



universität  
wien

# DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

## **Erstellung und Evaluierung einer Unterrichtssequenz über die Begriffe Masse und Trägheit im Kontext von Kometen**

verfasst von / submitted by

Sebastian Kremshuber

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of

**Magister der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)**

Wien, 2019 / Vienna, 2019

Studienkennzahl lt. Studienblatt / A 190 299 412  
degree programme code as it  
appears on the student record  
sheet:

Studienrichtung lt. Studienblatt / Lehramtsstudium UF Psychologie und Philosophie,  
degree programme as it appears on UF Physik  
the student record sheet:

Betreut von / Supervisor: Doz. Dr. Franz Embacher



# Danksagung

Mein besonderer Dank gilt allen, die mich im Laufe meines Studiums und bei der Erstellung dieser Diplomarbeit unterstützt haben. Besonders hervorheben möchte ich:

Meine Eltern, die mich während des Studiums finanziell und auch in vielerlei anderer Sicht unterstützt haben.

Meine Freunde, allen voran meine Mitstudenten der LPAG, die das Interesse an der Astronomie erweckt und genährt haben, Leidensgenossen auf dem letzten Weg des Studiums waren und mir mit Tipps und Feedback bei der Erstellung dieser Arbeit geholfen haben.

Meinem Betreuer Franz Embacher, der offen für das Thema dieser Arbeit war, mit seinem Fachwissen und seiner Expertise viele Dinge klarer erscheinen ließ und vor allem viel Geduld über all die Jahre aufbrachte, die diese Diplomarbeit für die Fertigstellung benötigte.

Den Schülerinnen und Schülern, die sich bereit erklärt haben, meine konzipierte Unterrichtseinheit zu testen und sich für Interviews zur Verfügung zu stellen.

Der größte Dank gilt jedoch meiner Frau Fiona, die mich all die Jahre begleitet, unterstützt und motiviert hat. Ohne ihre Liebe und ihr Vertrauen in mich wäre diese Arbeit nie fertig geworden.



# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b> .....	<b>7</b>
<b>2 Historische Entwicklung der Begriffe Masse und Trägheit</b> .....	<b>9</b>
2.1 Begriff der Masse im Denken der Antike.....	9
2.2 Die Trägheit von den Neuplatonikern bis Kepler.....	12
2.3 Die Systematisierung der Masse durch Newton.....	14
2.4 Kants Kritik und Abwandlung der Newtonschen Auffassung .....	16
2.5 Der moderne Begriff der Masse .....	17
2.6 Der elektromagnetische Begriff der Masse .....	19
2.7 Der relativistische Begriff der Masse .....	20
<b>3 Kometen</b> .....	<b>21</b>
3.1 Was sind Kometen?.....	21
3.2 Geschichte der Beobachtung .....	22
3.3 Der Aufbau von Kometen .....	24
3.3.1 Der Kern .....	25
3.3.2 Die Koma .....	26
3.3.3 Der Schweif.....	27
3.4 Ursprung und Bahnen der Kometen.....	28
3.4.1 Die Oortsche Wolke .....	28
3.4.2 Der Kuiper-Gürtel .....	30
3.4.3 Kometenbahn.....	30
<b>4. Pädagogischer und fachdidaktischer Hintergrund</b> .....	<b>32</b>
4.1 Bezug zum Lehrplan Physik Unterstufe.....	32
4.2 Trainierte Kompetenzen laut „österreichisches Kompetenzmodell Naturwissenschaften 8.Schulstufe“ .....	33
4.3 Schülervorstellungen zu Trägheit und Kraft .....	33
4.3.1 Kinematische Präkonzepte .....	34
4.3.2 Kraft und Bewegung.....	35
4.3.3 Trägheit .....	35
<b>5 Schulversuche zu Masse und Trägheit</b> .....	<b>37</b>
5.1 Klassische Schulversuche zur Trägheit.....	37
5.2 Adaptierte Schulversuche im Setting Kometen.....	38
5.2.1 Versuch „Wagen mit Kugel“ .....	38
5.2.2 Versuch „Becher mit Kugel“ .....	42
5.2.3 Meteoriteneinschlag .....	46
<b>6 Unterrichtssequenz „Masse und Trägheit am Beispiel von Kometen“</b> .....	<b>50</b>

6.1 Lernziele.....	50
6.2 Stundenbilder.....	51
6.2.1 Stundenbild 1. Stunde.....	51
6.2.2 Stundenbild 2. Stunde.....	52
6.2.2 Stundenbild 3. Stunde.....	53
6.3 Arbeitsblätter.....	54
6.3.1 Stunde 1 – Kometen.....	54
6.3.2 Stunde 2 - Trägheit.....	57
6.3.3 Stunde 3 - Versuch Meteoriteneinschlag.....	60
<b>7 Auswertung der empirischen Untersuchung.....</b>	<b>62</b>
7.1 Durchführung und Organisation.....	62
7.1.1 Die 2. Klasse des BG/BRG Hollabrunn.....	62
7.1.2 Die 2. Klasse des Erzbischöflichen Gymnasium Hollabrunn.....	63
7.2 Interviews vor der Unterrichtssequenz.....	63
7.3 Interviews nach der Unterrichtssequenz.....	65
7.4 Erkenntnisse aus den Interviews.....	73
<b>Quellenverzeichnis.....</b>	<b>76</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>78</b>
<b>Anhang.....</b>	<b>79</b>
Anhang 1: Interview Leitfaden vor der Unterrichtssequenz.....	79
Anhang 2: Transkription Interviews vor der Unterrichtssequenz.....	80
Anhang 3: Interview Leitfaden nach der Unterrichtssequenz.....	90
Anhang 4: Transkription Interviews nach der Unterrichtssequenz.....	91
<b>Abstract (Deutsch).....</b>	<b>115</b>
<b>Abstract (Englisch).....</b>	<b>116</b>

# 1 Einleitung

Astronomie interessiert die Menschen seit je her. Himmelsphänomene waren schon immer ein beeindruckendes und auch furchterregendes Schauspiel, sei es eine Sonnenfinsternis, ein Sternschnuppenschauer oder ein nahe vorbeiziehender Komet. Diese Faszination an der Astronomie ist den Menschen bis heute geblieben. Studien beweisen, dass SchülerInnen eine große Neugier haben, wenn es um das Weltall, Kometen und ähnliches geht<sup>1</sup>. Genauso haben Kinder ein großes Interesse an der Physik, noch bis in die Volksschule hinein. Doch Ergebnisse von Schülerumfragen<sup>2</sup> zeigen, dass dieses Interesse im Laufe der Schullaufbahn immer weiter abnimmt. Physik gilt neben Mathematik als das unbeliebteste Schulfach<sup>3</sup>. Warum ist das so? Wie kann man hier entgegenwirken?

Ich unterrichte nun schon seit drei Jahren und habe die Erfahrung gemacht, dass unterschiedliche Themen unterschiedliche SchülerInnen ansprechen. Doch ein Thema wurde einhellig von so gut wie allen begeistert angenommen, egal ob 2. Klasse oder 6. Klasse, egal ob Mädchen oder Jungen: Kometen! Als es am 12. November 2014 im Zuge der „Rosetta Mission“ der ESA (European Space Agency) gelang, eine Messapparatur auf einem Kometen zu landen, nahm ich diesen Meilenstein in der Kometenforschung zum Anlass, in allen meinen Klassen (6., 8. und 10. Schulstufe) zwei Unterrichtseinheiten über Kometen und die Rosetta Mission zu halten. Die SchülerInnen waren begeistert! Bei keinem anderen Thema waren die Aufmerksamkeit, das Interesse und auch das sofortige Verständnis der physikalischen Sachverhalte so groß wie hier.

Jedoch ist beim Unterricht der 2. Klassen auch etwas aufgefallen: Mechanik hatten sie schon hinter sich, dennoch ist ein paar SchülerInnen nicht klar gewesen, warum sich ein Komet durch das Weltall bewegt, ohne langsamer zu werden. Teilweise wird geglaubt, der Schweif wirke wie ein Antrieb und als ich ihnen erklärte, dass ein Komet keinen Antrieb braucht, konnten dies einige nicht nachvollziehen. Prinzipien der Mechanik wie die Trägheit und Gravitation konnten hier nicht angewendet werden, wurden also vielleicht nicht in einem erforderlichen Maß verstanden.

---

<sup>1</sup> vgl. Bacher 2003

<sup>2</sup> vgl. Merzyn 2009, S.312

<sup>3</sup> vgl. Fruböse 2010, S. 388

Deshalb kam mir der Gedanke, diese beiden Kapitel, also Mechanik und Astronomie, in der 2. Klasse zu kombinieren. Warum sind in den meisten Schulbüchern Autos diejenigen Körper, die Trägheitskräften unterworfen sind, wenn es nicht auch Kometen sein könnten? In meiner Arbeit versuche ich also, folgende Hypothese zu bestätigen: **Die Begriffe *Trägheit und Masse*, im Kontext von Kometen unterrichtet, führt zu einem höheren Interesse am Lerninhalt und zu einem besseren Verständnis der SchülerInnen.**

Dazu plane ich eine Unterrichtssequenz mit einer Dauer von drei Unterrichtsstunden, die ich in unterschiedlichen Klassen durchführe, während die Evaluation durch Interviews einiger SchülerInnen vor und nach der Unterrichtssequenz stattfindet. In meiner Arbeit werde ich zuerst die Theorie, die hinter der Unterrichtseinheit steht, erläutern. Dies bedeutet einerseits die physikalischen Begriffe Trägheit und Masse erklären und die Entwicklung dieser Begriffe im Laufe der Geschichte beschreiben, andererseits den Begriff Kometen und die Geschichte der Kometenbeobachtung erläutern. Dann folgt die Beschreibung der Unterrichtseinheit, angefangen von den didaktischen Zielen und Voraussetzungen, dem Stundenbild und der genauen Beschreibung des Unterrichts und der Versuche. Am Schluss der Arbeit wird meine Hypothese durch eine Analyse der Interviews evaluiert.



## 2 Historische Entwicklung der Begriffe Masse und Trägheit

Um die Definition der Begriffe Masse und Trägheit in der modernen Physik genauer zu verstehen, ist es meiner Meinung nach unabdinglich, den historischen Werdegang dieser Begriffe zu skizzieren. Dies liefert einerseits eine Sicht der Schwierigkeiten, die diese heute so trivial gesehenen Größen der Physik Philosophen und Wissenschaftlern verursacht haben. Andererseits ist es interessant zu erkennen, dass heutige Schülervorstellungen und Präkonzepte von Masse und Trägheit sehr ähnlich den früheren Vorstellungen der Denker sind, die sich damit beschäftigt haben. Mit diesem Wissen kann den Vorstellungen der SchülerInnen mehr Beachtung geschenkt werden und es hilft möglicherweise, als LehrerIn besser damit umgehen zu können.

### 2.1 Begriff der Masse im Denken der Antike

Ich werde in diesem Kapitel nicht alle Philosophen der griechischen Antike und ihre Sichtweisen nennen können, exemplarisch sind jedoch die wichtigsten Aussagen dargestellt.

Gleich vorweg kann die Frage, ob es denn in der Antike einen genauen Begriff für die *Quantität der Materie* (*quantitas materiae*), also ein Maß für die Materie, vergleichbar mit dem heutigen Massebegriff, gegeben hat, mit einem nein beantwortet werden. Für eine *träge Masse*, also eine Idee des heutigen Trägheitsbegriffs, gab es nicht einmal eine mögliche Vorstellung.

Eine Idee für eine Quantität der Materie gab es jedoch, allein der damalige Handel mit unterschiedlichen Gütern machte dies notwendig. Es ist somit eine Vorstufe des heutigen Massebegriffs. „*Der Antike waren dafür zwei Methoden zugänglich und sie wandte sie beide an: die Bestimmung des Gewichts und die Bestimmung des Volumens.*“<sup>4</sup>

Die Menge verschiedener Güter wurde jedoch in verschiedenen Einheiten gemessen. Nicht nur gab es keinen „internationalen“ Standard, verschiedene Völker hatten verschiedene Gewichtseinheiten, selbst ein und dasselbe Volk hatte verschiedene Einheiten. Der Grund dafür liegt in einem völlig anderen Bezug zum Begriff des Gewichts: „*Gewicht galt nicht als eine*

---

<sup>4</sup> Jammer 1981, S. 16

*dynamische universale Quantität, das heißt im Lichte der modernen Wissenschaft als eine Kraft, die der Menge der Materie bzw. der Masse proportional ist (am gleichen Ort), sondern es galt eher als eine Eigenschaft der Körper, als eine Qualität, wie Farbe, Geruch, Sprödigkeit.*“<sup>5</sup>

Für die antiken Philosophen war im Gegensatz zum Handel die Schwere kein Maß für die Menge von Materie. Bleibt noch das Volumen als Maßstab übrig. Hier findet man in der *Physik* von Aristoteles folgende Passage:

*„Die Materie eines Körpers muß also identisch bleiben (aute), gleichgültig ob sie ein größeres oder kleineres Volumen ausfüllt. Das ist offenbar der Fall; denn wenn Wasser in Luft verwandelt wird, dann wird die gleiche Materie, ohne daß ihr etwas hinzugefügt wird, aus dem, was sie war, umgeformt, indem sie in die Aktualität dessen übergeht, was vorher für sie nur Potentialität war. Und es ist genau das gleiche, wenn die Luft in Wasser verwandelt wird. Das eine Mal ist es ein Übergang von einem kleineren zu einem größeren Volumen, das andere Mal von einem größeren zu einem kleineren.*“<sup>6</sup>

*„Die Veränderung des Volumens beeinflusst also nicht die Identität der Materie, und demzufolge kann das Volumen nicht, wie das Gewicht, als ein Maß für die „Quantität der Materie“ dienen.*“<sup>7</sup> Vermutlich hatte Aristoteles gar keine Idee für eine Quantität der Materie, da seine Arbeiten über die Physik eigentlich die Wissenschaft der *physis* (griech. Natur) behandeln, also die Phänomene von Wachstum und Werden. Es wird hier kein Unterschied zwischen anorganischer und organischer Materie gemacht.

Der Begriff der Trägheit, also träge Masse, war Aristoteles noch fremder. Für ihn war Bewegung ein Resultat von zwei verschiedenen Kräften, einem Antrieb und einem Widerstand. Diese wirken ihm zufolge jedoch beide von außen, die Vorstellung eines inneren Widerstandes gab es bei ihm nicht. Ursache des Widerstandes waren einerseits das Medium, in welchem sich der Körper bewegt, oder die Gravitation der Erde. Dies ist auch durchaus verständlich, da Aristoteles noch keine Vorstellung eines Vakuums oder eines gravitationsfreien Raumes hatte. Dass Aristoteles der Materie weder einen inneren, aktiven Widerstand gegen eine Bewegung, noch eine aktive Weiterführung der Bewegung zuschreibt, liegt auch in der metaphysischen

---

<sup>5</sup> Jammer 1981, S. 17

<sup>6</sup> Wicksteed, Cornford 1934, S. 367-369

<sup>7</sup> ebd. S. 18-19

Auffassung, dass es „[...] ihre charakteristische Eigenschaft [...] ist, Aktionen zu erleiden, das heißt bewegt zu werden. Die ‚Materie‘ (als Materie) ist passiv.“<sup>8</sup>

Interessanterweise lasen die Peripatetiker (Anhänger der aristotelischen Schule) aus seinen Schriften sehr wohl einen Maßstab für die Quantität der Materie heraus, nämlich die räumliche Ausdehnung, und zwar „[...] im wesentlichen Euklids Definition I im Buch 11 seiner ‚Elemente‘, was man nicht nur in der Geometrie, sondern auch in der Physik für anwendbar hielt: ‚Ein fester Körper ist etwas, das Länge, Breite und Tiefe hat.‘“<sup>9</sup> Diese Vorstellung wurde ebenfalls von Platon und seinen Anhängern wie auch von den Neuplatonikern vertreten, da der Raum für Platon unveränderlich ist und somit ein Maßstab für die Quantität.

Die größten Kritiker dieser Vorstellung waren die Stoiker, da es für sie einen Unterschied zwischen Raum und Körper gibt. Sie argumentieren, dass Größe und Gestalt zwar geometrische Attribute sind, doch es braucht auch noch die Eigenschaften Widerstand und Schwere, damit eine geometrische Wesenheit erst zu einem Körper wird. Hier muss aber eingewendet werden, dass diese Charakterisierung nur für Formen gilt, nicht für das Substrat, also die eigentliche elementare Materie, die diese Formen annimmt. In der griechischen Antike wurde bei unzähligen Philosophen hier ein Unterschied gemacht, teils mit sehr komplexen Vorstellungen des Ursprungs dieses Substrats. Allen Vorstellungen gleich ist, dass das Substrat nicht quantitativ beschrieben werden kann. Genau hier herrscht also der große Unterschied zur Newton’schen wie auch zur modernen Physik, wo alles quantitativ beschreibbar sein muss.

*„Dieser grundlegende Unterschied in der begrifflichen Fundierung des antiken Denkens gegenüber dem der modernen Wissenschaft erklärt das Fehlen des Begriffs der quantitas materiae im Altertum, während in der modernen Wissenschaft die Quantität der trägen Masse – als modernes Maß des quantum materia – eine so bedeutsame Rolle spielt.“<sup>10</sup>*

Wenn man die Lehren in der Antike betrachtet, könnte man auch darauf schließen, dass die hydrostatischen Theorien, allen voran jene von Archimedes, und die dazu gehörigen Begriffe vom spezifischen Gewicht und der Dichte, ebenfalls zum Begriff der Masse hätten führen können. Hierfür muss man aber einwenden, dass Dichte eher als eine unableitbare Eigenschaft eines Körpers angesehen wurde, ähnlich „[...] wie Farbe, Geruch und andere zufällige Eigenschaften der Materie.“<sup>11</sup> Die Idee des spezifischen Gewichtes gab es zwar bei

---

<sup>8</sup> ebd. S. 21

<sup>9</sup> Jammer 1981, S. 23

<sup>10</sup> ebd. S. 23

<sup>11</sup> ebd. S. 28

Archimedes und seiner Hydrostatik, als Begriff ist es von ihm aber nie verwendet oder definiert worden. Somit ist es ein Irrtum, wenn Lehrbücher ihm diesen Begriff oder auch jenen der Dichte zuschreiben. Es bleibt also weiterhin bei der Schlussfolgerung, „[...] die Antike habe noch keinen Begriff der Masse formuliert, weder im Sinn der *quantitas materiae* noch im Sinn der *dynamischen Masse*.“<sup>12</sup>

## 2.2 Die Trägheit von den Neuplatonikern bis Kepler

Aus der Verbindung platonischer mit der christlich-jüdischen Philosophie entstand im Mittelalter der sogenannte Neuplatonismus. Obwohl hier der Begriff der Trägheit einen geistlichen Ursprung hat, wird er für die weitere Entwicklung hin zu einem wissenschaftlichen Begriff von Bedeutung sein.

Die Neuplatoniker wollten in ihren Schriften beweisen, „[...] daß alle Kräfte und alles Leben ihre Quellen im Intellekt und in Gott haben, [...]“ deshalb „[...] entwerteten sie die Materie zu einer von Kräften freien Sache und statteten sie mit „Trägheit“ aus, und zwar im Sinne eines absoluten Fehlens von spontaner Aktivität, die man „Form“ (*formative Kraft*) nannte.“<sup>13</sup> Im Vergleich zur Antike wird der Materie somit eine innere Eigenschaft zugewiesen, unabhängig von der Wechselwirkung mit der äußeren Welt. Dieser Gedankengang half schließlich Kepler, der meist als Schöpfer des modernen Begriffs der Trägheit gilt.

Doch wie beschrieben die Neuplatoniker ihre Idee der Materie und was war für sie das Maß der Trägheit? Bei vielen Neuplatonikern wird zwischen verschiedenen Seins-Stufen unterschieden, wobei immer die Materie (ähnlich dem Substrat in der Antike) die niedrigste Stufe darstellt. Der spanisch-jüdische Philosoph Ibn Gabirol unterscheidet hingegen im 11. Jahrhundert verschiedene Arten der Materie, da für ihn die Materie die allem Seienden zugrundeliegende Substanz darstellt, mit Ausnahme von Gott. Die niedrigste Art der Materie ist bei ihm durch die räumliche Ausdehnung charakterisiert und hier folgert er aus alltäglichen Erfahrungen, dass das Maß der Ausdehnung auch ein Maß der Trägheit des Körpers darstellt: „*Je größer die räumliche Ausdehnung ist, desto schwerer ist der Gegenstand; je schwerer ein Gegenstand ist, desto*

---

<sup>12</sup> Jammer 1981, S. 30

<sup>13</sup> ebd. S. 31

weniger beweglich ist er.“<sup>14</sup> Diese Korrelation der Ausdehnung des Körpers als ein Maß der Trägheit wurde von vielen Neuplatonikern übernommen.

Während die Materie bei Aristoteles jedoch neutral und indifferent war, wird sie bei den Neuplatonikern abwertend und minderwertig aufgefasst, sie wird oft als plump oder hässlich beschrieben. Diese Charakterisierung hat sich quer durch das Mittelalter festgesetzt, selbst Johannes Kepler schreibt noch in seinen Schriften: *„Aller körperhafte Stoff, alle Materie in der ganzen Welt hat diese Eigenschaft, oder besser diesen Mangel („Unart“), daß sie plump und träge ist, wenn sie sich von einem Ort zum andern bewegen soll.“*<sup>15</sup>

Nun gilt Kepler laut Leibniz als der Schöpfer einer Idee der Trägheit, wie sie in der Physik gemeint ist. Doch worauf beruht seine Annahme?

In verschiedenen Werken Keplers findet man Hinweise auf eine der Materie innewohnende Tendenz zur Ruhelage und einen Widerstand gegen die Bewegung. So findet sich zum Beispiel im ersten Lehrbuch der kopernikanischen Astronomie folgende Passage: *„Jede Himmelsphäre hat wegen ihres Charakters als Materie [...] ein naturgegebenes Unvermögen, sich von einem Ort zum andern zu bewegen, eine natürliche Trägheit bzw. einen Ruhezustand, wobei sie an jedem Ort bleibt, an dem sie platziert ist.“*<sup>16</sup>

Dies ist jedoch zuerst einmal nur metaphysische Spekulation, doch in einer weiteren Passage leitet er es in einer Art her, die dem modernen Begriff der Wissenschaft zuzuordnen wäre:

*„Wenn die Materie der Himmelskörper nicht mit Trägheit ausgestattet wäre, etwas der Schwere Ähnliches, so wäre keine Kraft für ihre Bewegung von Ort zu Ort erforderlich. Die kleinste bewegende Kraft würde genügen, ihr eine unendliche Geschwindigkeit zu verleihen. Da aber die Perioden der Planetenumdrehungen bestimmte Zeitintervalle haben und einige von ihnen länger, andere kürzer sind, ist es klar, daß die Materie Trägheit besitzen muß, die diese Unterschiede hervorruft.“*<sup>17</sup>

In weiterer Folge beschreibt er, dass die Trägheit direkt proportional zur Quantität der Materie ist: *„Trägheit oder Widerstreben gegen Bewegung ist ein charakteristisches Kennzeichen der Materie. Sie ist umso stärker, je größer die Quantität der Materie in einem gegebenen Volumen ist.“*<sup>18</sup> Jedoch ist es nicht klar, ob Kepler mit dem letzten Satz eine andere Bezeichnung für Dichte liefert oder er die *Quantität der Materie* nur als zur Dichte proportional versteht.

---

<sup>14</sup> ebd. S. 35

<sup>15</sup> Jammer 1981, S. 37

<sup>16</sup> ebd. S. 57

<sup>17</sup> ebd. S. 57-58

<sup>18</sup> ebd. S. 58

Kepler liefert also eine durchaus wissenschaftliche Bezeichnung für die träge Masse. Kann man ihn jedoch als Begründer des modernen Trägheitsbegriffs bezeichnen? Dies muss man eher verneinen, da er nur einen Teilaspekt der Trägheit, nämlich den Widerstand gegen eine Bewegung aus der Ruhe heraus, beschrieben hat. Den anderen Aspekt, nämlich die Bedeutung der Trägheit für die Fortsetzung einer Bewegung, hat er ignoriert oder es war ihm nicht bewusst. Erst Descartes beschrieb die Erhaltung der Bewegungsgröße einer Masse. Allerdings lehnte dieser wiederum Keplers Begriff der Trägheit ab, für ihn gab es keinen einem Körper innewohnenden Widerstand gegen eine Bewegung.<sup>19</sup>

## 2.3 Die Systematisierung der Masse durch Newton

Kepler liefert also ein erstes Konzept von Masse und Trägheit. Newton gelang es schließlich, diese Begriffe zu systematisieren, also sie in den Aufbau des damaligen wissenschaftlichen Systems zu integrieren. Dazu waren drei Erkenntnisse von Bedeutung, die Newton schließlich zu seinem Massenbegriff hinleiteten:

- Keplers Trägheitsbegriff
- Die Beschreibung der Dynamik von Rotationsbewegungen von Huygens
- Die Schlussfolgerungen aus den Stoßexperimenten von Huygens

Huygens untersuchte die Zentrifugalkräfte von rotierenden Körpern und fand heraus, dass sich Körper, wenn sie mit gleicher Geschwindigkeit gleiche Radien umlaufen, gemäß ihren Zentralkräften „*zueinander entsprechend ihren ‚Gewichten‘ bzw. ihren ‚festen Quantitäten‘*“<sup>20</sup> verhalten. Bei seinen Stoßexperimenten elastischer und plastischer Körper wird ebenfalls angenommen, dass Huygens eine Idee einer trägen Masse hatte, obwohl er dafür noch keinen Begriff hatte.

In all seinen Werken verwendet Newton den Ausdruck „Masse“ (massae) eher selten, lieber nahm er den Ausdruck „Quantität der Materie“ (quantitas materiae) oder „Körper“ (corpus) und definierte ihn folgendermaßen: „*Die Quantität der Materie ist das Maß derselben, das durch das Produkt von Dichte und Rauminhalt dargestellt wird.*“<sup>21</sup>

---

<sup>19</sup> vgl. Jammer 1981, S. 59-60

<sup>20</sup> ebd. S. 65

<sup>21</sup> ebd. S. 66

Nun wird Dichte von Newton allerdings folgendermaßen definiert: „*Körper von der gleichen Dichte [...], deren Trägheiten in gleichem Verhältnis zu ihren Rauminhalten stehen.*“<sup>22</sup> Dies ist allerdings ein Zirkelschluss: Masse wird mit Dichte und Dichte mit Masse definiert, ohne beides noch genauer und unabhängig zu definieren. An diesem Punkt wurde Newton schon vielfach kritisiert, unter anderem von Ernst Mach, der neben dem Zirkelschluss auch die Verwendung des Begriffs „Quantität der Materie“ kritisiert, da dieser kein physikalischer Ausdruck ist und von vielen anderen unkritisch übernommen wurde.

Was wir heutzutage als Trägheit verstehen, bezeichnete Newton zuerst einmal als *vis insita* (der Materie innewohnende Kraft) und definiert sie als „*eine Kraft des Widerstands, durch die jeder Körper, soweit diese in ihm liegt, in seinem gegenwärtigen Zustand verweilt, ganz gleich ob es ein Ruhezustand ist oder ein gleichförmiger und geradliniger Bewegungszustand.*“<sup>23</sup> In weiterer Folge beschreibt er die *vis insita* genauer:

„*Diese Kraft ist stets dem Körper (suo corpori) proportional, dessen Kraft sie ist, und sie unterscheidet sich in nichts von der Inaktivität der Masse (inertia massae) ... Ein Körper, auf Grund seiner Trägheit, kann nicht ohne Schwierigkeit aus seinem Zustand der Ruhe bzw. der Bewegung herausgebracht werden. Daraus schließen wir, daß diese vis insita am prägnantesten Trägheit (vis inertiae) bzw. Kraft der Inaktivität genannt wird. Aber ein Körper übt diese Kraft nur aus, wenn eine andere, auf ihn einwirkende Kraft, bestrebt ist, seinen Zustand zu verändern; und die Einwirkung dieser Kraft kann sowohl als Widerstand (resistentia) wie als Impuls (impetus) betrachtet werden; sie ist Widerstand insofern als der Körper zur Aufrechterhaltung seines gegenwärtigen Zustandes der einwirkenden Kraft widerstrebt; sie ist Impuls insofern als der Körper, indem er der einwirkenden Kraft von anderer Seite nicht ohne weiteres den Weg freigibt, bestrebt ist, den Zustand dieses anderen zu ändern. Widerstand wird allgemein den Körpern in Ruhe zugeschrieben, Impuls aber den in Bewegung befindlichen; aber Bewegung und Ruhe, wie sie gewöhnlich verstanden werden, sind nur relativ verschieden; auch befinden sich diese Körper nicht immer wirklich im Ruhezustand, wenn man das auch meist von ihnen annimmt.*“<sup>24</sup>

Interessant und wichtig herauszuheben ist an dieser Passage folgendes: Die Trägheit ist für Newton keine Eigenschaft, sondern eine Kraft, die in einem Körper „schlummert“, also vorerst einmal inaktiv ist. Erst wenn eine äußere Kraft auf ihn einwirkt, dann wird sie aktiv, und zwar dieser Kraft entgegen. Vor allem Kant kritisiert diese Auffassung zurecht, da sie für Newton untypisch unwissenschaftlich ist, worauf ich im nächsten Kapitel noch genauer eingehen werde. Weiters unterscheidet Newton die Trägheit in Widerstand und Impuls: die *vis inertia*

---

<sup>22</sup> ebd. S. 67

<sup>23</sup> Jammer 1981, S. 67

<sup>24</sup> ebd. S. 67-68

widerstrebt der einwirkenden Kraft und ist gleichzeitig bestrebt den Zustand des anderen Körpers/Systems zu ändern. *Vis inertia* ist also beides.<sup>25</sup>

## 2.4 Kants Kritik und Abwandlung der Newtonschen Auffassung

Auch wenn man es nicht vermuten würde, doch gerade Immanuel Kant lieferte einen wichtigen Beitrag zum wissenschaftlichen Diskurs über die Definition der Masse und ihre Beziehung zur Trägheit, indem er die Ausführungen Newtons einer genauen Prüfung unterwarf. Seine Kritik äußert er exemplarisch am Beispiel des Aufpralls eines bewegten Körpers auf einen ruhenden Körper. Für Newton entsteht die *vis inertia*, die Trägheitskraft, erst beim Aufprall und wirkt entgegengesetzt der Richtung des sich bewegenden Körpers. Kant entgegnet, dass er keine Notwendigkeit sieht, eine Kraft zu erdenken, die vorher nicht da ist (oder nicht aktiv), da der ruhende Körper ja vorher im Gleichgewicht ist. Indem Kant den Stoßprozess auf das Prinzip von Wirkung und Gegenwirkung zurückführt (der Körper in Ruhe kann relativ zum sich nähernden Körper als bewegt betrachtet werden), schließt Kant, dass die *vis inertia* in diesem Fall überflüssig ist. Mehr noch, er plädiert dafür, den Begriff ganz aus der Naturforschung zu streichen, da er für ihn eine paradoxe Bezeichnung ist, die zu mehr Missverständnissen als Klarheit führt. *„Eine Kraft, die aus sich selbst keine Bewegung verursacht, sondern nur Widerstand, ist ‚ein Wort ohne alle Bedeutung‘. [...] Statt der ‚Kraft der Trägheit‘ fordert Kant das ‚Gesetz der Trägheit‘, das der Kategorie der Kausalität entspricht: hat doch jede Veränderung des Bewegungszustandes eine äußere Ursache.“*<sup>26</sup>

Oder in Kants eigenen Worten: *„Alle Veränderung der Materie hat eine äußere Ursache. Ein jeder Körper verharrt in seinem Zustande der Ruhe oder Bewegung ... wenn er nicht durch eine äußere Ursache genötigt wird, diesen Zustand zu verlassen.“*<sup>27</sup> Dass dies im Grunde der erste Hauptsatz der Mechanik ist, auch erstes Newtonsches Axiom genannt, überrascht dann doch, kommt er doch ohne die von Newton so vehement geforderte „Kraft der Trägheit“ aus und ist eigentlich eine auf Kant zurückgehende Formulierung.

---

<sup>25</sup> vgl. ebd. S. 62-68

<sup>26</sup> Jammer 1981, S. 88

<sup>27</sup> ebd. S. 88



Wie beschreibt Kant nun die Masse? „*Quantität der Materie*‘ ist (für Kant) die Menge des Beweglichen in einem bestimmten Raum. Dieselbe, sofern alle ihre Teile in ihrer Bewegung als zugleich wirkend (bewegend) betrachtet werden, heißt die Masse.“<sup>28</sup> Diese Masse kann nach Kant nur durch den Vergleich mit Impuls („Quantität der Bewegung“) und Geschwindigkeit geschätzt werden. Vergleicht man dies mit dem heutigen Wissensstand, dass die Masse auch als Quotient aus Impuls durch Geschwindigkeit ausgedrückt werden kann, ist seine Beschreibung schon sehr nahe dran.<sup>29</sup>

## 2.5 Der moderne Begriff der Masse

Auch lange nach Newton findet man in den Abhandlungen über die Mechanik keine exakte Definition der Masse, der Begriff Quantität der Materie hat sich immer noch in den Köpfen festgesetzt. Leonhard Euler bildet hier eine Ausnahme. In seinem Werk *Mechanica* versuchte er, den Übergang von Newtons apodiktischen Begriff der Masse als eine *vis inertia*, hin zu einer rationalen und abstrakten Größe als numerischer Koeffizient, „[...] der für den individuellen physikalischen Körper kennzeichnend und durch das Verhältnis von Kraft zu Beschleunigung bestimmt ist.“<sup>30</sup>, zu beschreiben.

Zuerst versteht Euler die *vis inertia* als eine Kraft, die erst durch die Kraft bestimmt wird, die erforderlich ist, um den Körper aus seinen derzeitigen Bewegungszustand zu bringen. Verschiedene Massen werden also durch verschiedene Kräfte der Bewegung bestimmt. Die Masse wird somit „[...] durch die Kraft (bestimmt), die nötig ist, um ihm eine bestimmte Bewegung (Beschleunigung) zu verleihen.“<sup>31</sup> Dies ist die früheste Formulierung der bekannten Formel „Kraft ist gleich Masse mal Beschleunigung“, was wiederum die exakte Definition der trägen Masse ist.

Ernst Mach führt 1867 Eulers Überlegungen weiter. Um auf eine rein logische Definition der Masse frei von Empirie (und spekulativen Begriffen wie Materie oder auch Kraft) zu kommen, überlegte er sich folgendes Beispiel: Man betrachte 2 Körper A und B, die in Wechselwirkung zueinander stehen, aber ansonsten von allen anderen Umwelteinflüssen unbeeinflusst sind.

---

<sup>28</sup> ebd. S. 88

<sup>29</sup> vgl. Jammer 1981 S. 86-89

<sup>30</sup> ebd. S. 92

<sup>31</sup> ebd. S. 94

Zwischen ihnen herrscht eine Anziehungskraft, wodurch es zu einer Beschleunigung kommt, jeweils in Richtung des anderen Körpers. So schließt er, dass das Massenverhältnis dem negativen umgekehrten Verhältnis der Gegenbeschleunigungen entspricht. Durch Entfernen von Körper B, Ersetzen durch einen weiteren Körper C und weiteren logischen Überlegungen kommt er zu dem Schluss, dass sich die Masseverhältnisse der Körper untereinander wie folgt verhalten:

$$m_{A/B} = m_{A/C}m_{C/B}$$

Für die Verhältnisse der Beschleunigungen gilt demzufolge: <sup>32</sup>

$$-\frac{a_{B/A}}{a_{A/B}} = \left(-\frac{a_{C/A}}{a_{A/C}}\right)\left(-\frac{a_{B/C}}{a_{C/B}}\right)$$

Machs Massebegriff stützt sich also nur auf die Beschleunigung, die Kraft wird erst aus Masse und Beschleunigung abgeleitet. Seine Ideen wurden zuerst abgelehnt oder ignoriert, in späterer Folge jedoch als großer Schritt in der Entwicklung der Mechanik gepriesen. Zwei Kritikpunkte müssen jedoch erwähnt werden: Zum einen setzt Mach die Existenz der Gravitationskraft voraus, ohne sie jedoch genauer zu bestimmen. Allerdings steht die Beobachtbarkeit dieser Annahme (2 Körper ziehen einander an) außer Frage und wurde unbestreitbar experimentell bestätigt. Andererseits wurde „Machs Annahme eines dynamisch isolierten Systems (infrage gestellt), das nur zwei Körper A und B umfaßt“<sup>33</sup> da in der Natur solche Systeme kaum vorkommen. Ein Doppelsternsystem, genügend weit von anderen Sternen entfernt, könnte als ein solches gelten, jedoch ist hier die mathematische Bestimmung der Bewegung dieser Doppelsterne viel komplizierter als in Machs Gedankenexperiment.<sup>34</sup>

Um 1900 finden sich somit viele verschiedene Definitionen der Masse, eine Einigung der wissenschaftlichen Community wurde noch nicht erreicht. Hier ein kleiner Auszug der Definitionen und ihrer Häufigkeit (es wurden 1918 von Edward V. Huntington exemplarisch 140 Bücher überprüft):<sup>35</sup>

- Nur noch ein Buch definiert die Masse als bloße „Quantität der Materie“.
- Die Mehrheit führt Masse als Quotient aus Kraft und Beschleunigung (träge Masse) an oder durch die experimentelle Bestimmung mit Hilfe einer Waage (schwere Masse).

---

<sup>32</sup> vgl. Jammer 1981, S. 97-101

<sup>33</sup> ebd. S. 104),

<sup>34</sup> vgl. ebd. 102-104

<sup>35</sup> vgl. ebd. S. 108

- 10 Bücher beschreiben eine Definition, die derjenigen von Mach mehr oder weniger genau ähnelt. Der Prozentsatz nimmt aber bis zum Jahr 1960 beträchtlich zu.
- Eine interessante Überlegung ist jene von Wilhelm Ostwald, der die Masse durch den Energiebegriff definiert (da für ihn Energie der elementarere Begriff als Kraft ist), genauer als Kapazität für kinetische Energie: <sup>36</sup>  $m = \frac{E_{kin}}{1/2v^2}$

## 2.6 Der elektromagnetische Begriff der Masse

Dank Maxwells Gleichungen der Elektrodynamik wurde die Basis für das lange Zeit ungelöste Problem der sogenannten elektromagnetischen Masse geschaffen. Thomson entwickelte daraufhin eine Formel für eine in einem elektrischen Feld bewegte, geladene Kugel her, basierend nur auf der elektrischen Elementarladung, des Radius der Kugel und der Lichtgeschwindigkeit. Seine Vermutung war, dass die Trägheit nur auf einen elektromagnetischen Effekt zurückzuführen sei. Die Begeisterung für diese Hypothese ließ viele namhafte Physiker (Wien, Born, Dirac, Feynman u.a.) an Thomsons Formel weiterarbeiten (da sie einen falschen Zahlenfaktor hatte). Es kam jedoch zu Widersprüchen bei der Berechnung der Selbstenergie des Elektrons und es gelang auch nicht, die notwendige Verallgemeinerung für andere Bestandteile der Materie als das Elektron durchzuführen, wodurch die Begeisterung relativ bald schwand. Zusätzlich wurde die Abhängigkeit der Elektronenmasse von der Geschwindigkeit in der Relativitätstheorie neu interpretiert.

Dennoch hatte die elektromagnetische Theorie der Materie eine große Bedeutung in der Wissenschaftsgeschichte: Davor gab es eine Substanzauffassung der Realität, wodurch ein Körper aufgrund seiner inneren unveränderlichen Natur (= Masse) eben genau so reagiert, wie er es tut. Dank dieses kleinen Paradigmenwechsels wurde die substantielle Masse und ihre innere Natur relativiert, ähnlich wie in der Feldtheorie ist das Medium/Feld nun wichtiger als der „Gegenstand“.<sup>37 38</sup>

---

<sup>36</sup> vgl. ebd. S. 115-117

<sup>37</sup> vgl. Jammer 1981, S. 163-164

<sup>38</sup> vgl. Gläser, Kochsiek 1997, S. 14

## 2.7 Der relativistische Begriff der Masse

In der klassischen Mechanik lassen sich zwei verschiedene Arten der Masse unterscheiden:

- Die träge Masse
- Die Gravitationsmasse (schwere Masse)

Zwischen diesen zwei Arten wird eine universelle Proportionalität angenommen. Die Proportionalität zwischen den beiden, auch Äquivalenzprinzip genannt, wurde durch zahlreiche Versuche mit steigender Genauigkeit überprüft. Dieses Äquivalenzprinzip wurde für Albert Einstein die grundlegende Voraussetzung für die allgemeine Relativitätstheorie.

Im Jahr 1905 entwickelte Einstein aus der Maxwellschen Theorie der Elektrodynamik die relativistische Geschwindigkeitsabhängigkeit der Masse, welche inzwischen durch zahlreiche Experimente in Atom- und Kernphysik bestätigt wurde. Fast zeitgleich postulierte er auch die allgemeine Proportionalität zwischen Energie und Masse,  $E = mc^2$ . Gab es also bisher zwei Erhaltungssätze, die der Masse und die der Energie, wurden diese nun auf einen Erhaltungssatz (Masse und Energie, man könnte es als eine eigene Entität bezeichnen) reduziert. Diese Beziehung zwischen Masse und Energie lieferte die überzeugendste Erklärung für die Massedifferenzen an atomaren Teilchen (bei Prozessen wie Kernspaltung, radioaktiver Zerfall, usw.)

1916 veröffentlichte Einstein seine Arbeit zur allgemeinen Relativitätstheorie. In dieser hebt er die Unterscheidung zwischen träger Masse und passiver Gravitationsmasse auf, was weitreichende Konsequenzen für das physikalische Weltbild hatte, vor allem in der Astronomie.<sup>39</sup>

---

<sup>39</sup> vgl. Gläser, Kochsiek 1997, S. 15

## 3 Kometen

### 3.1 Was sind Kometen?

Um eine Unterrichtssequenz über Kometen zu planen, gilt es zuerst einmal zu klären, was denn der Begriff "Komet" bedeutet und ihn von anderen Himmelskörpern abzugrenzen. Das Wort Komet kommt von dem griechischen Wort " *komētēs*" (altgriech. κομήτης) und bedeutet "der Haarige". Grund für diesen Wortursprung ist das typische Erscheinungsbild dieses Himmelsphänomens, nämlich der lange Schweif, der wie ein wallendes Haar vom Kopf des Kometen weg zeigt. Dementsprechend wird der Kern (die eigentliche Kometenmasse) und die Koma (eine kugelförmige Staubansammlung um den Kern) als Kopf des Kometen bezeichnet, das ausdampfende und ionisierende Gas (Eis innerhalb des Kometen, welches in Sonnennähe sublimiert und auch weitere Bestandteile freisetzt) als Schweif.<sup>40</sup>

Im Namensursprung steckt wiederum auch die Unterscheidung zu anderen Himmelskörpern, denn nur Kometen bilden diesen Schweif aus, wenn sie in Sonnennähe geraten. Als Asteroiden werden ähnlich große Himmelskörper klassifiziert, die jedoch keinen Schweif ausbilden, da sie entweder nur aus Gestein bestehen und sich ihr Ursprung (und somit ihre stoffliche Zusammensetzung) von denen der Kometen unterscheidet (der Ursprung der meisten Asteroiden wird im dementsprechend benannten *Asteroidengürtel* angenommen, welcher sich zwischen den Umlaufbahnen von Mars und Jupiter befindet), oder bereits „ausgebrannte“ Kometen sind. Dies bedeutet, es gibt kein Eis mehr, welches sublimieren und so als austretendes Gas einen langen Schweif bilden könnte. Weitere Himmelskörper wären Meteoroiden (immer öfters auch Meteoriden genannt), dies sind kleine Objekte im All von einigen Millimetern bis einigen Metern Größe, die beim Kreuzen mit der Erde in der Erdatmosphäre verglühen. Die Entstehung solcher Meteoroiden hat unterschiedliche Gründe, einer ist der Sonnenwind, der Masseteilchen aus Kometen herausreißt, wodurch sich diese entlang der Kometenbahn befinden.<sup>41</sup>

Mehr als 1300 Kometen wurden bis heute entdeckt, und diese Zahl wird von Jahr zu Jahr größer, da in den letzten Jahrzehnten schon Hobbyastronomen über herausragende Teleskope verfügen,

---

<sup>40</sup> vgl. Möhlmann 1997, S. 13

<sup>41</sup> vgl. Möhlmann 1997, S. 101-102

die es ihnen ermöglichen, selbst auf "Kometenjagd" zu gehen. Bis zu 35 Kometen werden pro Jahr neu entdeckt, trotz steigendem Aerosolgehalt in der Atmosphäre und Lichtverschmutzung in von Menschen besiedelten Gebieten. Allerdings sind Kometen "*nahezu alle schwache, diffus leuchtende Objekte, die sogar während ihrer größten Helligkeitsphase für das bloße Auge unsichtbar bleiben. Nur ca. 2 % aller Kometen sind hell.*"<sup>42</sup> Dementsprechend selten ist dieses Phänomen für alle Menschen am Himmel sichtbar, weshalb es nicht verwundert, dass in früheren Zeiten Kometen eng mit Aberglauben und einer einhergehenden Furcht verbunden wurden.<sup>43</sup>

### 3.2 Geschichte der Beobachtung

Schon in den frühen Hochkulturen erkannte man eine Unterscheidung zwischen zwei Himmelsphänomenen: Den regelmäßig erscheinenden wie die Mondphasen, der jährliche Sonnengang oder die fast unveränderlichen Sternbilder auf der einen Seite, die der Welt eine "göttliche Ordnung" gaben. Sie dienten als Anhaltspunkte, um den Menschen hilfreiche Regularien zu geben, wie zum Beispiel ein Kalender zur Ordnung der Zeit oder Navigationshilfen zur Ordnung im Raum. Auf der anderen Seite unregelmäßige Phänomene wie Kometen oder Sternschnuppen, die scheinbar aus dem Nichts auftauchen und nach einiger Zeit wieder verschwinden und dabei keiner Gesetzmäßigkeit folgen würden. Dieses chaotische Verhalten führte dazu, dass Kometen eher negativ angesehen wurden, da sie die göttliche Ordnung störten, ihnen somit etwas Böses anhaftete. So wurden sie in der Antike als Boten für den Fall von Monarchen oder Unglücksbringer gesehen. Im Mittelalter sahen die Menschen sie als "Bußezeichen" Gottes und als Ankündigung von Seuchen oder Katastrophen, die Furcht trat also noch mehr in den Vordergrund.<sup>44</sup>

Auch die naturwissenschaftliche Sicht auf Kometen war nicht immer klar. Aristoteles beispielsweise sah sie als Bestandteil der Atmosphäre an, wobei hier noch eher von einer philosophischen Deutung als echter Naturwissenschaft zu sprechen ist. Das Verständnis von

---

<sup>42</sup> Winnenburger, Schirm, Springob 1998, S.29

<sup>43</sup> vgl. Möhlmann 1997, S. 10

<sup>44</sup> ebd.

Kometen aus naturwissenschaftlicher Sicht entwickelte sich erst im 17. Jahrhundert mit dem Vorantreiben der astronomischen Messtechniken.

Tycho Brahe konnte im Jahr 1577 durch Winkelmessungen an einem hellen Kometen nachweisen, dass dessen Abstand zur Erde den des Mondes weit übersteigt, somit konnte dieses Phänomen keine Erscheinung der Atmosphäre sein. Durch die Beobachtung des großen Kometen von 1664 vermutete Giovanni Alfonso Borelli, dass sich Kometen auf einer Parabel bewegen müssten. Die erste vollständige und physikalisch fundierte Bahnbestimmung gelang 1750 Edmund Halley, der mithilfe Newtons Mechanik und dessen Gravitationsgesetz nicht nur beweisen konnte, dass der Komet von 1680 auf einer stark exzentrischen Ellipse die Sonne mit einer Umlaufzeit von ca. 76 Jahren umkreist, sondern auch, dass viele in der Geschichte genannte Kometen (1531, 1607 und 1682) ein und derselbe waren. Um dies zu beweisen traf er eine Vorhersage, wann der Komet das nächste Mal auf der Erde zu sehen sein würde, nämlich 1759. Leider hat er die Bestätigung seiner Vorhersage nicht mehr überlebt. Ihm zu Ehren wurde dieser Komet später der *Halley'sche Komet* genannt, einer der bekanntesten Kometen in unserem Sonnensystem.<sup>45</sup>

Durch die Anwendung der Spektralanalyse für die astrophysikalische Forschung Mitte des 19. Jahrhunderts konnten Erkenntnisse über Zustand und Zusammensetzung der leuchtenden Kometenmaterie gewonnen werden. Doch erst die Kometenforschung des 20. Jahrhunderts konnte Antworten geben über den Aufbau und die Zusammensetzung von Kern und Schweif und die mögliche Herkunft von Kometen. Um 1950 gab es 3 Astrophysiker, deren Entdeckungen und Ideen hier besonders erwähnt werden sollten:

- Ludwig Biermann stieß auf die Existenz des Sonnenwindes und die Funktionsweise der Plasmaschweife von Kometen, indem er die Ausrichtung von ionisierten Kometenschweiften untersuchte;
- Jan Hendrick Oort entwickelte auf Grund der Bahn vieler Kometen die Idee eines gigantischen "Kometenreservoirs", welches kugelförmig unser Sonnensystem umschließt und das auch heute noch als Ursprung der meisten Kometen unseres Sonnensystems gilt;
- Fred Whipple beschrieb detailliert das Wesen der Kometenkerne als „schmutziger Schneeball“.

---

<sup>45</sup> vgl. Möhlmann 1997, S. 11-12

Den nächsten Schritt in der Kometenforschung lieferten in den 80er Jahren die Kometenmissionen unterschiedlicher Weltraumbehörden (aus Japan, der damaligen UdSSR und Europa), bei denen zum ersten Mal mit Hilfe von Raumsonden Nahaufnahmen vom Kometen Halley gemacht wurden und sogar Materie des Schweifs aufgenommen und zur weiteren Untersuchung auf die Erde gebracht wurde. Gleichzeitig untersuchte der IUE (International Ultraviolet Explorer) fast 20 Jahre lang nahe Kometen, um mehr über den chemischen und physikalischen Aufbau und die Anatomie des Kometenkerns herauszufinden.<sup>46</sup>

Den jüngsten Meilenstein lieferte schließlich die Rosettamission der ESA (European Space Agency) zum Kometen Tschurjumow-Grassimov. 2004 gestartet, umkreist diese Raumsonde nun seit Sommer 2014 den Kometen (zu einem Zeitpunkt, als sich der Komet noch außerhalb der Marsumlaufbahn befand), um von dort aus Messungen durchzuführen. Noch viel beachtlicher ist allerdings der 2. Teil dieser Mission: Im November 2014 wurde von der Raumsonde Rosetta ein Lander namens Philae auf die Kometenoberfläche gebracht, wo dieser schließlich landete und vor Ort Messungen durchführen konnte. Er musste zwar zwischenzeitlich abgeschaltet werden (die Stromzufuhr durch Solarpaneele war nicht ausreichend, da der Landeort ein anderer als der geplante war), ist aber immer noch vor Ort und liefert weiterhin Daten, die gerade ausgewertet werden und das Wissen über Kometen noch weiter ausbauen wird.<sup>47</sup>

### 3.3 Der Aufbau von Kometen

Wie bereits in Kapitel 3.1 erwähnt, ist das Erscheinungsbild eines Kometen in Sonnennähe gekennzeichnet durch den sternartigen hellen *Kern* (da hier vor allem die oberflächennahe Gas- und Staubumgebung des wirklichen festen Kerns das Licht reflektiert), eine um diesen Kern befindliche Atmosphäre, die sogenannte *Koma* (oder auch Kometenkopf) und einen oder mehrere Schweife, die sich bis auf den sogenannten „Gegenschweif“ in den von der Sonne weg gerichteten Teil des Weltraums hinter den Kometen ausdehnen. (siehe Abb. 1)

---

<sup>46</sup> vgl. Winnenburger, Schirm, Springob 1998, S. 29 ff

<sup>47</sup> vgl. Internetseite der European Space Agency, 16.1.2014



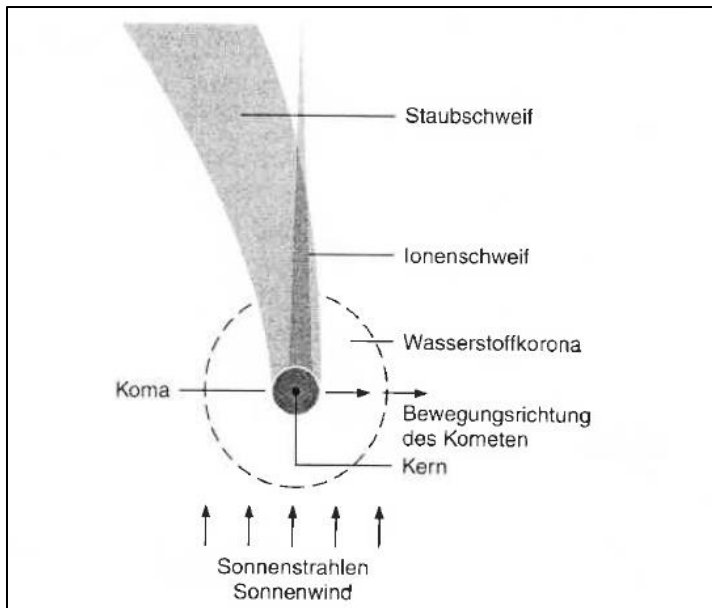


Abbildung 1: Bestandteile eines Kometen

### 3.3.1 Der Kern

Der Kometenkern, in großer Entfernung von der Sonne der eigentliche Komet, besteht hauptsächlich aus Eis und Kohlenstoffverbindungen wie Methan, Ammoniak und Staub- und Mineralienteilchen wie zum Beispiel Silikate. Deshalb wird für Kometen auch oft der von Fred Whipple geprägte Begriff „dirty snowball“ („dreckiger Schneeball“) verwendet. Allerdings sind die festen Bestandteile gegenüber den flüchtigen in der Mehrheit, wodurch das von Keller und Kührt erdachte Modell des „snowy dirtball“ („verschneiter Dreckball“) somit eher der Charakteristik des Kometenkerns entspricht.<sup>48</sup>

Kometen sind von einer schwarzen dicken Staubschicht umgeben, welche fast vollständig aus Kohlenstoffverbindungen besteht. Dies erklärt die sehr geringe Albedo (der Anteil des reflektierten Lichts) von nur ungefähr 3-4 %, das heißt dunkler als zum Beispiel Kohle. Somit gehören Kometen zu den schwärzesten Objekten des Universums. Dadurch ist auch geklärt, warum Kometen früher wesentlich größer eingeschätzt wurden: In größerer Entfernung zur Sonne waren sie für Teleskope nicht sichtbar, erst in Sonnennähe und mit der einsetzenden Sublimation der gefrorenen Bestandteile wurden die Lichtstrahlen reflektiert. Da sich jedoch jetzt eine Staub- und Gasschicht, die sogenannte Koma, um den Kometen befand, wurde er als

<sup>48</sup> vgl. Möhlmann 1997, S. 71-73

viel größer wahrgenommen. Somit ist der eigentliche Komet der sogenannte Kern, die Koma entspricht eher einer Hülle ähnlich einer Atmosphäre.<sup>49</sup>

Es gab seit den 1950er Jahren unterschiedliche Modelle zur Zusammensetzung des Kometenkerns. Neueste Untersuchungen der Rosetta Mission ergaben die Erkenntnis, „*dass die Materie im Inneren von Churyumov-Gerasimenko vermutlich locker gepackt und stark porös ist. Nähert sich ein Komet der Sonne, so verdampft ein Teil seiner flüchtigen Bestandteile, an der Oberfläche bleiben die festen, dunkleren Stoffe zurück.*“<sup>50</sup> Interessant ist jedoch, dass durch die Sublimation des Eises im Inneren des Kometen Hohlräume entstehen. Der Kern besteht also aus einer festen Oberfläche, mit einer Art Höhlensystem darunter, bei welcher die gefrorenen Bestandteile schon verdampft sind. Teilweise stürzen diese Höhlen ein, wodurch die typischen Schlundlöcher von Kometen entstehen.<sup>51</sup>

Die Größe von Kometenkernen kann sehr unterschiedlich sein, von einem halben Kilometer (Saigusa-Fujikawa) bis zu 90 Kilometern Radius (2060 Chiron). Die Masse eines Kometen kann bis heute noch nicht direkt aus Messungen bestimmt werden, weshalb indirekte Methoden die einzige Möglichkeit darstellen, die Masse abzuschätzen. Eine Methode, die den zusätzlichen Impuls auf der Tagesseite berechnet, die Kometen in Sonnennähe infolge der starken Ausgasung erfahren, ergibt Werte für die Masse von  $2,7 \cdot 10^{11}$  kg (Daniel) bis zu  $3,8 \cdot 10^{14}$  kg (Tempel 2).<sup>52</sup>

### 3.3.2 Die Koma

Ab einer Nähe von ungefähr 5-10 AE (Astronomische Einheit, International au für astronomical unit genannt, per Definition eine Länge von exakt 149 597 870 700 m , die dem mittleren Abstand zwischen Erde und Sonne entspricht) beginnen Kometen durch die Wechselwirkung mit dem Sonnenwind auszugasen, das heißt leicht flüchtige Substanzen (vor allem Eis und der darin enthaltene Staub) sublimieren auf der sonnenzugewandten Seite.<sup>53</sup> Durch Zusammenstöße der Moleküle direkt nach Verlassen des Kometen werden sie auf eine höhere

---

<sup>49</sup> vgl. Möhlmann 1997, S. 93-94

<sup>50</sup> Kayser 22.01.2015

<sup>51</sup> vgl. Kayser 22.01.2015

<sup>52</sup> vgl. Möhlmann 1997, S. 82-85

<sup>53</sup> vgl. Winnenbourg, Schirm, Springob 1998, S. 31

Temperatur gebracht und in weiterer Folge „isotropisiert“, das heißt sie breiten sich auf Grund der vielen Zusammenstöße in alle Richtungen gleichmäßig um den Kometen aus und bilden eine schalenförmige Koma um den Kern.<sup>54</sup>

Allerdings treten die Gase nicht an jeder Stelle der beschienenen Seite aus, sondern nur an ungefähr 10 % der Fläche des Kometen, an denen es Löcher oder brüchige Stellen an der Oberfläche gibt.<sup>55</sup> Durch die Eigenrotation des Kometen werden somit immer andere Stellen zum Sublimieren gebracht. Die Rosetta Mission ergab, dass sich dadurch auch die chemische Zusammensetzung der Ausgasung änderte, wodurch vermutet wird, dass das Innere des Kometen aus unterschiedlichen Objekten bestehen könnte.<sup>56</sup>

Der Radius dieser sogenannten „inneren Koma“ beträgt meist zwischen 1000 und 10.000 km. Durch weitere Prozesse wie zum Beispiel Photolyse (Aufspaltung der Moleküle durch Sonnenlicht) und Ionisation (Entfernung von Elektronen wodurch Moleküle negativ geladen werden) und der weiteren Wechselwirkung mit den so ionisierten Gasen mit dem Sonnenwind vergrößert sich die Koma zu dem nun sichtbaren Kometen. Der Radius der gesamten Koma ist nun wesentlich größer und kann bei großen Kometen Millionen Kilometer erreichen, sogar auf Sonnengröße anwachsen.<sup>57</sup>

### 3.3.3 Der Schweif

Ab einer Sonnendistanz von ungefähr 2 AE „bilden sich aufgrund von Wechselwirkungen zwischen vom Kometenkern entweichender Materie und dem Sonnenwind die Kometenschweife.“<sup>58</sup> Der Sonnenwind wird abgebremst und die Feldlinien der von ihm mitgeführten Magnetfelder werden komprimiert und um den Kometen herumgebogen. Es entstehen dadurch hinter der sonnenabgewandten Seite des Kometen zwei langgestreckte Bereiche entgegengesetzter Polarität. Weiters bildet sich eine Stoßfront einige 10.000 km vom Kern entfernt vor dem Kometenkopf. (siehe Abb. 2)

---

<sup>54</sup> vgl. Möhlmann 1997, S. 106

<sup>55</sup> vgl. Möhlmann 1997, S. 104

<sup>56</sup> vgl. Kayser 22.01.2015

<sup>57</sup> vgl. Winnenburg, Schirm, Springob 1998, S. 31

<sup>58</sup> ebd. S. 31

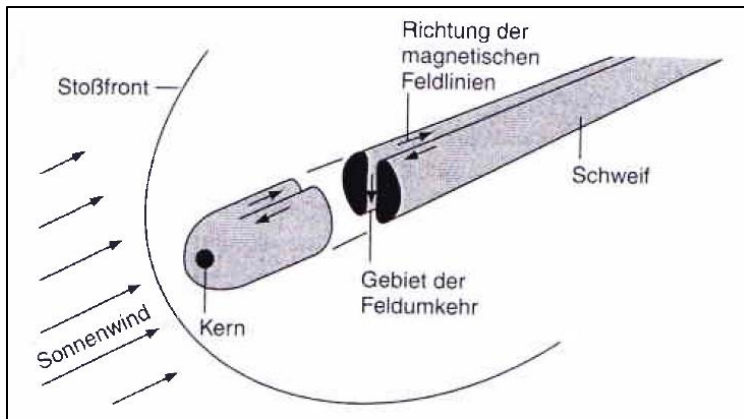


Abbildung 2: Verlauf magnetischer Feldlinien im Kometenschweif

Dieses Magnetfeld lenkt die Bahnen der fluoreszierenden kometenhaften Ionen, wodurch der Ionenschweif sichtbar wird. Dieser ist weitestgehend gerade, im Unterschied zum Staubschweif, der stark gekrümmt ist, da auf ihn der im Vergleich zum Sonnenwind deutlich schwächere Lichtdruck der Sonnenstrahlung wirkt. Die Reflexion des Sonnenlichts führt zu seinem typischen Aussehen.<sup>59</sup>

### 3.4 Ursprung und Bahnen der Kometen

Einer der vielleicht wichtigsten Fragen in Bezug auf Kometen ist die nach deren Herkunft. Woher kommen sie, wie sind sie entstanden? Leider gibt es darauf bis heute keine abgeschlossene Lehrmeinung, aber unter anderem durch die Rosetta-Mission erhofft man sich neue Erkenntnisse. Der derzeitige Forschungsstand wird nun von mir in groben Zügen dargestellt.

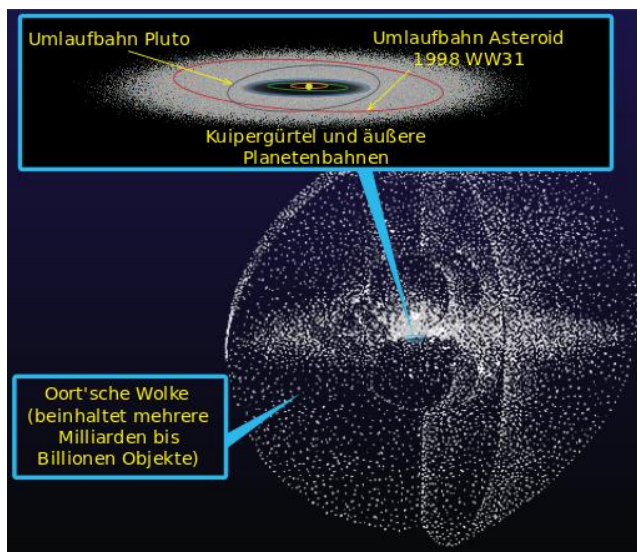
#### 3.4.1 Die Oortsche Wolke

Wie schon in Kapitel 3.2 erwähnt, wird die Herkunft der meisten Kometen in der sogenannten Oortschen Wolke angenommen. Der holländischen Astronom Jan Hendrik Oort postulierte diese 1950, nachdem er anhand der Bahnen von 19 beobachteten Kometen die relative

---

<sup>59</sup> vgl. Winnenburger, Schirm, Springob 1998, S. 31-32

Häufigkeit von langperiodischen Kometen mit Apheldistanzen von über 20.000 AE nachwies. (Zum Vergleich: der sonnennächste Stern, Proxima Centauri, ist 268.142 AE entfernt.) Kometen mit diesen Apheldistanzen werden in ihrer Bahn kaum von stellaren Störungen beeinflusst. Oort folgerte daraus, dass sich in dieser Distanz eine große Menge an Kometen befinden muss. Diese werden hin und wieder durch vorbeiziehende Sterne beeinflusst und auf Grund dieser Störung in das Innere des Sonnensystems gestreut, wo sie dann in Sonnennähe ihren Schweif entwickeln und somit als Kometen wahrnehmbar sind. Da sowohl diese stellaren Störungen im Mittel aus allen Richtungen kommen, als auch Kometen aus allen Richtungen (nicht nur in der Bahnebene der Planeten!) das Sonnensystem durchqueren, ist davon auszugehen, dass diese "Kometenwolke" das Sonnensystem wie eine Kugel umgibt, die Bahnen der Kometen in der Oortschen Wolke also isotropisiert wurden. Weitere Ursachen der Bahnstörungen bei Objekten innerhalb der Oortschen Wolke sind das Wirken galaktischer Gezeitenkräfte und die Wechselwirkung mit vorbeiziehenden interstellaren Wolken. Die Gesamtmasse der Wolke schätzte Oort auf ca.  $10^{24}$  kg, bei einer Anzahl von  $10^{11}$  Kometen mit einer mittleren Kometenmasse von ca.  $10^{13}$  kg. Später wurden diese Ergebnisse noch präzisiert und vom Grundsatz her bestätigt.<sup>60</sup>



61

Abbildung 3: Größenordnung der Oort'schen Wolke und des Sonnensystems

<sup>60</sup> vgl. Möhlmann 1997, S. 117-120

<sup>61</sup> Webseite des Jet Propulsion Laboratory 24.04.2019 <https://herschel.jpl.nasa.gov/solarSystem.shtml>

### 3.4.2 Der Kuiper-Gürtel

Als weiteres Kometenreservoir gilt der sogenannte Kuiper-Gürtel, benannt nach dem Astronomen Gerhard Kuiper, der als erster eine solche Kometenansammlung 1951 postuliert hat. Diese befindet sich außerhalb der Bahn des Planeten Neptun, zwischen ungefähr 50 und 100 AE und wird „aus Kometen gebildet, deren Bahnneigung im Gegensatz zu denen der isotropisierten Oortschen Wolke recht klein ist“<sup>62</sup>, das bedeutet sie weicht nur gering von der Ekliptik ab.

Die sich im Kuiper-Gürtel befindenden Himmelskörper sind während der Planetenbildung vermutlich nahe der Region entstanden, in der sie beobachtet werden. Während sich im dichteren inneren Bereich sehr schnell viele sogenannte „Planetesimale“ bildeten und bald zu Planeten heranwuchsen, vollzog sich dieser Vorgang in den dünneren äußeren Bereichen viel langsamer. Die Überbleibsel bilden die Kometen und die größeren beobachtbaren „transneptunischen“ Körper. Es wird angenommen, dass sich der Kuiper-Gürtel „wegen einer auch auswärts gerichteten Streuung bis in den inneren Teil der Oortschen Wolke ausdehnen sollte.“<sup>63</sup>

### 3.4.3 Kometenbahn

Die Bahnen von Kometen verdienen es, gesondert betrachtet zu werden, nehmen sie doch eine Sonderstellung ein: Während alle Körper in unserem Sonnensystem, also sowohl Planeten wie auch Asteroiden, sich in sehr definierten Bereichen und Bahnparametern bewegen, ist dies bei Kometen nicht so. So haben Planeten eine sehr geringe Exzentrizität in ihren Bahnen, weichen also kaum von einer Kreisform ab. Ebenso liegen die Bahnen aller Planeten und Asteroiden in annähernd gleicher Ebene.<sup>64</sup>

Allgemein bewegt sich jeder Himmelskörper in einem Gravitationsfeld auf einer sogenannten Kepler-Bahn (wenn Wechselwirkungen mit anderen Objekten vernachlässigt wird und die Masse des Himmelskörpers um ein vielfaches geringer ist als die Masse der Sonne). Wie elliptisch diese Bahnkurve ist wird durch die numerische Exzentrizität  $e$  beschrieben. Für einen

---

<sup>62</sup> Möhlmann 1997, S. 120

<sup>63</sup> ebd. S. 121

<sup>64</sup> vgl. ebd. S. 36

Kreis gilt  $e = 0$ , für eine Ellipse  $0 < e < 1$ , für eine Parabel  $e = 1$  und für eine Hyperbel  $e > 1$ , allerdings sind bisher noch keine eindeutigen Parabel- oder Hyperbelbahnen beobachtet worden.<sup>65</sup>

Zur eindeutigen Festlegung der Bewegung eines Kometen im Raum sind 6 Bahnelemente erforderlich. Neben  $e$  ist dies die Periheldistanz  $q$ , diese gibt die Bahngröße an, die drei Winkel  $i$ ,  $\Omega$  und  $\omega$ , die die Lage der Kepler-Bahn im Raum bestimmen, sowie die Perihelzeit  $T$ , welche den zeitlichen Lauf des Kometen angibt. Nach der Umlaufzeit unterscheidet man zwei Kategorien von Kometen, die **kurzperiodischen** mit einer Umlaufzeit von kleiner als 200 Jahren (zum Beispiel Halley mit  $U = 76$  a) und die **langperiodischen** mit einer Umlaufzeit über 200 Jahren (zum Beispiel Hale Bopp mit  $U \sim 2500$  a). Als Ursprung der langperiodischen Kometen wird die in Kapitel 3.4.1 beschriebene Oortsche Wolke angenommen, da die Verteilung der Bahnenergien ungewöhnlich ist und die Bahnen dieser Kometen nicht in der Ekliptik liegen. Die Bahnebenen der kurzperiodischen Kometen weichen hingegen nur wenig von der Ekliptik ab, weshalb ihr Ursprung im Kuiper-Gürtel angenommen wird (siehe Kapitel 3.4.2).<sup>66</sup>

---

<sup>65</sup> vgl. Winnenburger, Schirm, Springob 1998, S. 30

<sup>66</sup> vgl. Winnenburger, Schirm, Springob 1998, S. 30

## 4. Pädagogischer und fachdidaktischer Hintergrund

### 4.1 Bezug zum Lehrplan Physik Unterstufe

Der Lehrstoff der in Kapitel 6 vorgestellten Unterrichtseinheit lässt sich im Lehrplan<sup>67</sup> Physik Unterstufe dem Kapitel „Die Welt, in der wir uns bewegen“ zuordnen:

*„Ausgehend von unterschiedlichsten Bewegungsabläufen im Alltag, im Sport, in der Natur beziehungsweise in der Technik sollen die Schülerinnen und Schüler ein immer tiefergehendes Verständnis der Bewegungsmöglichkeiten, der Bewegungsursachen und der Bewegungshemmungen von belebten und unbelebten Körpern ihrer täglichen Erfahrungswelt sowie des eigenen Körpers gewinnen. [...] Masse und Kraft; Masse und Trägheit; Gewichtskraft und Reibungskraft.*

*- Bewegungsfördernde und bewegungshemmende Vorgänge verstehen und anwenden.“*

Folgende Aspekte, die Teil der Bildungs- und Lehraufgaben des Unterrichtsfachs Physik sind, werden in meiner Unterrichtssequenz behandelt:

*„- bewusstes Beobachten physikalischer Vorgänge;*

*- Verstehen und altersgemäßes Anwenden von typischen Denk- und Arbeitsweisen der Physik;*

*- Entwickeln von Erklärungsversuchen beziehungsweise Modellvorstellungen und deren Anwendungen bei physikalischen Vorgängen in Natur und Technik.“*

Die SchülerInnen werden in den geplanten Unterrichtsstunden Versuche beobachten, selbst durchführen und ihre Erkenntnisse auf Fragestellungen anwenden. Das klassische Modell der Newton'schen Mechanik, vor allem die Begriffe *Trägheit* und *Kraft*, wird in einen neuen Kontext gesetzt (*Kometen*), damit eine Überprüfung der Transferkompetenz stattfindet und die SchülerInnen ihre Erkenntnisse auf bisher unbekannte Phänomene anwenden können.

---

<sup>67</sup> Webseite des bmbfw-Bildungsministerium für Bildung, Forschung und Wissenschaft 06.04.2018



## 4.2 Trainierte Kompetenzen laut „österreichisches Kompetenzmodell Naturwissenschaften 8.Schulstufe“<sup>68</sup>

### Handlungskompetenzen:

*Wissen organisieren: Aneignen, Darstellen und Kommunizieren*

Ich kann einzeln oder im Team ...

- (W 1) ... Vorgänge und Phänomene in Natur, Umwelt und Technik beschreiben und benennen.
- (W 2) ... aus unterschiedlichen Medien und Quellen fachspezifische Informationen entnehmen.

*Erkenntnisse gewinnen: Fragen, Untersuchen, Interpretieren*

Ich kann einzeln oder im Team ...

- (E 1) ... zu Vorgängen und Phänomenen in Natur, Umwelt und Technik Beobachtungen machen oder Messungen durchführen und diese beschreiben

### N1 Anforderungsniveau I

Ausgehend von stark angeleitetem, geführtem Arbeiten Sachverhalte aus Natur, Umwelt und Technik mit einfacher Sprache beschreiben, mit einfachen Mitteln untersuchen und alltagsweltlich bewerten; reproduzierendes Handeln.

## 4.3 Schülervorstellungen zu Trägheit und Kraft

Rita Wodzinski nennt folgende Präkonzepte (Fehlvorstellungen der SchülerInnen, die vor dem Unterricht vorhanden sind) zur Mechanik, die für meine Arbeit relevant sind<sup>69</sup>:

*1. kinematische Präkonzepte*

*- Bewegung meint den Bewegungsablauf als Ganzes, nicht die momentane Bewegung.*

---

<sup>68</sup> B. W. Z. f. I. BIFIE, 10.2011

<sup>69</sup> Wodzinski et. al. 2011, S. 108

*- Die Richtung einer Bewegung ist das Ziel des Bewegungsablaufs.*

*[...]*

### *3. Kraft und Bewegung*

*- Ein bewegter Körper hat Kraft, und zwar umso mehr, je schneller er sich bewegt.*

*- Wenn ein Körper sich bewegt, wirkt eine Kraft in Richtung der Bewegung, im Sinne einer Antriebskraft*

*- Ein Körper bewegt sich, solange die Bewegungs- und Antriebskraft in der Lage ist, die Bewegungswiderstände zu überwinden.*

*- Wirkt keine Kraft auf einen Körper, oder ist die Summe der Kräfte null, dann bewegt sich der Körper nicht.*

*- Kraft wird in der Bewegung verbraucht.“*

## **4.3.1 Kinematische Präkonzepte**

Die Ursache der kinematischen Präkonzepte liegt darin, dass im Alltagsverständnis Bewegung als eine innere Eigenschaft der Körper verstanden wird, während in der Physik Bewegung immer als relative Bewegung bezogen auf andere Körper oder Bezugssysteme beschrieben wird. Eine weitere Problematik liegt darin, dass SchülerInnen immer eine Ursache der Bewegung brauchen, um sie erklären zu können, eine rein kinematische Beschreibung eines vorherrschenden Bewegungszustandes liegt ihnen fremd. Deshalb ist wohl auch ein abstraktes Prinzip wie jenes der Trägheit schwierig nachzuvollziehen, wenn eine Ursache hier gar nicht benötigt wird, um eine weitere Aussage über den Verlauf der Bewegung zu tätigen.

SchülerInnen sehen also Bewegung immer nur als einen vorherrschenden Bewegungsablauf, zum Beispiel schnelle Bewegung, oder kurvige. Die Bewegung in einzelne Sequenzen zu unterteilen, denen man unterschiedliche Bewegungsänderungen zuordnen kann, ist ihnen fremd. Deshalb geben sie einem bewegten Körper auch nur eine Richtung vor, zu der er sich zu jeder Zeit bewegt, anstatt wie in der Physik üblich jedem Zeitpunkt eine Richtung zuzuordnen. Jedoch ist auch dieser Punkt zum Verständnis der Trägheit eines Körpers wichtig, vor allem wenn statt einer eindimensionalen Bewegung eine dreidimensionale Bewegung betrachtet werden soll (wie zum Beispiel bei der Umlaufbahn eines Kometen).<sup>70</sup>

---

<sup>70</sup> vgl. Wodzinski et. al. 2011, S. 108-109

### 4.3.2 Kraft und Bewegung

Den Fehlvorstellungen von Kraft und Bewegung liegt oft eine Vermischung von Kraft mit kinetischer Energie oder Impuls zugrunde. So glauben SchülerInnen oft, Kraft kann weitergegeben werden.

Eine der problematischsten Fehlvorstellungen (vor allem wenn in der folgenden Unterrichtseinheit die Bewegungsänderung eines Kometen auf Grund der Gravitationskraft eines anderen Himmelskörpers bearbeitet wird) ist folgende: „Kraft ausüben‘ ist im Alltagsverständnis sehr viel deutlicher mit ‚Bewegung *geben*‘ verknüpft als mit ‚Bewegung *vermindern*‘.“<sup>71</sup> Kraft wird immer mit einer Endgeschwindigkeit verknüpft (die Anfangsgeschwindigkeit wird ignoriert), je größer diese ist, umso größer war die dafür aufgewendete Kraft. Als Ursache der Verminderung einer Bewegung wird sie nicht gesehen. Bei einer Unterrichtseinheit über die Bewegung von Kometen in unserem Sonnensystem ist also darauf zu achten, die Gravitationskraft sowohl als Ursache der Beschleunigung hin zu einem Körper (Erde oder Sonne) als auch als Ursache der Verminderung der Geschwindigkeit beim Wegbewegen des Kometen von besagtem Körper zu beschreiben. Der 2. Versuch in der Unterrichtseinheit soll auf dieses Problem eingehen, indem hier die Gravitationskraft als eine „Hemmung“ angesehen wird (der Komet wird auf seine Bahn „gezwungen“), und die Trägheit als eine Eigenschaft des Kometen, die Bewegung tangential der Bahnkurve weiter zu führen, wenn keine Kraft wirken würde. Hier werden also Kraft und Trägheit genau umgekehrt zu den vorherrschenden Schülervorstellungen präsentiert.<sup>72</sup>

### 4.3.3 Trägheit

Zur Trägheit gibt es unterschiedliche Vorstellungen, die einander oft auch überschneiden. Die drei grundlegendsten Fehlvorstellungen bei SchülerInnen sind folgende:

- Die Begriffe Trägheit und Kraft werden vermischt. Trägheit wird hierbei meistens als etwas Passives gesehen, „[...] eine Art Kraft, nämlich ein Widerstand, der überwunden

---

<sup>71</sup> Wodzinski et. al. 2011, S. 111

<sup>72</sup> vgl. ebd.

werden muß. Sie wird dargestellt als Kraft, die am Körper entgegen der angreifenden Kraft wirkt.“<sup>73</sup> Es kommt hierbei auch zu einer anthropomorphen Vorstellung der Trägheit, da ihr eine Art Willen zugestanden wird. Körper haben laut dieser Vorstellung zuerst keine Trägheit, erst in dem Moment, in dem eine Kraft auf den Körper wirkt, „will“ er sich dieser Kraft entgegensetzen, nun hat er eine Trägheit. Also eine passive Wirkung, die erst durch eine Ursache (die wirkende Kraft) existiert.

- Für viele SchülerInnen erscheint sie als eine Schwelle, die überwunden werden muss. Hier werden auch oft Vorstellungen der Trägheit mit unterschiedlichen Reibungsphänomenen vermischt, die Reibung (vor allem die Haftreibung) als Ursache der Trägheit eines Körpers angesehen. Laut dieser Vorstellung gibt es somit im Weltraum keine Trägheit mehr, beziehungsweise haben alle Körper die gleiche Trägheit, nämlich gar keine. Hier wird mein Unterrichtskonzept ebenfalls ansetzen, damit SchülerInnen klar wird, dass Trägheit nicht bloß im Weltraum *auch* existiert, sondern dass sie neben der Gravitation der Sonne eine wesentliche Ursache der Bewegung von Kometen ist.
- Trägheit wird gemäß ihrer Bedeutung aus dem Alltag als „Lahmheit“ oder „Müdigkeit“ übersetzt (auch diese Vorstellung kann als anthropozentrisch angesehen werden). Hier wird einem Körper in Ruhe eine höhere Trägheit unterstellt als wenn er sich mit einer bestimmten Geschwindigkeit bewegt. Je größer die Geschwindigkeit, umso mehr nimmt bei dieser Vorstellung die Trägheit ab.<sup>74</sup>

---

<sup>73</sup> ebd. S. 124

<sup>74</sup> vgl. Wodzinski et. al. 2011, S. 124-125

# 5 Schulversuche zu Masse und Trägheit

## 5.1 Klassische Schulversuche zur Trägheit

Beispiele zur Trägheit, die im Schulunterricht häufig anzutreffen sind, handeln meist von den SchülerInnen selbst und ihren Alltagswahrnehmungen. Dies wären zum Beispiel zwei Eisläufer, die einander abstoßen, Kräfte die spürbar sind beim Mitfahren in einem Auto oder der klassische Tischtuch-Versuch, bei dem Gegenstände beim schnellen Wegziehen trotzdem stehen bleiben. Diese Beispiele haben den Vorteil, dass sie aus der Lebenswelt der SchülerInnen kommen und schon einmal erlebt wurden.

Dennoch haben solche Beispiele aus dem Alltag auch erhebliche Nachteile, die beim Kapitel Schülervorstellungen schon angesprochen wurden:

1. Meistens werden bei diesen Versuchen Körper, die zuerst in Ruhe sind, Kräften unterworfen. In den Augen der SchülerInnen „wehren“ sich die Körper gegen die Bewegung, was wiederum zu zwei Fehlvorstellungen führt, die im vorigen Kapitel angesprochen wurden: Gegenstände werden *vermenschlicht*, da ihnen ein Wille zugesprochen wird, und sie vermischen das Trägheitskonzept mit jenem der Reibung, da in den Augen der Schüler die Haftung zum Boden ausschlaggebend für die Trägheit ist.
2. Bei diesen Beispielen, die im Alltag der SchülerInnen zu finden und somit immer denselben Gegebenheiten unterworfen sind (Anziehungskraft der Erde, Existenz der Atmosphäre, etc.), fehlt bei den SchülerInnen der Gedankengang hin zu einer Allgemeingültigkeit, nämlich dass Trägheit eine Eigenschaft JEDES Körpers zu jeder Zeit und an jedem Ort ist (lebendig oder tot, beweglich oder in Ruhe, auf der Erde oder im Weltraum). Darüber hinaus werden von den SchülerInnen öfters Verständnisfragen gestellt, wie zum Beispiel, warum ein Eislauffahrer trotzdem irgendwann stehen bleibt. Um diese Frage zu beantworten, muss auf die Reibung (welche erst ein paar Unterrichtsstunden später bearbeitet wird) eingegangen werden und diese jedoch vom Konzept der Trägheit abgegrenzt werden. Dies ist jedoch ein wichtiger Punkt, der meiner Meinung nach den Schritt hin zu einer Allgemeingültigkeit verhindert.

Mit Kometen, die sich durch das Sonnensystem bewegen, bietet sich jedoch ein Beispiel, bei dem es eben praktisch keine Reibungskräfte gibt. Ein Komet bewegt sich durch das All, ohne

irgendwann „stehen zu bleiben“. Kometen sind ständig in Bewegung, es wirken nur Kräfte, die die Richtung und Geschwindigkeit des Kometen ändern. Weiters haben die SchülerInnen hiermit ein Beispiel, welches außerhalb der „Gesetzmäßigkeiten“ der Erde funktioniert, es ist somit leichter, eine Allgemeingültigkeit herzustellen.

## 5.2 Adaptierte Schulversuche im Setting Kometen

In diesem Kapitel möchte ich die Versuche, die vom Lehrer und auch den SchülerInnen selbst in meiner Unterrichtssequenz durchgeführt werden, näher beschreiben. Vor allem will ich hervorheben, wie diese Versuche eine Verbindung zu der Physik der Bahnbewegung von Kometen herstellen und somit sehr gut für einen Mechanik Unterricht mit astronomischem Schwerpunkt geeignet sind.

### 5.2.1 Versuch „Wagen mit Kugel“

Bei diesem Versuch, der in meinem Unterricht als Vorführexperiment präsentiert wird, wird ein klassischer Mechanik-Versuch aufgebaut und erst am Ende eine Verbindung zu Kometen hergestellt. Benötigte Materialien sind eine Schiene, ein Wagen, eine Stahlkugel und etwas Knetmasse (siehe Abb. 4)

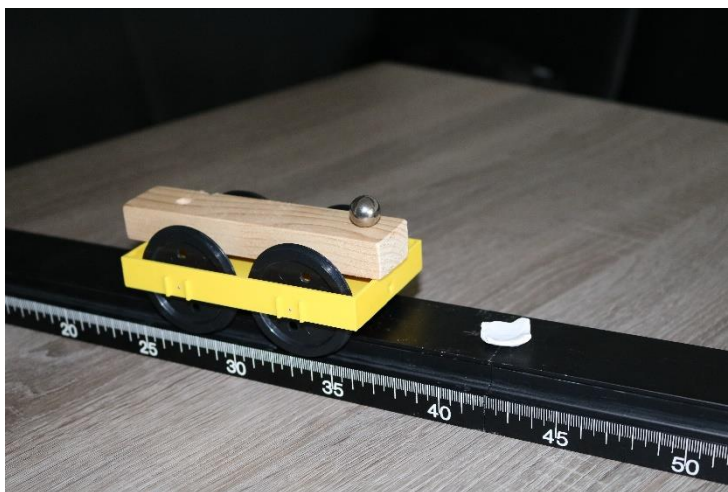


Abbildung 4: Versuchsaufbau "Wagen mit Kugel"

Ich habe den Wagen etwas umgebaut, indem ich ein Stück Holz mit Knetmasse angeklebt habe. Dies hat den Grund, dass die Kugel in beide Richtungen über den Wagen rollen kann, ohne

gebremst zu werden (der Wagen ist am Rand etwas höher). Die Schiene wird so aufgebaut, dass es zumindest an einem Rand einen „Stopper“ gibt. Die Knetmasse wird in die Mitte geklebt und sollte nicht höher als der Wagen sein, ihn also nicht in seiner Bewegung beeinflussen. Zusätzlich wird die Knetmasse so geformt, dass sie eine Art Wanne bildet, damit die Kugel hineinfallen kann.

Nun folgen zwei Versuche, um die Trägheit von Körpern bei einer linearen Bewegung zu zeigen, sowohl aus der Ruhe, als auch aus der Bewegung.

### 5.2.1.1 ruhende Kugel

#### Durchführung:

Der Wagen wird in die Mitte der Schiene gestellt und die Kugel so auf das Holz platziert, dass sie sich genau über der Knetmasse befindet (siehe Abb. 5)

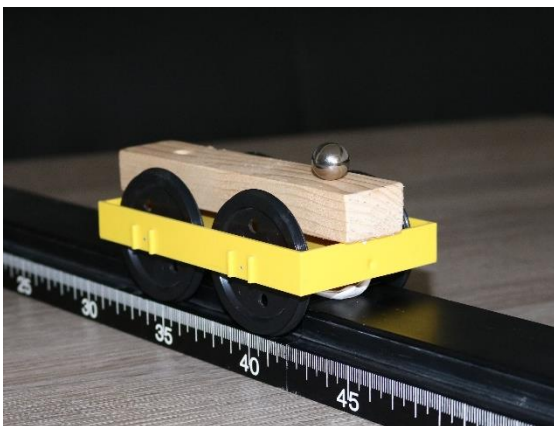


Abbildung 5: Aufbau Versuch 1

Nun kann die Lehrperson noch Fragen an die SchülerInnen stellen, wie „Was wird mit der Kugel passieren, wenn der Wagen angestoßen wird?“ Mögliche Antworten wären „Die Kugel bleibt auf dem Wagen.“ Oder „Die Kugel rollt hinunter.“

Nun stößt die Lehrperson den Wagen an (am besten an jener Seite, an der sich die Kugel befindet, damit das Holz nur eine kurze Rollreibung auf die Kugel ausübt). Bei geeigneter Stoßkraft wird der Wagen wegbeschleunigt, die Kugel bleibt jedoch an ihrem Ort und wird hinter dem Wagen hinunterfallen, genau in die Mulde der Knetmasse. (siehe Abb. 6)

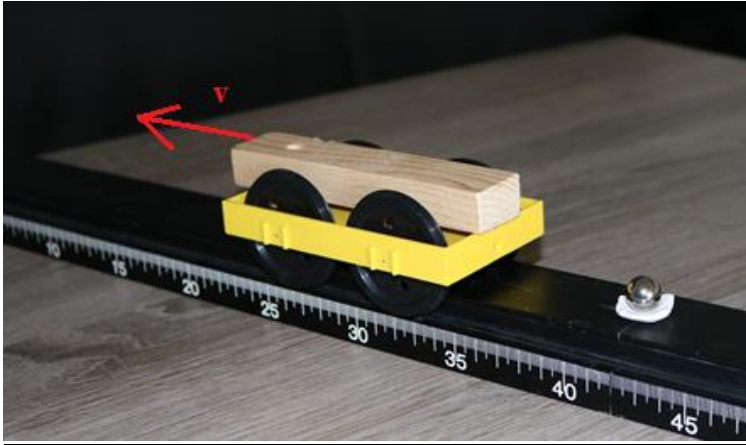


Abbildung 6: Wagen nach Stoß

Erklärung:

Die Kugel ist in Ruhe ( $v = 0$ ) und behält laut dem Trägheitsgesetz ihre Geschwindigkeit bei. Dies bedeutet, sie bleibt am selben Ort und wird somit, sobald der Wagen weggefahren ist, hinunterfallen, direkt in die Mulde, die schon vor dem Stoß unter ihr war. Dank der Kugelform ist eine Haftreibung kaum vorhanden, die Rollreibung ist vernachlässigbar klein und braucht somit keine Erwähnung zu finden.

Didaktische Überlegung:

Wie bereits erwähnt, sehen SchülerInnen als Ursache der Trägheit oft die Haftreibung. Indem bei diesem Versuch eine Kugel als Gegenstand verwendet wird, kann dieser Schülervorstellung entgegengewirkt werden, da bei einer Kugel die Reibung sehr stark minimiert wird. Deshalb ist dieser und der nächste Versuch auch als Lehrerversuch vorgesehen, damit der Stoß stark genug ist, um die Haftreibung zu überwinden, da sonst die Kugel mitbewegt werden könnte und es somit wieder zu falschen Konzepten kommen könnte.

### 5.2.1.2 mitbewegte Kugel

Durchführung:

Der Wagen wird auf eine Seite der Bahn gestellt und die Kugel darauf platziert (siehe Abb. 7).





Abbildung 7: Wagen vor Versuch

Nun wird der Wagen langsam Richtung Bumper bewegt (kaum Beschleunigung), damit die Kugel relativ zum Wagen auf derselben Position bleibt. Ich habe dazu ein kleines Loch in das Holz gebohrt, damit die Kugel nicht so leicht hinunter rollt. Der Wagen fährt nun mit konstanter Geschwindigkeit gegen den Bumper und wird somit abrupt abgebremst. (Abb. 8) Die Kugel rollt mit annähernd derselben Geschwindigkeit weiter. (Abb. 9)

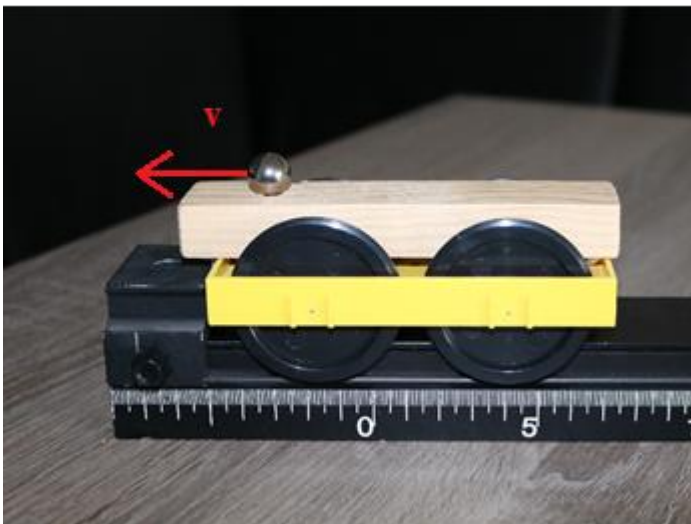


Abbildung 8: abrupter Stop des Wagens



Abbildung 9: Kugel rollt weiter

Erklärung:

Laut dem Trägheitssatz behält die Kugel ihre Geschwindigkeit (und Richtung) bei. Durch das gebohrte Loch verliert die Kugel beim Aufprall etwas an Geschwindigkeit, dies ist mit freiem Auge allerdings kaum erkennbar und wird von der Lehrperson nicht weiter erwähnt.

#### Didaktische Überlegungen:

Wie im Kapitel Schülervorstellungen erläutert, wird Trägheit sehr oft mit Lahmheit assoziiert und nur als eine Eigenschaft angesehen, die Körper verlangsamt. Dieser Versuch zeigt jedoch, dass durch die Trägheit der Körper seine Geschwindigkeit beibehält, wenn keine äußeren Kräfte auf ihn wirken.

#### **5.2.1.3 Kometenbezug**

Diese zwei Versuche könnten auch ohne Kometenbezug im Unterricht durchgeführt werden. Auf die Vorteile eines astronomischen Bezugs wurde jedoch in dieser Arbeit schon mehrfach hingewiesen. Nun erläutere ich, wie hier ein Bezug hergestellt wird.

In der Unterrichtseinheit wird vor diesem Versuch ein Arbeitsblatt über Kometen und ihre Herkunft erarbeitet. Darauf kann nach diesem Versuch aufgebaut werden. Kometen sind Gesteinsbrocken aus der Oort'schen Wolke oder dem Kuiper Gürtel (siehe Kap. Kometen). Ohne eine äußere Kraft würden sie dieses Reservoir nicht verlassen. Hier kann man einen Vergleich zu der ruhenden Kugel ziehen. Wenn eine äußere Kraft wirkt, zum Beispiel auf Grund eines Zusammenstoßes mit einem anderen Gesteinsbrocken, verlässt der Komet das Reservoir und bewegt sich mit einer bestimmten Geschwindigkeit und Richtung aus der Oort'schen Wolke hinaus. Hier kann man einen Vergleich zur Kugel auf dem bewegten Wagen ziehen. Da der Komet auf Grund eines Stoßes eine Geschwindigkeit und Richtung bekommen hat, wird er sich durch die Trägheit weiterbewegen, seine Durchschnittsgeschwindigkeit (innerhalb eines Umlaufs um die Sonne) nicht langsamer, da es im All kaum Reibung gibt.

Natürlich wird der Körper sehr wohl beeinflusst und zwar vor allem durch die Gravitation anderer großer Planeten und vor allem der Sonne. Darauf wird im zweiten Versuch Bezug genommen.

#### **5.2.2 Versuch „Becher mit Kugel“**

Dieser Versuch wird zum Teil als Lehrervortrag, zum Teil als SchülerInnenversuch durchgeführt. Benötigte Materialien (pro Versuchsgruppe) sind ein transparenter Plastikbecher, ein zweiter transparenter Plastikbecher, bei dem eine Öffnung hineingeschnitten wurde und eine Stahlkugel. (siehe Abb. 10)



Abbildung 10: Becher mit Öffnung

#### Lehrziel:

Ziel dieses Versuches ist es, zu zeigen, dass eine Kraft nötig ist, um bei einem bewegten Körper eine Richtungsänderung herbeizuführen. In diesem Versuch wird diese Kraft vom Becherrand ausgeübt. Ohne dieser Kraft bewegt sich der Körper, in dem Fall die Stahlkugel, geradlinig weiter. Ein weiteres Ziel ist die Erklärung der Kometenbahn, die nicht geradlinig, sondern um die Sonne verläuft.

#### Durchführung:

Im ersten Teil des Versuches wird der normale Becher verwendet. Die Stahlkugel wird auf den Tisch gelegt und der Becher darüber gegeben, so dass die Kugel am Becherrand anliegt. Nun wird der Becher in Rotation versetzt, wodurch die Kugel eine Kreisbewegung entlang des Becherrandes macht. Hört man mit der Rotation auf, bewegt sich die Kugel dennoch weiter entlang des Becherrandes. (siehe Abb. 11)



Abbildung 11: Kugel in Kreisbewegung

Nun kann die Lehrperson fragen, wie sich die Kugel weiterbewegen würde, wenn man nach der Rotationsbewegung den Becher in die Höhe hebt. Folgende Antworten sind zu erwarten:

- „Die Kugel bewegt sich kreisförmig weiter.“
- „Die Kugel bewegt sich nach außen.“

Nun wird der Versuch wiederholt, nach der Rotationsbewegung wird jedoch der Becher gehoben. Die Kugel rollt nun tangential vom Becherrand geradeaus. (siehe Abb. 12)



Abbildung 12: Kugelbewegung beim Heben des Bechers

Die Lehrperson kann nun darauf eingehen, warum die Kugel genau diese Bewegung vollführt hat. Der Vergleich mit einem Kometen, der ebenfalls auf Grund der Anziehungskraft der Sonne keine gerade, sondern eine elliptische oder hyperbolische Bahn einnimmt, kann zu diesem Zeitpunkt ebenfalls gezogen werden. Ohne Becherrand würde die Kugel gerade weiter rollen,

mit Becherrand vollführt sie eine Kreisbewegung, genauso würde ein Komet ohne der Gravitation der Sonne eine gerade Bewegung vollführen, durch die Gravitation bewegt er sich in einer elliptischen Bahn.

Der Versuch wird ein drittes Mal wiederholt, diesmal jedoch mit dem Becher mit der Öffnung. Es wird vorsichtig eine Kreisbewegung vollführt, wodurch die Kugel sich wie zuvor entlang des Becherrandes bewegt. Bei der Öffnung bewegt sie sich jedoch geradeaus weiter, genauso wie bei dem vorherigen Versuch, als der Becher gehoben wurde. (siehe Abb. 13)



Abbildung 13: Kugelbewegung bei Becher mit Öffnung

#### Erklärung:

Wenn die Kugel in Bewegung versetzt und der Becher dann nicht mehr bewegt wird, rollt die Kugel weiter entlang des Becherrandes. Dies hat den Grund, dass zunächst eine Kraft (vom Becherrand ausgeübt) Richtung Bechermittelpunkt wirkt (Zentripetalkraft). Der Geschwindigkeitsvektor der Kugel zeigt jedoch zu jedem Zeitpunkt tangential zum Becherrand, durch Vektoraddition der Vektoren  $v$  (Geschwindigkeit der Kugel) und  $F$  (Becherrand) ergibt sich daraus die eigentliche Kreisbewegung. Fällt die Zentripetalkraft durch Heben des Bechers weg, bleibt nur noch der Geschwindigkeitsvektor der Kugel übrig, sie rollt geradeaus weiter.

#### Didaktische Überlegungen:

Die didaktischen Untersuchungen von Wiesner<sup>75</sup> zeigen, dass SchülerInnen die Bewegung von Körpern, die während einer kreisförmigen Bewegung plötzlich eine gerade Bewegung vollführen (Auto wird aus der Kurve geschleudert, Hammerwurf, etc.), falsch vorhersagen. Sie denken, die Bewegung würde weiterhin eine Kurve beschreiben, oder der Körper sich radial nach außen bewegen. Dieser Versuch zeigt ihnen nun ganz deutlich, dass ein Körper, sobald die Zentripetalkraft, also die Kraft, welche nach innen zeigt und den Körper in eine Kreisbahn zwingt, wegfällt, sich tangential zur Kreisbahn in einer geradlinigen Bewegung weiterbewegt, der Trägheitssatz somit auch nach Kreisbewegungen gilt.

#### Kometenbezug:

Der erste Versuch erklärt, warum sich Kometen überhaupt durch das All bewegen. Der zweite Versuch erklärt nun, warum diese Bewegung nicht geradlinig läuft. Genauso wie die Becherwand eine geradlinige Bewegung verhindert und die Kugel stattdessen auf eine Kreisbahn zwingt, wird ein Komet durch die Gravitation der Sonne auf eine nicht-gerade Bahn (elliptisch oder hyperbolisch) gezwungen.

### **5.2.3 Meteoriteneinschlag**

Bei diesem Versuch werden die Folgen des Einschlags eines Meteoriten simuliert. Benötigte Materialien sind zwei oder Schüsseln gefüllt mit Sand, ein Maßband oder Lineal, drei Stahlkugeln gleicher Masse und drei Stahlkugeln unterschiedlicher Masse (siehe Abb. 14)

---

<sup>75</sup> vgl. Wiesner 1981, S. 180-181



Abbildung 14: Materialien Meteoriten-Versuch

### Lehrziele:

Ziel dieses Versuches ist es einerseits, die SchülerInnen eine Messung selbst durchführen zu lassen, damit sie genaues Messen und Protokollieren erlernen. Andererseits soll hier die Massenabhängigkeit der Trägheit demonstriert werden. Eine größere Masse bedeutet, der Körper hat eine größere Trägheit, somit ist die Auswirkung des Aufpralls ebenfalls eine größere.

### Durchführung:

Dieser Versuch wird von den SchülerInnen am Besten in Zweier- bis Vierergruppen durchgeführt. Sie bekommen ein Arbeitsblatt (siehe Anhang), in dem alle Arbeitsschritte genannt werden. Dennoch werde ich kurz den Ablauf skizzieren.

Dieser Versuch gliedert sich in zwei Teile. Im ersten Teil werden die drei gleichen Massen benötigt. Sie werden von unterschiedlichen Höhen, nämlich 10, 20 und 30 cm, über einer Schüssel gefüllt mit Sand fallen gelassen. Nach jeder Messung soll der Durchmesser des Kraters gemessen und notiert werden. (siehe Abb. 15)



Abbildung 15: Durchmesser des Kraters

Im zweiten Teil des Versuches werden von einer Höhe von 10 cm die drei unterschiedlichen Massen fallen gelassen. Auch hier wird nach jeder Messung der Durchmesser des Kraters gemessen und notiert.

Anschließend beantworten die SchülerInnen die Frage, was ihnen dabei aufgefallen ist, und lesen die Erklärung dazu.

#### Erklärung:

Im ersten Teil des Versuches sind die Massen gleich, jedoch die Höhe des Abwurfs unterschiedlich. Da der freie Fall eine beschleunigte Bewegung ist, erreichen die Stahlkugeln eine größere Geschwindigkeit, je größer die Fallhöhe ist, von der sie fallen gelassen werden. Da die kinetische Energie mit  $E_{kin} = \frac{m \cdot v^2}{2}$  definiert ist, haben die Kugeln eine umso höhere kinetische Energie kurz vor dem Aufprall, je höher sie fallen gelassen werden. Diese Energie wird dann beim Aufprall unter anderem in Verformungsenergie umgewandelt und bewirkt dadurch den entstehenden Krater, wobei die Größe des Kraters von der umgewandelten Energie abhängt.

Beim zweiten Teil des Versuches ist die Höhe gleich, jedoch sind die Massen unterschiedlich. Da bei dieser kurzen Strecke der Luftwiderstand vernachlässigbar ist, haben beim Aufprall alle Kugeln die gleiche Geschwindigkeit. Nach obiger Formel ist somit die kinetische Energie größer, je größer die Massen sind. Auch dies zeigt sich wiederum in einem größeren Krater im Sand.



### Didaktische Überlegungen:

Die ersten beiden Versuche zeigen, dass Trägheit eine Eigenschaft jedes Körpers ist und sie die Bewegung eines Körpers, zum Beispiel eines Kometen im Weltraum, mitbestimmt. Mit dem dritten Versuch wird veranschaulicht, dass die Trägheit eines Körpers abhängig von der Masse des Körpers ist. Diese Veranschaulichung wird durch die Größe des entstehenden Kraters hergestellt, wodurch allerdings der Begriff Energie benötigt wird. Da die Energie jedoch ebenfalls im Lehrplan enthalten ist und meist sehr bald im Kapitel Mechanik behandelt wird, kann dieser Versuch auch als Vorbereitung darauf angesehen werden.

# **6 Unterrichtssequenz „Masse und Trägheit am Beispiel von Kometen“**

## **6.1 Lernziele**

Die SchülerInnen sollen ...

... erfahren, dass die Trägheit eine Eigenschaft jedes Körpers ist, die Position oder den Bewegungszustand (Geschwindigkeit und Richtung) beizubehalten, solange keine äußeren Kräfte auf sie einwirken.

... Erkennen, dass diese Eigenschaft masseabhängig ist.

... ein grundlegendes Wissen über Kometen erhalten.

... die Erklärung der Kometenbewegung durch das Sonnensystem verstehen und dadurch grundlegende Begriffe der Mechanik wie Trägheit, Masse und Kraft in einem anderen Kontext anwenden können.

## 6.2 Stundenbilder

### 6.2.1 Stundenbild 1. Stunde

Zeit	WAS? (Inhalt)	WIE? (Methodische Gestaltung)	MIT WEM? (Sozialform)	WOMIT? (Medien)
07:55- 07:59	Begrüßung + Anwesenheit			
08:00- 08:05	Geschichte der Beobachtung von Kometen	L zeigt unkommentiert Film den S vor		Animierter Kurzfilm über Beamer
08:06- 08:10	Inhalt des Films wird kurz besprochen	Fragend-entwickelnd	Interaktion L ↔ S	
08:11- 08:22	Herkunft und Eigenschaften von Kometen	Lesen und Bearbeiten eines Arbeitsblattes	S	Arbeitsblatt
08:23- 08:30	Kometenschweif	Aufgabe des Arbeitsblattes wird gemeinsam auf der Tafel verglichen	S ⇒ L	Tafel, Arbeitsblatt
08:31- 08:45	Rosetta Mission	Gemeinsames lesen und besprechen des Arbeitsblattes	L ⇒ S teilweise L ↔ S	Arbeitsblatt, teilweise Tafel

## 6.2.2 Stundenbild 2. Stunde

Zeit	WAS? (Inhalt)	WIE? (Methodische Gestaltung)	MIT WEM? (Sozialform)	WOMIT? (Medien)
07:55- 07:59	Begrüßung + Anwesenheit			
08:00- 08:05	Wiederholung letzte Stunde	Mündliche Stundenwiederholung	L befragt S	
08:06- 08:15	Die Trägheit bei der linearen Bewegung eines Körpers, sowohl aus der Ruhe wie auch aus der Bewegung	Versuche „Wagen mit Kugel“ (siehe 5.2.1)	Interaktion L ↔ S	Versuchsmaterialien (siehe 5.2.1)
08:16 – 08:25	Kräfte bei Richtungsänderungen	Versuche „Becher mit Kugel“ (siehe 5.2.2)	Interaktion L ↔ S	Versuchsmaterialien (siehe 5.2.2)
08:26- 08:37	Trägheit bei linearer und Kreisbewegung	Lesen und Bearbeiten eines Arbeitsblattes	S	Arbeitsblatt
08:38 08:45	Siehe oben	Gemeinsames Vergleichen des Arbeitsblattes	Interaktion L ↔ S	Arbeitsblatt, teilweise Tafel

## 6.2.2 Stundenbild 3. Stunde

Zeit	WAS? (Inhalt)	WIE? (Methodische Gestaltung)	MIT WEM? (Sozialform)	WOMIT? (Medien)
07:55- 07:59	Begrüßung + Anwesenheit			
08:00- 08:05	Wiederholung letzte Stunde	Mündliche Stundenwiederholung	L befragt S	
08:06- 08:30	Massenabhängigkeit der Trägheit	Schülerversuch „Meteoriteneinschlag“ (siehe 5.2.3)	S	Versuchsmaterialien (siehe 5.2.3), Arbeitsblatt
08:29 08:45	Siehe oben	Gemeinsames Vergleichen der Messergebnisse	Interaktion L ↔ S	Arbeitsblatt, Tafel

## 6.3 Arbeitsblätter

### 6.3.1 Stunde 1 – Kometen

#### 6.3.1.1 Beschreibung des Arbeitsblatts „Kometen“

Dieses Arbeitsblatt wird im Anschluss an einen animierten Kurzfilm<sup>76</sup> über Kometen und deren Beobachtungs- und Forschungsgeschichte ausgeteilt. Es wird gemeinsam gelesen, wobei der Lehrer/die Lehrerin immer wieder unterbricht, um Fragen zuzulassen beziehungsweise ergänzende Informationen liefern zu können.

Inhaltlich gliedert sich das doppelseitige Arbeitsblatt in zwei Hälften. Auf der ersten Seite steht kurz und einfach gehalten alles Wichtige über Kometen, also Herkunft, grober Aufbau, wie der Schweif entsteht und kulturhistorisch interessante Details. Am Ende gibt es eine Aufgabe, bei der überprüft wird, ob die Entstehung des Schweifes verstanden wurde.

Die zweite Seite liefert einen Überblick über die Rosetta-Mission und genauere Details über den Kometen 67P/Churyumov-Gerasimenko. Ziel ist es einerseits, exemplarisch einen Kometen vorzustellen, mit Daten über die Größe, Umlaufbahn und die Bestandteile, damit die SchülerInnen eine bessere Vorstellung über Kometen bekommen. Andererseits soll mit der Rosetta-Mission die Relevanz und Aktualität der Kometenforschung gezeigt werden.

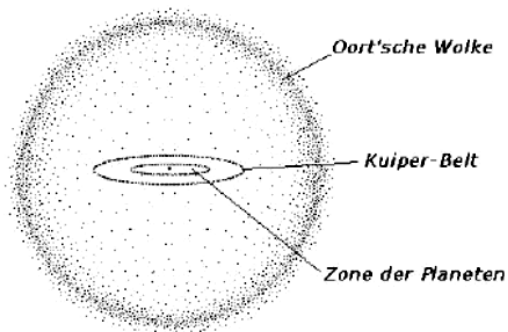
---

<sup>76</sup> Internetseite der european space agency 14.08.2019 URL:  
[http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/07/RosettaAreWeThereYet\\_Fabulous\\_fables\\_and\\_tales\\_of\\_tails/\(lang\)/de](http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/07/RosettaAreWeThereYet_Fabulous_fables_and_tales_of_tails/(lang)/de)

### 6.3.1.2 Das Arbeitsblatt „Kometen“

#### Kometen - unheimliche Besucher vom Rande des Planetensystems

Am Rande unseres Planetensystems befindet sich eine riesige "Wolke" aus größeren Stein- und Eisbrocken (von cm-Größe bis zu einigen Kilometern Größe). Man spricht von der Oortschen Wolke, benannt nach ihrem Entdecker Jan Hendrik Oort. (1950).



Von Zeit zu Zeit stoßen 2 Gesteinsbrocken zusammen und fallen dann Richtung Sonne. Diese Gesteinsbrocken heißen KOMETEN.

In der Nähe der Sonne spüren sie die Sonnenstrahlung und den Sonnenwind (das sind ganz kleine Teilchen, Teile von Atomen). Der Sonnenwind zerlegt die Oberfläche der Gesteinsbrocken, Eis und Staub werden mehr als 100 000 km davon geblasen.

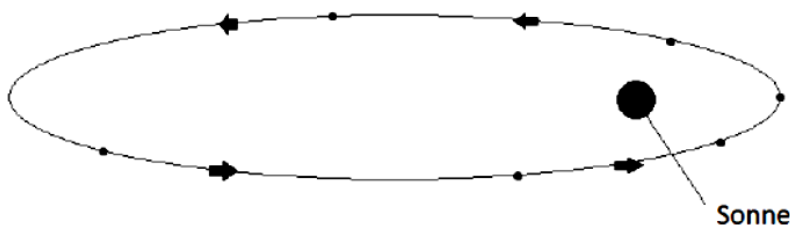
Es bildet sich ein KOMETENSCHWEIF. Der Kometenschweif zeigt also immer von der Sonne weg!



Die Menschen beobachten Kometen seit tausenden von Jahren. Kometen waren immer mit Aberglauben verbunden. (zb das Feuerschwert von einem Gott usw.)

Der italienische Maler Giotto hat um 1300 einen Kometen gesehen. Der Komet hat ihm so gut gefallen, dass er ihn auf sein Fresko "Anbetung der Könige" gemalt hat. Seit dieser Zeit wird über Krippen immer ein Stern mit Schweif gemalt.

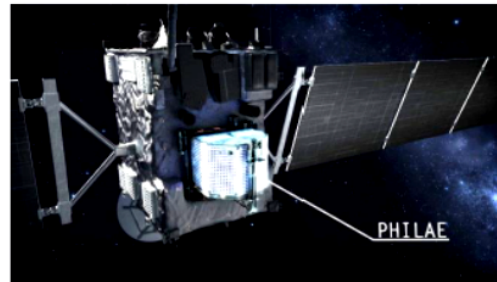
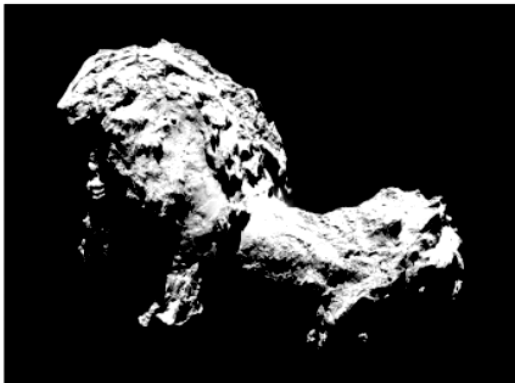
**Aufgabe:** Zeichne an den Punkten den Schweif des Kometen!



## **Das Ziel der Rosetta-Mission: Der Komet 67P/Churyumov-Gerasimenko**

Der Komet 67P/Churyumov-Gerasimenko stammt ursprünglich aus dem Kuiper-Gürtel, einer ringförmigen Region außerhalb von Neptun, des letzten Planeten unseres Sonnensystems. Heute bewegt er sich auf einer Bahn zwischen Jupiter und Erde um die Sonne.

Sein Durchmesser liegt bei rund vier Kilometern, seine Umlaufzeit um die Sonne beträgt 6,45 Jahre. Er ist dunkler als Kohle, die Dichte seines Oberflächenmaterials ist vergleichbar mit einem trockenen Schwamm.



Dieser Komet war Ziel der Raumsonde Rosetta. Vor 10 Jahren, am 2. März 2004, startete Rosetta von der Erde aus. Auf ihrem Weg dorthin führte sie mehrere Flugmanöver durch (dreimal an der Erde und einmal am Mars vorbei), die ihr den ausreichenden "Schwung" für den langen Weg verliehen.

Am 12. November 2014 löste sich das Landegerät Philae vom Mutterschiff, und landete, mit etwas Schwierigkeiten, auf dem Kometen. Die Harpunen, die Philae am Kometen befestigen sollten, haben nicht gezündet, deshalb ist Philae vom Kometen abgeprallt und an einem anderen Ort wieder gelandet. Leider bekam Philae dort zu wenig Sonnenstrahlen, wodurch die Stromversorgung nicht mehr ausreichte und der Lander ausgeschaltet werden musste. Dennoch konnten fast alle Messungen durchgeführt werden.

Mehrere Messgeräte von Rosetta und Philae untersuchten die Zusammensetzung des Kometen. Damit könnte herausgefunden werden, ob sich die Kometenoberfläche in einer Art "Urzustand" befindet und ob Kometen organische Moleküle und Wasser zur Erde gebracht und somit eine Rolle bei der Entstehung des Lebens gespielt haben könnten.

### **interessante Links:**

- Zeichentrick-Video:  
[http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/07/RosettaAreWeThereYet\\_Fabulous\\_fables\\_and\\_tales\\_of\\_tails/\(lang\)/de](http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/07/RosettaAreWeThereYet_Fabulous_fables_and_tales_of_tails/(lang)/de)
- Informationsseite des Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt:  
<http://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10394/>



## **6.3.2 Stunde 2 - Trägheit**

### **6.3.2.1 Beschreibung des Arbeitsblatts „Trägheit“**

Dieses Arbeitsblatt wird im Anschluss an die Versuche zur Trägheit (siehe 5.2.1) ausgeteilt und von den SchülerInnen alleine bearbeitet. Es dient einerseits zur Wiederholung, andererseits zur Überprüfung, indem Transferaufgaben gestellt werden, die diese Versuche mit Kometen verknüpfen.

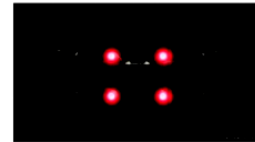
Auf der ersten Seite werden drei Fragen gestellt, die die SchülerInnen in eigenen Worten beantworten sollen. Drei Abbildungen dienen den SchülerInnen zur Unterstützung bei den Fragen, beziehungsweise muss bei der dritten Frage die Abbildung ergänzt werden.

Die zweite Seite beschreibt noch einmal die 3 Versuche und die physikalischen Erklärungen der Beobachtungen, sowohl schriftlich wie auch mit Bildern.

### 6.3.2.2 Das Arbeitsblatt „Trägheit“

#### Fragen zur Trägheit

- 1) In vielen Science Fiction Filmen sieht man Raumschiffe die mit ständigem Antrieb durch das Weltall fliegen. Warum bewegen sich Kometen durch das Weltall, obwohl sie keinen Antrieb haben?

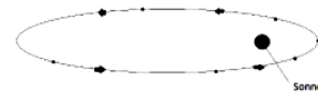


---

---

---

- 2) Kometen bewegen sich auf einer ovalen Bahn um die Sonne. Erkläre, warum dies so ist.



---

---

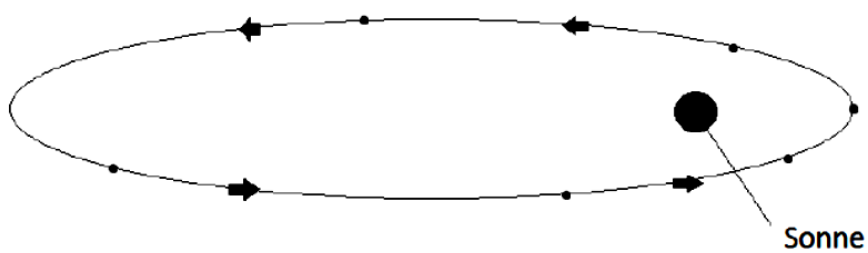
---

- 3) Nehmen wir an, die Sonne würde von einem Moment auf den anderen plötzlich verschwinden. Wie würde sich der Komet weiterbewegen und warum? Zeichne unten bei einem beliebigen Punkt den weiteren Weg des Kometen.

---

---

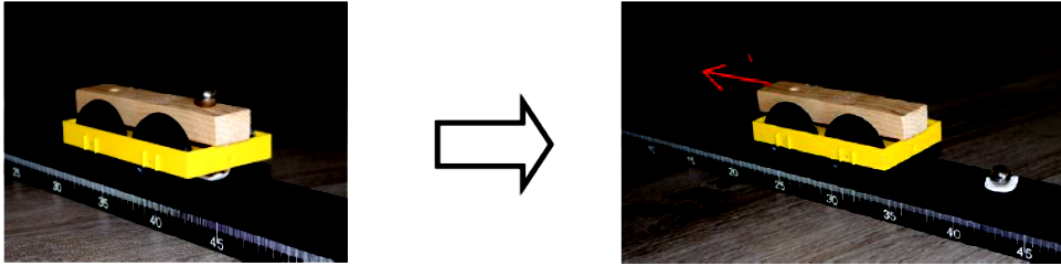
---



## Versuche und Merksätze

### Versuch 1 - Wagen mit ruhender Kugel:

- **Beobachtung:** Ein Wagen steht auf einer Schiene mit einer Kugel darauf. Wird der Wagen angestoßen, bleibt die Kugel am selben Ort und fällt hinunter, sobald der Wagen weg ist.



- **Erklärung:** Ein Körper bleibt in Ruhe, solange keine Kräfte auf ihn einwirken. Der Grund dafür ist seine Trägheit, eine Eigenschaft jeder Masse.

### Versuch 2 – Wagen mit mitbewegter Kugel:

- **Beobachtung:** Ein Wagen bewegt sich gleichmäßig mit einer Kugel darauf in eine Richtung. Wird der Wagen abrupt abgestoppt, bewegt sich die Kugel mit gleicher Geschwindigkeit weiter.



- **Erklärung:** Ein Körper behält seine Geschwindigkeit und Richtung bei, solange keine äußere Kraft auf ihn einwirkt. Auch hier ist der Grund dafür seine Trägheit.

### Versuch 3 – Becher mit Kugel:

- **Beobachtung:** Wenn der Becher nicht mehr bewegt wird, rollt die Kugel entlang des Becherrandes weiter, sie bewegt sich also im Kreis. Wenn der Becher gehoben wird, bewegt sich die Kugel gerade weiter.
- **Erklärung:** Auf Grund der Trägheit würde sich die Kugel gerade weiterbewegen. Weil aber der Becherrand eine Kraft auf die Kugel ausübt und sie somit daran hindert, sich gerade zu bewegen, bewegt sie sich im Kreis.

### **6.3.3 Stunde 3 - Versuch Meteoriteneinschlag**

#### **6.3.3.1 Beschreibung des Arbeitsblatts „Versuch Meteoriteneinschlag“**

Dieses Arbeitsblatt ist der Abschluss meiner Unterrichtssequenz. Hauptsächlich besteht es aus einer Anleitung des Versuches „Meteoriteneinschlag“ (siehe 5.2.3). Da es ein reiner SchülerInnenversuch ist, wird er nur von den SchülerInnen alleine durchgeführt. Die Materialien werden vor der Stunde vorbereitet und bestimmten Plätzen zugeordnet. Nach der Beschreibung der Durchführung ist auf dem Arbeitsblatt noch Raum für Beobachtungen und Schlussfolgerungen der SchülerInnen. Am Ende steht eine Erklärung des physikalischen Hintergrunds und es wird wieder ein Zusammenhang zur Trägheit hergestellt.

### 6.3.3.2 Das Arbeitsblatt „Versuch Meteoriteneinschlag“

#### Der Mini-Meteoriten-Einschlag

Schlägt ein Meteorit ein, hinterlässt er seine Spuren. Aber wovon hängt der Durchmesser eines solchen Kraters ab?



#### Was wird gebraucht?

- Zwei Teller gefüllt mit Sand bzw. Salz
- Maßband oder Zollstock
- 3 Stahlkugeln gleicher Masse
- 3 Stahlkugeln unterschiedlicher Masse

#### Was ist zu tun?

- a) Lasse jeweils die 3 Kugeln aus verschiedenen Höhen in das mit Sand gefüllte Teller fallen!
  1. Höhe: 10 cm
  2. Höhe: 20 cm
  3. Höhe: 30 cm
- b) Lasse nun jeweils 3 Kugeln unterschiedlicher Masse aus 10 cm Höhe fallen.
  1. Masse: 10 g
  2. Masse: 24 g
  3. Masse: 33 g

Messe anschließend immer den Durchmesser des Minikraters. Was fällt dir dabei auf?

Notizen: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

#### Was ist geschehen?

- a) Da der freie Fall eine **beschleunigte Bewegung** ist, wächst die Geschwindigkeit der Kugel mit der Fallhöhe. Eine **größere Geschwindigkeit** bedeutet eine **größere Bewegungsenergie** der Kugel. Diese Bewegungsenergie wird beim Aufprall in Verformungsenergie umgewandelt und somit verursacht die Kugel auch einen **größeren Krater**.
- b) Da die **Bewegungsenergie** der Kugel von ihrer **Masse** abhängig ist, bedeutet eine **größere Masse** auch eine **größere Bewegungsenergie** und somit einen **größeren Krater**. Die Formel dazu lautet

$$\text{Bewegungsenergie} = \frac{1}{2} \text{ mal Masse mal Geschwindigkeit mal Geschwindigkeit}$$

**Größere Masse** bedeutet auch **größere Trägheit**. Ein **Größerer Komet** ist somit **schwerer abzubremesen** und verursacht deshalb einen **größeren Krater**.

## **7 Auswertung der empirischen Untersuchung**

Dieses Kapitel beschreibt die empirische Untersuchung, von der Organisation, den Testschulen, bis zur Auswahl des Leitfadeninterviews als empirische Untersuchung.

### **7.1 Durchführung und Organisation**

Nach der Planung meiner Unterrichtssequenz war es nun an der Zeit, die Unterrichtsstunden durchzuführen. Da ich bereits an zwei Schulen unterrichtete, führte ich diese Stunden an diesen beiden Schulen durch.

Zum einen ist dies das öffentliche Gymnasium BG/BRG Hollabrunn, in der Reucklstraße 9, 2020 Hollabrunn, die Unterrichtssequenz führte eine 2. Klasse mit 25 SchülerInnen durch. Die zweite Schule ist eine katholische Privatschule, das Erzbischöfliche Gymnasium Hollabrunn, am Kirchenplatz 2, 2020 Hollabrunn. Auch hier unterrichtete ich eine 2. Klasse von 25 SchülerInnen.

In beiden Schulen unterrichtete ich auch Parallelklassen, am Erzbischöflichen Gymnasium zwei, am BG/BRG Hollabrunn eine Parallelklasse. Hier wurden die Begriffe Masse und Trägheit wie in den Lehrbüchern üblich über klassische Konzepte unterrichtet, mit dem Schwerpunkt auf Verkehrsphysik und in im Vergleich zu meinem Kometenkonzept kleinerem Ausmaß.

#### **7.1.1 Die 2. Klasse des BG/BRG Hollabrunn**

Diese Klasse besteht aus 25 SchülerInnen, davon 14 Buben und 11 Mädchen. Allgemein kann man über diese Klasse sagen, dass sie sehr aufgeweckt und leistungsbereit ist und es einige SchülerInnen gibt, die ein großes Interesse an der Physik haben. Ich habe am Anfang des Schuljahres der Klasse den Plan zur Durchführung einer Unterrichtssequenz über Kometen vorgestellt und dann nach Freiwilligen gesucht, die sich für Interviews vor und nach der Sequenz bereit erklären. Es gab viele freiwillige Meldungen, ich suchte die mir damals noch unbekanntes SchülerInnen zufällig aus, wichtig war es nur 2 Mädchen und 2 Buben auszuwählen, um auch mögliche Gendereinflüsse zu untersuchen.

An dieser Schule werden die 2. Klassen mit zwei Stunden Physik in der Woche unterrichtet, weshalb ich die Unterrichtssequenz schon Anfang November 2017 durchführen konnte. Die

erste Unterrichtsstunde fand an einem Freitag statt, die anderen beiden am darauffolgenden Dienstag und Freitag.

### **7.1.2 Die 2. Klasse des Erzbischöflichen Gymnasium Hollabrunn**

Hier besteht die Klasse ebenfalls aus 25 SchülerInnen, davon 15 Mädchen und 10 Buben. Diese Klasse ist eher weniger motiviert Leistung zu bringen, das Interesse an der Physik hält sich bis auf ein paar Ausnahmen in Grenzen. Ich habe bei dieser Klasse schon am Ende des letzten Schuljahres nach Freiwilligen gefragt und wieder 2 Mädchen und 2 Buben ausgewählt, ebenfalls ohne die SchülerInnen vorher zu kennen, und die Vorinterviews auch schon letztes Schuljahr durchgeführt.

Am Erzbischöflichen Gymnasium Hollabrunn wird in der 2. Klasse nur eine Stunde Physik pro Woche unterrichtet, wodurch sich hier größere Zeitabstände zwischen den Stunden ergaben. Die Stunden fanden größtenteils im Dezember statt, auf Grund eines Stundenausfalls konnte die letzte Einheit erst im Jänner stattfinden, wodurch sich durch die Weihnachtsferien ein großer Zeitabstand ergab.

## **7.2 Interviews vor der Unterrichtssequenz**

Der genaue Interviewleitfaden ist im Anhang 1 zu finden. Ich habe mich nicht rein auf den Leitfaden verlassen, sondern halb-qualitative Gespräche geführt, also auch dazwischen Fragen gestellt. Die ersten Fragen zielten darauf ab, herauszufinden, ob ein allgemeines Interesse an Naturwissenschaften (Frage 1) und im speziellen ein Interesse an Physik (Fragen 2 und 3) und Astronomie (Frage 4) bereits vor dem Unterricht in der 2. Klasse vorliegt. Die 5. Frage („Weißt du, was ein Komet ist?“) zielt darauf ab, ein mögliches Vorwissen zu diesem speziellen Themengebiet zu überprüfen. Frage 6 beschäftigen sich mit dem speziellen Interesse für Mechanik (da Trägheit ein Teil davon ist). Die Interviews wurden einzeln durchgeführt und dauerten meist um die fünf bis 10 Minuten pro SchülerIn.

In der folgenden Analyse gehe ich die Fragen der Reihe nach durch und liefere jeweils exemplarisch ein Beispiel aus den Interviews.

In beiden Klassen waren die Vorinterviews sehr ähnlich. Die Schülerinnen und Schüler sind wissenschaftlich interessiert, da ihnen Biologie sehr gefällt und sie sich auch schon auf Physik freuen, vor allem auf die Experimente.

3 *„I: ... dass du das Interview machen darfst. Super, dann fangen wir gleich an.*

4 *Du hast in der 1. Klasse ja schon Biologie gehabt.*

5 *S1: Ja.*

6 *I: Wie gefällt dir das Fach bis jetzt?*

7 *S1: Gut.*

8 *I: Gefällt dir gut? Sehr gut. Freust du dich auch schon auf Physik in der 2.*

9 *Klasse*

10 *S1: Ja.*

11 *I: Auf welches Thema in Physik freust du dich denn besonders?*

12 *S1: Ich weiß nicht, ich tu gern experimentieren und darauf freu ich mich*

13 *schon.“<sup>77</sup>*

Bei der Frage nach einem Thema, auf das sie sich schon freuen, sind die Antworten unterschiedlich. Vielen ist es im Grunde gleichgültig, einer freut sich vor allem auf Elektrizität und einer explizit auf Astronomie:

6 *„I: [...] Auf welches Thema freust du dich denn da besonders?*

7 *S4: Aufs Weltall ... besonders.“<sup>78</sup>*

Auf die Frage, ob sie wissen, was Astronomie und in weiterer Folge Kometen sind, haben die Schülerinnen und Schüler nur eine ungefähre Ahnung. Sie wissen, dass es etwas mit dem Weltall zu tun hat und vermuten, dass ein Komet ein Gesteins- oder Metallbrocken ist, der im Weltall „umherschwirrt“.

11 *„I: Ok, sehr gut. Weißt du auch, was ein Komet ist?*

12 *S4: Das ist ein Stein, der aus dem Weltall ist?“<sup>79</sup>*

Nachdem ich das Thema Mechanik mit den Begriffen Trägheit und Kraft kurz umreißte, fragte ich die Schülerinnen und Schüler, ob sie dieses Thema lieber in dem klassischen Kontext, also mit Alltagsbeispielen wie einem Auto, oder im Kontext Kometen behandeln wollen. Hier sind

---

<sup>77</sup> Interview S1, Zeilen 3 – 13, Anhang 2

<sup>78</sup> Interview S4, Zeilen 6 – 7, Anhang 2

<sup>79</sup> Interview S4, Zeilen 11 – 12, Anhang 2



die Antworten ebenfalls unterschiedlich, wobei es den meisten gleich recht wäre, nur ein Junge würde eher Autos mehr interessieren<sup>80</sup>, zwei Jungen<sup>81 82</sup> und ein Mädchen<sup>83</sup> lieber Kometen.

### 7.3 Interviews nach der Unterrichtssequenz

Auch hier wurden die Fragen anhand eines Leitfadens gestellt (siehe Anhang 3), jedoch ebenfalls mit weiteren Fragen, die teilweise zur Unterstützung dienten oder die Fragen anders beschrieben. Frage 1 („Was ist ein Komet?“) dient zum Einstieg in das Interview und ist eine gleichzeitige Überprüfung des Inhalts der ersten Einheit. Es werden, falls es nicht von den SchülerInnen genannt wird, auch Detailfragen gestellt, nach dem Ursprung, der Umlaufbahn, dem Schweif oder ähnlichem. Fragen 2 bis 4 behandeln zwar immer noch Kometen, für die Beantwortung ist jedoch schon ein richtiges Konzept von Masse, Gravitation und Trägheit notwendig, also der Inhalt der zweiten Unterrichtseinheit. Fragen 5 und 6 sind schließlich eine Überprüfung der dritten Unterrichtseinheit, während Frage 7 („Was ist Trägheit?“) das eigentliche Lehrziel der gesamten Unterrichtssequenz überprüft. Fragen 8 und 9 sind gesondert zu betrachten, da damit die Bewertung der SchülerInnen selbst erhoben wird, also ob ihnen die Unterrichtssequenz gefallen hat und ob sie den Inhalt verstanden haben. Auch hier fanden die Interviews einzeln statt, die Dauer jedes Interviews war zwischen 15 und 25 Minuten. In der Analyse werde ich ebenfalls die Fragen der Reihe nach behandeln und ein oder mehrere Beispiele aus den Interviews exemplarisch zitieren.

Auf die erste Frage nach Kometen wussten zwei Schülerinnen und ein Schüler sehr genau Bescheid, sie konnten den Inhalt der ersten Stunde fast vollständig wiederholen, sie wussten über Material, Herkunft, wie der Schweif entsteht und wie lang er ungefähr ist und die Umlaufbahn (ungefähre Dauer und Grund der Bahn).

5 „S5: Also ein Komet besteht aus Steinen, Eisen, Wasser .... (kurze Pause)

6 I: Wo kommt ein Komet vor?

7 S5: Also, aus der Oort'schen Wolke ....

---

<sup>80</sup> vgl. S2, Zeilen 26 – 32, Anhang 2

<sup>81</sup> vgl. S6, Zeilen 47 – 52, Anhang 2

<sup>82</sup> vgl. S8, Zeilen 33 – 40, Anhang 2

<sup>83</sup> vgl. S5, Zeilen 37 – 43, Anhang 2

8 I: Genau, das ist der Ursprung, super. .... Und, ähm, warum können wir einen  
9 Komet sehen, oder, wie sehen wir einen Kometen meistens?

10 S5: Durch den, also, durch diesen .... Schweif sag ich jetzt mal.

11 I: Genau, Schweif, super.

12 S5: Der, der von der Sonne erzeugt wird. Und der ist halt .... Mega lang.

13 I: Ja genau, richtig, super. Weißt du vielleicht, wie lang der ist, dieser Schweif? ....

14 (kurze Pause) Ungefähr? 100 km, 1000 km, 1 Million km? Welche Größenordnung?

15 S5: 1 Million km? <sup>84</sup>

4 „S8: Also, äh, Kometen die um eine Sonne, die Sonne oder einen Stern kreisen, dann  
5 kreisen sie halt. Und der Strahl, also, äh, das Eis das eigentlich runterfliegt von der  
6 Hitze vom Stern ist nicht immer in die Richtung, in die der Komet fliegt, sondern die  
7 zeigt immer weg vom Stern weil die Wärme genau in die Richtung vom Kometen  
8 hinfliegt und dadurch fliegt das Eis auch in die andere Richtung.“<sup>85</sup>

Drei weitere Schüler konnten zumindest in groben Zügen Kometen erklären und auf Nachfrage auch ein paar Details wie Schweif und Umlaufbahn, auch wenn dies oft mit falschen Größenordnungen beantwortet wurde. Zwei SchülerInnen konnten sich allerdings kaum an etwas erinnern.

Die Fragen zwei bis vier, die ebenfalls Kometen betrafen, jedoch ein Verständnis von Masse, Trägheit und Gravitation voraussetzen, wurden vom Großteil hinreichend beantwortet, wenn auch nicht mit demselben Ausmaß wie bei der ersten Frage. Die Ausnahme bilden auch hier dieselben zwei Schülerinnen, die die Fragen kaum beantworten konnten. Auffallend war vor allem, dass die Versuche sehr einprägend waren und Fragen nach der Bewegung des Kometen oft mit Hilfe der Wagen- und Becherversuche beantwortet wurden.

53 „I: [...] So, wie würde sich der Komet denn bewegen wenn die Sonne nicht da wäre?

54 S7: Also ich tät einfach ... also wenn da jetzt.... Wir haben ja auch den Versuch mit  
55 dem Becher gemacht, wo ein Loch drin war. Und dann ham wir den ... die Kugel halt  
56 gedreht mit dem Becher und dann ist die Kugel bei dem Loch gerade aus. Also da tät

---

<sup>84</sup> Interview S5, Zeilen 5 – 14, Anhang 4

<sup>85</sup> Interview S8, Zeilen 4 – 8, Anhang 4

57 *der Komet dann einfach wegfliegen.*

58 *I: Also er würde sich gerade weiter bewegen?*

59 *S7: Ja.* <sup>86</sup>

Weiters haben die meisten Schülerinnen und Schüler erkannt, dass der Grund der konstanten Bewegung des Kometen um die Sonne die Gravitation der Sonne, die Trägheit des Kometen und die Reibungslosigkeit im Weltall ist.

23 *„Und warum bewegt sich jetzt der Komet eigentlich um die Sonne, warum hat er*  
24 *eigentlich so eine Bahn wo er immer wieder kommt?*

25 *S5: Weil die Sonne eine gewisse Anziehungskraft hat?* <sup>87</sup>

36 *„I: Ok. Und wenn es jetzt die Sonne nicht geben würde, die wäre auf einmal weg, wie*  
37 *würde sich der Komet dann bewegen?*

38 *S6: Also er würde immer geradeaus weiter fliegen, bis er auf einen nächsten Stern*  
39 *trifft.*

40 *I: Warum macht er das, das er sich geradeaus weiterbewegt? Warum bleibt er nicht*  
41 *stehen?*

42 *S6: Es gibt keine Reibung im All, da kann man nur immer gleich schnell*  
43 *weiterbewegen, außer man kommt auf eine größere Anziehungskraft [...]* <sup>88</sup>

Die Fragen zur Entstehung eines Kraters, wenn ein Komet auf die Erde auftreffen würde (also der Inhalt der dritten Unterrichtseinheit), wurden in den wichtigen Punkten richtig beantwortet. Alle SchülerInnen wussten, dass die Größe des Kraters von der Masse des Kometen abhängt, die meisten wussten auch dass er auch von der Geschwindigkeit abhängt (oder zumindest von der Fallhöhe beim Experiment).

55 *„I: Weißt du, warum ein Komet, wenn er dann auf die Erde treffen würde, warum*  
56 *er überhaupt einen Krater verursacht?*

57 *S6: Weil er schnell ist und durch die Schnelligkeit, je größer die Schnelligkeit,*

---

<sup>86</sup> Interview S7, Zeilen 53 – 59, Anhang 4

<sup>87</sup> Interview S7, Zeilen 23 – 25, Anhang 4

<sup>88</sup> Interview S6, Zeilen 36 – 43, Anhang 4

58 *umso größer wird der Krater. Eigentlich, umso mehr Masse er hat, umso größer*  
59 *wird der Krater und umso schneller er ist. Also wir haben das beim Experiment*  
60 *gesehen, das, äh, wenn Salz, ... genau. Wo wir die Kugel von bestimmten Höhen,*  
61 *ähm, runterfliegen lassen, je höher die Kugel, also bei gleicher Masse, je höher*  
62 *die Kugel, desto größer ist der Durchmesser von dem Krater.*<sup>89</sup>

Die Frage, warum der Komet überhaupt einen Krater verursacht, konnte jedoch von keinem Schüler/keiner Schülerin mit dem Begriff der Energie erklärt werden. Ein Schüler hat jedoch zumindest die Trägheit ins Spiel gebracht.

29 *„I: Ok. Und jetzt zu dem letzten Versuch den wir damals noch gemacht haben: Weißt*  
30 *du, warum ein Komet, wenn er dann auf die Erde treffen würde, warum er überhaupt*  
31 *einen Krater verursacht?*

32 *S8: Der Krater entsteht eigentlich, wenn der Komet jetzt ziemlich schnell ist, dann*  
33 *wird der Krater größer, weil, wir ham ja, äh, wegen der Trägheit, gelernt. Und weil*  
34 *die Erde eine größere Trägheit hat, schlägt der Komet ein und ähm, nachher braucht*  
35 *halt die Erde viel mehr, sozusagen Masse, um ihn auch wirklich aufzuhalten und*  
36 *seinen Flug zu stoppen. Und deswegen wird ein Krater tiefer.*<sup>90</sup>

Die konkrete Frage nach der Bedeutung des Begriffs Trägheit hingegen wurde bis auf die schon erwähnten zwei Schülerinnen von allen anderen sehr gut beantwortet.

38 *„I: Na probier es. Was könnte das denn bedeuten, wenn ein Körper träge ist?*

39 *S2: Na das, wenn sich eine Masse bewegt, und dann von irgend etwas abgestoppt*  
40 *wird, dass sie sich eigentlich weiter bewegen würd. Also wenn man in einem Auto*  
41 *drin sitzen würde, und das Auto bremst ganz schnell, dann möchte dein Körper halt*  
42 *weiter ... und deshalb gibt es ja auch den Gurt.*

43 *I: Super, sehr gut.*

44 *S2: Und würde es den Gurt nicht geben, dann würde man einfach gegen die*  
45 *Windschutzscheibe...*

46 *I: Genau. Und, ähm, wenn ein Körper jetzt noch gar nicht in Bewegung ist, wenn er*  
47 *irgendwo in Ruhe ist, wie ist es da?*

48 *S2: Nachher will er eigentlich so bleiben, also ... beim Sitz, da wird man ja dran*  
49 *gehindert und bei einer Kugel, die rollt einfach, die rollt einmal ... die bleibt aber*

---

<sup>89</sup> Interview S6, Zeilen 55 – 62, Anhang 4

<sup>90</sup> Interview S8, Zeilen 29 – 36, Anhang 4

50 *eigentlich auf der gleichen Stelle.*“<sup>91</sup>

Interessant ist bei diesem und auch einem anderen Interview, dass die Schüler von sich aus das Beispiel Auto erwähnt haben, um die Trägheit zu erklären. Bei den meisten wird die sie jedoch mit Hilfe der Versuche erklärt.

73 *„S7: Also, zum Beispiel wenn ein Körper steht und er wird aber bewegt, dann will er,*  
74 *also, dort bleiben und der Versuch mit dem Wagen, da ist er genau halt da*  
75 *runtergefallen, also, wo er vorher war.“*

Bei obigem Interview und auch bei weiteren fiel zusätzlich auf, dass das „Wollen“ des Körpers stark betont wurde, die Vermenschlichung des Objekts, dem ein Willen zugeschrieben wird, also auch weiterhin besteht.

65 *„S6: Also wenn, äh, ein Körper in einem bestimmten Zustand ist, also wenn er jetzt*  
66 *steht oder rollt, dann braucht man eine gewisse Kraft und man drückt auch dagegen*  
67 *... äh, der Körper WILL in dieser Position bleiben.“*<sup>92</sup>

Ein Schüler nannte von sich aus einen Kometen als Beispiel für die Trägheit.

42 *„I: Ok, super. Was ist wenn sich ein Körper schon eben bewegt?*

43 *S8: Wenn er sich bewegt, dann will er auch wirklich in der Bewegung bleiben. Aber,*  
44 *dann muss er halt gegen die Reibung und den Luftwiderstand, muss er ankämpfen,*  
45 *also auf der Erde wird er nicht weit kommen, aber zum Beispiel ein Komet im*  
46 *Weltraum, der wird auch für immer weiter fliegen, weil es keine Reibung gibt.“*<sup>93</sup>

Die letzten beiden Fragen zielen auf eine Bewertung der Unterrichtssequenz ab, also ob die SchülerInnen die Stunden ihrer Einschätzung nach verstanden haben und wie es ihnen gefallen hat. Dazu haben sie wie im schulischen Notensystem Noten von 1 (Sehr Gut) bis 5 (Nicht Genügend) gegeben. Zusätzlich mussten sie diese Noten begründen.

Hier ist zum ersten Mal ein Geschlechterunterschied zu merken: Allen Buben hat die Unterrichtssequenz sehr gut gefallen, vor allem die Experimente und das Thema Kometen und Rosetta Sonde wurden hier explizit erwähnt.

---

<sup>91</sup> Interview S2, Zeilen 38 – 50, Anhang 4

<sup>92</sup> Interview S6, Zeilen 65 – 67, Anhang 4

<sup>93</sup> Interview S8, Zeilen 43 – 46, Anhang 4

47 „S4: Ich würde eine Eins geben, weil mir die Experimente gut gefallen haben.“<sup>94</sup>

82 „S6: Also mir ... also ich bin ein Fan von Experimenten, ich hab auch ziemlich, wie  
83 soll ich sagen, ähm, genossen, dass wir das Thema durchgemacht haben. Ich hab  
84 diesen Film, ähm, Zeichentrickfilm auch ziemlich taugt, mit der Rosetta. Ich hab auch  
85 die Experimente mit den Wagons oder mit dem Salz, ähm, ziemlich interessant  
86 gefunden.

87 I: Ok, das heißt deine Bewertung...

88 S6: Ein Sehr gut!<sup>95</sup>

53 „S8: Also ich hab die Stunde über Kometen sehr interessant gefunden, habe auch  
54 vieles gelernt was ich nicht gewusst habe, also ich würde Fünf von Fünf Punkten  
55 geben. Und die anderen Stunden waren auch sehr gut.

56 I: Ok, also vom Notensystem ein Einser quasi, also wenn du jetzt 5 von 5 Punkten ...

57 S8: Ja.<sup>96</sup>

Die Mädchen gaben als Noten zweimal Gut, einmal „zwei bis drei“ und einmal Befriedigend an. Auf Nachfrage konnten sie allerdings nicht begründen, warum es keine bessere Note wurde, allerdings haben auch ihnen vor allem die Experimente gefallen und ein Mädchen nannte ebenfalls explizit die Rosetta Mission als interessant.

93 „S1: Also bei mir war das mit der Kugel in den Sand werfen, also das war so ne Zwei,  
94 weil, also ich find Experimente eigentlich ganz gut.“<sup>97</sup>

82 „S5: Weiß nicht, eine Drei.

83 I: Drei, ok. Und warum?

84 S5: Weil mir das gut gefallen hat wie wir die Versuche gemacht haben und selber  
85 auch experimentieren durften.

86 I: Ok, das war gut quasi. Und was hat dir vielleicht nicht so gut gefallen, also warum  
87 es keine Zwei ist zum Beispiel?

---

<sup>94</sup> Interview S4, Zeile 47, Anhang 4

<sup>95</sup> Interview S6, Zeilen 82 – 88, Anhang 4

<sup>96</sup> Interview S8, Zeilen 53 – 57, Anhang 4

<sup>97</sup> Interview S1, Zeilen 93 – 94, Anhang 4

88 S5: *Mhm ... (längere Pause).*

89 I: *Kannst ganz ehrlich sein.*

90 S5: *Mhm ... (längere Pause).*<sup>98</sup>

89 S7: *Also mir hat das auf jeden Fall gut gefallen, dass wir auch so viele Experimente gemacht haben. Und auch das mit dem Becher hat mir gut gefallen ... und*

91 .... *(längere Pause). Die Rosetta war halt auch noch interessant.*<sup>99</sup>

Bei der Frage nach ihrer eigenen Einschätzung darüber, wie gut sie den Unterricht und das Thema verstanden haben, gab es wiederum eine Diskrepanz zwischen den beiden Klassen. Während sich die Klasse des öffentlichen Gymnasiums kritisch beurteilten und ich deren Bewertung als Lehrer dieser Unterrichtseinheit und auf Grund der Interviews durchaus teile, hatten sich die SchülerInnen des Erzbischöflichen Gymnasiums ausnahmslos mit Sehr Gut bewertet, obwohl deren Verständnis bei weitem nicht so hoch war wie bei der anderen Klasse. Insbesondere die beiden Mädchen konnten beim Interview kaum eine Frage richtig oder genauer beantworten, insofern überrascht deren Selbsteinschätzung.

In der Klasse aus der öffentlichen Schule gab sich ein Schüler ein Sehr Gut beim Verständnis und dies meiner Meinung nach auch gerechtfertigt, da er beim Interview jede Frage ausführlich und mit richtigen Konzepten und Vokabular beantworten konnte. Ein weiterer Schüler gab sich ein Gut, und bemängelte nur, dass er die Formel beim Krater nicht so gut verstanden hatte.<sup>100</sup> Auch hier teile ich die Einschätzung. Die beiden Mädchen beurteilten sich beide mit Befriedigend, da sie sich „*manchmal nicht so gut ausgekannt*“<sup>101</sup> haben oder die Begriffe als zu schwer empfanden. Bei ihnen ist meine persönliche Einschätzung jedoch, dass sie sich zu negativ beurteilen, da sie bei den Fragen zum Kometen sogar das detaillierteste Wissen von allen SchülerInnen hatten und auch den Begriff der Trägheit sehr gut verstanden. Nur der Inhalt der Unterrichtsstunde über den Krater dürfte ihnen etwas schmerzlich gefallen sein. Meine Einschätzung des Verständnisses der beiden wäre also eher ein Gut.

---

<sup>98</sup> Interview S5, Zeilen 82 – 90, Anhang 4

<sup>99</sup> Interview S7, Zeilen 89 – 91, Anhang 4

<sup>100</sup> vgl. Interview S6, Zeile 94 – 95, Anhang 4

<sup>101</sup> Interview S7, Zeile 100, Anhang 4





## 7.4 Erkenntnisse aus den Interviews

Bevor ich die Analyse des Interviews beginne, ist es wichtig noch einmal auf das Ziel meiner Diplomarbeit einzugehen. Meine Hypothese lautete: *Die Begriffe Trägheit und Masse, im Kontext von Kometen unterrichtet, führt zu einem höheren Interesse am Lerninhalt und zu einem besseren Verständnis der SchülerInnen.* Es müssen also zwei Aspekte überprüft werden:

1. War im Vorhinein schon ein Interesse an Astronomie, insbesondere an Kometen vorhanden und hat sich dieses Interesse erhalten, beziehungsweise wurde durch die Unterrichtseinheit ein Interesse an Kometen geweckt? Wurde das Konzept der Trägheit und die Phänomene, die damit einhergehen, als interessant empfunden?
2. Konnten Kometen von SchülerInnen der 2. Klasse verstanden werden? Wurden die Begriffe Trägheit und Masse durch diese Unterrichtseinheit verstanden?

Aus den Vorinterviews konnte kein besonderes Interesse an Kometen festgestellt werden, ein Schüler blieb hier die Ausnahme. Die Nachinterviews zeigen jedoch, dass ihnen das Thema Kometen und insbesondere die Rosetta Mission sehr gefallen haben. Auch das Verständnis über Kometen, die Eigenschaften und Umlaufbahn war größtenteils vorhanden. Es lohnt sich also über astronomische Phänomene, insbesondere solche mit Aktualität, auch schon in der zweiten Klasse zu unterrichten, da somit ein Interesse an Astronomie geweckt wird und die SchülerInnen auch inhaltlich folgen können.

Die Nachinterviews zeigen, dass der Begriff der Trägheit von allen mit Ausnahme von zwei Mädchen aus derselben Klasse sehr gut verstanden und auch erklärt werden konnte. Die Transferfragen, wo das Wissen über die Trägheit am Beispiel der Umlaufbahn des Kometen angewendet werden musste, konnten ebenfalls ausreichend gut beantwortet werden, vor allem wenn man davon ausgeht, dass es sich um zweite Klassen handelte, die erst vor 3 Monaten mit dem Unterrichtsfach Physik begannen.

Wichtig ist jedoch zu betonen, dass die Experimente sowohl für das Interesse der SchülerInnen an der Unterrichtseinheit wie auch für das Verständnis des Inhalts von integraler Bedeutung waren. Einerseits erwähnten die SchülerInnen explizit, dass ihnen die Experimente, vor allem das selbstdurchgeführte, am meisten gefallen haben, andererseits beantworteten sie die Fragen zur Bewegung des Kometen und zur Trägheit oft, indem sie Teile der Versuche als Beispiel nannten.

Die dritte Unterrichtseinheit, bei der die SchülerInnen den Versuch selbst durchführen konnten, wurde von ihnen sehr gut aufgenommen, es wurde öfters erwähnt, dass ihnen vor allem dieser Teil des Unterrichts sehr gefallen hat. Ziel dieser Unterrichtseinheit war, dass die SchülerInnen einen Zusammenhang zwischen der Masse und ihrer Trägheit erkennen, genauer gesagt, dass

die Trägheit direkt proportional zur Masse des Objekts und somit die Masse ein Maß für die Trägheit ist. In den Nachinterviews zeigte sich, dass sie den Zusammenhang Masse und Größe des Kraters zwar immer noch gewusst haben, jedoch nur ein Schüler dies auch mit der Trägheit in Verbindung brachte. Grund dafür könnte der Umweg über den Begriff der Energie sein, der zwar meiner Meinung nach notwendig war, um das Kraterloch zu erklären, jedoch bei den SchülerInnen eher auf Unklarheit stieß. Einerseits weil die Formel für die kinetische Energie das Verständnis einer 2. Klasse noch übersteigt, andererseits weil die Energie zu diesem Zeitpunkt noch gar nicht im Unterricht besprochen wurde und als neue Größe etwas zu schnell eingeführt wurde.

Bezüglich eines möglichen Genderaspekts sei noch gesagt, dass die Beantwortung der Fragen der zwei Mädchen aus dem Erzbischöflichen Gymnasiums signifikant schlechter war als die der anderen Schüler. Wenn man noch die realitätsferne Bewertung ihres Verständnisses dazu nimmt (sie haben sich beide ein Sehr gut gegeben obwohl sie kaum eine Frage beantworten konnten) und meine Erfahrung der Unterrichtsstunde mit den beiden Schülerinnen, komme ich zu dem Schluss dass sie diese Untersuchung nicht allzu ernst nahmen. Vergleicht man also nur die Interviews der zwei anderen Mädchen mit denen aller Buben, so lässt sich bezüglich des Verständnisses kein Unterschied feststellen, sie bewerteten sich zwar selbst als schlechter, analysiert man jedoch die Antworten ihrer Fragen, so liefern sie genauso richtige Antworten ab und zeigen teilweise sogar höheres Detailwissen. Bei der Bewertung der Unterrichtssequenz fällt jedoch eindeutig auf, dass alle Schüler dem Unterricht ein Sehr Gut gegeben haben, während die Schülerinnen den Unterricht nur mit Zwei oder Drei bewerteten. Es scheint dieses Thema oder mein Unterrichtskonzept eher Buben zu gefallen, hier gilt es also nachzubessern.

Die am Anfang des Kapitels erwähnten Fragen konnten also größtenteils mit ja beantwortet werden. Dennoch gibt es Verbesserungspotenzial, einerseits bei dem geplanten Unterrichtskonzept, andererseits bei der Untersuchung selbst.

Die ersten beiden Unterrichtseinheiten sind sowohl gut angekommen und haben den SchülerInnen ein Verständnis über Kometen und Trägheit gegeben, können also als Erfolg verbucht werden. Die dritte Unterrichtseinheit jedoch gilt es zu überarbeiten. Auch wenn den SchülerInnen der Kraterversuch sehr gefallen hat, so liefert er nicht das gewünschte Ergebnis. Grund dafür ist vor allem der Umweg über die Energie, um so einen Zusammenhang zwischen Masse und Trägheit herzustellen. Hier gilt es, entweder einen anderen Versuch zu konzipieren, der dieses Verhältnis direkter darstellt, oder den Versuch und das Arbeitsblatt dahingehend zu ändern, dass vom Begriff Energie kein Gebrauch gemacht werden muss.

Des Weiteren müsste die Untersuchung der Ergebnisse selbst geändert werden. Interviews sind mit so jungen SchülerInnen nicht die geeignete Methode gewesen, um die Unterrichtssequenz zu evaluieren. Es fällt ihnen noch schwer, sich auszudrücken, vor allem da die Trägheit für sie als ein eher abstrakter Begriff angesehen wird. Ein Fragebogen und eine wesentlich größere Stichprobe würden detailliertere und zuverlässigere Ergebnisse liefern. Da dies den zeitlichen Rahmen meiner Diplomarbeit sprengen würde, wäre eine Folgeuntersuchung mit einem speziell dafür entwickelten Fragebogen spannend und würde noch weitere Erkenntnisse liefern.

## Quellenverzeichnis

- Bacher, A. H. (2003): *Untersuchung und Vorschläge zum schülerorientierten Astrophysikunterricht an gymnasialen Oberstufen*, Innsbruck: Dissertation
- Fruböse, Christian (2010): *Der ungeliebte Physikunterricht. Ein Blick in die Fachliteratur und einige Anmerkungen aus der Praxis*, in: MNU 63/7, S. 388–392
- Jammer, Max (1981): *Der Begriff der Masse in der Physik*, Wissenschaftliche Buchgesellschaft Darmstadt
- Jung, Walter (1981): *Vorstellungen von Schülern über Begriffe der Newtonschen Mechanik: empirische Untersuchungen und Ansätze zu didaktisch – methodischen Folgerungen*, Didaktischer Dienst Franzbecker, Bad Salzdetfurth
- Merzyn, Gottfried (2009): *Polarisierender Physikunterricht*, in: Phys. Unserer Zeit 6/2009, Nr. 40, S. 312-313
- Möhlmann, Diedrich (1997): *Kometen: Himmelskörper aus den Anfängen des Sonnensystems*, Beck, München
- Müller, Wodzinski, Hopf (Hrsg.) (2011): *Schülervorstellungen in der Physik*, Aulis Verlag in der Stark Verlagsgesellschaft
- Reinders, Heinz (2016): *Qualitative Interviews mit Jugendlichen führen: Ein Leitfaden*, De Gruyter Oldenbourg, Berlin/Boston
- Kayser, Rainer: „Erste Ergebnisse der Mission Rosetta“, in: Internetseite welt der physik, 22.01.2015, URL: [www.weltderphysik.de/gebiet/universum/news/2015/erste-ergebnisse-der-rosetta-mission/](http://www.weltderphysik.de/gebiet/universum/news/2015/erste-ergebnisse-der-rosetta-mission/), Abruf am 08.04.2019
- Webseite des Bundesinstitut für Bildungsforschung, Innovation & Entwicklung des österreichischen Schulwesens (BIFIE): „Kompetenzmodell Naturwissenschaften 8. Schulstufe“, 10.2011, URL: [https://www.bifie.at/system/files/dl/bist\\_nawi\\_kompetenzmodell-8\\_2011-10-21.pdf](https://www.bifie.at/system/files/dl/bist_nawi_kompetenzmodell-8_2011-10-21.pdf), Abruf am 08.04.2019
- Webseite des bmbwf – Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung: „Allgemeiner Lehrplan Physik Unterstufe“, 06.04.2018, URL: [https://bildung.bmbwf.gv.at/schulen/unterricht/lp/ahs16\\_791.pdf?61ebzq](https://bildung.bmbwf.gv.at/schulen/unterricht/lp/ahs16_791.pdf?61ebzq), Abruf am 08.04.2019

- Webseite der european space agency: “Europe's Comet Chaser”, in: Internetseite esa, 16.01.2014, URL:  
[www.esa.int/Our\\_Activities/Space\\_Science/Rosetta/Europe\\_s\\_comet\\_chaser](http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta/Europe_s_comet_chaser), Abruf am 08.04.2019
- Webseite der european space agency: “#ROSETTAAREWETHEREYET – FABULOUS FABLES AND TALES OF TAILS”, in: Internetseite esa, 31.07.2014, URL:  
[http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/07/RosettaAreWeThereYet\\_Fabulous\\_fables\\_and\\_tales\\_of\\_tails/\(lang\)/de](http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/07/RosettaAreWeThereYet_Fabulous_fables_and_tales_of_tails/(lang)/de), Abruf am 14.08.2019
- Webseite des Jet Propulsion Laboratory: „Herschel Space Observatory”, in: Internetseite JPL, URL: <https://herschel.jpl.nasa.gov/solarSystem.shtml>, Abruf am 24.4.2019
- Winnenburg, Schirm, Springob (1998): Kometen-Astronomie. Überlegungen zur unterrichtlichen Genese, in: PdN-Ph. 3/47, S. 29-32

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Größenordnung der Oort'schen Wolke und des Sonnensystems .....	29
<i>Abbildung 1: Versuchsaufbau "Wagen mit Kugel" .....</i>	<i>38</i>
<i>Abbildung 2: Aufbau Versuch 1 .....</i>	<i>39</i>
<i>Abbildung 3: Wagen nach Stoß .....</i>	<i>40</i>
<i>Abbildung 4: Wagen vor Versuch .....</i>	<i>41</i>
<i>Abbildung 5: abrupter Stop des Wagens .....</i>	<i>41</i>
<i>Abbildung 6: Kugel rollt weiter .....</i>	<i>41</i>
<i>Abbildung 7: Becher mit Öffnung .....</i>	<i>43</i>
<i>Abbildung 8: Kugel in Kreisbewegung .....</i>	<i>44</i>
<i>Abbildung 9: Kugelbewegung beim Heben des Bechers .....</i>	<i>44</i>
<i>Abbildung 10: Kugelbewegung bei Becher mit Öffnung .....</i>	<i>45</i>
<i>Abbildung 11: Materialien Meteoriten-Versuch .....</i>	<i>47</i>
<i>Abbildung 12: Durchmesser des Kraters .....</i>	<i>48</i>

# **Anhang**

## **Anhang 1: Interview Leitfaden vor der Unterrichtssequenz**

1. Wie gefällt dir Biologie bis jetzt? (Allgemeines Interesse an NaWi)
2. Freust du dich schon auf Physik in der 2. Klasse? (Interesse an Physik)
3. Auf welches Thema in Physik freust du dich besonders?
4. Würde es dich interessieren wenn Astronomie im Unterricht vorkommt?
5. Weißt du was ein Komet ist?
6. Es gibt ein Thema in der 2. Klasse in Physik, das beschäftigt sich vor allem mit der Bewegung von Dingen. Welche Beispiele oder Experimente würdest du hier lieber lernen: Autos, Kometen oder etwas ganz anderes?

## Anhang 2: Transkription Interviews vor der Unterrichtssequenz

### Erzbischöfliches Gymnasium, 1. Klasse, S1 (weiblich):

- 1 I: Also ich habe jetzt die erste Schülerin aus der 1A da. Deine Eltern haben dir dass erlaubt ...
- 2 S1: Ja.
- 3 I: ... dass du das Interview machen darfst. Super, dann fangen wir gleich an. Du hast in der 1.
- 4 Klasse ja schon Biologie gehabt.
- 5 S1: Ja.
- 6 I: Wie gefällt dir das Fach bis jetzt?
- 7 S1: Gut.
- 8 I: Gefällt dir gut? Sehr gut. Freust du dich auch schon auf Physik in der 2. Klasse?
- 9 S1: Ja.
- 10 I: Auf welches Thema in Physik freust du dich denn besonders?
- 11 S1: Ich weiß nicht, ich tu gern experimentieren und darauf freu ich mich schon.
- 12 I: Ok. Und so als Thema, eher Elektrizität, oder etwas das in eine andere Richtung geht?
- 13 S1: Ja schon Elektrizität auch, aber ... (längere Pause) ja.
- 14 I: Also Hauptsache selber experimentieren.
- 15 S1: Ja.
- 16 I: Ok, super. Es gibt auch ein Thema, das heißt Astronomie, da geht's eben um Sterne und um
- 17 das Weltall und so. Würde dich das interessieren, wenn das auch im Unterricht vorkommt?
- 18 S1: Ja, schon.
- 19 I: Ja? Ok, super. Weißt du, was ein Komet ist?
- 20 S1: Nicht so ganz.
- 21 I: Nur so ungefähr, was glaubst du könnte das sein?
- 22 S1: Also ein Komet ist glaub ich irgendwas im Weltall und ... ja.
- 23 I: Genau, das ist eh gar nicht so falsch. Es gibt ein Thema in der 2. Klasse in Physik, das
- 24 beschäftigt sich v.a. mit der Bewegung von Dingen, und den Kräften, und so weiter. Da gibt es
- 25 auch Beispiele und auch Experimente die man dann macht und was würd dich da eher
- 26 interessieren, wenn es in diesen Experimenten eher um Autos und sowas geht, was auf der Erde
- 27 ist, eher um Kometen oder irgendwas aus dem Weltraum oder wenn es um etwas ganz anderes
- 28 geht, wie Bälle oder etwas ganz anderes?
- 29 S1: Ähm, ja, also das im Weltall würd mich schon interessieren ... mich interessiert eigentlich alles.



- 30 I: Ok, es wäre dir quasi egal welches ...
- 31 S1: Ja.
- 32 I: Ok, super. Ja, dann bin ich eh schon wieder fertig.
- 33 S1: Ok.
- 34 I: Super, danke sehr.

### **Erzbischöfliches Gymnasium, 1. Klasse, S2 (männlich):**

- 1 I: Zur ersten Frage. Du hast ja jetzt in der 1. Klasse schon Biologie gehabt, wie hat dir das bisher  
2 gefallen, das Fach?
- 3 S2: Sehr gut.
- 4 I: Hats dir gut gefallen? Mhm, super. Freust du dich auch schon auf Physik in der 2. Klasse?
- 5 S2: Ja.
- 6 I: OK. Welches Thema in Physik würde dich denn am meisten interessieren, auf was freust du  
7 dich denn da besonders?
- 8 S2: (Zuckt mit den Schultern.)
- 9 I: Ganz egal? Oder ... ich geb dir ein paar Vorschläge, also zum Beispiel Elektrizität ist ein Thema,  
10 oder Wärme, oder Bewegungen, Bewegung von Dingen. Gibt es da irgendwas wo du sagst...
- 11 S2: Ja, Elektrizität.
- 12 I: Ja? Ok, es gibt auch ein Thema, das heißt Astronomie, ...
- 13 S2: Ja.
- 14 I: Da geht es um Sachen im Weltraum und so, ähm, würde dich das auch interessieren, wenn das  
15 im Unterricht vorkommen würde?
- 16 S2: Ja.
- 17 I: OK. Weißt du, was ein Komet ist?
- 18 S2: (überlegt) Nicht so.
- 19 I: Was könntest du dir nur darunter vorstellen, was das sein könnte, vielleicht hast du das  
20 irgendwo schon ... ist das wo vorgekommen irgendwo, hast du es schon mal gehört?
- 21 S2: Ja...
- 22 I: Was glaubst denn was das ist.
- 23 S2: Da ist sehr viel Eisen drin, oder? Sehr viel Metall, oder?
- 24 I: Mhm, ja. Und wo kommt das vor, wirklich, du kannst irgendwas sagen, ist ganz egal, das is  
25 keine Prüfung.

26 S2: Im Weltall?

27 I: Mhm, genau. Aus dem Weltall, es ist auch ein Objekt im Weltall, was sich auch einfach durchs  
28 Weltall bewegt, und auch durch unser Sonnensystem. Es gibt, in der 2. Klasse, in Physik ein  
29 Thema, das ist relativ am Anfang, da geht's vor allem um die Bewegung von Dingen, das man  
30 eine Kraft verursacht, die verursacht eine Bewegung und wie die Bewegung weiterläuft. Und da  
31 gibt es immer unterschiedliche Beispiele oder Experimente, die man dazu macht. Was würde dich  
32 da eher interessieren für Experimente, dass du das eher anhand von zum Beispiel Autos lernst,  
33 anhand von Kometen, oder anhand von irgendetwas ganz anderen?

34 S2: Von Autos.

35 I: Autos würde dich am ehesten interessieren. Ok, das war es dann wieder, super, danke sehr!

### **Erzbischöfliches Gymnasium, 1. Klasse, S3 (weiblich):**

1 I: Ok, dann gleich mal zur ersten Frage: Du hast ja jetzt schon Biologie gehabt in der ersten und  
2 wie hat dir das bisher gefallen?

3 S3: Eh gut.

4 I: Gefällt dir gut? Super. In der 2. Klasse kommt jetzt Physik auch dazu, freust du dich da schon  
5 drauf?

6 S3: Ja.

7 I: Ja? Ok, sehr gut. Auf welches Thema in Physik freust du dich denn da besonders, was würd  
8 dich denn am meisten interessieren?

9 S3: Naja, wenn wir was ausprobieren, oder ja halt, verschiedene Sachen ausprobieren.

10 I: Also Experimente selber machen, das würde dir taugen

11 S3: Ja.

12 I: Ok. Würde es dich interessieren wenn auch Astronomie vorkommen würde als  
13 Unterrichtsthema, also eben Sachen aus dem Weltraum oder so?

14 S3: Mhm, ja.

15 I: Würde dir auch taugen? Ok. Es gibt in der Astronomie etwas, das nennt sich ein Komet, weißt  
16 du was das ist vielleicht?

17 S3: Sowas wie ein Planet, irgendsowas?

18 I: Mhm, ähnlich. Also viel viel kleiner, ja, bewegt sich aber auch durch das Sonnensystem,  
19 meistens um die Sonne, aber es braucht sehr lang. Kann man manchmal auch mit dem Teleskop  
20 sehen. Ja, dann letzte Frage: Es gibt in der 2. Klasse in Physik relativ am Anfang ein Thema, das  
21 beschäftigt sich vor allem mit der Bewegung von Dingen, ja, also man verursacht eine Kraft und  
22 dann bewegt sich etwas weiter. Und, ähm, da gibt es dann auch Experimente dazu und welche  
23 Experimente oder auch Beispiele würdest du da lieber lernen, wenn es da eher um zum Beispiel  
24 Autos geht, oder wenns um Kometen geht oder vielleicht um was ganz was anderes?

- 25 S3: Naja, über Autos tät ich das auch gern, oder auch über Kometen, eigentlich beides.
- 26 I: Ok, würde dich beides da interessieren?
- 27 S3: Ja.
- 28 I: Ok, super, das wars dann auch schon.

### **Erzbischöfliches Gymnasium, 1. Klasse, S4 (männlich):**

- 1 I: Dann mal gleich zur ersten Frage. Du hast jetzt Biologie schon gehabt in der 1. Klasse, wie  
2 gefällt dir denn das bis jetzt, das Fach?
- 3 S4: Ja, eigentlich recht gut.
- 4 I: Ok, sehr gut. In der zweiten Klasse habt ihr dann Physik, wie schauts da aus, freust du dich  
5 schon drauf, oder eher nicht?
- 6 S4: Ziemlich freue ich mich schon drauf.
- 7 I: Ok, super. Auf welches Thema in der Physik freust du dich denn da besonders?
- 8 S4: Aufs Weltall... besonders.
- 9 I: Aufs Weltall sogar? Ok, sehr gut, das wäre nämlich meine nächste Frage gewesen. Das heißt  
10 Astronomie, wenn das im Unterricht vorkommt, das würde dir besonders taugen?
- 11 S4: Genau.
- 12 I: Ok, sehr gut. Weißt du auch, was ein Komet ist?
- 13 S4: Das ist ein Stein, der aus dem Weltall ist?
- 14 I: Mhm, genau, so ähnlich ist das. Der sich auch wirklich im Weltall herum bewegt, der um die  
15 Sonne kreist und so. Es gibt in der 2. Klasse in Physik, das ist relativ am Anfang, ein Thema, das  
16 beschäftigt sich vor allem mit der Bewegung von Dingen, also man verursacht eine Kraft und wie  
17 bewegt sich das dann weiter. Und da kann man mehrere Beispiele nehmen oder auch  
18 Experimente, wie würde es dich da eher interessieren, wenn es da Experimente gibt mit zum  
19 Beispiel Autos oder sowas, oder eben mit Kometen oder vielleicht mit etwas ganz anderem?
- 20 S4: Ja, ich würd mich für beides interessieren.
- 21 I: Beides? Auto und Kometen.
- 22 S4: Mhm.
- 23 I: Ok, super, das wars dann auch schon, danke!

### **BG/BRG, 2. Klasse, S5 (weiblich):**

- 1 I: So, jetzt hab ich die erste Schülerin da. Die erste Frage, wie gefällt dir Physik bis jetzt?
- 2 S5: Ich finds gut, weil man viele Experimente macht. Und ich finds auch generell ...  
3 interessant.
- 4 I: Ok, das heißt vor allem Experimente gefallen dir gut daran.
- 5 S5: Ja.
- 6 I: Ok. Gibt es auch was, das dir nicht so gut gefällt?
- 7 S5: Man muss halt viel lernen.
- 8 I: Viel Stoff, oder weil es schwierig ist?
- 9 S5: Es ist halt auch manchmal schwierig, schwer zu verstehen.
- 10 I: Und, ähm, wie würde es dir gefallen, wenn das Thema Astronomie im Unterricht vorkommen  
11 würde?
- 12 S5: Würde mir auch gut gefallen, weil es interessiert mich auch, so...
- 13 I: Auch wieder Thema Mechanik, eben wie gesagt, da geht es um Bewegungen und auch um  
14 Kräfte und so weiter. Da gibt es eben diese zwei Begriffe Trägheit und auch Kraft oder Kräfte  
15 andererseits. An welchen Beispielen habt ihr das gelernt, hat euch euer Professor das  
16 beigebracht oder welche Beispiele hat er genannt.
- 17 S5: Also er hat uns, also bei Kräfte hat er uns gesagt, das äh, das man, hat er uns an  
18 Alltagsbeispielen beigebracht. Wie zum Beispiel, ja ...
- 19 I: Was wären das für Alltagsbeispiele? Was würde dir einfallen?
- 20 S5: Ähm, wenn jetzt ein Auto anfängt zu fahren, oder man einen Sessel hochhebt ...
- 21 I: Bei einem Auto, was merkt man da, wenn ein Auto wegfährt?
- 22 S5: Es wird immer schneller.
- 23 I: Und spürt man das auch Innen?
- 24 S5: Ja ...
- 25 I: Ok. Hast du dich bei dem Thema, Mechanik jetzt, hast du dich da ausgekannt im Unterricht?
- 26 S5: Nicht wirklich. Ich fands ein bisschen schwerer als die anderen ...
- 27 I: Also ein bisschen schwieriger nachzuvollziehen?
- 28 S5: Ja.
- 29 I: Im Allgemeinen Mechanik, was weißt du da noch drüber, was kannst du noch so darüber  
30 erzählen?
- 31 S5: Ich kann mich da nicht mehr so gut daran erinnern, weil ... wir haben das nicht so genau  
32 durchgemacht glaub ich.
- 33 I: OK, also eher nur kurz?

34 S5: Ja.

35 I: Und ... weißt du, was ein Komet ist?

36 S5: Ich glaub das ist so ein Stein, der im Weltall herumfliegt?

37 I: Genau, richtig. Wie würde es dir gefallen, oder hätte es dir gefallen, wenn am Anfang der 2.

38 Klasse, anstatt dass du zum Beispiel Auto als Beispiel hast, wenn du anhand von Kometen über

39 Kräfte und Trägheit erfahren hättest?

40 S5: Das würde mir auch gut gefallen.

41 I: „Glaubst du, dass du das auch besser verstanden hättest vielleicht?“

42 S5: Ja, kann ich mir vorstellen.

43 I: Ok, passt, dann danke sehr.

## **BG/BRG, 2. Klasse, S6 (männlich):**

1 I: So, ok, also jetzt halte ich ein Interview mit einem 2. Klasse Schüler, und ja, [Name des  
2 Schülers], wie gefällt dir Physik bis jetzt, das Fach?

3 S6: Physik bis jetzt gefällt mir sehr gut, nur das einzige was mir nicht gefällt ist das man sehr viel  
4 lernen muss.

5 I: OK, und ähm, was gefällt dir von den Themen gut und was weniger gut, von dem was ihr  
6 gemacht habt?

7 S6: Also, ähm, die Erdanziehungskraft, das Gebiet hat mich sehr gut interessiert, und auch, ähm  
8 ... ja das war eigentlich das einzige, was mich wirklich sehr interessiert hat.

9 I: Ok, also alles andere weniger.

10 S6: Ja, also nicht so.

11 I: Ok, und ähm, weißt du, was Astronomie ist?

12 S6: Äh, ja da geht's um den Weltraum und die äh, Raumfahrt.

13 I: Ja genau, super! Und, äh, wie würd's dir denn gefallen, wenn Astronomie auch im  
14 Regelunterricht vorkommen würde.

15 S6: Würde mir sehr gut gefallen.

16 I: Ja? Gut. Ähm, Thema Mechanik, habt's ihr schon gehabt, das war eben mit Bewegung und so  
17 weiter. Da gibt es ja zwei Begriffe, nämlich einerseits Trägheit und andererseits Kraft. An welchem  
18 Beispielen habt ihr das gelernt, diese Begriffe?

19 S6: Also wir ham's mal gemacht mit einem Sessel ... (längere Pause).

20 I: Und hat euch da eurer Lehrer Beispiele aus dem Alltag gebracht, wo man das ...

21 S6: Ja, aus dem Alltag.

22 I: Was hat er da für Beispiele genannt?

23 S6: Wenn man etwas tragt ...

24 I: Ok, oder habt ihr auch Versuche gemacht ... dazu.

25 S6: Ich weiß es nicht ...

26 I: Na gut, macht nichts. Prinzipiell das Thema Mechanik, vor allem Kraft und Trägheit und so, hast  
27 du dich da im Unterricht ausgekannt, oder das Thema verstanden?

28 S6: Nein...

29 I: War eher schwerer zu verstehen? Ok. Ganz Allgemein das Thema Mechanik, an was kannst du  
30 dich denn noch erinnern, ungefähr, um was ist es da gegangen? Alles was du noch weißt kannst  
31 du mir erzählen.

32 S6: Ich weiß gar nicht mehr, was wir in Mechanik gemacht haben. Das haben wir gar nicht genau  
33 durchgemacht, glaub ich.

34 I: Na, alles was irgendwie mit Kraft, oder Bewegung zu tun hatte. Geschwindigkeit,  
35 Beschleunigung, ....

36 S6: Reibung zum Beispiel, das haben wir gemacht. Da haben wir einen Sessel geschoben am  
37 Boden ... und halt, wie der stehen bleibt. Und, ähm, wenn man kräftiger schiebt, dass er auch  
38 länger rutscht. Und dann ham wir auch durchbesprochen, Gegenstände aus dem Alltag. Also  
39 wenn jetzt ein Auto am Asphalt fährt und die verschiedenen Reibungen halt.

40 I: Ok, also bei Reibung und so, hast du dich sehr gut ausgekannt?

41 S6: „Mhm.

42 I: Ok, super. Wie würde es dir gefallen, wenn man ... oder ich frag anders: Weißt du, was ein  
43 Komet ist?

44 S6: Äh, ... pfuuh.

45 I: Ok, dann sag ich dir das ganz kurz: Das ist eben, beim Thema Astronomie, also Weltall, da gibt  
46 es eben auch Objekte, die sind viel kleiner als Planeten, die sind nur ein paar Kilometer groß.  
47 Und, ähm, das sind auch so Gesteinsbrocken kann man sagen, die schwirren auch im All herum  
48 und umkreisen meistens die Sonne, aber halt viel weiter. Und das ist eben ein Komet. Wie würde  
49 es dir gefallen, wenn du in, also wenn du in der 2. Klasse im Herbst nicht also Kräfte und Trägheit  
50 so wie ihr es gemacht habts, gelernt hättest, sondern wenn du es am Beispiel von Kometen, äh,  
51 lernen würdest.

52 S6: Ja, äh, das würde mir gut gefallen. Weil mir überhaupt der Weltraum, weil mir das Thema gut  
53 gefällt.

54 I: Mhm, ok, passt, danke, das wars dann auch schon!

## **BG/BRG, 2. Klasse, S7 (weiblich):**

- 1 I: So, jetzt hab ich die zweite Schülerin da. Auch die selbe Frage, wie gefällt dir Physik bis jetzt?
- 2 S7: Ich finds auch gut, weil man viele Experimente macht. Und ich finds auch generell ...
- 3 interessant.
- 4 I: Ok, das heißt vor allem Experimente gefallen dir gut daran.
- 5 S7: Ja.
- 6 I: Ok. Gibt es auch was, das dir nicht so gut gefällt?
- 7 S7: Man muss halt viel lernen.
- 8 I: Viel Stoff, oder weil es schwierig ist?
- 9 S7: Es ist halt auch manchmal schwierig, schwer zu verstehen.
- 10 I: Und, ähm, wie würde es dir gefallen, wenn das Thema Astronomie im Unterricht vorkommen
- 11 würde?
- 12 S7: Würde mir auch gut gefallen, weil es interessiert mich auch, so...
- 13 I: Auch wieder Thema Mechanik, eben wie gesagt, da geht es um Bewegungen und auch um
- 14 Kräfte und so weiter. Da gibt es eben diese zwei Begriffe Trägheit und auch Kraft oder Kräfte
- 15 andererseits. An welchen Beispielen habt ihr das gelernt, hat euch euer Professor das
- 16 beigebracht oder welche Beispiele hat er genannt.
- 17 S7: Also er hat uns, also bei Kräfte hat er uns gesagt, das äh, das man, hat er uns an
- 18 Alltagsbeispielen beigebracht. Wie zum Beispiel, ja ...
- 19 I: Was wären das für Alltagsbeispiele? Was würde dir einfallen?
- 20 S7: Ähm, wenn jetzt ein Auto anfängt zu fahren, oder man einen Sessel hochhebt ...
- 21 I: Bei einem Auto, was merkt man da, wenn ein Auto wegfährt?
- 22 S7: Es wird immer schneller.
- 23 I: Und spürt man das auch Innen?
- 24 S7: Ja ...
- 25 I: Ok. Hast du dich bei dem Thema, Mechanik jetzt, hast du dich da ausgekannt im Unterricht?
- 26 S7: Nicht wirklich. Ich fands ein bisschen schwerer als die anderen ...
- 27 I: Also ein bisschen schwieriger nachzuvollziehen?
- 28 S7: Ja.
- 29 I: Im Allgemeinen Mechanik, was weißt du da noch drüber, was kannst du noch so darüber
- 30 erzählen?
- 31 S7: Ich kann mich da nicht mehr so gut daran erinnern, weil ... wir haben das nicht so genau
- 32 durchgemacht glaub ich.

33 I: OK, also eher nur kurz?

34 S7: Ja.

35 I: Und ... weißt du, was ein Komet ist?

36 S7: Ich glaub das ist so ein Stein, der im Weltall herumfliegt?

37 I: Genau, richtig. Wie würde es dir gefallen, oder hätte es dir gefallen, wenn am Anfang der 2.

38 Klasse, anstatt dass du zum Beispiel Auto als Beispiel hast, wenn du anhand von Kometen über

39 Kräfte und Trägheit erfahren hättest?

40 S7: Das würde mir auch gut gefallen.

41 I: „Glaubst du, dass du das auch besser verstanden hättest vielleicht?“

42 S7: Ja, kann ich mir vorstellen.

43 I: Ok, passt, dann danke sehr.

## **BG/BRG, 2. Klasse, S8 (männlich):**

1 I: Ich habe jetzt wieder einen 2. Klasse Schüler, den ich interviewe. So, wie gefällt dir Physik bis  
2 jetzt?

3 S8: Gut.

4 I: Ja? Was gefällt dir daran gut, was vielleicht weniger gut?

5 S8: Die Experimente gefallen mir ... und weniger das ganze schreiben.

6 I: Ok. Wie würde es dir gefallen, wenn Astronomie vorkommen würde, beziehungsweise, weißt du,  
7 was Astronomie ist?

8 S8: Nur das im Weltall ...

9 I: Ok, dann helfe ich dir kurz. Astronomie, da geht es um das Weltall kann man sagen, also Erde,

10 Planeten, andere Galaxien und so ... alles was im Weltall passiert. Und würde dich das

11 interessieren, wenn das Thema vorkommen würde im Unterricht?

12 S8: Ja.

13 I: Beim Thema Mechanik ... weißt du noch, was für ein Thema das war?

14 S8: (unsicher und leise) Nein ... ?

15 I: Versuche noch ein bisschen lauter zu reden, dass das Aufnahmegerät dich hört.

16 S8: (lauter) Nein!

17 I: Bei Mechanik geht es um Kräfte zum Beispiel und Bewegungen, das heißt Dinge die sich

18 bewegen verursachen eine Kraft und so weiter. Das habt ihr schon gemacht, oder, Thema Kraft?

19 S8: Ja?



20 I: Da gibt es auch zwei Begriffe, Trägheit und Kräfte. Und wie habt ihr das gelernt, also welche  
21 Beispiele hat euer Professor genannt oder welche Versuche habt ihr da gemacht?

22 S8: Mhm... (überlegt länger) Trampolin. Trampolin hatten wir so auf einen Zettel gehabt, da haben  
23 wir gezeichnet wie ein Maxerl hüpf, da haben wir gesehen die Trägheit.

24 I: Ok, und Kräfte?

25 S8: Da hat er uns bei einem Auto, ein Spielauto gezeigt, das hat er runterfallen lassen. Ich glaub  
26 das war die Schwerkraft.

27 I: Hast du dich bei diesen Themen, bei diesen zwei, hast du dich da ausgekannt? Hast du das  
28 Thema verstanden?

29 S8: Ja, also .... ja, glaub schon.

30 I: Schon? Ok. Was weißt du noch über das Thema Mechanik, was kannst du noch erzählen über  
31 dieses Thema?

32 S8: (längere Pause) Nur über Kräfte und die Trägheit.

33 I: Was anderes derweil nicht mehr? Ok. Wenn jetzt, anstatt von Auto oder Trampolin, wenn du  
34 jetzt stattdessen am Beispiel von Kometen über die Trägheit gelernt hättest, oder über Kräfte im  
35 Allgemeinen, wie hätte dir das gefallen?

36 S8: Besser.

37 I: Besser? Glaubst du, dass du es auch besser verstanden hättest?

38 S8: Das weiß ich nicht.

39 I: Aber es hätte dich mehr interessiert?

40 S8: Ja.

41 I: Ok, passt danke. Das war es auch schon.

### **Anhang 3: Interview Leitfaden nach der Unterrichtssequenz**

1. Ihr habt jetzt zum ersten Mal über Kometen erfahren. Könnt ihr mir erklären, was ein Komet ist?
  2. Warum bewegt sich ein Komet um die Sonne?
  3. Warum wird er nicht abgebremst oder fliegt in die Sonne hinein?
  4. Wie würde sich ein Komet bewegen wenn er nicht im Gravitationsfeld von der Sonne liegen würde?
  5. Warum macht ein Komet einen Krater?
  6. Wovon hängt die Größe des Kraters ab?
  7. Kannst du mir erklären, was der Begriff „Trägheit“ bedeutet?
- 
8. *Von 1 bis 5, wie gut hat euch die Stunde gefallen und warum?*
  9. *Von 1 bis 5, wie gut glaubt ihr habt ihr die Stunde verstanden und warum?*

## **Anhang 4: Transkription Interviews nach der Unterrichtssequenz**

### **Erzbischöfliches Gymnasium, 2. Klasse, S1 (weiblich):**

1 I: So, du hast jetzt zum ersten Mal über Kometen erfahren. Kannst du mir vielleicht  
2 erklären, was ein Komet ist?

3 S1: Also, es ist ein Gesteinsbrocken, der auf die Erde zurast...

4 I: Kannst du dich erinnern, woher er zum Beispiel hergekommen ist, der Komet?

5 Woher kommen die?

(lange Pause)

6 I: Weißt du vielleicht noch von wo, kannst du dich da noch daran erinnern?

(lange Pause)

7 I: Ok, aber macht ja nichts. Na gut. Warum bewegt sich ein Komet um die Sonne,

8 Kannst du dich da noch erinnern?

9 S1: Weil die Sonne so eine Art Anziehungskraft hat, und ... äh...

10 I: Genau, einerseits die Anziehungskraft der Sonne. Wird der Komet gebremst im

11 Weltall?

(lange Pause)

12 I: Erinnerung dich: Wie gesagt, es geht um die Trägheit. Das war das Oberkapitel. Was

13 bedeutet denn Trägheit?

(lange Pause)

14 I: Das ist alles schon sehr lang her, gell? Da waren die Weihnachtsferien dazwischen

15 leider. Ok, ich helfe dir ein bisschen auf die Sprünge. Also, im Weltall, da gibt es ja

16 keine Luft, somit auch keinen Luftwiderstand. Und der Komet ist einmal in Bewegung

17 gesetzt worden, da hat er auch eine Geschwindigkeit gehabt. Das heißt, wenn du dich

18 an den Versuch mit dem Auto erinnert: Das Auto bewegt sich, und die Kugel oben hat

19 sich auch mitbewegt. Dann ist das Auto abgebremst worden ... und die Kugel?

20 S1: Die Kugel ... ist.... Also das Auto ist halt weggefahren und die Kugel ist aber

21 dort liegengeblieben. Die ist runtergerollt und ist aber auf dem selben Punkt wo das

22 Auto war ist sie liegen geblieben.

23 I: Genau, das war der eine Versuch. Und beim zweiten Versuch hab ich den Wagen  
24 dann bewegt, äh, mit der Kugel gemeinsam, langsam, und hab den Wagen gegen so  
25 eine Barriere fahren lassen und da ist der Wagen abrupt stehen geblieben. Und wie hat  
26 sich die Kugel dann bewegt?

27 S1: Sie hat sich, also, sie ist weiter gerollt.

28 I: Genau, sie ist weitergerollt. Und beim Komet war es genau das selbe. Er wurde  
29 quasi einmal angestoßen, und bewegt sich seitdem weiter und er wird nicht  
30 abgebremst im Weltall. Ähm, ... (kurze Pause) und dann eben die Frage: Du hast  
31 schon gesagt, auf Grund von der Sonne, ähm, bewegt er sich, er wird angezogen und  
32 macht dann auch eine Bewegung um die Sonne. Wenn jetzt die Sonne auf einmal nicht  
33 da wäre, wie würde sich da der Komet weiter bewegen?

(lange Pause)

34 I: Mit der Sonne macht er eine ellipsenförmige Bewegung um die Sonne, und wenn  
35 die Sonne weg ist ... ?

36 S1: Dann bleibt er stehen? ... Also, nein ich glaub, er bewegt sich noch immer im  
37 Kreis, halt. Das haben wir mit dem Becher mit der Kugel gemacht, oder?

38 I: Genau, da gab es ja den Versuch mit dem Becher mit der Kugel... da hab ich den  
39 Becher dann in die Höhe gehoben, und wie hat sich die Kugel weiter bewegt?

40 S1: Wo der Becher halt aufgehört hat zu drehen, ist die Kugel in die Richtung gerollt.

41 I: Kreisförmig? Hat sie sich kreisförmig bewegt oder ist sie grad weiter gerollt?

42 S1: Also, sie ist in die Richtung, in die man den Becher gedreht hat, ist sie auch ...  
43 Also gerade.

44 I: Genau, gerade ... das heißt der Komet würde auch sich gerade weiter bewegen.  
45 Ähm, ... genau: Warum macht ein Komet eigentlich einen Krater, wenn er zum  
46 Beispiel gegen die Erde fliegen würde? (kurze Pause) Warum ist das so?

47 S1: Weil er mit so einer schnellen Geschwindigkeit auf die Erde ... ähm, wenn er  
48 einschlägt, dass halt alles so ... sich entfernt. So wie so ein Loch ... im Boden.

49 I: Genau. Und warum macht er das, warum ... ich weiß nicht, warum ist da überhaupt  
50 ein Loch, wenn der Komet daherkommt und dann auf einmal abgebremst wird von der  
51 Erde?

52 S1: Weil er so schwer ist, kommt so ein Loch halt, irgendwie, in die Erde.

53 I: Genau. Und wovon hängt das ab, die Größe vom Krater? Oder ist der immer gleich

54 groß?

(Lange Pause)

55 I: Denk an die Versuche letzte Woche. Da waren ja die Krater unterschiedlich groß,  
56 wo ihr die Kugeln in Salz fallen habt lassen. Von was hat das denn abgehängt?

(längere Pause)

57 S1: Also, desto höher der ... ähm, Kugel, oder der, ähm .... Ja ist, desto größer, desto  
58 größeres Loch entsteht dann. Also, ja....

59 I: Genau, weil ja die Kugel, wenn sie von weiter oben, ähm, runter fliegt, was  
60 verändert sich dann bei der Kugel, also je höher die Kugel fallen gelassen wird ...

61 S1: Das Loch im Boden wird halt immer tiefer.

62 I: Genau, aber die Kugel selber, wenn ... wenn sie jetzt von weiter oben fallen  
63 gelassen wird, sie fliegt ja dann runter. In dem Moment, wo sie dann am Salz auftrifft,  
64 was war denn da noch einmal? Ist sie da zum Beispiel ... naja, die Masse wird da ja  
65 gleich sein von der Kugel, ähm, wie ist das mit der Geschwindigkeit? Wisst ihr das  
66 noch? (Pause) Naja, die Kugel wird schneller wenn sie runter fliegt. Wenn sie von  
67 weiter oben runter fliegt, dann hat sie dann eine größere Geschwindigkeit beim  
68 Aufprall, als wenn man sie nur von ganz kurz oben fliegen lasst, also bei 30 cm zum  
69 Beispiel war sie viel schneller als bei 10 cm Höhe. Ja, also das war, der Grund, also  
70 das war, warum der Krater größer war. Weil die Kugeln schneller daher kommen ...  
71 und beim Kometen dann natürlich auch. Ähm, hängt es auch von der Größe ab, wenn  
72 der Komet größer ist, also auch mehr Masse hat?

73 S1: Ja, dann wird das Loch weiter, weil ... ja.

74 I: Richtig, ja. Das heißt das war auch wieder bei den Versuchen, größere Masse –  
75 schwerere Kugel – da habt ihr auch einen größeren Krater gehabt. So, dann nochmal  
76 zu guter Letzt: Kannst du mir erklären, was der Begriff Trägheit bedeutet, was sagt der  
77 aus?

78 S1: Haben wir das vor den Weihnachtsferien... ?

79 I: Auch, ja das haben wir auch vor den Weihnachtsferien, und auch ein bissl letzte  
80 Stunde gemacht. Also, ein Volksschüler fragt dich: ‚Was heißt eigentlich Trägheit?‘  
81 Was würdest du dem erklären? Oder sagen? Oder was wären Beispiele für Trägheit?  
82 (kurze Pause)

83 Nein? Na ok, macht ja nix, das Problem war ja wirklich das es so lang  
84 her war. Weil sonst mach ich die Stunden direkt hintereinander, dann war ich krank,  
85 dann ist es ausgefallen, dann waren Weihnachtsferien. Also da kannst du gar nichts

86 dafür. Ok, ich frag dich das trotzdem, ja: Du kannst da ruhig ehrlich sein, ähm, aber  
87 ich geb zu es ist nicht ganz so verlässlich weil einfach die Stunden sehr stark  
88 aufgesplittet waren. Ähm, von, also, du musst jetzt eine Note 1 bis 5 geben. 1 ist ein  
89 Sehr gut, 5 ist ein Nicht Genügend. Diese Stunden, wo es nur um Kometen ging und  
90 um den Wagen mit den Kugeln und das Reinwerfen in den Sand, also genau diese  
91 Stunden. Wie gut hat die dir gefallen, wenn du eine Note geben müsstet. Von 1  
92 bis 5 ... ganz ehrlich.

93 S1: Also bei mir war das mit der Kugel in den Sand werfen, also das war so ne 2,  
94 weil, also ich find Experimente eigentlich ganz gut.

95 I: Und wie gut glaubst du, hast du die Stunden verstanden oder nicht verstanden und  
96 warum denkst du das?

97 S1: Ja also ich würd mir eine 1 geben, weil ichs eigentlich gut verstanden hab.

### **Erzbischöfliches Gymnasium, 2. Klasse, S2 (männlich):**

1 I: Ok, also ich interviewe jetzt den [Name des Schülers] aus der 2A. Du hast jetzt zum  
2 ersten Mal über Kometen was gehört, kannst du mir vielleicht erklären, was ein Komet  
3 ist?

4 S2: Das ist ein Gesteinsbrocken, der mit sehr hoher Geschwindigkeit und ohne  
5 abzubremesen durch das All fliegt.

6 I: Mhm. Wo kommt ein Komet her, wo ist da der Ursprung?

7 S2: Von einem Planeten der vielleicht mit einem anderen zusammengestoßen ist?

8 I: Mhm. Wie würdest du einen Kometen sonst noch beschreiben?

9 S2: Ähm, also er hat eine Umlauf ... also er kann von einer Umlaufbahn aufgehalten  
10 werden. Da wird er sich immer drum herum drehen.

11 I: Ok. Passt. Warum bewegt sich der Komet um die Sonne?

12 S2: Weil er anziehen wird, also, er hat eine Umlaufbahn nachher.

13 I: Ok, super, richtig. Diese Umlaufbahn, nimmt die irgendwann einmal ab? Wird der  
14 langsamer, der Komet?

15 S2: Nein, nur wenn er aufgehalten wird, also von einem anderen Gesteinsbrocken.

16 I: Super, genau. Und, ähm, warum fliegt er nicht in die Sonne hinein?

17 S2: Weil ... (Pause) weil er immer weiter geradeaus will, aber er wird daran gehindert.

18 I: Ok, super. Und, ähm, aja, genau, wenn jetzt auf einmal die Sonne auf einmal weg  
19 wäre, also es würde keine Anziehungskraft von der Sonne geben, wie würde sich da  
20 der Komet weiter bewegen.

21 S2: Na er würde einfach grad aus weiterbewegen.

22 I: Super ... auch richtig. Eine der letzten Fragen: wenn ein Komet auf irgendeinem

23 Planeten fliegt, zum Beispiel die Erde, dann verursacht er ja einen Krater. Warum ist  
24 denn das so?

25 S2: Wegen dem Druck, weil ja das auch ausströmt ... wegen der Geschwindigkeit.

26 I: Genau, das wäre schon meine nächste Frage, ähm: Die Größe von einem Krater ist  
27 ja immer unterschiedlich, von was hängt das denn ab?

28 S2: Vom Gewicht... und der Geschwindigkeit.

29 I: Super, perfekt. Das hast du dir gut gemerkt. Nun zu guter Letzt: Kannst du mir  
30 erklären, was Trägheit bedeutet? Also sagen wir ein Volksschüler würde fragen: ‚Was  
31 ist denn Trägheit eigentlich?‘ Wie würdest du das erklären?

32 (längere Pause)

33 I: Na probier es. Was könnte das denn bedeuten, wenn ein Körper träge ist?

34 S2: Na das, wenn sich eine Masse bewegt, und dann von irgend etwas abgestoppt  
35 wird, dass sie sich eigentlich weiter bewegen würd. Also wenn man in einem Auto  
36 drin sitzen würde, und das Auto bremst ganz schnell, dann möchte dein Körper halt  
37 weiter ... und deshalb gibt es ja auch den Gurt.

38 I: Super, sehr gut.

39 S2: Und würde es den Gurt nicht geben, dann würde man einfach gegen die  
40 Windschutzscheibe...

41 I: Genau. Und, ähm, wenn ein Körper jetzt noch gar nicht in Bewegung ist, wenn er  
42 irgendwo in Ruhe ist, wie ist es da?

43 S2: Nachher will er eigentlich so bleiben, also ... beim Sitz, da wird man ja dran  
44 gehindert und bei einer Kugel, die rollt einfach, die rollt einmal ... die bleibt aber  
45 eigentlich auf der gleichen Stelle.

46 I: Super, sehr gut. Dann nur noch 2 ganz schnelle Fragen: Wenn du diesen Stunden  
47 jetzt, wo es eben um Kometen und Trägheit und so ging, eine Note geben würdest,  
48 also von 1 – Sehr gut – bis 5 – Nicht Gut – also die Schulnoten, ähm, wie gut hat dir  
49 die Stunden gefallen und warum hat sie dir nicht gut, oder schon gut gefallen?

50 S2: Ich würde eine 1 geben, weil wir haben wirklich alles ausprobieren können, von  
51 den verschiedenen Höhen und verschiedenen Massen ... und so, war echt toll.

52 I: Ok, sehr gut. Und wie gut glaubst du, hast du die Stunden verstanden oder nicht  
53 verstanden und warum denkst du das?

54 S2: Also ich hab die Stunde sehr gut verstanden, es gab auch ne Aufklärung, wieso das  
55 so ist, das ein Krater entsteht ... ja.

56 I: Also du würdest dir ne 1 geben?

57 S2: Ja.

### **Erzbischöfliches Gymnasium, 2. Klasse, S3 (weiblich):**

1 I: So, du hast jetzt zum ersten Mal über Kometen erfahren. Kannst du mir vielleicht  
2 erklären, was ein Komet ist?

3 S3: Also die fliegen halt so im Weltall herum und ...

4 I: Kannst du dich erinnern, woher er zum Beispiel hergekommen ist, der Komet?  
5 Woher kommen die?

6 S3: Vom Weltall, irgendwie...

7 I: Weißt du vielleicht noch von wo genau, kannst du dich da noch daran erinnern?

(lange Pause)

8 I: Ok, aber macht ja nichts. Na gut. Warum bewegt sich ein Komet um die Sonne,  
9 Kannst du dich da noch erinnern?

10 S1: Weil die Sonne so eine Art Anziehungskraft hat, und ... äh...

11 I: Genau, einerseits die Anziehungskraft der Sonne. Wird der Komet gebremst im  
12 Weltall?

13 S3: Eigentlich ... nicht, oder? Naja .... Schon.



14 I: Naja, ja oder nein, sag.

15 S3: Ja, er wird gebremst?

16 I: Ok, warum wird er gebremst werden, was glaubst du?

(längere Pause)

17 I: Erinnere dich: Wie gesagt, es geht um die Trägheit. Das war das Oberkapitel. Was  
18 bedeutet denn Trägheit?

(lange Pause)

19 I: Das ist alles schon sehr lang her, gell? Da waren die Weihnachtsferien dazwischen  
20 leider. Ok, ich helfe dir ein bisschen auf die Sprünge. Also, im Weltall, da gibt es ja  
21 keine Luft, somit auch keinen Luftwiderstand. Und der Komet ist einmal in Bewegung  
22 gesetzt worden, da hat er auch eine Geschwindigkeit gehabt. Das heißt, wenn du dich  
23 an den Versuch mit dem Auto erinnerst: Das Auto bewegt sich, und die Kugel oben hat  
24 sich auch mitbewegt. Dann ist das Auto abgebremst worden ... und die Kugel?

25 S2: Die Kugel ... ist.... Also das Auto ist halt weggefahren und die Kugel ist aber  
26 dort liegengeblieben. Die ist runtergerollt und ist aber auf dem selben Punkt wo das  
27 Auto war ist sie liegen geblieben.

28 I: Genau, das war der eine Versuch. Und beim zweiten Versuch hab ich den Wagen  
29 dann bewegt, äh, mit der Kugel gemeinsam, langsam, und hab den Wagen gegen so  
30 eine Barriere fahren lassen und da ist der Wagen abrupt stehen geblieben. Und wie hat  
31 sich die Kugel dann bewegt?

32 S1: Sie hat sich, also, sie ist weiter gerollt.

33 I: Genau, sie ist weitergerollt. Und beim Komet war es genau das selbe. Er wurde  
34 quasi einmal angestoßen, und bewegt sich seitdem weiter und er wird nicht  
35 abgebremst im Weltall. Ähm, ... (kurze Pause) und dann eben die Frage: Du hast  
36 schon gesagt, auf Grund von der Sonne, ähm, bewegt er sich, er wird angezogen und  
37 macht dann auch eine Bewegung um die Sonne. Wenn jetzt die Sonne auf einmal nicht  
38 da wäre, wie würde sich da der Komet weiter bewegen?

(lange Pause)

39 I: Mit der Sonne macht er eine ellipsenförmige Bewegung um die Sonne, und wenn  
40 die Sonne weg ist ... ?

41 S3: Dann bleibt er stehen? ... Also, nein ich glaub, er bewegt sich noch immer im

42 Kreis, halt. Das haben wir mit dem Becher mit der Kugel gemacht, oder?

43 I: Genau, da gab es ja den Versuch mit dem Becher mit der Kugel... da hab ich den  
44 Becher dann in die Höhe gehoben, und wie hat sich die Kugel weiter bewegt?

45 S3: Wo der Becher halt aufgehört hat zu drehen, ist die Kugel in die Richtung gerollt.

46 I: Kreisförmig? Hat sie sich kreisförmig bewegt oder ist sie grad weiter gerollt?

47 S3: Also, sie ist in die Richtung, in die man den Becher gedreht hat, ist sie auch ...  
48 Also gerade.

49 I: Genau, gerade ... das heißt der Komet würde auch sich gerade weiter bewegen.  
50 Ähm, ... genau: Warum macht ein Komet eigentlich einen Krater, wenn er zum  
51 Beispiel gegen die Erde fliegen würde? (kurze Pause) Warum ist das so?

52 S3: Weil er mit so einer schnellen Geschwindigkeit auf die Erde ... ähm, wenn er  
53 einschlägt, dass halt alles so ... sich entfernt. So wie so ein Loch ... im Boden.

54 I: Genau. Und warum macht er das, warum ... ich weiß nicht, warum ist da überhaupt  
55 ein Loch, wenn der Komet daherkommt und dann auf einmal abgebremst wird von der  
56 Erde?

57 S3: Weil er so schwer ist, kommt so ein Loch halt, irgendwie, in die Erde.

58 I: Genau. Und wovon hängt das ab, die Größe vom Krater? Oder ist der immer gleich  
59 groß?

(Lange Pause)

60 I: Denk an die Versuche letzte Woche. Da waren ja die Krater unterschiedlich groß,  
61 wo ihr die Kugeln in Salz fallen habt lassen. Von was hat das denn abgehängt?

(längere Pause)

62 S3: Also, desto höher der ... ähm, Kugel, oder der, ähm .... Ja ist, desto größer, desto  
63 größeres Loch entsteht dann. Also, ja....

64 I: Genau, weil ja die Kugel, wenn sie von weiter oben, ähm, runter fliegt, was  
65 verändert sich dann bei der Kugel, also je höher die Kugel fallen gelassen wird ...

66 S3: Das Loch im Boden wird halt immer tiefer.

67 I: Genau, aber die Kugel selber, wenn ... wenn sie jetzt von weiter oben fallen  
68 gelassen wird, sie fliegt ja dann runter. In dem Moment, wo sie dann am Salz auftrifft,

69 was war denn da noch einmal? Ist sie da zum Beispiel ... naja, die Masse wird da ja  
70 gleich sein von der Kugel, ähm, wie ist das mit der Geschwindigkeit? Wisst ihr das  
71 noch? (Pause) Naja, die Kugel wird schneller wenn sie runter fliegt. Wenn sie von  
72 weiter oben runter fliegt, dann hat sie dann eine größere Geschwindigkeit beim  
73 Aufprall, als wenn man sie nur von ganz kurz oben fliegen lasst, also bei 30 cm zum  
74 Beispiel war sie viel schneller als bei 10 cm Höhe. Ja, also das war, der Grund, also  
75 das war, warum der Krater größer war. Weil die Kugeln schneller daher kommen ...  
76 und beim Kometen dann natürlich auch. Ähm, hängt es auch von der Größe ab, wenn  
77 der Komet größer ist, also auch mehr Masse hat?

78 S3: Ja, dann wird das Loch weiter, weil ... ja.

79 I: Richtig, ja. Das heißt das war auch wieder bei den Versuchen, größere Masse –  
80 schwerere Kugel – da habt ihr auch einen größeren Krater gehabt. So, dann nochmal  
81 zu guter Letzt: Kannst du mir erklären, was der Begriff Trägheit bedeutet, was sagt der  
82 aus?

83 S3: Haben wir das vor den Weihnachtsferien... ?

84 I: Auch, ja das haben wir auch vor den Weihnachtsferien, und auch ein bissl letzte  
85 Stunde gemacht. Also, ein Volksschüler fragt dich: ‚Was heißt eigentlich Trägheit?‘  
86 Was würdest du dem erklären? Oder sagen? Oder was wären Beispiele für Trägheit?

(kurze Pause)

87 Nein? Na ok, macht ja nix, das Problem war ja wirklich das es so lang  
88 her war. Weil sonst mach ich die Stunden direkt hintereinander, dann war ich krank,  
89 dann ist es ausgefallen, dann waren Weihnachtsferien. Also da kannst du gar nichts  
90 dafür. Ok, ich frag dich das trotzdem, ja: Du kannst da ruhig ehrlich sein, ähm, aber  
91 ich geb zu es ist nicht ganz so verlässlich weil einfach die Stunden sehr stark  
92 aufgesplittet waren. Ähm, von, also, du musst jetzt eine Note Eins bis Fünf geben. Eins ist  
93 ein Sehr gut, Fünf ist ein Nicht Genügend. Diese Stunden, wo es nur um Kometen ging  
94 und um den Wagen mit den Kugeln und das Reinwerfen in den Sand, also genau diese  
95 Stunden. Wie gut hat die dir gefallen, wenn du eine Note geben müsstet. Von Eins  
96 bis Fünf ... ganz ehrlich.

97 S3: Also die letzte Stunde hat mir gut gefallen, mit dem Ausprobieren mit dem Kugeln  
98 in das Salz schmeißen. Das hat mir gut gefallen, das ist so eine Zwei. Und das mit dem  
99 Wagen und das mit der Kugel hat mir eigentlich auch gut gefallen, aber das ist so eine  
100 Drei.

101 I: Und wie gut glaubst du, hast du die Stunden verstanden oder nicht verstanden und  
102 warum denkst du das?

103 S3: Ja ich habs gut verstanden.

104 I: Also eine Zwei oder eine Eins?

105 S3: Eine Eins, ja.

### **Erzbischöfliches Gymnasium, S4 (männlich):**

1 I: Ok, also ich interviewe jetzt den nächsten Burschen aus der 2A. Du hast jetzt zum  
2 ersten Mal über Kometen was gehört, kannst du mir vielleicht erklären, was ein Komet  
3 ist?

4 S4: Das ist ein Gesteinsbrocken, der mit sehr hoher Geschwindigkeit und ohne  
5 abzubremsen durch das All fliegt.

6 I: „Mhm. Wo kommt ein Komet her, wo ist da der Ursprung?“

7 S4: Von einem Nebel? Also da bilden sich so Nebeldinger und ...

8 I: Mhm. Wie würdest du einen Kometen sonst noch beschreiben?

9 S4: Ähm, also er hat eine Umlauf ... also er kann von einer Umlaufbahn aufgehalten  
10 werden. Da wird er sich immer drum herum drehen.

11 I: Ok. Passt. Warum bewegt sich der Komet um die Sonne?

12 S4: Weil er angezogen wird, also, er hat eine Umlaufbahn nachher.

13 I: Ok, super, richtig. Diese Umlaufbahn, nimmt die irgendwann einmal ab? Wird der  
14 langsamer, der Komet?

15 S4: Nein, nur wenn er aufgehalten wird, also von einem anderen Gesteinsbrocken.

16 I: Super, genau. Und, ähm, warum fliegt er nicht in die Sonne hinein?

17 S4: Weil ... (Pause) weil er immer weiter geradeaus will, aber er wird daran gehindert.

18 I: Ok, super. Und, ähm, aja, genau, wenn jetzt auf einmal die Sonne auf einmal weg  
19 wäre, also es würde keine Anziehungskraft von der Sonne geben, wie würde sich da  
20 der Komet weiter bewegen.

21 S4: Na er würde einfach grad aus weiterbewegen.

22 I: Super ... auch richtig. Eine der letzten Fragen: wenn ein Komet auf irgendeinem

23 Planeten fliegt, zum Beispiel die Erde, dann verursacht er ja einen Krater. Warum ist  
24 denn das so?

25 S4: Das ist mit der Trägheit. Weil wenn der aufkommt dann verursacht er nicht nur  
26 einen kleinen Krater, sondern auch rundherum ...

27 I: Genau, das wäre schon meine nächste Frage, ähm: Die Größe von einem Krater ist  
28 ja immer unterschiedlich, von was hängt das denn ab?

29 S4: Vom Gewicht... und der Geschwindigkeit.

30 I: Super, perfekt. Das hast du dir gut gemerkt. Nun zu guter Letzt: Kannst du mir  
31 erklären, was Trägheit bedeutet? Also sagen wir ein Volksschüler würde fragen: ‚Was  
32 ist denn Trägheit eigentlich?‘ Wie würdest du das erklären?

33 S4: Na das, wenn sich eine Masse bewegt, und dann von irgend etwas abgestoppt  
34 wird, dass sie sich eigentlich weiter bewegen würd. Also wenn man in einem Auto  
35 drin sitzen würde, und das Auto bremst ganz schnell, dann möchte dein Körper halt  
36 weiter ... und deshalb gibt es ja auch den Gurt. Und würde es den Gurt nicht geben,  
37 dann würde man einfach gegen die Windschutzscheibe...

38 I: Genau. Und, ähm, wenn ein Körper jetzt noch gar nicht in Bewegung ist, wenn er  
39 irgendwo in Ruhe ist, wie ist es da?

40 S4: Nachher will er eigentlich so bleiben, also ... beim Sitz, da wird man ja dran  
41 gehindert und bei einer Kugel, die rollt einfach, die rollt einmal ... die bleibt aber  
42 eigentlich auf der gleichen Stelle.

43 I: Super, sehr gut. Dann nur noch 2 ganz schnelle Fragen: Wenn du diesen Stunden  
44 jetzt, wo es eben um Kometen und Trägheit und so ging, eine Note geben würdest,  
45 also von 1 – Sehr gut – bis 5 – Nicht Gut – also die Schulnoten, ähm, wie gut hat dir  
46 die Stunden gefallen und warum hat sie dir nicht gut, oder schon gut gefallen?

47 S4: Ich würde eine 1 geben, weil mir die Experimente gut gefallen haben.

48 I: Ok, sehr gut. Und wie gut glaubts du, hast du die Stunden verstanden oder nicht  
49 verstanden und warum denkst du das?

50 S4: Ich habs gut verstanden ...

51 I: Also was würdest du dir geben, für eine Schulnote?

52 S4: Eine 1.

## **BG 2. Klassen, S5 (weiblich):**

1 I: So, ich führe jetzt die Interviews mit den 2 Mädels aus der 2C durch, und da habe  
2 ich jetzt ein paar Fragen an euch. Zuallererst, ihr habt jetzt zum ersten Mal etwas über  
3 Kometen erfahren, ja? Und da möchte ich euch fragen, ob ihr mir da vielleicht kurz  
4 erklären könnt, was ein Komet ist? (kurze Pause) In euren eigenen Worten.“

5 S5: Also ein Komet besteht aus Steinen, Eisen, Wasser .... (kurze Pause)

6 I: Wo kommt ein Komet vor?

7 S5: Also, aus der Oort'schen Wolke ....

8 I: Genau, das ist der Ursprung, super. .... Und, ähm, warum können wir einen  
9 Komet sehen, oder, wie sehen wir einen Kometen meistens?

10 S5: Durch den, also, durch diesen .... Schweif sag ich jetzt mal.

11 I: Genau, Schweif, super.

12 S5: Der, der von der Sonne erzeugt wird. Und der ist halt .... Mega lang.

13 I: Ja genau, richtig, super. Weißt du vielleicht, wie lang der ist, dieser Schweif? ....  
14 (kurze Pause) Ungefähr? 100 km, 1000 km, 1 Million km? Welche Größenordnung?

15 S5: 1 Million km?

16 I: Genau, super, wirklich so lang. Fliegt so ein Komet einmal an der Erde vorbei oder  
17 sieht man den öfters?

18 S5: Ich weiß nicht, der hat so eine Bahn und der Komet wird halt zb ... alle....  
19 er fliegt halt öfter weil er hat ja ... so alle 20 Jahre, oder keine Ahnung wie groß die  
20 ist.

21 I: Genau, richtig, super, er hat eine Umlaufbahn, genau wie die Planeten und  
22 deswegen sieht man ihn immer wieder. Sehr gut. Und warum bewegt sich jetzt der  
23 Komet eigentlich um die Sonne, warum hat er eigentlich so eine Bahn wo er immer  
24 wieder kommt?

25 S5: Weil die Sonne eine gewisse Anziehungskraft hat?

26 I: Genau, super, ja. Und wird dann, wenn jetzt der Komet von der Sonne angezogen  
27 wird, dann müsste der Komet doch direkt zur Sonne fliegen und dann rein fliegen.

- 28 Warum macht er das nicht? (längere Pause) Oder ich frage mal anders: Warum  
29 verlässt er die Oort'sche Wolke überhaupt?
- 30 S5: Wenn 2 Kometen aufeinander stoßen und dann ... entweder es zersplittert  
31 irgendwas und das fliegt dann weg oder es wird gleich der ganze ... bewegt.
- 32 I: Warum ist das so, das sie nicht gleich, also .... Sie werden ja immer von der Sonne  
angezogen, trotzdem sind sie zuerst draußen und was ist der Grund warum sie dann,  
weil sie zusammenprallen, dann sich auf einmal Richtung Sonne bewegen?
- 33 (Längere Pause)
- 34 S5: Ja weil, ich bin mir nicht ganz sicher, aber ich glaub vielleicht weil sie zu groß  
35 sind und dann mehr Kraft, also, mehr Kraft haben....
- 36 I: Und du meinst quasi, indem sie Zusammenprallen, dann haben sie die Kraft, dass sie  
37 Richtung Sonne fliegen?
- 38 L: Ja.
- 39 I: Ähm, und warum wird so ein Komet, also, wenn er dann von der Oort'schen Wolke  
Richtung Sonne fliegt, warum wird er nicht langsamer eigentlich? Warum bremsst er  
nicht und bleibt dann irgendwann stehen?
- 40 S5: Weil's im Weltall keine Reibung gibt?
- 41 I: Genau, super, es gibt keine Reibung. Aber hat der irgendeinen Antrieb oder so?
- 42 S5: Nicht wirklich ... nein.
- 43 I: Genau, es hat eigentlich keinen Antrieb. Und dann ist halt noch die Frage, warum  
44 fliegt er nicht eigentlich in die Sonne hinein, er wird ja angezogen. Und stattdessen hat  
45 er eine Bahn, er fliegt ja dann auch wieder weg von der Sonne und wieder hin. (Pause)  
46 Na überleg, wir haben ja drei Versuche gemacht: der mit Wagen und Kugel, der mit  
47 dem Becher und dem mit den Eisenkugeln fallenlassen.
- 48 S5: Also ... vielleicht weil es eine Anziehung von anderen Planeten gibt, und er dann  
49 ... zu den Planeten angezogen wird.
- 50 I: Wenn die Planeten ganz groß und ganz nah wären, würde das sogar stimmen. In  
51 dem Fall würde es sogar ganz ohne Planeten trotzdem eine Umlaufbahn geben. Aber  
52 ist egal, wenn ihr das nicht wisst, ist es nicht so schlimm. So, wie würde sich der  
53 Komet denn bewegen wenn die Sonne nicht da wäre?
- 54 S5: Also ich tät einfach ... also wenn da jetzt.... Wir haben ja auch den Versuch mit  
55 dem Becher gemacht, wo ein Loch drin war. Und dann ham wir den ... die Kugel halt

56 gedreht mit dem Becher und dann ist die Kugel bei dem Loch gerade aus. Also da tät  
57 der Komet dann einfach wegfliegen.

58 I: Also er würde sich gerade weiter bewegen?

59 S5: Ja.

60 I: Mhm. Genau. Und warum macht ein Komet dann eigentlich einen Krater, wenn er  
61 auf die Erde zum Beispiel auftrifft?

62 S5: Weil, wenn er angezogen wird, er dann halt so mit einer Wucht ... und dann muss,  
63 das drückt dass weg.

64 I: Und von was hängt das dann ab, wie groß dieser Krater ist?

65 S5: Es kommt drauf an, von welcher Höhe er runterfliegt und die Masse.

66 I: Genau, super, die Masse. Um was es eigentlich ging bei dem Versuch war ja der  
67 Begriff der Trägheit. Kannst du vielleicht nochmal versuchen den zu erklären ... was  
68 Trägheit bedeutet?

69 S5: Also, zum Beispiel wenn ein Körper steht und er wird aber bewegt, dann will er,  
70 also, dort bleiben und der Versuch mit dem Wagen, da ist er genau halt da  
71 runtergefallen, also, wo er vorher war.

72 I: Genau, und wenn etwas schon in Bewegung ist, wie der Komet, dann ... wie ist es  
73 da mit der Trägheit? Merkt man da auch eine Trägheit?

74 S5: Ja, ich glaub.

75 I: Ja, und woran erkennt man die da?

76 S5: Also da bleibt der Körper dann nicht stehen.

77 I: Genau das ist es. Dann noch 2 Fragen: Die sind jetzt so, also, du kannst jetzt einfach  
78 bewerten, also von 1 bis 5. 1 ist eben supergut, und 5 ist gar nicht gut. Wie gut haben  
79 dir die Stunden damals gefallen eigentlich? Wo es eben da um Kometen ging und das  
80 mit dem Wagen und die Versuche. Da kannst du ganz ehrlich sein, zwischen 1 und 5,  
81 welche Note würdest du der Stunde geben?

82 S5: Weiß nicht, eine 2.

83 I: 2, ok. Und warum?

84 S5: Weil mir das gut gefallen hat wie wir die Versuche gemacht haben und selber auch



85 experimentieren durften.

86 I: Ok, das war gut quasi. Und was hat dir vielleicht nicht so gut gefallen, also warum  
87 es keine 1 ist zum Beispiel?

88 S5: Mhm ... (längere Pause).

89 I: Kannst ganz ehrlich sein.

90 S5: Mhm ... (längere Pause).

91 I: Aber ist egal, vom Gefühl ein zweier ist ja auch ok. Von 1 bis 5, wie gut glaubt ihr  
92 habts ihr die Stunde verstanden.

93 S5: Ich sag eher 3.

94 I: Ok, und warum, also ...

95 S5: Weil ich mich manchmal nicht so gut ausgekannt hab und .... Ja.

96 I: Ok, danke.

## **BG 2. Klasse, S6 (männlich):**

1 I: Ok, ich hab jetzt einen Buben aus der 2C. Und da beginne ich jetzt auch wieder  
mit

2 den Fragen. Zuallererst, ihr habt jetzt zum ersten Mal über Kometen was gehört  
und

3 da ist gleich meine erste Frage: Kannst du mir sagen, was ein Komet ist?

4 S6: Ähm, ein großer Stein im Weltraum, der, ähm, mit der gleichen  
Geschwindigkeit

5 im All herumfliegt.

6 I: Warum bewegt sich der Komet denn überhaupt, bzw. wie ist die Bewegung von  
so

7 einem Kometen?

8 S6: Also er wird um den ... wie heißt der Gürtel nochmal? Oort'scher Gürtel ...

9 Nein, Oort'sche Wolke, hat die geheißen....

10 I: Genau, von da kommt der Komet her. Und wie kommt er dann an der Erde  
vorbei,

11 was passiert da alles?

12 S6: Er ... von der Oort'schen Wolke wird, werden von Jahr zu Jahr immer mehr  
13 Kometen, also, wenn man so sagen kann ... rausgeflogen und sie nehmen  
14 eigentlich  
15 sie nehmen Anschwung von anderen ... also von der Erde zum Beispiel können sie  
16 Anschwung nehmen. Dadurch, dass sie die Anziehungskraft nehmen und dadurch  
17 schneller dann fliegen.

18 I: Also es hat dann mit der Anziehungskraft zu tun?

19 S6: Ja.

20 I: Ok, und wie ist denn der Weg von so einem Kometen, also fliegt der einmal an  
21 der  
22 Erde vorbei sieht man ihn öfters?

23 S6: Also, der Komet, der fliegt so oft vorbei, bis sie ... äh, zusammentreffen?

24 I: Ok. Aber die größte Gravitation in unserem Sonnensystem hat ja die Sonne und  
25 die  
26 zieht ja den Kometen an. Und da wars ja so, wenn du dich erinnerst an das Video,  
27 das  
28 war eine Umlaufbahn, wie bei einem Planeten. Also der Komet kommt immer  
29 wieder,  
30 den sieht man wie zum Beispiel den Halley'schen Kometen alle 17 Jahre. So, da  
31 bewegt sich der Komet also um die Sonne, äh, warum macht er das, dass er sich  
32 um  
33 die Sonne bewegt?

34 S6: Weil er durch die Anziehungskraft immer wieder hergezogen wird, durch die  
35 Sonne. Also er fliegt um die Sonne herum und dann fliegt er auch bei den Planeten  
36 herum. Bis er dann von anderen großen Anziehungskräften wieder weggezogen  
37 wird.

38 I: OK. Super. Und wieso fliegt er nicht überhaupt in die Sonne hinein? Wenn er ja  
39 angezogen wird, müsst er ja doch in die Sonne hineinfliegen, warum fliegt er drum  
40 herum?“

41 S6: Es gibt eine andere Kraft, die stößt ihn ab.

42 I: Ok, und ... welche Kraft ist das, könntest du sie benennen?

43 S6: ... (längere Pause) Nein, glaub nicht.

- 37 I: Ok. Und wenn es jetzt die Sonne nicht geben würde, die wäre auf einmal weg,  
wie  
38 würde sich der Komet dann bewegen?
- 39 S6: Also er würde immer geradeaus weiter fliegen, bis er auf einen nächsten Stern  
40 trifft.
- 41 I: Warum macht er das, das er sich geradeaus weiterbewegt? Warum bleibt er nicht  
42 stehen?
- 43 S6: Es gibt keine Reibung im All, da kann man nur immer gleich schnell  
44 weiterbewegen, außer man kommt auf eine größere Anziehungskraft und entweder  
45 man fliegt dagegen oder man nimmt Anschwung.
- 46 I: Und was ist der Grund dafür dass sich der Komet ständig weiter bewegt und  
nicht  
47 abbremst?
- 48 S6: Der Komet hat einmal, wie soll ich sagen, einen Stoß gekriegt, also und ich  
nehme  
49 jetzt an, weil ... wenn ich zum Beispiel einen Stuhl anstoße, es gibt ja eine  
Reibung  
50 am Boden und die würde ja sozusagen, da würde der Stuhl nicht so weit kommen,  
51 also. Und, der Komet, da es ja keine Reibung im Weltall gibt, fliegt der Komet  
einfach  
52 weiter. Das würde wahrscheinlich ewig dauern, bis, oder, bis der auf einen anderen  
53 Komet trifft, die sich sozusagen ineinander verschmelzen.
- 54 I: Ok. Und jetzt zu dem letzten Versuch den wir damals noch gemacht haben:  
Wisst  
55 ihr, warum ein Komet, wenn er dann auf die Erde treffen würde, warum er  
überhaupt  
56 einen Krater verursacht?
- 57 S6: Weil er schnell ist und durch die Schnelligkeit, je größer die Schnelligkeit,  
umso  
58 größer wird der Krater. Eigentlich, umso mehr Masse er hat, umso größer wird der  
59 Krater und umso schneller er ist. Also wir haben das beim Experiment gesehen,  
das,  
60 äh, wenn Salz, ... genau. Wo wir die Kugel von bestimmten Höhen, ähm,  
61 runterfliegen lassen, je höher die Kugel, also bei gleicher Masse, je höher die  
Kugel,  
62 desto größer ist der Durchmesser von dem Krater.
- 63 I: Super. Zu guter Letzt: Was ist denn der Begriff Trägheit, was bedeutet denn der,

64 kannst du den erklären?

65 S6: Also wenn, äh, ein Körper in einem bestimmten Zustand ist, also wenn er jetzt  
66 steht oder rollt, dann braucht man eine gewisse Kraft und man drückt auch  
dagegen ...

67 äh, der Körper WILL in dieser Position bleiben.

68 I: Ok, also wenn er zum Beispiel steht will er stehen bleiben meinst du?

69 S6: Ja, also, wir haben das bei den zwei, ähm, Wagons gesehen, ähm, Sie haben  
einen

70 Wagon, also, auf einem Wagon ist eine Kugel gelegen und sie haben den Wagon  
71 angetaucht und die Kugel ist sozusagen in die Mulde geflogen, die direkt drunter  
war.

72 I: Ok, super.

73 S6: Oder ein weiteres Beispiel ist, ähm, wenn man beim Autofahren sehr sehr  
schnell

74 fährt, will der Körper auf dem Stand bleiben wo er die ganze Zeit ist und  
deswegen

75 wirst du immer weiter zurückgedrückt, in den Sessel rein.

76 I: Ok, super. Und jetzt noch zwei Fragen, da kannst du wirklich ganz ehrlich sein,  
77 auch wenn ich dein Lehrer bin, ja, das ist wirklich wurscht. Da würd mich einfach  
78 eure Meinung, quasi, würd ich gern wissen, und zwar von 1 bis 5. Also 1 ist Sehr  
gut,

79 also wie bei den Noten, und 5 ist „na, gar nicht gut“. Also, wie gut hat euch die  
Stunde

80 gefallen? Also die Stunden über Trägheit? Also alles mit Kometen, mit der Rosetta  
81 Mission und eben mit diesen 3 Versuchen, wo es um die Trägheit ging.

82 S6: Also mir ... als o ich bin ein Fan von Experimenten, ich hab auch ziemlich,  
wie

83 soll ich sagen, ähm, genossen, dass wir das Thema durchgemacht haben. Ich hab  
84 diesen Film, ähm, Zeichentrickfilm auch ziemlich taugt, mit der Rosetta. Ich hab  
auch

85 die Experimente mit den Wagons oder mit dem Salz, ähm, ziemlich interessant  
86 gefunden.

87 I: Ok, das heißt deine Bewertung...

88 S6: 5 von 5 Punkten!

89 I: Sehr gut, das gefällt mir. Und jetzt noch die allerletzte Frage, ähm, von 1 bis 5,

90 wie gut hast du die Stunde verstanden?

91 S6: Ich habe 4 von 5 Punkten verstanden, weil bei einem hab ich nicht so ganz  
92 verstanden was das sein soll, aber im Nachhinein ...

93 I: Bei was leicht? Wo war das was du nicht...

94 S6: Bei der Trägheit die Formel hab ich nicht verstanden. Im Nachhinein, ein paar  
95 Stunden später hab ichs dann eh verstanden.

96 I: Ok, sehr gut.

## **BG 2. Klassen, S7 (weiblich):**

1 I: So, ich führe jetzt die Interviews mit den 2 Mädels aus der 2C durch, und da habe  
2 ich jetzt ein paar Fragen an euch. Zuallererst, ihr habt jetzt zum ersten Mal etwas über  
3 Kometen erfahren, ja? Und da möchte ich euch fragen, ob ihr mir da vielleicht kurz  
4 erklären könnt, was ein Komet ist? (kurze Pause) In euren eigenen Worten.“

5 S7: Also ein Komet besteht aus Steinen, Eisen, Wasser .... (kurze Pause)

6 I: Wo kommt ein Komet vor?

7 S7: Also, aus der Oort'schen Wolke ....

8 I: Genau, das ist der Ursprung, super. .... Und, ähm, warum können wir einen  
9 Komet sehen, oder, wie sehen wir einen Kometen meistens?

10 S7: Durch den, also, durch diesen .... Schweif sag ich jetzt mal.

11 I: Genau, Schweif, super.

12 S7: Der, der von der Sonne erzeugt wird. Und der ist halt .... Mega lang.

13 I: Ja genau, richtig, super. Weißt du vielleicht, wie lang der ist, dieser Schweif? ....

14 (kurze Pause) Ungefähr? 100 km, 1000 km, 1 Million km? Welche Größenordnung?

15 S7: 1 Million km?

16 I: Genau, super, wirklich so lang. Fliegt so ein Komet einmal an der Erde vorbei oder  
17 sieht man den öfters?

18 S7: Ich weiß nicht, der hat so eine Bahn und der Komet wird halt zb ... alle....

19 er fliegt halt öfter weil er hat ja ... so alle 20 Jahre, oder keine Ahnung wie groß die

20 ist.

21 I: Genau, richtig, super, er hat eine Umlaufbahn, genau wie die Planeten und  
22 deswegen sieht man ihn immer wieder. Sehr gut. Und warum bewegt sich jetzt der  
23 Komet eigentlich um die Sonne, warum hat er eigentlich so eine Bahn wo er immer  
24 wieder kommt?

25 S7: Weil die Sonne eine gewisse Anziehungskraft hat?

26 I: Genau, super, ja. Und wird dann, wenn jetzt der Komet von der Sonne angezogen  
27 wird, dann müsste der Komet doch direkt zur Sonne fliegen und dann rein fliegen.  
28 Warum macht er das nicht? (längere Pause) Oder ich frage mal anders: Warum  
29 verlässt er die Oort'sche Wolke überhaupt?

30 S7: Wenn 2 Kometen aufeinander stoßen und dann ... entweder es zersplittert  
31 irgendwas und das fliegt dann weg oder es wird gleich der ganze ... bewegt.

32 I: Warum ist das so, das sie nicht gleich, also .... Sie werden ja immer von der Sonne  
33 angezogen, trotzdem sind sie zuerst draußen und was ist der Grund warum sie dann,  
34 weil sie zusammenprallen, dann sich auf einmal Richtung Sonne bewegen?

35 (Längere Pause)

36 S7: Ja weil, ich bin mir nicht ganz sicher, aber ich glaub vielleicht weil sie zu groß  
37 sind und dann mehr Kraft, also, mehr Kraft haben....

38 I: Und du meinst quasi, indem sie Zusammenprallen, dann haben sie die Kraft, dass sie  
39 Richtung Sonne fliegen?

40 S7: Ja.

41 I: Ähm, und warum wird so ein Komet, also, wenn er dann von der Oort'schen Wolke  
42 Richtung Sonne fliegt, warum wird er nicht langsamer eigentlich? Warum bremsst er  
43 nicht und bleibt dann irgendwann stehen?

44 S7: Weil's im Weltall keine Reibung gibt?

45 I: Genau, super, es gibt keine Reibung. Aber hat der irgendeinen Antrieb oder so?

46 S7: Nicht wirklich ... nein.

47 I: Genau, es hat eigentlich keinen Antrieb. Und dann ist halt noch die Frage, warum  
48 fliegt er nicht eigentlich in die Sonne hinein, er wird ja angezogen. Und stattdessen hat  
49 er eine Bahn, er fliegt ja dann auch wieder weg von der Sonne und wieder hin. (Pause)  
50 Na überleg, wir haben ja drei Versuche gemacht: der mit Wagen und Kugel, der mit  
51 dem Becher und dem mit den Eisenkugeln fallenlassen.

52 S7: Also ... vielleicht weil es eine Anziehung von anderen Planeten gibt, und er dann  
53 ... zu den Planeten angezogen wird.

54 I: Wenn die Planeten ganz groß und ganz nah wären, würde das sogar stimmen. In  
55 dem Fall würde es sogar ganz ohne Planeten trotzdem eine Umlaufbahn geben. Aber  
56 ist egal, wenn ihr das nicht wisst, ist es nicht so schlimm. So, wie würde sich der  
57 Komet denn bewegen wenn die Sonne nicht da wäre?

58 S7: Also ich tät einfach ... also wenn da jetzt.... Wir haben ja auch den Versuch mit  
59 dem Becher gemacht, wo ein Loch drin war. Und dann ham wir den ... die Kugel halt  
60 gedreht mit dem Becher und dann ist die Kugel bei dem Loch gerade aus. Also da tät  
61 der Komet dann einfach wegfliegen.

62 I: Also er würde sich gerade weiter bewegen?

63 S7: Ja.

64 I: Mhm. Genau. Und warum macht ein Komet dann eigentlich einen Krater, wenn er  
65 auf die Erde zum Beispiel auftrifft?

66 S7: Weil, wenn er angezogen wird, er dann halt so mit einer Wucht ... und dann muss,  
67 das drückt dass weg.

68 I: Und von was hängt das dann ab, wie groß dieser Krater ist?

69 S7: Es kommt drauf an, von welcher Höhe er runterfliegt und die Masse.

70 I: Genau, super, die Masse. Um was es eigentlich ging bei dem Versuch war ja der  
71 Begriff der Trägheit. Kannst du vielleicht nochmal versuchen den zu erklären ... was  
72 Trägheit bedeutet?

73 S7: Also, zum Beispiel wenn ein Körper steht und er wird aber bewegt, dann will er,  
74 also, dort bleiben und der Versuch mit dem Wagen, da ist er genau halt da  
75 runtergefallen, also, wo er vorher war.

76 I: Genau, und wenn etwas schon in Bewegung ist, wie der Komet, dann ... wie ist es  
77 da mit der Trägheit? Merkt man da auch eine Trägheit?

78 S7: Ja, ich glaub.

79 I: Ja, und woran erkennt man die da?

80 S7: Also da bleibt der Körper dann nicht stehen.

81 I: Genau das ist es. Dann noch 2 Fragen: Die sind jetzt so, also, du kannst jetzt einfach  
82 bewerten, also von 1 bis 5. 1 ist eben supergut, und 5 ist gar nicht gut. Wie gut haben  
83 dir die Stunden damals gefallen eigentlich? Wo es eben da um Kometen ging und das  
84 mit dem Wagen und die Versuche. Da kannst du ganz ehrlich sein, zwischen 1 und 5,  
85 welche Note würdest du der Stunde geben?

86 S7: Weiß nicht, eine 2.

87 I: 2, ok. Und warum?

88 S7: Also mir hat das auf jeden Fall gut gefallen, das wir auch so viele Experimente  
89 gemacht haben. Und auch das mit dem Becher hat mir gut gefallen ... und  
90 .... (längere Pause). Die Rosetta war halt auch noch interessant.

91 I: Ok, das war gut quasi. Und was hat dir vielleicht nicht so gut gefallen, also warum  
92 es keine 1 ist zum Beispiel?

93 S7: Mhm ... (längere Pause).

94 I: Kannst ganz ehrlich sein.

95 S7: Mhm ... (längere Pause).

96 I: Aber ist egal, vom Gefühl ein zweier ist ja auch ok. Von 1 bis 5, wie gut glaubst du  
97 hast du die Stunde verstanden.

98 S7: Ich sag eher 3.

99 I: Ok, und warum, also ...

100 S7: Weil ich mich manchmal nicht so gut ausgekannt hab und .... Ich hab manche  
101 Begriffe halt einfach nicht so verstanden ... und, ja.

102 I: Ok, passt, dann danke.

## **BG 2. Klasse, S8 (männlich):**

1 I: Ok, ich hab jetzt einen anderen Burschen aus der 2C. Und da beginne ich jetzt auch  
2 wieder mit den Fragen. Zuallererst, ihr habt jetzt zum ersten Mal über Kometen was  
3 gehört und da ist gleich meine erste Frage: Kannst du mir sagen, was ein Komet ist?

4 S8: Also, äh, Kometen die um eine Sonne, die Sonne oder einen Stern kreisen, dann  
5 kreisen sie halt. Und der Strahl, also, äh, das Eis das eigentlich runterfliegt von der



6 Hitze vom Stern ist nicht immer in die Richtung, in die der Komet fliegt, sondern die  
7 zeigt immer weg vom Stern weil die Wärme genau in die Richtung vom Kometen  
8 hinfliegt und dadurch fliegt das Eis auch in die andere Richtung.

9 I: Genau, also das nennt man ja auch den Kometenschweif. Wie lang ist denn der  
10 meistens so?

11 S8: 10 km.

12 I: Es waren 1 Million km, sogar. Also so lang, deswegen können wir ihn sehen. Aber  
13 macht ja nichts. Warum bewegt sich der Komet denn überhaupt, bzw. wie ist die  
14 Bewegung von so einem Kometen?

15 S8: Na i würd sagen, er fliegt ungefähr so lang um einen Stern halt, bis er vielleicht  
16 dann in irgend einem anderen Himmelskörper auftrifft oder er einfach von einer  
17 größeren Gravitation, äh, Gravitationskörper aus dem Sonnensystem  
18 herausgeschleudert wird.

19 I: Ok. Aber die größte Gravitation in unserem Sonnensystem hat ja die Sonne und  
20 die zieht ja den Kometen an. Und da wars ja so, wenn ihr euch erinnert an das Video,  
21 das war eine Umlaufbahn, wie bei einem Planeten. Also der Komet kommt immer  
22 wieder, den sieht man wie zum Beispiel den Halley'schen Kometen alle 17 Jahre. So,  
23 da bewegt sich der Komet also um die Sonne, äh, warum macht er das, dass er sich um  
24 die Sonne bewegt?

25 S8: Also ich glaub es ist so, er würde in die Sonne schon fliegen, aber er hat noch eine  
26 selbe Kraft, nämlich die Kraft, die um die Sonne fliegt. Also er hat eine genauso  
27 schnelle, einen genauso schnellen Weg um die Sonne, als eine Anziehungskraft  
28 sozusagen.

29 I: Ok. Und jetzt zu dem letzten Versuch den wir damals noch gemacht haben: Weißt  
30 du, warum ein Komet, wenn er dann auf die Erde treffen würde, warum er überhaupt  
31 einen Krater verursacht?

32 S8: Der Krater entsteht eigentlich, wenn der Komet jetzt ziemlich schnell ist, dann  
33 wird der Krater größer, weil, wir ham ja, äh, wegen der Trägheit, gelernt. Und weil die  
34 Erde eine größere Trägheit hat, schlägt der Komet ein und ähm, nachher braucht halt  
35 die Erde viel mehr, sozusagen Masse, um ihn auch wirklich aufzuhalten und seinen  
36 Flug zu stoppen. Und deswegen wird ein Krater tiefer.

37 I: Super. Zu guter Letzt: Du hast schon Trägheit gesagt. Was ist denn der Begriff  
38 Trägheit, was bedeutet denn der, kannst du den erklären?

39 S8: Ein Beispiel ist, ähm, wenn man beim Autofahren sehr sehr schnell fährt, will der

40 Körper auf dem Stand bleiben wo er die ganze Zeit ist und deswegen wirst du immer  
41 weiter zurückgedrückt, in den Sessel rein.

42 I: Ok, super. Was ist wenn sich ein Körper schon eben bewegt?

43 S8: Wenn er sich bewegt, dann will er auch wirklich in der Bewegung bleiben. Aber,  
44 dann muss er halt gegen die Reibung und den Luftwiderstand, muss er ankämpfen,  
45 also auf der Erde wird er nicht weit kommen, aber zum Beispiel ein Komet im  
46 Weltraum, der wird auch für immer weiter fliegen, weil es keine Reibung gibt.

47 I: Ok, super. Und jetzt noch zwei Fragen, da kannst du wirklich ganz ehrlich sein,  
48 auch wenn ich euer Lehrer bin, ja, das ist wirklich wurscht. Da würd mich einfach  
49 eure Meinung, quasi, würd ich gern wissen, und zwar von 1 bis 5. Also 1 ist Sehr gut,  
50 also wie bei den Noten, und 5 ist „na, gar nicht gut“. Also, wie gut hat dir die Stunde  
51 gefallen? Also die Stunden über Trägheit? Also alles mit Kometen, mit der Rosetta  
52 Mission und eben mit diesen 3 Versuchen, wo es um die Trägheit ging.

53 S8: Also ich hab die Stunde über Kometen sehr interessant gefunden, habe auch vieles  
54 gelernt was ich nicht gewusst habe, also ich würde 5 von 5 Punkten geben. Und die  
55 anderen Stunden waren auch sehr gut.“

56 I: Ok, also vom Notensystem ein Einser quasi, also wenn du jetzt 5 von 5 Punkten ...

57 S8: Ja.

58 I: Sehr gut. Und jetzt noch die allerletzte Frage, ähm, von 1 bis 5, wie gut habt ihr die  
59 Stunde verstanden?

60 S8: I glaub scho dass i, ähm, 5 von 5 eigentlich verstanden hab, weil sie ham das auch  
61 sehr detailliert erklärt, und auch immer die Formeln aufgeschrieben und ja.

62 I: Ok, danke sehr.

## **Abstract (Deutsch)**

Ziel dieser Diplomarbeit war es, eine Unterrichtseinheit zu konzipieren und evaluieren, welche die Begriffe Masse und Trägheit im astronomischen Kontext von Kometen erarbeitet. Dazu wurde eine Planung über drei Unterrichtsstunden für die 2. Klasse (6. Schulstufe) erstellt, mit eigenen Versuchen und dem Ziel, sowohl das Verständnis als auch das Interesse der SchülerInnen zu steigern. Die Ergebnisse wurden mit qualitativen Vor- und Nachinterviews überprüft.

Im ersten Teil der Arbeit wird ein historischer Überblick über die Entwicklung der Begriffe Masse und Trägheit über die gesamte Geschichte der Naturwissenschaft erstellt, um darzulegen, welche Schwierigkeiten diese Konzepte schon immer begleitet haben. Danach folgt eine Beschreibung von Kometen und der Kometenforschung, dann der fachdidaktische Hintergrund mit Lehrplanbezug, Einordnung in das Kompetenzmodell der Naturwissenschaften und eine Vorstellung der gängigen Präkonzepte und Fehlvorstellungen. In einem weiteren Kapitel werden klassische und die adaptierten Schulversuche dieser Unterrichtseinheiten genauer erörtert. Danach wird die genaue Unterrichtssequenz beschrieben, mit Lernzielen, Stundenbildern und den erstellten Arbeitsblättern. Das letzte Kapitel beschreibt die Auswertung der Interviews und die Analyse der Ergebnisse.

Die Evaluation zeigt, dass die Unterrichtseinheiten ein sehr großes Interesse an Kometen erzeugt haben und auch das Verständnis für die Bewegung des Kometen vorhanden war. Weiters konnten die Begriffe Masse und Trägheit verstanden und auf Beispiele angewendet werden, ebenso wurden die Versuche sehr gut angenommen.

## **Abstract (English)**

The aim of this diploma thesis was to design and evaluate a teaching sequence, that develops the concepts of mass and inertia in the astronomical context of comets. Therefore, a draft over three teaching units has been created for the second grade, with self-designed experiments and with the aim to increase the understanding and interest of the students.

The first part of the diploma thesis deals with a historical overview of the evolution of the concepts of mass and inertia over the whole history of science. The aim is to show the difficulties that surrounded these concepts. Afterwards a characterization of comets and their research will follow, then the teaching methodology within the aspect of the curriculum, the classification in the competence model of science and a presentation of the pre-concepts and misconceptions. An additional chapter shows classical and adapted school experiments in these teaching units. Furthermore, the specific teaching sequence which includes the learning objectives, the unit's course of action and the created worksheets will be presented. The last chapter describes the evaluation of the interviews and the results.

The analysis shows the creation of a big interest in comets and an understanding in the motion of the comet. Moreover, the students could understand the concepts of mass and inertia and apply them to examples and the experiments were also highly appreciated.