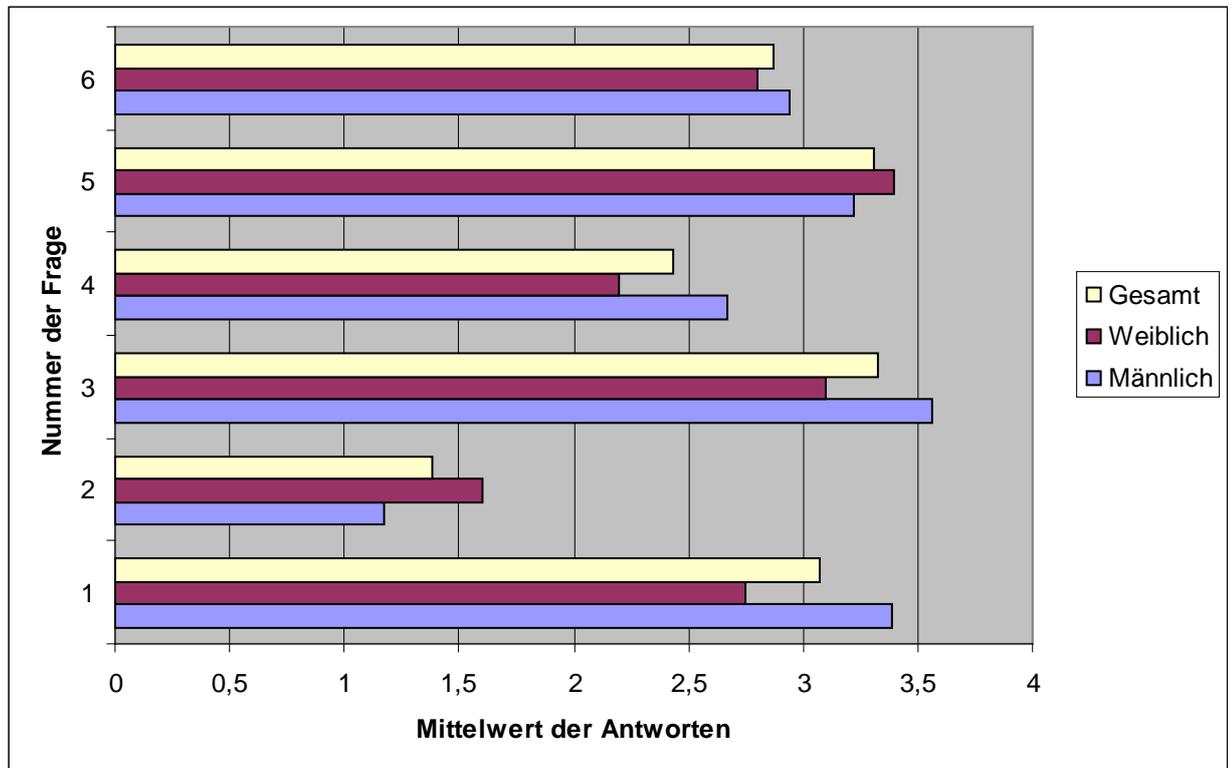
Was mir an der letzten Tätigkeit überhaupt nicht gefallen hat:

Was mir an der letzten Tätigkeit besonders gut gefallen hat:

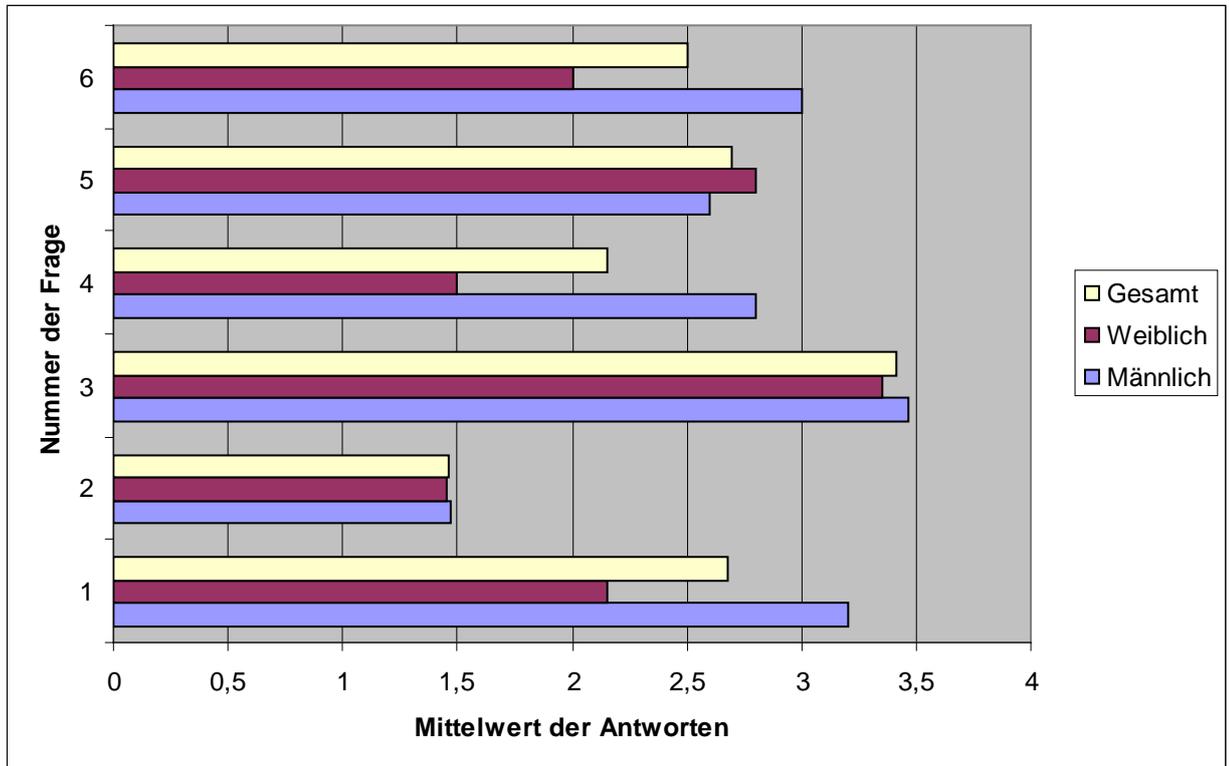
Anhang 13: Auswertung der Zwischenfragebogen

Darstellung der Mittelwerte der gegebenen Antworten zu den einzelnen Fragen (die Fragen wurden dabei von oben nach unten durchnummeriert und den Antwortmöglichkeiten von links nach rechts die Werte 1 – 4 zugeordnet):

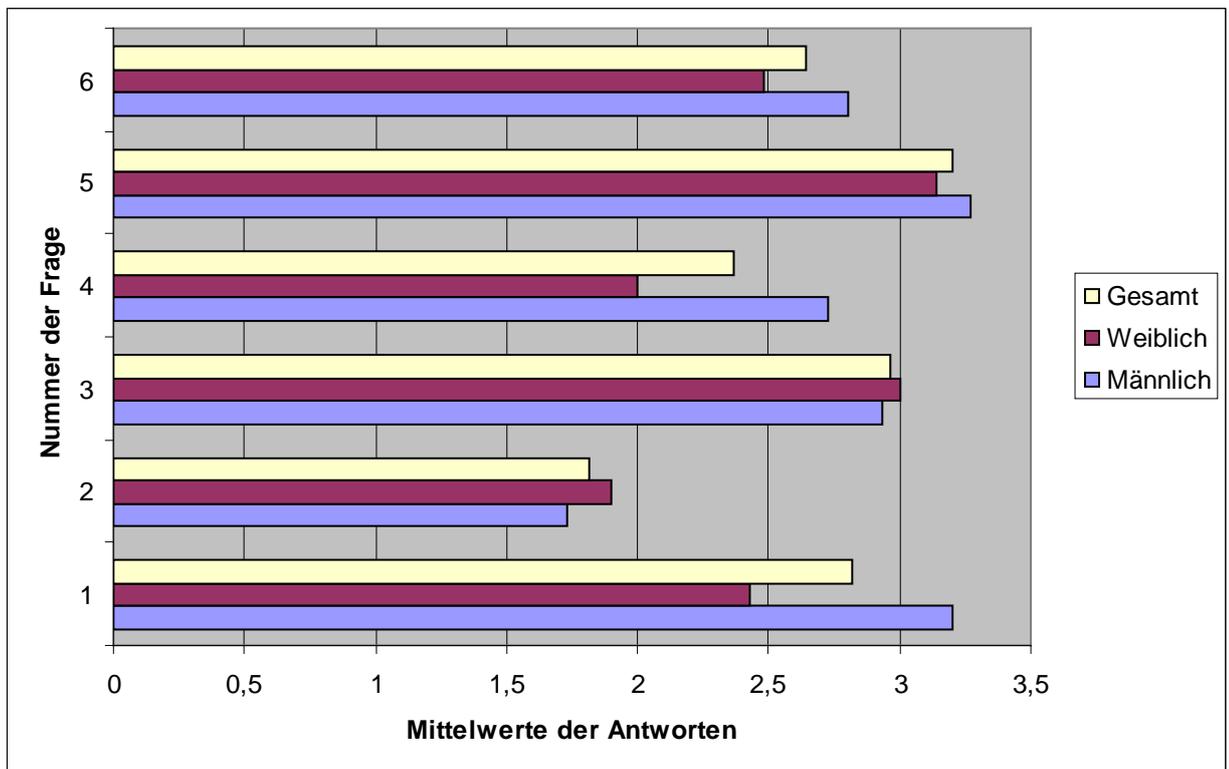
Fragebogen zu Karte 1.9:



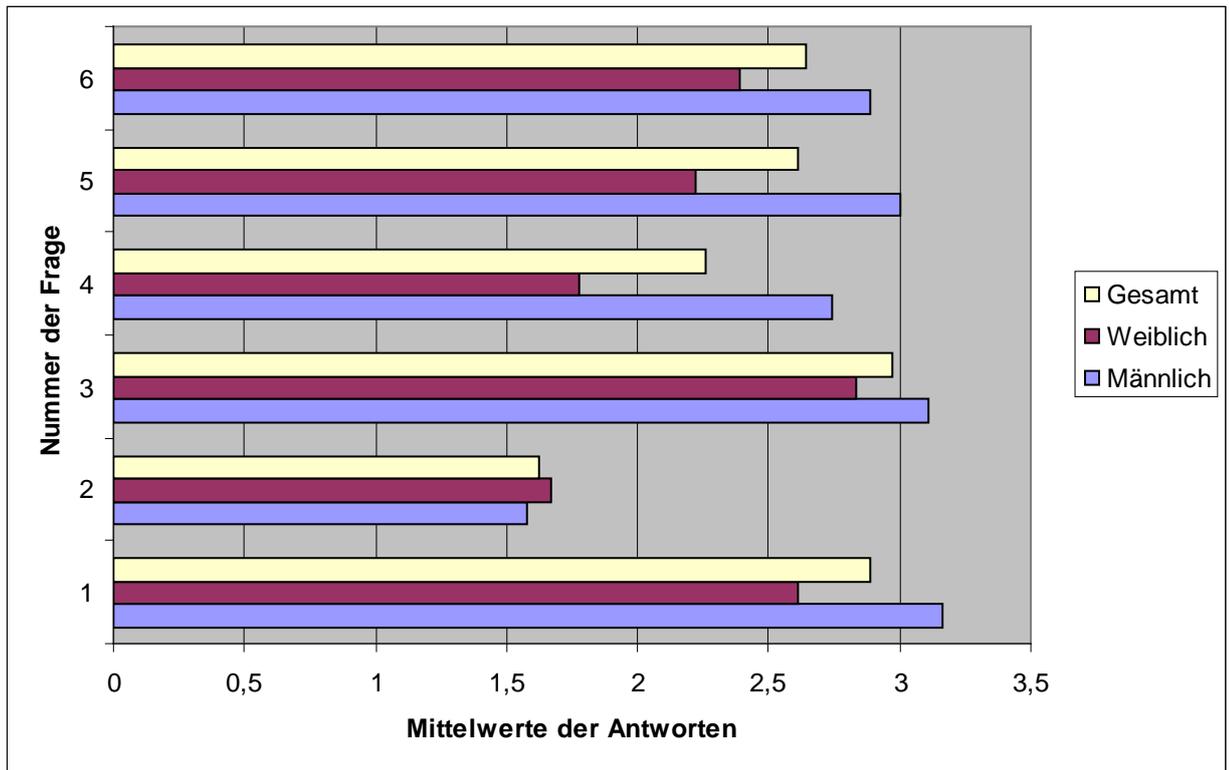
Fragebogen zu Karte 2.5:



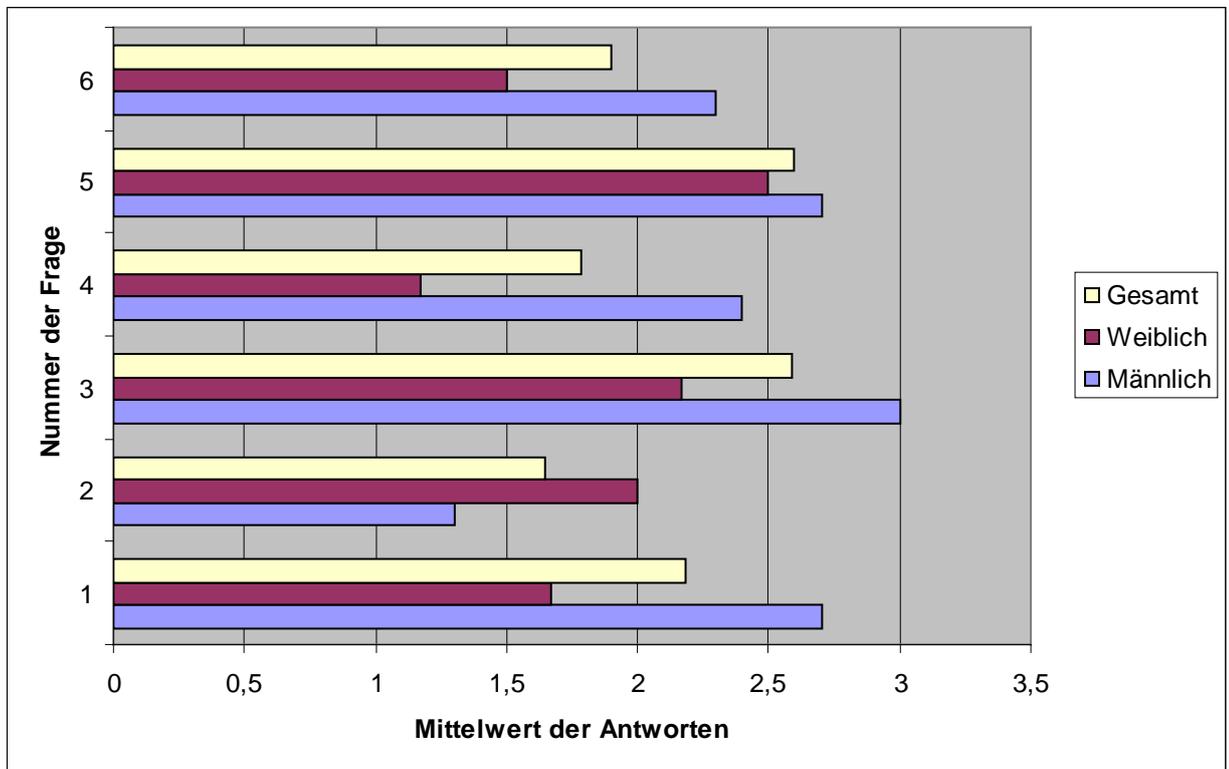
Fragebogen zu Karte 3.3:



Fragebogen zu Karte 4.8:



Fragebogen zu Karte 5.6:



Anhang 14: Fragebogen nach Abschluss der Unterrichtssequenz

Wie hat dir der Unterricht gefallen?

Dein Codename: _____

Denke bei den folgenden Fragen bitte an den Unterricht, den du bei den Studenten mitgemacht hast. Kreuze an, wie stark du den Aussagen zustimmst. Wenn du keine Antwort weißt, lässt du die Aussage einfach aus.

		trifft voll zu...		...trifft gar nicht zu	
1	Den Unterricht fand ich interessant.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Der Unterricht ging mir zu schnell.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Das Experimentieren hat mir Spaß gemacht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Ich war mit den Gedanken öfter mal woanders.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Die Studenten konnten die Aufgaben/die Versuche gut erklären.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	Ich habe mich über einige Dinge im Unterricht geärgert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	Was ich über das Thema erfahren habe, bringt mir etwas.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	Der Unterricht hat ewig gedauert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	Der Unterricht hat mir Freude gemacht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	Ich fand die Aufgaben/die Versuche schwer.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	Wir konnten viel selbst ausprobieren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12	Bei den Aufgaben/den Versuchen habe ich die Zusammenhänge nicht verstanden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13	Ich habe mich gelangweilt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14	Ich möchte mehr über das Thema erfahren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15	Ich hätte gerne noch mehr experimentiert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16	Die Studenten haben mich überfordert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17	Ich habe viel dazu gelernt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18	Die Methoden im Unterricht waren abwechslungsreich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19	Insgesamt gebe ich dem Unterricht die Schulnote:				

Das hat mir besonders gut gefallen:

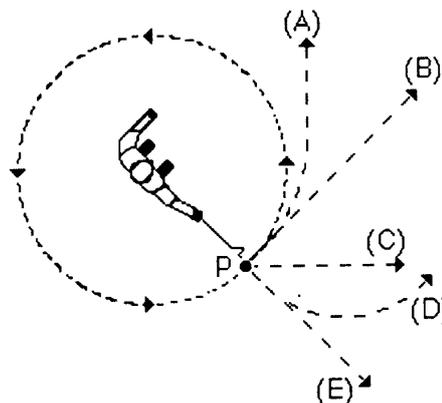
Das hat mir weniger gefallen:

Ein Güterwagen ($m = 20 \text{ t}$) fährt mit 80 km/h . Wie groß ist sein Impuls?

Der Impuls des Güterwagens beträgt_____.

Beschreibe mit eigenen Worten den Unterschied zwischen „Impuls“ und „Kraft“

7. Ein schwerer Ball ist an einem Faden befestigt und wird, wie in der nebenstehenden Skizze gezeigt, horizontal im Kreis herum bewegt. Am Punkt P (siehe Skizze) reißt plötzlich der Faden. Der ganze Vorgang wird von oben betrachtet. Welche der in der Skizze gezeigten Bahnkurven beschreibt am besten den Weg des Balls, nachdem der Faden gerissen ist? (Markieren Sie Ihre Antwort in der Skizze.)



Anhang 15: Stimmverteilung bei den Jungen

Wie hat dir der Unterricht gefallen?

Dein Codename: _____

Denke bei den folgenden Fragen bitte an den Unterricht, den du bei den Studenten mitgemacht hast. Kreuze an, wie stark du den Aussagen zustimmst. Wenn du keine Antwort weißt, lässt du die Aussage einfach aus.

		trifft voll zu...		...trifft gar nicht zu	
1	Den Unterricht fand ich interessant.	1	8	3	0
2	Der Unterricht ging mir zu schnell.	0	0	4	8
3	Das Experimentieren hat mir Spaß gemacht.	4	5	3	0
4	Ich war mit den Gedanken öfter mal woanders.	0	3	6	3
5	Die Studenten konnten die Aufgaben/die Versuche gut erklären.	7	3	2	0
6	Ich habe mich über einige Dinge im Unterricht geärgert.	0	1	5	6
7	Was ich über das Thema erfahren habe, bringt mir etwas.	3	7	2	0
8	Der Unterricht hat ewig gedauert.	2	3	4	3
9	Der Unterricht hat mir Freude gemacht.	3	5	4	0
10	Ich fand die Aufgaben/die Versuche schwer.	0	0	2	10
11	Wir konnten viel selbst ausprobieren.	11	1	0	0
12	Bei den Aufgaben/den Versuchen habe ich die Zusammenhänge nicht verstanden.	0	1	1	10
13	Ich habe mich gelangweilt.	0	5	4	3
14	Ich möchte mehr über das Thema erfahren.	5	0	7	0
15	Ich hätte gerne noch mehr experimentiert.	2	3	4	3
16	Die Studenten haben mich überfordert.	0	0	2	10
17	Ich habe viel dazu gelernt.	0	7	5	0
18	Die Methoden im Unterricht waren abwechslungsreich.	2	4	3	3
19	Insgesamt gebe ich dem Unterricht die Schulnote:				

Anhang 16: Stimmverteilung bei den Mädchen

Wie hat dir der Unterricht gefallen?

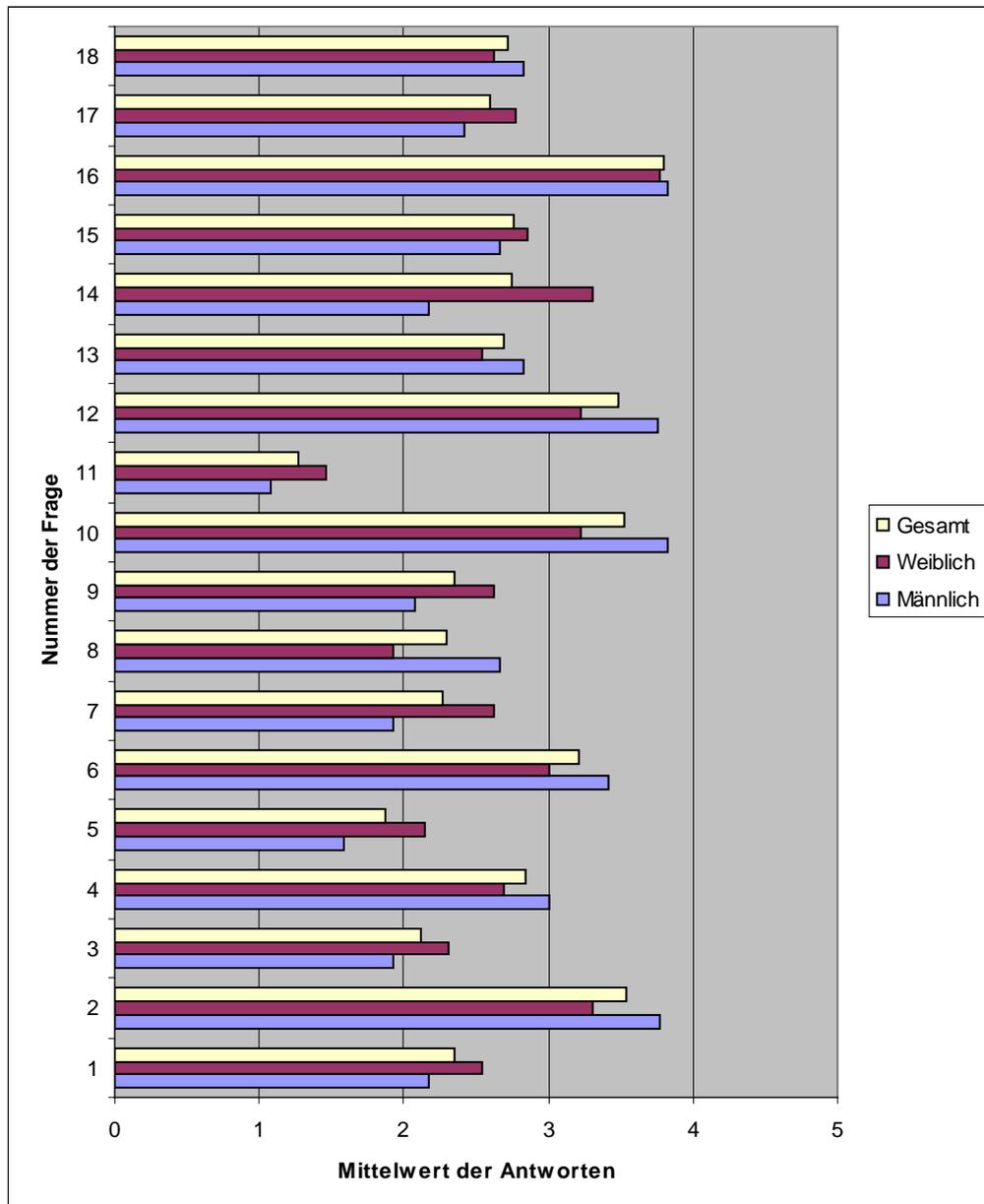
Dein Codename: _____

Denke bei den folgenden Fragen bitte an den Unterricht, den du bei den Studenten mitgemacht hast. Kreuze an, wie stark du den Aussagen zustimmst. Wenn du keine Antwort weißt, lässt du die Aussage einfach aus.

		trifft voll zu...		...trifft gar nicht zu	
1	Den Unterricht fand ich interessant.	1	4	8	0
2	Der Unterricht ging mir zu schnell.	0	3	3	7
3	Das Experimentieren hat mir Spaß gemacht.	2	6	4	1
4	Ich war mit den Gedanken öfter mal woanders.	0	5	7	1
5	Die Studenten konnten die Aufgaben/die Versuche gut erklären.	1	9	3	0
6	Ich habe mich über einige Dinge im Unterricht geärgert.	1	2	6	4
7	Was ich über das Thema erfahren habe, bringt mir etwas.	0	6	6	1
8	Der Unterricht hat ewig gedauert.	4	7	1	1
9	Der Unterricht hat mir Freude gemacht.	0	6	6	1
10	Ich fand die Aufgaben/die Versuche schwer.	0	1	8	4
11	Wir konnten viel selbst ausprobieren.	8	4	1	0
12	Bei den Aufgaben/den Versuchen habe ich die Zusammenhänge nicht verstanden.	0	3	4	6
13	Ich habe mich gelangweilt.	1	5	6	1
14	Ich möchte mehr über das Thema erfahren.	0	1	7	5
15	Ich hätte gerne noch mehr experimentiert.	1	4	4	4
16	Die Studenten haben mich überfordert.	0	0	3	10
17	Ich habe viel dazu gelernt.	0	6	4	3
18	Die Methoden im Unterricht waren abwechslungsreich.	1	5	5	2
19	Insgesamt gebe ich dem Unterricht die Schulnote:				

Anhang 17: Auswertung des abschließenden Fragebogens

Darstellung der Mittelwerte der gegebenen Antworten zu den einzelnen Fragen (den Antwortmöglichkeiten wurden dabei von links nach rechts die Werte 1 – 4 zugeordnet):



1.1 **Werkstattunterricht Dynamik I**

Ein Partner schiebt das Skateboard an, der gegenüberstehende Partner stoppt es.

Dann setzt!! sich eine dritte Person auf das Skateboard und der Schiebeversuch wird wiederholt. Beschreibt die Beobachtung desjenigen, der das Skateboard stoppt, in eigenen Worten.

1.2 Stellt euch im Abstand von $1,0m$ auf und werft euch einen Volleyball zu. Werft dabei möglichst waagrecht, also keinen Bogen. Vergrößert nun den Abstand zueinander (bis zu $3m$) und wiederholt den Wurfvorgang. Untersucht, ob sich der Schwung des Volleyballs ändert.

1.3 Werft euch im Abstand von $1,0m$ zueinander (vorsichtig!) einen Medizinball zu. Werft möglichst waagrecht. Vergleicht den Schwung/die Wucht des geworfenen Medizinballs mit dem Schwung des Volleyballs.

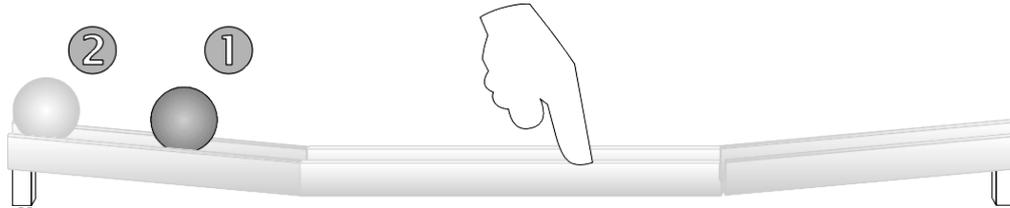
1.4 Verändert den Abstand zueinander langsam in 20cm-Schritten (knapp eine Schuhlänge) bis zu 2m, also 10 Würfe. Werft euch erneut (möglichst waagerecht) den Medizinball zu und untersucht, bei welchem Wurf der Ball den größten Schwung erhält. Bringt im Anschluss an den Versuch das Versuchsmaterial zurück.

1.5 Gedankenexperiment: Zwei gleich schnelle Radfahrer kommen dir auf dem Radweg entgegen. Das eine ist ein Rennrad, das andere ein voll bepacktes Postfahrrad. Du willst ein Rad stoppen, indem du es am Lenker festhältst. Welches Rad ist schwerer zu stoppen?

1.6 Zusatz:

Erweitert das vorhergehende Gedankenexperiment: Zwei Radfahrer kommen dir auf dem Radweg entgegen. Das eine ist ein Rennrad, das andere ein voll bepacktes Postfahrrad. Unter welchen Voraussetzungen sind diese beiden Fahrräder gleich schwer zu stoppen?

1.7 Legt auf die Galilei-Rinne eine große Metallkugel ① auf halbe Höhe und ② auf volle Höhe und lasst sie jeweils rollen. Einer stoppt die Bewegung der Kugel auf dem ebenen Stück mit der Hand; sie/er sollte dabei wegsehen, so dass man nicht weiß, aus welcher Höhe die Kugel losgelassen wird. Beschreibt den Unterschied.



Überlegt, wie Höhe und Geschwindigkeit zusammenhängen.

(Behaltet die Materialien auf dem Tisch.)

1.8 Legt einen Gummistopfen (Radiergummi) auf die Bahn, so dass dieser durch die Kugel (kleine Metallkugel) weggeschoben wird. Untersucht den Schwung der Kugel, wenn die Kugel ① auf halber Höhe bzw. ② auf voller Höhe den Stopfen wegschiebt.

1.9 Tauscht die Metallkugel gegen eine Glaskugel aus.

Untersucht erneut, wie die Kugel den Gummistopfen wegschiebt.

Welchen Einfluss nimmt die Masse auf den Schwung?

1.10 Füllt jeder einen der ausgeteilten Fragebögen aus. Benutzt dabei euren Codenamen.

1.11 Zusatz:

Vergleicht noch einmal den Prozess, wenn die Metallkugel bzw. die Glaskugel jeweils den Gummistopfen wegschieben – wie kann man es erreichen, dass beide Kugeln den Stopfen etwa in gleichem Maße wegschieben?

- 1.12 Überlegt gemeinsam: Von welchen Größen hängt der Schwung ab? Geht die Experimente noch einmal durch:
1. Würfe mit Medizinball und Volleyball
 2. Stoppversuche auf der Galileirinne
 3. Gedankenexperiment zum Postfahrrad
- Notiert eure Überlegungen.

1.13 INFO 1. **Der Schwung heißt Impuls**

Der „Schwung“, den man in vielen Bewegungen erkennt, wird in der Physik als **Impuls** bezeichnet. Er wird definiert als Masse mal Geschwindigkeit und hat das Formelzeichen p :

$$p = m \cdot v$$

Übernehmt die Information in eure Mappe und markiert sie farblich. Betrachtet noch einmal die Experimente an der Galilei-Rinne und überprüft, ob ihr m oder v (oder beide) verändert habt. Bringt im Anschluss an den Versuch das Versuchsmaterial zurück.

1.14 Vergleiche rechnerisch den Impuls eines PKW (Masse: 1.200kg) bei 72km/h mit dem eines LKW (Masse: 40t) bei gleicher Geschwindigkeit.

Hinweis: Die Einheit des Impulses ist $1 \frac{kg \cdot m}{s}$.

Notiert die Aufgabe in euer Heft.

1.15 Zusatz:

Der Impuls des PKW beträgt laut vorhergehender Rechnung $24.000 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$, der Impuls des LKW hingegen $800.000 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$. Inwiefern ist demzufolge ein Zusammenstoß mit einem LKW viel gefährlicher als ein Zusammenstoß mit einem PKW, auch wenn man selbst in einem PKW durch das Blech und einen Sicherheitsgurt geschützt ist?

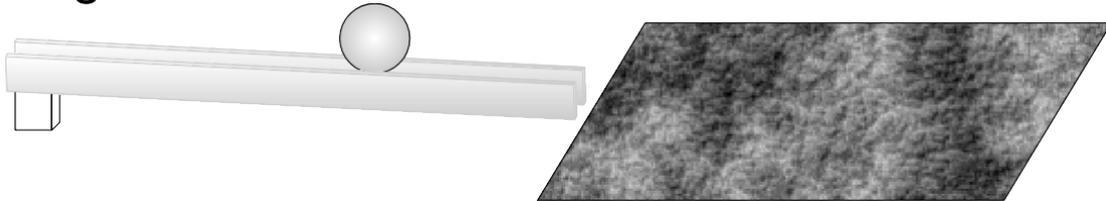
1.16 Zusatz:

Erkläre den Ausdruck aus der Alltagssprache:

„Einer Sache einen zusätzlichen Impuls geben“

physikalisch anhand eines Beispiels.

2.1 (Für die folgenden Versuche muss der Experimentiertisch möglichst gerade stehen; nutzt dazu die Bierdeckel und legt diese unter die Tischbeine.)
Die kleinere Holzkugel rollt die schräg gelegte Aluminiumschiene (kurze Schienen mit Unterlegklötzchen) herunter und rollt dann auf verschiedene Materialien (Schreibblock, Tisch, Boden, Stoff von Jacke...). Prüft, wie weit die Kugel rollt.



2.2 Wiederholt die vorhergehende Versuchsreihe mit der größeren Holzkugel und vergleicht die Beobachtungen mit dem vorherigen Ergebnis. Welchen Einfluss hat der veränderte Impuls/Schwung?

2.3 Wiederholt die vorhergehende Versuchsreihe mit der Glaskugel, der Metallkugel und der Styroporkugel. Benennt die Unterschiede.

2.4 Ordnet die Materialien danach, wie gut die Kugeln darauf rollen.

2.5 Versucht, die Beobachtungen zu begründen, die ihr bei den Rollversuchen auf verschiedenen Oberflächen gemacht habt.

2.6 INFO 1. **Reibung**

Sämtliche Bewegungen auf der Erde werden durch Reibung verlangsamt. Die Reibung hängt davon ab, wie die Oberflächen der Unterlage und des bewegten Körpers beschaffen sind.

Eine raue Oberfläche erzeugt eine größere Reibung als eine glatte Oberfläche.

Setzt den Inhalt dieser Information mit euren Beobachtungen schriftlich in Beziehung.

Bringt das Versuchsmaterial zurück.

2.7 Die kleine Holzkugel rollt die schräge Aluminiumschiene herunter und trifft dann in die gerade Aluminiumschiene. Führt den Versuch mehrfach durch mit verschiedenen weit geneigten Alu-Schienen. Notiert eure Beobachtungen, wie sich die Kugel auf der geraden Aluminiumschiene bewegt.



2.8 Wiederholt den vorhergehenden Versuch mit der Glaskugel und der Eisenkugel. Notiert eure Beobachtungen, wie sich die Kugeln auf der geraden Aluminiumschiene bewegen.

2.9 Zusatz:

Wiederholt den vorhergehenden Versuch, verwendet jetzt aber zwei gerade Aluminiumschienen hintereinander. Lässt sich ein Unterschied beobachten?

2.10 Zusatz:

Überprüft, welchen Einfluss der Impuls/Schwung darauf hat, wie weit eine Kugel rollt.

2.11 Überprüft, inwieweit man bei der Bewegung der großen Metallkugel auf der Aluminiumschiene davon sprechen kann, dass diese Bewegung nahezu ohne Reibung (reibungsfrei) verläuft.
Bringt das Material zurück.

3.1 Verwendet die Galilei-Rinne. Lasst nun eine Kugel von oben rollen und beschreibe die Bewegung.

Überlegt insbesondere, welches Vorzeichen die Geschwindigkeit und die Beschleunigung im markierten Teil während der Aufwärtsbewegung haben müssen.



Welche Rolle spielt die Tatsache, dass die Bewegung beinahe reibungsfrei ist?

3.2 Beschreibt nun möglichst genau, welche Geschwindigkeiten man an den markierten Stellen 1-7 messen müsste, wenn man zwei Werte kennt: $v_2=0,26\text{m/s}$, $v_4=0,37\text{m/s}$.

(Falls ihr eine asymmetrische Galilei-Rinne habt, bei der die Schrägen verschieden lang sind, dürft ihr diesen Längenunterschied vernachlässigen.)



3.3 Berechnet, welchen Impuls/Schwung die Kugel an den sieben markierten Stellen hat, wenn die große Eisenkugel eine Masse von 0,255kg hat.
Überlegt, ob es Sinn macht, wenn man einen Wert $p=0 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$ erhält.

3.4 Füllt einen Fragebogen aus. Benutzt bitte
euren Codenamen.

3.5 Gedankenexperiment nach Galilei

Wenn die Reibung sehr gering ist, erreicht die Kugel stets dieselbe Höhe (gestrichelte Linie) auf beiden Seiten.



Wenn die eine Schräge weniger steil ist, wird die Kugel entsprechend weiter rollen, bis sie dieselbe Höhe erreicht hat.



Wenn aber nur auf einer Seite eine Schräge ist

und die Kugel diese Schräge herunterrollt, muss sie auf der Gerade praktisch unendlich rollen!



Galilei schreibt: *Hieraus folgt, dass die Bewegung in der Horizontalen eine unaufhörliche sei.*

Fasst diese Idee in eigene Worte. Inwiefern ist dies nur ein Gedankenexperiment?

3.6 Begründe, weshalb man an den Stellen 3-5 konstante Impulse misst. Welche Rolle spielt die Reibung dabei?



3.7 INFO 1. **Reibungsfreie Bewegung**

Wenn ein Körper sich **reibungsfrei** bewegt, behält er für immer seine anfängliche Geschwindigkeit bei. Also bleibt auch sein **Impuls** gleich.

Übernehmt den Inhalt dieser Information in eure Mappe und markiert sie farblich.

Überlegt euch, warum die meisten Schüler und Studenten diese Aussage kaum glauben können.

3.8 Erkläre das 1. Newton'sche Gesetz in eigenen Worten:

Jeder Körper verharrt in Ruhe oder in gleichförmiger Bewegung, solange nichts von außen auf ihn einwirkt.

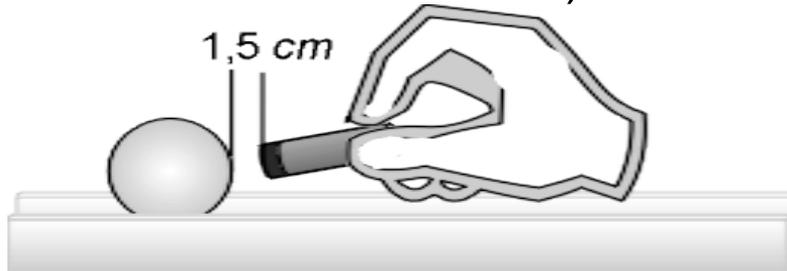
3.9 Zusatz:



Diskutiert den abgebildeten Comic: Im All, weit entfernt von anderen Himmelskörpern, befindet sich ein Raumschiff in Bewegung, als plötzlich der Treibstoff ausgeht. Einigt euch auf die richtigen (Teil-)Aspekte und notiert gemeinsam eine Antwort.

4.1 Hinweise zum Umgang mit Magneten:
Behandelt die Magneten vorsichtig! Lasst sie bitte nicht fallen oder stoßt mit ihnen an. Sie verlieren dann ihre magnetischen Eigenschaften. Legt die Magnete genau so zurück wie ihr sie geholt habt. Achtet auf die Lagerung von Nord- und Südpol und deckt die Magneten ggf. mit den Metalldeckeln wieder ab.

4.2 Legt die Kugel auf die ebene Aluminiumschiene und steuert ihre Bewegung mittels des Magneten. Haltet dazu den Magneten vor bzw. hinter die Kugel. Weswegen ist es wichtig, dass man den Abstand von ca. $1\text{-}1,5\text{ cm}$ konstant hält? (Ihr braucht nichts notieren.)



4.3 Legt die Kugel auf den ebenen Teil der Galilei-Rinne (stellt die Schraube so ein, dass die Kugel nicht von allein rollt). Versucht nun mit Hilfe des Magneten, die Kugel über die volle Länge der Rinne rollen zu lassen. (Ihr braucht nichts notieren.)

4.4 Lasst die Kugel die ganze Galilei-Rinne entlang rollen. Wie kann man mit dem Magneten die Kugel stoppen, ohne dass der Magnet die Kugel berührt? (Ihr braucht nichts notieren.)

4.5 Zusatz:

Auf dem Tisch findet ihr eine Rinne mit mehreren rollbaren Magneten. Welche Beobachtungen könnt ihr machen?

4.6 Haltet nun den Magneten seitlich zur Bahn, so dass der Magnet die große Eisenkugel anzieht, aber die Kugel nicht aus der Schiene gerät. Lasst die Eisenkugel langsam daran vorüber rollen, indem ihr sie von ca. $\frac{1}{4}$ der Höhe starten lasst. Versucht, die Bewegung der Kugel möglichst genau zu beschreiben, während sie sich in der Ebene bewegt.

4.7 Überprüft, ob die Kugel ca. 5cm vor dem Magneten und ca. 5cm hinter dem Magneten wieder dieselbe Geschwindigkeit hat. Wie lässt sich diese Tatsache erklären? Und welche Rolle spielt die weitgehende Reibungsfreiheit?

4.8 Lasst erneut die Kugel an dem seitlich gehaltenen Magneten vorbeierollen. Erklärt, in welchen Phasen sich die Bewegung der Kugel ändert.

4.9 Füllt einen Fragebogen aus. Benutzt dabei eure Codenamen.

4.10 INFO 1. **Kraft verursacht Bewegungsänderungen**

Jede Bewegung, die nicht gleichförmig ist, sondern sich irgendwie ändert (beschleunigt, abgebremst oder in der Richtung geändert), muss einer wirkenden Kraft unterworfen sein.

Übernimm den Inhalt der Karte in eigene Worte.
Überprüft den Inhalt dieser Informationskarte an den Versuchen, die ihr an der ebenen Rinne durchgeführt habt: Wo wirkt eine Kraft, so dass sich die Geschwindigkeit ändert?

4.11 Zusatz:

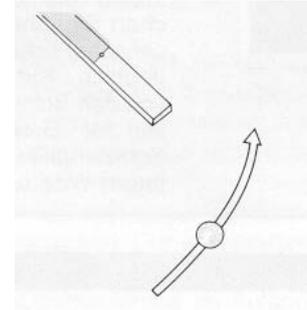
Wiederholt den vorhergehenden Versuch mit der kleineren Eisenkugel. Welchen Einfluss hat die kleinere Masse auf die Änderung der Bewegung?

4.12 Zusatz:

Für diesen Versuch benötigt ihr (wie bei den Versuchen zur Reibung) eine austarierte Platte als Grundlage (nutzt dazu die Holzplättchen)

Lasst die Eisenkugel langsam über den Tisch rollen, indem sie zunächst auf der schräg liegenden Bahn beschleunigt wird. Führt nun den Stabmagneten seitlich heran, so dass die Kugel abgelenkt wird, ohne aber den Magneten zu berühren.

Ergänzt zu der Information, dass Kräfte beschleunigen oder abbremsen, eure neue Beobachtung.



5.1 Ein kleiner Experimentierwagen wird mit einem Band gleichmäßig über den glatten Tisch gezogen. Das Band muss dabei waagrecht gehalten werden, so dass man den Wagen nicht anhebt.

Beschreibt, unter welchen Umständen der Wagen beschleunigt wird und wann er sich (nahezu) gleichförmig bewegt.

Welchen Einfluss hat es, ob der Faden gespannt ist oder durchhängt?

5.2 Belastet den Experimentierwagen mit verschiedenen Massestückchen und ergänzt eure Beobachtungen, unter welchen Umständen der Wagen beschleunigt wird und wann er sich (nahezu) gleichförmig bewegt.

5.3 Wiederholt die Versuche mit dem Experimentierwagen und zwei Massestückchen. Zieht den Wagen aber nun über eine Styroporplatte. Welche Rolle spielt die Reibung?

5.4 Wieso wird der Wagen beim Ziehen nur am Anfang, später aber nicht beschleunigt?

5.5 Ihr habt beobachtet, dass es wichtig ist, ob der Faden gespannt ist oder durchhängt.
Überlegt: Wie hängen die aufgewendete Kraft und die Spannung des Fadens zusammen?

5.6 Die Aussage:

„*Die Kraft die Ursache der Bewegung!*“
ist falsch. Warum? Notiert eure Einwände,
sofern ihr welche findet.

5.7 Füllt bitte einen Fragebogen aus. Benutzt Euren Codenamen.

5.8 INFO 1. **Kraft ist nicht die Ursache für Bewegungen**

Kräfte sind nicht die Ursache für Bewegungen, sondern die Ursache für Bewegungsänderungen. Erklärt den Unterschied.

5.9 Zusatz:

Ein kleiner Experimentierwagen wird mit 2 Massestücken und an der Stirnseite mit einer Feder versehen. Lasst diesen Wagen mit der Feder gegen ein festes Hindernis stoßen. Versucht, die Bewegungsänderung genau zu beschreiben.

5.10 Wiederholt den vorhergehenden Versuch:
Worin besteht die Ursache der
Bewegungsänderung?

5.11 Zusatz:

Wir haben in der ersten Kartenserie den Impuls $p = m \cdot v$ erarbeitet. Überlegt, wie Impuls und Kraft zusammenhängen: Was passiert mit dem Impuls („Schwung“) eines Körpers, wenn eine Kraft auf den Körper wirkt?