

Julius-Maximilians-Universität Würzburg  
Fakultät für Physik und Astronomie  
Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik

## **Schülerlabor - Raumfahrt**

**Schriftliche Hausarbeit  
zur ersten Staatsprüfung für das Lehramt an Gymnasien**

**Verfasser: Stephen Kimbrough  
Prüfer: Prof. Dr. Thomas Trefzger**

**Prüfungstermin: Frühjahr 2010  
Abgabetermin: 28.09.2009**

<b>1.</b>	<b>EINLEITUNG.....</b>	<b>5</b>
<b>2.</b>	<b>DIDAKTISCHE UND METHODISCHE ÜBERLEGUNGEN.....</b>	<b>7</b>
2.1.	PRINZIP EINES SCHÜLERLABORS .....	7
2.2.	RAUMFAHRT ALS THEMA FÜR DAS SCHÜLERLABOR .....	9
2.3.	ASTRONOMIE IM LEHRPLAN .....	11
2.4.	METHODISCHE ÜBERLEGUNGEN .....	12
2.4.1.	<i>Lernzirkel</i> .....	12
2.4.2.	<i>Gruppenpuzzle</i> .....	13
2.4.3.	<i>Lernzirkel contra Gruppenpuzzle</i> .....	15
2.4.4.	<i>Struktur des Schülerlabors Raumfahrt</i> .....	16
<b>3.</b>	<b>DAS SCHÜLERLABOR.....</b>	<b>17</b>
3.1.	EINFÜHRUNGSVORTRAG .....	20
3.1.1.	<i>Unser Platz im Universum</i> .....	20
3.1.2.	<i>Der Mond</i> .....	21
3.1.3.	<i>Die Geschichte der Raumfahrt</i> .....	21
3.2.	DIE BASISSTATIONEN .....	23
3.2.1.	<i>Basisstation 1: Sonne – Erde – Mond</i> .....	23
3.2.1.1.	Versuch: Tellurium.....	24
3.2.2.	<i>Basisstation 2: Abstand Erde – Mond</i> .....	27
3.2.2.1.	Versuch: Konstruktion.....	27
3.2.3.	<i>Basisstation 3: Schwerelosigkeit</i> .....	30
3.2.4.	<i>Basisstation 4 : Unser Sonnensystem</i> .....	32
3.2.5.	<i>Basisstation 5: Keplersche Gesetze</i> .....	36
3.2.5.1.	Versuch 1: Potentialtrichter .....	37
3.2.5.2.	Versuch 2: Planetary Orbit Simulator.....	38
3.3.	VERTIEFUNGSSTATIONEN .....	40
3.3.1.	<i>Vertiefungsstation 1: Raketenstart</i> .....	40
3.3.1.1.	Versuch 1: Skateboard.....	41
3.3.1.2.	Theoretische Herleitung: Raketengleichung.....	42
3.3.1.3.	Versuch: Wasserrakete.....	44
3.3.2.	<i>Vertiefungsstation 2: Raketenaufstieg</i> .....	47
3.3.2.1.	Teil 1: Gravitationskraft und Erdgravitationsfeld.....	48
3.3.2.2.	Teil 2: Gravitationsfeld des Mondes.....	49
3.3.2.3.	Teil 3: Java Applet: Lunar Lander.....	50
3.3.3.	<i>Vertiefungsstation 3: Flug zum Mars</i> .....	52
3.3.3.1.	Teil 1: Berechnung des Flugs .....	53
3.3.3.2.	Versuch: Swing-By Manöver .....	56
3.3.4.	<i>Vertiefungsstation 4: Geostationäre Umlaufbahn und ISS</i> .....	59
3.3.4.1.	Versuch 1: Zentripetalkraft.....	60
3.3.4.2.	Teil 2: Anwendungen .....	62
3.3.4.3.	Teil 3: Vortrag über ISS .....	63
3.3.5.	<i>Vertiefungsstation 5: Ortsfaktor</i> .....	64
3.3.5.1.	Versuch 1: Aufzug.....	65
3.3.5.2.	Versuch 2: Wasserflaschen.....	66
<b>4.</b>	<b>EVALUATION.....</b>	<b>68</b>
4.1.	KONZEPTION DER FRAGEBÖGEN .....	68
4.2.	AUSWERTUNG DER FRAGEBÖGEN .....	70
4.3.	ERGEBNISSE DER EVALUATION.....	77
<b>5.</b>	<b>SCHLUSSBEMERKUNG .....</b>	<b>80</b>
<b>6.</b>	<b>ANHANG .....</b>	<b>82</b>
6.1.	EINFÜHRUNGSVORTRAG .....	82
6.2.	ARBEITSBLÄTTER .....	102
6.3.	FRAGEBOGEN.....	155
6.4.	TABELLARISCHE AUSWERTUNG DER FRAGEBÖGEN .....	161

---

7.	<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>175</b>
8.	<b>DANKSAGUNG .....</b>	<b>177</b>
9.	<b>ERKLÄRUNG NACH §30, ABS.6, LPOI (VOM 07.11.2002).....</b>	<b>178</b>

## 1. Einleitung

Seit Jahrhunderten ist die Menschheit von der Vorstellung, zu einem fremden Planeten oder zu Sternen zu reisen, fasziniert. Belege hierfür finden sich in vielen literarischen Klassikern der letzten fünfhundert Jahre, wie etwa Jules Vernes „Von der Erde zum Mond“. Jedoch gelang es der Menschheit erst in der zweiten Hälfte des zwanzigsten Jahrhunderts das Zeitalter der Weltraumfahrt einzuläuten. Bis in die fünfziger Jahre des letzten Jahrhunderts wurden die Begriffe Luftfahrt und Raumfahrt fast äquivalent benutzt. Mitte der fünfziger Jahre wurde die Kármán – Linie, die sich ungefähr 100km über der Erdoberfläche befindet, von der Fédération Aéronautique Internationale (FIA) eingeführt. Sie definiert die Abgrenzung zwischen der Erdatmosphäre und dem Weltraum und liefert somit erstmalig eine formale Definition des Weltraums und somit der Raumfahrt. [SAN04]

Das Jahr 2009 ist zum Internationalen Jahr der Astronomie erklärt worden. Es sind zum einen 40 Jahre her, dass der erste Mensch, am 21.06.1969, den Erdmond betrat, und zum anderen hat Galileo Galilei vor 400 Jahren erstmalig ein Teleskop für astronomische Beobachtungen eingesetzt. Im selben Jahr veröffentlichte Johannes Kepler sein Werk „Astronomie Nova“, in dem die nach ihm benannten Keplerschen Gesetze enthalten sind. So ergab sich aus aktuellem Anlass heraus die Gelegenheit ein Schülerlabor zu erstellen, das genau diese beiden Themen vereint: die Himmelsmechanik und die bemannte Raumfahrt. Untermauert wurde diese Idee durch die Anfrage eines Vaters, ob die Universität ein Schülerlabor zum Themengebiet „Faszination Mond“ anbieten würde, da sein Sohn, der die 8te Klasse des Deutschhaus Gymnasiums besucht, dieses Thema in einer Projektwoche behandelt.

Ziel dieser Arbeit ist es nun daher, ein Schülerlabor zum Thema Raumfahrt zu erstellen. Behandelt werden neben den Keplerschen Gesetzen und der Himmelsmechanik, die erste Mondlandung, die Raumstation ISS sowie aktuelle Forschungsschwerpunkte der Raumfahrtorganisationen.

Zunächst werden in dieser Arbeit didaktische und methodische Überlegungen zu Schülerlaboren allgemein angestellt und danach die, in diesem Schülerlabor angewandten, Methoden gerechtfertigt. Hiernach werden die einzelnen Stationen des Schülerlabors er-

---

läutert und der Bezug zum Lehrplan des G8 hergestellt. Anschließend zeigt eine Evaluation das Interesse der Schüler bezüglich des Schülerlabors auf. Im Anhang befinden sich die für dieses Schülerlabor entwickelten Arbeitsblätter, die Folien des Einführungsvortrages sowie der Fragebogen zur Evaluation und dessen tabellarische Auswertung.

## 2. Didaktische und Methodische Überlegungen

### 2.1. *Prinzip eines Schülerlabors*

Pascal Guderian [GUD06] zufolge, ist eine genaue Definition eines Schülerlabors nur schwer möglich, da viele unterschiedliche Einrichtungen existieren, die unter diesem Namen geführt werden. Man kann ein Schülerlabor jedoch grob als einen außerschulischen Lernort und eine Einrichtung klassifizieren, bei welcher der Schüler und das Experimentieren im Vordergrund stehen.

Art, Aufwand und Umfang der Experimente unterscheiden sich den verschiedenen Zielgruppen entsprechend. So existieren Schülerlabore, die an Forschungseinrichtungen angegliedert sind, und deren Inhalte speziell für höhere Klassenstufen ausgelegt sind. Diese Labore sollen den Schülern einen Einblick in die Forschung geben oder beinhalten zusätzlich Versuche, die in der Schule nur schwer realisierbar sind.

Die weitere Form des Schülerlabors, ist für die Schüler der Primar- und Sekundarstufe I konzipiert. Mit Hilfe dieser Labore soll den Schülern ein spielerischer Zugang zu den Naturwissenschaften geschaffen werden. Diese Form des Schülerlabors ist didaktisch sehr gut aufbereitet und entsprechend dem Wissen und den Fähigkeiten der Jahrgangsstufe, an welche es sich richtet, gemessen. Bei diesem Konzept, steht das wissenschaftliche Arbeiten im Hintergrund. Viel mehr soll das Interesse der Schüler an den Naturwissenschaften geweckt werden. Um den Schülern zu verdeutlichen, dass die Naturwissenschaften, einen Teil des alltäglichen Lebens ausmachen, beschäftigen sich diese Schülerlabore mit Alltagsphänomenen.

Ein weiterer Punkt, der zur Charakterisierung eines Schülerlabors beiträgt, ist der Freiheitsgrad, der den Schülern beim Lernen und beim Durchführen der Experimente eingeräumt wird. Dieser Freiheitsgrad definiert sich beispielsweise darin, zu unterscheiden ob der Schüler selbständig experimentieren darf, nach einem „Kochrezept“ experimentieren muss oder ob gar der Betreuer die Versuche vorführt.

Die in den Schülerlaboren stattfindende Wissensvermittlung kann, mit Hilfe der weiteren Eigenschaften eines solchen, in formelles und informelles Lernen unterteilt werden. [GUD06] zufolge beschreibt Wellington formelles Lernen als ein vorgeschriebenes, lehrerzentriert und –gesteuertes, geplantes Lernen, wie es zum Bei-

spiel in der Schule stattfindet. Im Gegensatz dazu lässt sich Informelles Lernen als freiwilliges, planloses und lernergesteuertes Lernen definieren, wie es beim Fernsehen oder bei einem Museumsbesuch auftritt. Auch wenn die Unterschiede zwischen formellem und informellem Lernen klar auszumachen sind, treten Mischformen der beiden Lehrtypen auf. Daher kann, nach Guderian, eine informelle Lerneinheit in formelle Rahmenbedingungen, wie zum Beispiel einen Schulausflug, eingepasst werden. Das Schülerlabor lässt sich somit als solch eine Mischform definieren. Eine von Guderian erstellte Skizze, stellt dies übersichtlich dar.

[vgl. Gud06 S. 9; 15 – 16]

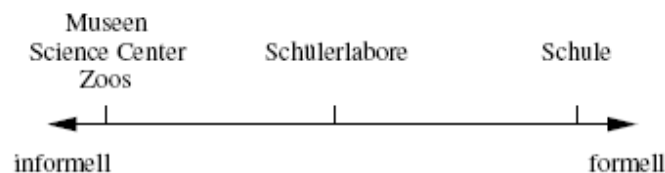


Abbildung 2.1: Zur Einteilung der außerschulischen Lernorte nach informeller bzw. formeller Charakteristik.

Die Skizze verdeutlicht, dass Schülerlabore sowohl eine Mischform formellen und informellen Lernens sind, als auch ein Verbindungsglied zwischen den dazugehörigen Einrichtungen.

Schülerlabore werden meist im chemischen, biologischen und physikalisch-technischen Bereich durchgeführt. Neben der Förderung des Interesses an Naturwissenschaften, ist nach Hillebrandt „[...] die Vermittlung von Informationen und Wissen bezüglich aktueller Erkenntnisse und moderner Technologien und Forschungsmethoden“ [ENG05] und der Diskussion teils kontroverser aktueller Themen, in der naturwissenschaftlichen Forschung, von großer Bedeutung.

## **2.2. Raumfahrt als Thema für das Schülerlabor**

Das Thema der Raumfahrt ist heute im Jahr 2009, so aktuell wie schon seit 40 Jahren nicht mehr. Nachdem das Interesse an der Raumfahrt nach dem ersten großen Boom, der Mondlandung 1969, versiegt ist, wurde es lange Zeit still um die Forschungen, die sich mit der bemannten Erkundung und Erforschung von fremden Himmelskörpern beschäftigt. Einzelne Entwicklungen wie beispielsweise die unbemannten Pioneer und Voyager Raumsonden weckten nur kurzzeitig die Aufmerksamkeit der Bevölkerung. Zurzeit sind jedoch wieder Projekte wie Mars 500 [ESA09], die Fertigstellung der International Space Station, kurz ISS [DLR09], eine erneute Rückkehr zum Mond und die Raumfahrtprogramme von Indien und China aktuelle Nachrichtenthemen.

Beschäftigt man sich eingehender mit diesen Themen, kommt man ohne naturwissenschaftliche Kenntnisse bald an die Grenze des Verständlichen. Die benötigten physikalischen Grundsteine werden zwar in der Schule gelegt, jedoch ist die Anwendungen dieser nur sehr schwer nachzuvollziehen.

Beim Schülerlabor Raumfahrt werden viele Themenbereiche der Astronomie behandelt, die in der Schule nicht behandelt oder zum Teil, aufgrund von Zeitmangel oder dem Fehlen notwendiger Utensilien, nicht realisiert werden können. Die Probleme die dieses Themengebiet bereitet, sind zum einen die große Entfernung und die Ausmaße der Untersuchungsgegenstände und zum anderen ist es nicht möglich aktiv die Gesetzmäßigkeiten durch gezielte Manipulation zu untersuchen. Beispielsweise kann man nicht einfach ein Gesteinsbrocken um die Sonne schießen, um die Keplerschen Gesetze zu überprüfen. Zudem kann die Beobachtung von Himmelskörpern größtenteils nur in der Nacht und somit außerhalb der Schulzeit durchgeführt werden. Ein weiteres Problem, stellt die Beobachtungszeit, dar. Dieser Zeitaufwand, der betrieben werden muss, um brauchbare Messergebnisse zu erlangen, ist für die Schüler zu lang. [KIR06] Daher müssen diese Themen, durch gezielten Einsatz von Analogexperimenten und Computersimulationen, vorbereitet werden, um sie den Schülern verständlich erklären zu können. Diese Vorbereitung sprengt zu meist den zeitlichen Rahmen der Lehrkraft und des Unterrichts. Hinzu kommt, dass



die meisten Schulen nicht über eine besonders gut ausgestattete Physiksammlung verfügen, sodass nicht alle Experimente an der Schule durchgeführt werden können.

Ein weiterer wichtiger Punkt, der ein Schülerlabor der Raumfahrt rechtfertigt, ist dass Astronomie und vor allem die Raumfahrt zwar im Lehrplan vorhanden ist, man sich jedoch sehr oberflächlich mit dem Thema auseinandersetzt. Dieser Punkt wird in Abschnitt 2.3 noch eingehender diskutiert werden.

Diese Tatsache, lässt sich nicht auf das mangelnde Interesse seitens der Schüler zurückführen, da nach Backhaus die unvorstellbaren Größen und Weiten im Universums als interessensfördernd beschrieben werden [KIR06], sondern vielleicht am lückenhaften Wissen mancher Lehrkräfte begründen, da in der Lehramtsausbildung nicht vertieft auf diesen Themenbereich eingegangen wird.

Folgt man Backhaus Ausführungen weiter [KIR06], besteht eine große Diskrepanz zwischen Gewusstem und Erfahrenen. Diese weitet sich sogar auf elementares astronomisches Wissen aus. So glauben noch viele Menschen dass die Mondphasen durch den Schattenwurf der Erde zustande kommen. Die Schüler können zwar anhand eines Diagramms deuten, wie und warum Mondphasen zustande kommen, aber nicht legitimieren dass dies die einzig richtige Deutung ist. Die Schwierigkeiten hierbei liegen vor allem in dem Standortwechsel, bei dem der Schüler sich zum einen auf die Erdoberfläche versetzen, zum anderen aber auch die Rotation von Erde und Mond um die Sonne aus der „Vogelperspektive“ vorstellen muss. Dies kann mit ein wenig Mühe im Unterricht behandelt werden, jedoch die Mondbewegung am abendlichen Himmel zur selben Uhrzeit für einen kompletten Phasendurchgang nicht. Diese Diskrepanz wird hierdurch verdeutlicht dass dies sehr leicht beobachtbar ist, aber fast kein Schüler es jemals beobachtet hat.

Ein Leitziel dieses Schülerlabors ist es solche Diskrepanzen abzubauen und die Schüler zu einfachen Beobachtungen am Himmel anzuregen.

### **2.3. *Astronomie im Lehrplan***

Seit dem Jahr 2003 gilt für Bayerische Gymnasien ein neuer Lehrplan, der im Rahmen der Umstellung der 9 Jährigen Gymnasialen Bildung auf eine Verkürzung dieser, auf 8 Jahre konzipiert wurde. Das Thema Raumfahrt ist im Lehrplan nicht implizit vorzufinden, kann jedoch als Anwendung von physikalischen Gesetzen behandelt werden. Der erste schulische Kontakt der Schüler mit der Astronomie, als Teilgebiet der Physik, tritt in der zehnten Jahrgangsstufe auf. Das „Motto“ der 10ten Klasse sind die verschiedenen Weltbilder. [ISB09d]. Acht Unterrichtsstunden werden der Herleitung der astronomischen Weltbilder gewidmet. Hierzu zählt die geschichtliche Entwicklung der Weltbilder von der Antike bis hin zu Kepler, die Anwendung der Keplerschen Gesetze, moderne Kosmologie und die Entstehung, Expansion und Struktur des Universums. Weiterhin kann in der zehnten Klasse, der Bau einer Modellrakete als Additum im Profilbereich zum Thema Flugphysik, gewählt werden.

In der 12ten Jahrgangsstufe kann von den Oberstufenschülern die Lehrplanalternative, Astrophysik, belegt werden. [ISB09e]. In diesem Fach werden neun Stunden dem Überblick über das Sonnensystem gewidmet, indem Planeten, Kometen und Meteoriten vorgestellt werden. Zudem werden die Keplerschen Gesetze und das Gravitationsgesetz wiederholt, sowie die Bahnen der Planeten anhand dieser diskutiert. Auf künstliche Raumsonden und Satelliten wird hierbei ebenfalls eingegangen.

## **2.4. Methodische Überlegungen**

### **2.4.1.Lernzirkel**

Die Anfänge des Lernzirkels sind in der Reformpädagogik anzusiedeln, bei welcher der Schüler, mit seinen individuellen Fähigkeiten und Interessen, in den Mittelpunkt des Unterrichts rückt. Der Lernzirkel rückte in neuerer Zeit in den Mittelpunkt der didaktischen Forschung, da der Schüler mehr Eigenaktivität und Eigenverantwortung für den Lernweg im Physikunterricht, größeres dauerhaftes Interesse an der Physik als auch mehr naturwissenschaftliche Sach- und Selbstkompetenz, durch den Lernzirkel, entwickelt. [KIR06]

Bei einem Lernzirkel werden die Schüler in etwa gleichgroße Gruppen eingeteilt, die sich während der Durchführung des Zirkels nicht ändern. Gemeinsam müssen diese Gruppen einzelne Stationen durchlaufen und diese bearbeiten. Jede Gruppe bearbeitet die jeweilige Station jedoch selbstständig.

Die Durchführung des Lernzirkels erlaubt zwei Arten, die zu bearbeitenden Stationen zu durchlaufen. Nach Berger [BER07], können die Stationen kummulativ aufgebaut sein, so dass man ohne Bearbeitung der vorherigen Station die nächste Station nur sehr schwer bearbeiten kann, oder es handelt sich bei den verschiedenen Arbeitsaufträgen, der einzelnen Stationen, um völlig voneinander unabhängige Themen, sodass die Reihenfolge der Durchführung irrelevant ist.

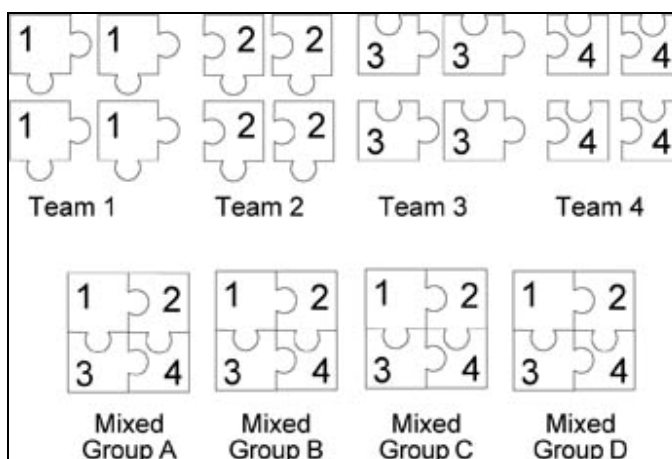
Kircher führt weiter auf, dass Lernzirkel in allen Phasen einer Unterrichtseinheit durchgeführt werden können, nämlich als Einführungszirkel, als Lernzirkel und als Übungszirkel. Die Stationen des Einführungszirkels, sollen als einen ersten Ausblick auf ein neues physikalisches Themengebiet oder auch als Auffrischung, bereits vorhandenen physikalischen Wissens, dienen. Weiterhin kann es sich bei einem Lernzirkel auch um einen Erarbeitungszirkel handeln. Bei dieser Art des Zirkels soll an den einzelnen Stationen, die meistens aufeinander aufbauen, sukzessive ein physikalisches Thema, wie etwa der Laser, erarbeitet werden. Am Ende einer Unterrichtseinheit, dient ein Übungszirkel dazu, den bereits erlernten Unterrichtsstoff, in einzelnen Stationen zu wiederholen und somit zu festigen.

## 2.4.2. Gruppenpuzzle

Nach Roland Berger [BER07] wurde das Gruppenpuzzle in den 1970ern von Elliot Aronson vorgeschlagen. Ursprünglich wurde es entwickelt, um soziale Spannungen, zwischen unterschiedlichen Ethnien, abzubauen.

Das Grundprinzip des Gruppenpuzzles basiert auf der gemeinsamen Erarbeitung eines Themas, welches in verschiedene Teilthemen aufgeteilt wird. Zunächst werden Gruppen, die sowohl homogen als auch heterogen sein können, gebildet. In diesen Gruppen wird jedem Gruppenmitglied ein Teilthema zugewiesen. Nun trennen sich die ursprünglichen Gruppen und bilden sogenannte „Expertengruppen“, in denen das Teilthema ausführlich erörtert wird. Nach dieser Bearbeitungsphase gehen die einzelnen Teilnehmer wieder zurück in ihre ursprünglichen Gruppen und jeder Schüler stellt das von ihm bearbeitete Thema, in dem er nun „Experte“ ist, vor. Das zu bearbeitende ursprüngliche Thema, wird nun von den einzelnen Experten, dem Rest der Gruppe vorgestellt und aus allen Ergebnissen, wird ein Endergebnis, wie ein Puzzle, erschlossen.

Die nachfolgende Skizze soll dies verdeutlichen:



**Abb. 2.1 : Gruppeneinteilung im Gruppenpuzzle; [Expertengruppe (oben); Stammgruppen (unten)]<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Bildnachweis:

[http://serc.carleton.edu/images/NAGTWorkshops/coursedesign/tutorial/jigsaw\\_diagram.jpg](http://serc.carleton.edu/images/NAGTWorkshops/coursedesign/tutorial/jigsaw_diagram.jpg)

Die Hauptfunktion des Gruppenpuzzles ist das Lernen durch Lehren.

Nach Bargh & Schul [BER07] gibt es 3 wertvolle Komponenten des Lernens durch Lehren beim Gruppenpuzzle. Zum einen müssen die „Experten“ bei Rückfragen ihre gebildete Wissensstruktur überarbeiten und durchdenken, zum anderen steigt die Lehr-Erwartung in der Expertengruppe, da den Schülern bekannt ist, dass sie das Thema später den anderen Schülern verständlich darstellen müssen. Somit ist von einer erhöhten Lernbereitschaft auszugehen, da die Schüler sich aktiver mit dem Stoff auseinandersetzen müssen und teils schwierige Stellen nicht einfach überspringen können.

Ein weiterer Aspekt ist, dass im Gruppenpuzzle Lernen durch Erklären ermöglicht wird. Aus kognitionspsychologischer Sicht, nach Webb [BER07], wird dem angeeigneten Wissen durch das Erklären eine kognitive Reorganisation zugesprochen, was sich somit positiv auf den Lernerfolg auswirkt. Dies wurde durch eine, von Webb im Jahre 1991 durchgeführte Studie, bestätigt. Zudem fand Webb heraus dass sich das Erklären keineswegs positiv auf die Zuhörer einer Gruppe auswirken kann, falls nicht folgende Voraussetzungen gleichzeitig erfüllt sind:

Die Schüler müssen die Hilfe benötigen, sie muss für das Problem relevant sein, sie muss rechtzeitig erfolgen, sie muss verstanden werden und die Hilfe empfangenden Schülerinnen und Schüler müssen die Gelegenheit haben die Hilfe umzusetzen.

Renkl stellte 1997 jedoch fest, dass der Lernerfolg durch Zuhören durchaus positiv verlaufen kann, da der Schüler beim reinen Frontalunterricht auch lediglich zuhört. Die Voraussetzung hierzu ist, dass die Schüler ihr vorhandenes Wissen aktiv mit dem Gehörten verknüpfen.

### **2.4.3.Lernzirkel contra Gruppenpuzzle**

Trotz der methodischen Ähnlichkeit der beiden Unterrichtsformen kristallisieren sich einige gravierende Unterschiede heraus.

Nach Berger [BER07] sind zwei dieser Unterschiede von besonderer Relevanz.

Zum einen wird an die Schüler im Gruppenpuzzle eine wie in 2.4.2. beschriebene Lehrerwartung gestellt, die beim Lernzirkel überhaupt nicht vorhanden ist. Beim Gruppenpuzzle verfügen zum anderen nur die Experten des jeweiligen Teilthemas über vertieftes Wissen auf diesem Gebiet. Somit sind die Schüler auf die Experten angewiesen um einen Einblick in dieses Thema zu bekommen und dieses auch zu verstehen.

Zudem unterscheiden sich die beiden methodischen Formen bezüglich ihrer Struktur. Dort wo beim Lernzirkel wenig formale Strukturierung vorhanden ist und die Interaktionen zwischen den Schülern nicht vorgeschrieben ist, herrscht im Gegensatz hierzu beim Gruppenpuzzle ein relativ hoher Strukturierungsgrad, da genau vorgeschrieben ist wie die Schüler später in Interaktion treten müssen, um das gesamte Thema aus den einzelnen Teilthemen zu erarbeiten.

Auch gibt es beim Lernzirkel keine explizite Rollenzuweisung und den Schülern wird somit mehr Autonomie gestattet. Durch das Einteilen in Expertengruppen und das Lehren seines bearbeiteten Teilthemas wird dem Schüler eine Rolle zugewiesen, in der er sowohl als Lehrender sowie auch als zu Behrender, fungiert. Diese Lehrerfahrung kann das Kompetenzerleben des Schülers steigern.

Beim Lernzirkel steht das Lernen in der Gruppe im Mittelpunkt, hingegen beim Gruppenpuzzle das weiter oben erklärte Lernen durch Lehren. Der wichtigste Unterschied jedoch ist, dass beim Lernzirkel allen Schülern der komplette Lehrstoff zugänglich ist, wohingegen beim Gruppenpuzzle eine wechselseitige Abhängigkeit herrscht, und nur den Expertengruppen vertieften Einblick in den Stoff des bearbeiteten Teilthemas gewährt wird.

#### **2.4.4.Struktur des Schülerlabors Raumfahrt**

Das Schülerlabor Raumfahrt wird in zwei Teile aufgeteilt. Zum einen in einen Lernzirkel in dem die Basisstationen durchlaufen werden und in ein Gruppenpuzzle bei dem die Vertiefungsstationen bearbeitet werden.

Da, wie schon in 2.2. erwähnt, die physikalischen Grundlagen für das Themengebiet Raumfahrt entweder am Anfang der 10ten Jahrgangsstufe oder in der 12ten Jahrgangsstufe gelegt werden, das Schülerlabor jedoch für die achte und neunte Jahrgangsstufe ausgelegt ist, müssen zunächst einige physikalische Begriffe erlernt werden. Da hierzu allen Schülern dieses Wissen zugänglich gemacht werden muss, eignet sich ein Lernzirkel.

Im zweiten Teil des Schülerlabors werden Transferaufgaben und weiterführende Experimente durchgeführt die auf das im ersten Teil erlernte Grundwissen aufbauen. Da der zeitliche Rahmen gesprengt werden würde und die Aufmerksamkeit der Schüler nach fünf Stunden intensivem Arbeiten dahin schwindet, ist das Gruppenpuzzle die naheliegende methodische Form für diesen Bereich.

Nach dem Bilden von Expertengruppen, bearbeiten die Schüler ihr Thema und erklären dieses dann anschließend den Mitgliedern ihrer Gruppe, mit der sie den Lernzirkel durchlaufen haben. An die Schüler wird somit eine Lehrerwartung gestellt, welche sie dazu bringt sowohl die Station gewissenhaft zu bearbeiten, als auch das, in dieser Station Erlernte, zu verstehen, da das Gruppenpuzzle wie in 2.4.2. erklärt auf Lernen durch Lehren setzt.

Somit erhalten alle Schüler Einblicke in die anderen 4 Stationen, ohne diese jedoch vertieft behandelt zu haben. Dies fördert die Motivation der Schüler, sich auch nach dem Schülerlabor weiter mit diesem Thema zu beschäftigen.

### 3. Das Schülerlabor

Das im Folgenden erörterte Schülerlabor wurde freundlicherweise von Mittelstufenschülern des Deutschhaus Gymnasiums Würzburg erprobt und in der Julius-Maximilians-Universität Würzburg durchgeführt. Als Probanden dienten hierzu die Schüler zweier neunten und die einer achten Jahrgangsstufe.

Bei einer neunten und der achten Klasse handelt es sich um Modellklassen, was besagt, dass die Schüler in diesen Klassen einen überdurchschnittlich hohen Intelligenzquotienten aufweisen. Außerdem müssen sie ein umfangreiches Auswahlverfahren durchlaufen, welches einen IQ-Test, ein psychologisches Gutachten als auch einen Probeunterricht um ihre sozialen Kompetenzen zu überprüfen beinhaltet.

Für die Durchführung des Schülerlabors sind 5 Stunden veranschlagt, die allerdings nur bei sehr konzentrierter Mitarbeit und hoher Motivation der Schüler einhaltbar sind. Für die Basisstationen die in einem Lernzirkel durchlaufen werden wurden 20 Minuten eingeplant. Die Vertiefungsstationen sind in 90 Minuten zu bearbeiten, wobei 15 – 20 Minuten hiervon für das Erstellen der Präsentation eingeplant wurden, so dass sich ungefähr 60 - 75 Minuten reine Erarbeitungszeit ergibt.

An jeder Station ist ein Betreuer anwesend, der den Schülern Hilfestellungen gibt, wobei großer Wert darauf gelegt wurde, dass die Gruppen möglichst selbständig die Stationen erarbeiten können. Die Rolle des Betreuers ist in diesem Schülerlabor dennoch von zentraler Bedeutung, da an vielen Punkten des Labors eine aktive Diskussion mit dem Betreuer unausweichlich ist. Deshalb sollen die Betreuer über Hintergrundwissen zu ihrer Station verfügen, da sehr viele Fragen zu verschiedenen Themenkomplexen aufkommen können und somit das Interesse und die Motivation der Schüler gesteigert werden kann.








Der Tagesablauf wurde wie folgt gegliedert:

08:00 – 08:30	Einführungsvortrag
08:30 – 08:45	Gruppeneinteilung
08:45 – 09:20	2 Basisstationen
09:20 – 09:35	Pause
09:35 – 10:30	3 Basisstationen
10:30 – 11:00	Präsentation des Planetenweges + Pause
11:00 – 12:30	Vertiefungsstation
12:30 – 13:00	Präsentation der Vertiefungsstationen
Ca. 13:00	Ende

Hierbei wurden genügend Pausen für die Schüler berücksichtigt, da es für Mittelstufenschüler schwer ist länger als 60 Minuten am Stück konzentriert zu arbeiten.

Jeder Schüler erhält für die von ihm zu bearbeitenden Stationen Arbeitsblätter. Die Arbeitsblätter beinhalten sowohl die Versuchsaufbauten und –beschreibungen als auch Aufgaben die von den Schülern zu bearbeiten sind. Zudem beinhalten sie weiterführende Informationen um den Schüler zu motivieren und ihm etwas Einblick in die Materie zu geben. Um die Arbeitsblätter übersichtlicher zu gestalten wurden folgende Symbole durchgehend eingesetzt:

Symbol	Bedeutung
	An dieser Stelle sollen die Schüler ihre gesammelten Ergebnisse aufschreiben oder die Aufgaben schriftlich lösen
	Dieses Symbol soll die Schüler zu einer Diskussion zu einem bestimmten Thema anleiten
	Dieses Symbol taucht immer auf wenn die Schüler über etwas nachdenken sollen
	Die Eule kommt dort vor, wo Hintergrundinformationen zu den einzelnen Themen gegeben werden
	Dieses Symbol deutet an, dass es sich um eine sehr knifflige Aufgabe handelt

### **3.1. Einführungsvortrag**

Das Schülerlabor wird mit einem interaktiven Einführungsvortrag eröffnet, der das Interesse der Schüler wecken und eine erste Heranführung an das Thema Raumfahrt sein soll.

Der als Power Point Präsentation angelegte Vortrag, dessen Folien im Anhang (Kapitel 6.1) enthalten sind, ist auf eine Dauer von 30 Minuten beschränkt, um die Aufmerksamkeit der Schüler nicht zu mindern. Der Vortrag ist wie folgt gegliedert:

1. Unser Platz im Universum
2. Der Mond
3. Die Geschichte der Raumfahrt.

#### **3.1.1. Unser Platz im Universum**

Da sich das Schülerlabor mit dem Thema Raumfahrt befasst, ist es zunächst wichtig, die Position der Erde im Weltall zu bestimmen.

Ähnlich wie bei dem Film „Power of Ten“, an den die Präsentation angelehnt ist, wird das gezeigte Bild alle 10 Sekunden um den Faktor 10 vergrößert. Sequenzen aus dem Film werden jedoch nicht gezeigt, da die Schüler der achten und neunten Jahrgangsstufe noch nicht in der Lage sind mit Potenzschreibung umzugehen und die Strukturen des Weltalls im Film nicht klar erkennbar sind.

Begonnen wird mit der Lokalisation von Würzburg auf der Erde. Als weiterer Schritt wird die Lage der Erde im Sonnensystem veranschaulicht und darauf hingewiesen, dass sich unser Sonnensystem in einer Milchstraße befindet, was darauf schließen lässt, dass weit mehr als die 8, sich in unserem Sonnensystem befindenden Planeten, existieren. Als nächster Schritt werden die weiteren Hundertmilliarden Sonnen, die sich in unserer Galaxie befinden und die daraus resultierenden Galaxiehaufen bis hin zu den größten bekannten Supergalaxiehaufen, erörtert. Dieser Punkt des Vortrags bietet den Schülern die Möglichkeit sich klar zu machen, wie scheinbar unendlich groß das Universum ist und wie unscheinbar winzig die Erde im Vergleich zu dem Großen Ganzen ist.

### **3.1.2.Der Mond**

Dieser Abschnitt des Vortrags befasst sich mit der detaillierten Vorstellung des Mondes. Da der Mond der einzige von Menschen betretene Himmelskörper ist, bietet sich eine Übersicht auf die Lebensbedingungen, die der Mensch auf der Mondoberfläche zu erwarten hat, an. Dieser Teil des Vortrags wird durch das Abspielen von Bildern, die kostenfrei auf der Homepage der NASA zum Download bereitstehen, unterstrichen.

Zu Beginn werden auf die von der Erde aus sichtbaren Merkmale des Mondes, die Gebirge – Terrae, die Mondmeere – Maria, welche aus dunklen Basaltsteinen bestehen, eingegangen. Auch wird auf die Oberfläche des Mondes und auf die, bis zu mehreren Metern dicke, Regolithschicht hingewiesen.

Bevor dieses Kapitel mit einer Schülerdiskussion, zum Thema ob und wie der Mond zu besiedeln sei, endet, werden 3 Hypothesen zur Entstehung des Mondes vorgestellt. Bei diesen Hypothesen handelt es sich die Tropfenhypothese, die der eingefangenen Asteroide und die Kollisionstheorie.

### **3.1.3.Die Geschichte der Raumfahrt**

Der letzte Gliederungspunkt des Einführungsvortrags befasst sich mit der Geschichte der Raumfahrt.

Im Zeitraffer wird der Weg des Menschen vom Geozentrischen über das heliozentrische Weltbild bis hin zum ersten Mann auf dem Mond dargestellt. Die Präsentation legt dar, wie das Interesse der Menschen an der Erkundung des Weltalls stieg, welche Vorstellungen die Menschheit zum Thema hatte, welche Entwürfe sie entwickelte um in den Weltraum zu gelangen und wie diese Entwürfe schließlich der Weltraumforschung des 20. Jahrhunderts als Inspirationsquellen dienten.

Die Präsentation befasst sich weiterhin mit den Urvätern der Raketenforschung, Ziolkowski und Goddard, der rabiaten Weiterentwicklung der Raketentechnik im Zweiten Weltkrieg zu Militärischen Zwecken und dem Wettrüsten während des

Kalten Krieges zwischen den USA und der ehem. UdSSR. Der Beitrag zum Wett-rüsten leitet den Unterpunkt : bemannte Weltraumforschung, ein, der sowohl von der ersten bemannten Raumfahrt als auch von der Entwicklung von Raumstatio-nen und von Space Shuttles berichtet. Der Abschluss des Einführungsvortrags ist ein Ausblick auf die Zukunft der bemannten Raumfahrt wie zum Beispiel, die be-mannte Rückkehr auf den Mond oder das Projekt Mars 500.

#### Vorstellung und Erläuterung der Stationen

Im Anschluss an den Vortrag werden den Schülern die einzelnen Stationen und der organisatorische Aufbau des Schülerlabors als Gruppenpuzzle vorgestellt. Kurz werden die Lerninhalte und Versuche der Basis- und Vertiefungsstationen erläutert und die Schüler werden aufgefordert sich in den gebildeten Gruppen ü-ber die Verteilung auf die Vertiefungsstationen zu einigen.

### **3.2. Die Basisstationen**

Nach der Einteilung der Gruppen beginnen die Schüler die fünf Basisstationen, welche, wie vorher erwähnt, als einführender Lernzirkel aufgebaut sind, in ihren Gruppen zu durchlaufen.

#### **3.2.1. Basisstation 1: Sonne – Erde – Mond**

Diese Station befasst sich mit dem System Sonne, Erde und Mond.

In dieser Station wird auf die Entstehung der Mondphasen, der Jahreszeiten auf der Erde und die Entstehung von Mond- und Sonnenfinsternisse anhand eines Telluriums eingegangen.

Für diese Station ergeben sich folgende Lernziele:

- Die Schüler sollen den Einstrahlungswinkel der Sonne auf die Erdoberfläche deuten können und hieraus die Jahreszeiten und Polar- und Wendekreise herleiten.
- Die Schüler sollen erkennen, dass der Mond leuchtet, indem er von der Sonne angestrahlt wird
- Die Schüler sollen in der Lage sein die Mondphasen zu erklären
- Die Schüler sollen den Unterschied zwischen einem siderischen und einem synodischen Umlauf des Mondes um die Erde verstehen und erklären können
- Die Schüler sollen in der Lage sein zu erklären, wie eine Sonnen- und eine Mondfinsternis zustande kommt
- Die Schüler sollen die „Fehler“ eines Telluriums beschreiben und begründen (z.B. Warum nicht jeden Monat eine Sonnenfinsternis stattfindet)

Um diese Lernziele zu erreichen wurde die Station in drei Teile untergliedert.

Im ersten Teilbereich beschäftigen sich die Schüler mit dem Aufbau und der Funktionsweise des Telluriums und dem Zustandekommen der Jahreszeiten.

Der zweite Teil behandelt die Mondphasen und die Definition eines „Monats“, der dritte Teil die Finsternisse. Alle drei Teilgebiete werden unter zu Hilfenahme des Telluriums durchgeführt. Das in diesem Schülerlabor verwendete Tellurium wurde von der Firma Astromedia bezogen.

### 3.2.1.1. Versuch: Tellurium

#### Benötigte Materialien:

- Tellurium

#### Versuchsaufbau



Abb. 3.1 : Versuchsaufbau Basisstation 1

#### Versuchsdurchführung

##### a) Einführung in das Tellurium

Zunächst sollen sich die Schüler mit der Wirkungsweise des Telluriums vertraut machen. Durch drehen an der Kurbel erkennen die Schüler zunächst, dass sich der Mond um die Erde dreht und dass sich zudem die Erde, die Venus und der Merkur um die Sonne drehen. Durch Ablesen an den Datumsmarkierungen, sollen die Schüler erkennen, dass der Zeitraum, den die Erde benötigt, um die Sonne einmal komplett zu umlaufen, ein Jahr beträgt. Zudem soll die Maßstabstreue des Modells von den Schülern in Frage gestellt werden, da die Größenverhältnisse im vorangegangenen Vortrag oder auch in der Basisstation 4 abgebildet und berechnet wurden.

Die nächste Aufgabe besteht darin, das Zustandekommen der Jahreszeiten und damit den sich ändernden Einstrahlungswinkel der Sonne auf die Erde zu erklären. Hierfür soll zunächst ein fester Punkt auf der Erde beobachtet werden, während sich die Erde um die Sonne bewegt. Die Schüler werden feststellen, dass die Achse der Erde immer in die gleiche Richtung zeigt und sich somit der Einstrahlungswinkel ändert. Zudem sollen die Schüler erkennen, dass manche Regionen während eines Viertelumlafes ganz dunkel bleiben und andere ganz hell. Mit Hilfe des Betreuers wird somit auf die Polarkreise eingegangen. Auch kann man qualitativ erkennen, dass bestimmte Regionen der Erdkugel heller beleuchtet werden als andere. Diese Punkte wandern, von einem Punkt nördlich des Äquators, über den Äquator, zu einem Punkt südlich von diesem hin und anschließend wieder zurück. Dieser besonders helle Punkt zeigt den Ort auf der Erde, an dem die Sonne im Zenit, also senkrecht auf die Erde scheinend, steht. Somit erklären sich die Wendekreise und die Jahreszeiten, die zumeist mit Grundwissen der Schüler zuvor schon erklärt werden können.

#### *b) Mondphasen und Monate*

In diesem Versuchsteil sollen die Schüler anhand des Tellurium untersuchen, wie die Mondphasen entstehen. Hierzu drehen sie das Tellurium so, dass der Mond die Erde ein paar Mal umrundet und stellen fest, dass der Mond von der Sonne angestrahlt wird. Zudem sollen die Schüler erkennen, wie die Mondphasen entstehen, indem nämlich bestimmte Mondgebiete von der Sonne nicht angestrahlt werden. Zudem werden sie vom Betreuer darauf aufmerksam gemacht, dass der Mond kurz vor und kurz nach Neumond am Himmel nicht beobachtet werden kann.

Die Schüler werden hier, wie schon in 2.2. erwähnt, darauf hingewiesen, die unterschiedlichen Aufgangszeiten und Aufgangsorte des Mondes zu beobachten.

Nun wird anhand des Telluriums der Unterschied zwischen einem siderischen und synodischen Monat erläutert. An diesem Punkt, sollte der Betreuer erfahrungsgemäß den Schülern, nach einigem Grübeln ihrerseits, auf die Sprünge helfen. Das Tellurium wird auf Neumond eingestellt. Danach wird den Schülern die Verbindungslinie Erde – Mond im Raum gezeigt und diese markiert. Nun wird an der Kurbel des Telluriums gedreht, bis der Mond eine 360° Drehung um die Erde absolviert hat. Man erkennt, dass die zuvor erläuterte Verbindungslinie, nun auch wieder in dieselbe Richtung zeigt, der Mond aller-



dings noch etwas beleuchtet ist und somit noch nicht ganz als Neumond, von der Erde aus, zu erkennen. Durch weiteres Drehen an der Kurbel, wandert der Mond in die Stellung des Neumonds. Dieser Versuch lässt die Schüler erkennen, dass der synodische Monat länger als der siderische dauert.

c) *Finsternisse*

Zum Abschluss dieser Station sollen die Schüler erläutern, wie eine Mond- und eine Sonnenfinsternis zustande kommen. Den Schülern sollte vorher schon aufgefallen sein, dass der Vollmond bei diesem Tellurium nicht dargestellt werden kann, sondern immer als verdunkelter Mond auftritt. Durch weitere Rotationen des Mondes um die Erde, stellen die Schüler fest, dass der Mond immer verdunkelt wird wenn er hinter der Erde steht und dass der Mond einen Schatten auf die Erde wirft, wenn er sich zwischen Sonne und Erde schiebt. Anhand dieser Beobachtungen können die Schüler die Finsternisse erklären und mit dem Betreuer diskutieren, weshalb eine Finsternis nicht jeden Monat zustande kommt, wie es jedoch am Modell auftritt.

### 3.2.2. Basisstation 2: Abstand Erde – Mond

Bei dieser Station sollen die Schüler eine einfache Konstruktion durchführen, anhand der man den Abstand Erde – Mond und den Durchmesser des Mondes abschätzen kann.

Folgende Lernziele ergeben sich für diese Station:

#### 3.2.2.1. Versuch: Konstruktion

##### Benötigte Materialien:

- Bild einer Mondfinsternis
- 3 unterschiedlich große Holzkugeln (Durchmesser: 7,5mm, 10mm, 12mm)
- 3 Metallstäbe, um die Holzkugeln darauf zu befestigen
- 3 unterschiedlich große Pappkreise (2-facher, 3-facher und 4-facher Durchmesser des Mondes auf dem Bild)
- 1 Meter Lineal
- 1 Styroporkugel (Durchmesser 5cm)

##### Versuchsaufbau:

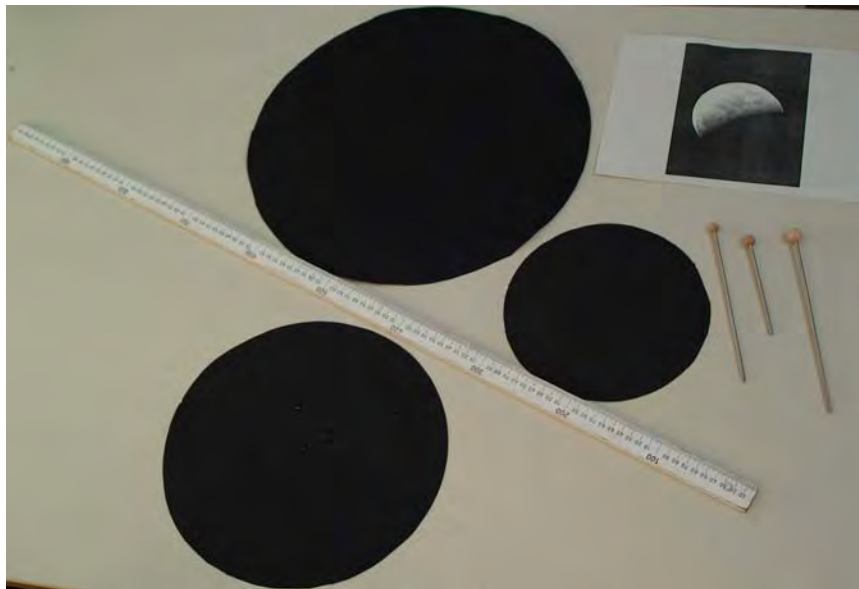


Abb. 3.2 : Versuchsaufbau Basisstation 2

**Versuchsdurchführung:**

Bei diesem Versuch wird anhand des Bildes einer Mondfinsternis der Abstand Erde – Mond abgeschätzt. Eine detaillierte Beschreibung dieses Versuchs findet sich in [GÖT98]. Hierfür wird den Schülern vom Betreuer zunächst der Grundgedanke dieser Konstruktion erklärt. Zuvor wird jedoch zur Motivation der Schüler ein Brainstorming durchgeführt, dessen Ziel darin liegt, Ideen zu sammeln, wie man denn den Abstand zwischen Erde und Mond bestimmen kann. Nachdem die Schüler den Konstruktionsvorgang verstanden haben, beginnen sie zunächst damit, den vorgegebenen Öffnungswinkel des Kernschattens umzurechnen und in die Skizze einzuzeichnen. Nebenbei wird den Schülern erklärt, dass alle angegebenen Winkel auch einfach zu berechnen sind, diese Berechnungen jedoch den zeitlichen Rahmen der Konstruktion sprengen würde. Als nächsten Schritt rechnen die Schüler den Durchmesser der Erde maßstabsgetreu um und zeichnen diesen in die Skizze ein. Nachdem dies geschehen ist, beschäftigen sie sich mit der Auswertung der Abbildung der Mondfinsternis. Hierzu vermessen die Schüler zunächst den Durchmesser des Mondes. Es werden drei Pappscheiben mit jeweils dem zweifachen, dreifachen und vierfachen Durchmesser des Ergebnisses angefertigt. Um Zeit zu sparen, liegen diese bereits an der Station bereit. Nun vergleichen sie die Krümmung des Kernschattens auf dem Bild, mit denen der drei Pappscheiben und sie müssen versuchen diese genau zur Überdeckung zu bringen. Der Durchmesser des Kernschattens ist ungefähr dreimal so groß, wie der des Mondes. Dieses Verhältnis wird benötigt, um den Sehwinkel des Kernschattens in die Skizze einzutragen. Dieser wird aus dem Sehwinkel des Mondes bestimmt, der nächtlich zu beobachten ist. Da das Schülerlabor tagsüber durchgeführt wird, und der Mond nicht sichtbar ist, wird eine Styroporkugel als Mond in sechs Meter Entfernung aufgehängt. An dieser Stelle kann wiederum mit dem Strahlensatz bzw. den trigonometrischen Funktionen gearbeitet werden, was bei dieser Station aus Zeitmangel jedoch nicht gemacht wird. Der Sehwinkel des Mondes beträgt ungefähr  $0,5^\circ$ . Ermittelt wird der Sehwinkel, indem man entweder verschieden große Holzkugeln, in gleicher Entfernung vor sein Auge hält und versucht diejenige zu finden, die mit der Styroporkugel deckungsgleich ist, oder indem eine Holzkugel vom Auge weg geführt wird, bis die Außenränder der Styroporkugel ganz leicht

sichtbar sind, und dann der Abstand zwischen Auge und Holzkugel gemessen werden. An dieser Station wird die zuerst genannte Methode verwendet.

Für den Abstand Auge – Holzkugel werden 50cm ausgewählt, und somit die benötigten Holzkugelgrößen berechnet. Die Holzkugeln werden mit dem, vom Betreuer vorher berechneten, Winkeldurchmessern beschriftet. Nachdem die Schüler den richtigen Winkeldurchmesser ausgemessen haben, tragen sie die Werte in ihre Skizze ein und erkennen, dass sie den Abstand Erde – Mond, mit einer Genauigkeit, die von der Zeichnung des Schülers abhängt, von 5 bis 20% herausgefunden haben. Weiterhin können die Schüler nun den Durchmesser des Mondes bestimmen, indem sie die Breite des Kernschattens beim Abstand des Mondes abmessen und diesen wie vorhin errechnet durch drei teilen. Dies ist erlaubt, da die Winkel hier weniger als  $5^\circ$  betragen und somit, mit der Kleinwinkelnäherung gerechnet werden kann.

### 3.2.3. Basisstation 3: Schwerelosigkeit

Bei dieser Station wird anhand eines Films das Leben auf der ISS und somit in Schwerelosigkeit analysiert.

Für diese Station werden folgende Lernziele angestrebt:

- Die Schüler sollen beschreiben können, wie man in der Schwerelosigkeit seinen Alltag bewältigt
- Sie sollen in der Lage sein die Problematiken, die das Leben im All mit sich bringt, zu analysieren und Lösungsvorschläge zu modellieren
- Sie sollen die Newton'schen Gesetze qualitativ für die Schwerelosigkeit anwenden können
- Die Schüler sollen in der Lage sein einen Film nach physikalischen Aspekten zu analysieren und diese danach zu diskutieren

Die Station lässt sich in zwei Teile gliedern.

Dem ersten Teil entspricht die Vorführung des Films und dem Anderen die Diskussion der zu erarbeitenden Aspekte. Daher ist es an dieser Station besonders wichtig, dass sich der Betreuer ein sehr breites Hintergrundwissen über diesen Themenkomplex aneignet, da sehr verzwickte Fragestellungen seitens der Schüler aufkommen können.

Der Film Life in Orbit, der kostenlos von der NASA Homepage<sup>2</sup> heruntergeladen werden kann, gibt den Schülern Einblicke in den Alltag eines Astronauten auf der ISS. Vor dem Film werden die Schüler auf Probleme die im All vorkommen können aufmerksam gemacht und es wird darauf hingewiesen speziell auf diese im Film zu achten. Zudem wird auch vom Betreuer darauf eingegangen was Schwerelosigkeit ist, und auf welche Arten sie zu Stande kommt.

Im Anschluss an den Film diskutieren die Schüler mit dem Betreuer die auf dem Arbeitsblatt angegebenen Fragestellungen durch. Hierbei wird auf die Besonderheiten, denen sich die Astronauten täglich stellen müssen und die im Film verdeutlicht wer-

---

<sup>2</sup> Quelle: [http://anon.nasa-global.edgesuite.net/anon.nasa-global/NASAHD/exp13/exp13HD\\_720p.wmv](http://anon.nasa-global.edgesuite.net/anon.nasa-global/NASAHD/exp13/exp13HD_720p.wmv)

---

den, eingegangen. Diese Besonderheiten liegen beispielsweise in, von für Erdenbewohnern als selbstverständlich hingenommenen Vorgängen wie, Trinken, Essen und Schlafen, aber auch wie sie ihre Haare schneiden, wie sie arbeiten, ihre Notdurft verrichten und wie sie sich fortbewegen. Bei all diesen Aspekten wird auch immer ein physikalischer Bezug zu den Newton'schen Gesetzen hergestellt.

### 3.2.4. Basisstation 4 : Unser Sonnensystem

Diese Station soll den Schülern einen Einblick in unser Sonnensystem geben. Einen besonderen Aspekt spielen hier die Größenordnungen, die anhand eines gemeinsam zu erarbeitenden Planetenwegs verdeutlicht werden.

Für diese Station ergeben sich folgende Lernziele:

- Die Schüler sollen die acht Planeten unseres Sonnensystems kennenlernen
- Sie sollen die Größenordnungen der Planeten zueinander und zur Sonne mathematisch berechnen können
- Sie sollen die Bewohnbarkeit von Planeten anhand derer Eigenschaften analysieren können

Nachdem im Einführungsvortrag die acht Planeten schon kurz thematisiert wurden und meistens Vorauszusetzen ist, dass die Schüler die Anordnung der Planeten kennen, können Details zu den einzelnen Planeten anhand von Texten erarbeitet werden. Die Auswahl der Texte muss mit großer Sorgfalt vorgenommen werden, da viele Fachbücher entweder nur Daten über die Planeten enthalten oder sehr komplexes chemisches Wissen voraussetzen. Daher haben sich [MAR08] und [LAN07] als sehr nützliche Quellen herauskristallisiert.

In diesen Büchern werden die physikalischen und chemischen Eigenschaften auf den Planeten und deren Bewohnbarkeit, mit einem für die Mittelstufe geeigneten Schreibstil, sehr übersichtlich beschrieben. Zudem wird kurz auf die geschichtliche Entdeckung und Raummissionen eingegangen. Diese Bücher beinhalten des Weiteren auch eine kurze und präzise Zusammenfassung relevanter Daten für den jeweiligen Planeten.

## Planetenweg

### Benötigte Materialien:

- Styroporkugeln (Durchmesser: 50cm; 5cm; 4cm)
- Metallkugeln (Durchmesser: 0,5cm; 0,25cm; 0,2cm; 0,15cm)
- Informationstafeln (an denen sowohl die Planeten als auch die Daten befestigt werden können)
- Messschieber

### Versuchsaufbau:



Abb. 3.3 Versuchsaufbau Basisstation 4



Abb. 3.4 Verwendete Kugeln bei Basisstation 4

### Versuchsdurchführung:

Der Planetenweg wird in drei Schritten erstellt. Hierbei übernimmt jede Gruppe einen Planeten, dessen Größe sie zunächst maßstabsgetreu umrechnet, danach eine Informationstafel zu diesem erstellt und am Ende ihren Planeten den anderen Gruppen, während der gemeinsamen Begehung des Planetenweges, vorstellt und hierbei auf Besonderheiten des Planeten eingeht.



*a) Umrechnung*

Zunächst wählt sich jede Gruppe einen Planeten aus. Zur Auswahl stehen Merkur, Venus, Mars, Jupiter, Saturn. Da im Schülerlabor meist nur fünf Gruppen zustande kommen genügt diese Auswahl. Ein weiterer Aspekt ist, dass der Abstand des Uranus und des Neptuns zur Sonne, bei einer Maßstabwahl in dem die Sonne einen Durchmesser von 50cm aufweist, zwei Kilometer von dem Modell der Sonne entfernt sein müsste. Diese Strecke ist zu Fuß nicht im zeitlichen Rahmen des Schülerlabors zu bewältigen. Weiter würde ein kleinerer Durchmesser der Sonne nach sich ziehen, dass die Planeten Merkur und Mars einen Durchmesser von weniger als einem Millimeter hätten und so mit einfachen Mitteln schwer darstellbar wären.

Nun berechnen die Schüler die Entfernung ihrer gewählten Planeten zur Sonne und den Durchmesser des Planeten im Maßstab des Modells.

*b) Informationstafel*

Im nächsten Schritt erstellen die Schüler eine Informationstafel mit den jeweiligen Daten des Planeten, die sie aus den oben genannten Texten erarbeitet haben. Hierbei soll im Besonderen auf Größe, Atmosphäre und Bewohnbarkeit der Planeten eingegangen werden. Zudem soll die Informationstafel auch die umgerechneten Größen ihres Planeten beinhalten. Die Informationstafel wird vervollständigt, indem die Schüler, aus einer Reihe vorhandener Kugeln, mit Hilfe eines Messschiebers, eine für ihren Planeten passende Kugel heraussuchen und diese an der Informationstafel anbringen.

*c) Begehung des Planetenwegs*

Nun wird gemeinsam mit allen Schülern der Planetenweg abgegangen. Die Abstände werden mit Hilfe eines Streckenrades gemessen und die Informationstafeln der Planeten in den korrekten Abständen in den Boden gesteckt. Jede Gruppe erläutert den anderen Schülern kurz einige Informationen zu dem von ihnen bearbeiteten Planeten.

---

Im bereits durchgeführten Schülerlabor wurde die Begehung des Planetenwegs auf die große Pause nach dem Lernzirkel verschoben, da zunächst alle Informationstafeln erstellt werden müssen. Da die Station auf 20 Minuten begrenzt ist, ist es nicht möglich, die Gruppen einzeln während der Bearbeitungszeit loszuschicken, um ihre Informationstafel aufzustellen.

### 3.2.5. Basisstation 5: Keplersche Gesetze

Diese Station behandelt die drei Keplerschen Gesetze, die anhand eines Potentialtrichters und unter zu Hilfenahme einer Flash-Animation illustriert werden sollen.

Folgende Lernziele ergeben sich für diese Station:

- Die Schüler sollen erkennen, dass sich Planeten auf Ellipsen um die Sonne bewegen
- Die Schüler sollen wissen, dass die Bahngeschwindigkeit eines Planeten nicht an jeder Stelle gleich ist
- Die Schüler sollen Exzentrizität, große und kleine Halbachse, sowie Aphel und Perihel an einer Ellipse beschreiben können
- Die Schüler sollen erklären können, weshalb die Jahreszeiten unterschiedlich lang sind
- Die Schüler sollen die Keplerschen Gesetze auf andere Systeme, wie beispielsweise Erde – Mond, übertragen können.
- Sie sollen weiterhin die Funktionsweise des Potentialtrichters erklären können

Im ersten Teil dieser Station befassen sich die Schüler mit dem Potentialtrichter, durch dessen Funktionsweise sie motiviert werden sollen. Im zweiten Teil wird den Schülern anhand des Java – Applets „Planetary Orbit Simulator“ die Möglichkeit gegeben interaktiv ihre eigenen Planetenbahnen zu konstruieren und anhand dieser die drei Keplerschen Gesetze zu verdeutlichen.

Der für diesen Versuch benutzte Potentialtrichter wurde vom Mathematikum Gießen erworben. Ein Nachteil ist seine geringe Größe, die bewirkt, dass die Kugel nach einigen Umläufen in das Zentrum stürzen. Der Kosten – Nutzen Faktor für einen größeren Potentialtrichter wäre hier hoch gewesen, da die Preise für einen etwas größeren Potentialtrichter mehrere tausend Euro sehr leicht übersteigen.

### 3.2.5.1. Versuch 1: Potentialtrichter

#### Benötigte Materialien:

- Potentialtrichter

#### Versuchsaufbau:



Abb. 3.5: Versuchsaufbau Basisstation 1, Versuch 1

#### Versuchsdurchführung:

Die Schüler nehmen Metallkugeln und lassen diese, unter Anleitung des Betreuers, in den Potentialtrichter rollen. Die Schüler beobachten hierbei, dass die Kugeln ellip-senförmige Bahnen um das Zentrum des Potentialtrichters beschreiben. Auch stellen sie fest, dass die Bahngeschwindigkeit nicht überall konstant schnell ist bzw. wird. Qualitativ kann zudem erkannt werden, dass die Umlaufzeiten der Kugel kürzer wer-den, je näher sie dem Zentrum kommen. Dieser Versuch wird nun mehrere Male wiederholt, indem versucht wird die Kugeln auf kreisförmige, bzw. sehr stark exzent-rische Bahnen zu bringen.

Weiterhin geht der Betreuer darauf ein, dass es sich hierbei exemplarisch um eine Ebene in unserem Sonnensystem handelt. Zusammen mit den Schülern soll er den Einfluss der Reibung auf den Potentialtrichter erörtern.

Nach diesem Versuch werden die Beobachtungen in einem Schüler – Betreuer Gespräch zusammengefasst. Anhand der zusammengetragenen Ergebnisse, werden die Keplerschen Gesetze erläutert. Zudem sind die Grundbegriffe von Ellipsen aufzuführen. Hierzu ist das Blatt im Anhang zum Arbeitsblatt dieser Station gedacht.

Um die Gesetze nun anhand unsers Sonnensystems zu verdeutlichen, beschäftigen sich die Schüler mit dem interaktiven „Planetary Orbit Simulator“ [KEP08].

### 3.2.5.2. Versuch 2: Planetary Orbit Simulator

#### Benötigte Materialien:

- PC mit Java Runtime Environment

#### Versuchsaufbau:

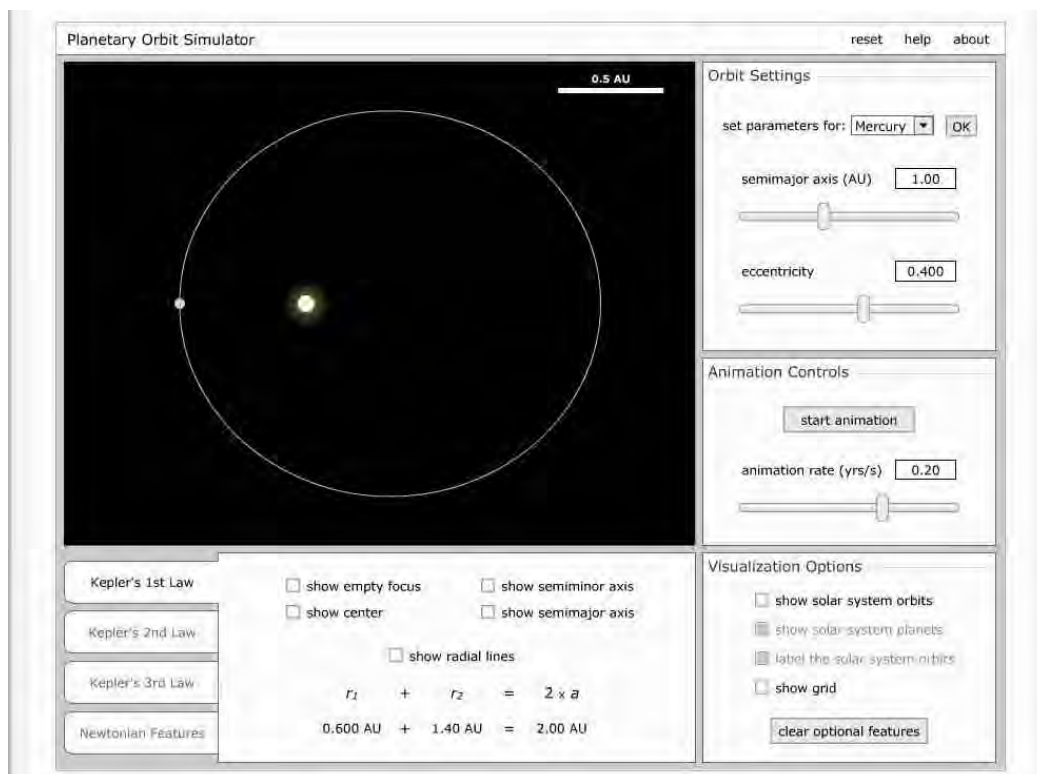


Abb. 3.6 : Screenshot des "Planetary Orbit Simulator"<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Bildnachweis: [KEP08]

**Versuchsdurchführung:**

Die Schüler starten nun das Applet und machen sich selbständig damit vertraut. Anhand des Applets können, sowohl alle Planetenbahnen betrachtet werden, als auch eigene Bahnen erstellt werden.

Mit der Funktion Kepler's 1st Law können noch einmal die grundlegenden Begriffe der Ellipse geklärt werden und man kann auf den Spezialfall des Kreises als Ellipse eingehen. Anhand der Funktion Kepler's 2nd Law können mit dem Button „Start Sweeping“ Flächen überstrichen werden. Hierbei können die Schüler die Größe der markierten Fläche variieren, die bis zu 50% des gesamten Flächeninhalts der Ellipse betragen kann. Die Funktion Kepler's 3rd Law zeigt den Zusammenhang zwischen Umlaufdauer und großer Halbachse anhand eines Graphen auf.

Die Schüler sollen nun an dieser Funktion ablesen, welche Eigenschaften konstant bleiben und welche Eigenschaften sich verändern, wenn man zum einen die Exzentrizität und zum anderen die große Halbachse ändert. Sie sollen ihre Vermutungen abgeben und anhand des Programms verifizieren.

Als zweiter Teil des Versuches wird die Erdbahn aufgerufen. Die Schüler sollen sich nun mit der Fragestellung beschäftigen, weshalb der kalendarische Winter auf der Nordhalbkugel länger ist als der kalendarische Sommer. Auch an dieser Stelle ist die Hilfestellung des Betreuers gefragt, da er den Schülern, falls es ihnen noch nicht bekannt ist, anhand der elliptischen Erdbahn die Äquinoktialpunkte erläutern muss.

### **3.3. Vertiefungsstationen**

Zur Bearbeitung der Vertiefungsstation begeben sich die Schüler nun in ihre Expertengruppe. Nachdem die Bearbeitung der jeweiligen Station beendet ist, werden die Vertiefungsstationen in der ursprünglichen Gruppenbesetzung zyklisch durchlaufen und jeder Experte präsentiert seiner Gruppe die wichtigsten Punkte seiner Station.

#### **3.3.1. Vertiefungsstation 1: Raketenstart**

Bei dieser Station beschäftigen sich die Schüler mit der Raketengleichung, die teilweise hergeleitet wird, sowie den Ausströmungsgeschwindigkeiten von Raketen. Als praktische Anwendung wird die optimale Beladung einer Wasserrakete berechnet und diese dann gestartet.

##### Lehrplanbezug:

Diese Station setzt voraus, dass die Schüler grundlegende Kenntnisse des Kraftbegriffes und der Newton'schen Gesetze haben. Diese werden im Lehrplan der siebten Klasse im Fach Natur und Technik gelegt. [ISB09a]. Diese, und vor allem das dritte Newton'sche Gesetz, werden für die Herleitung der Raketengleichung benötigt. Für Schüler des naturwissenschaftlich – technologischen Gymnasiums kann in der zehnten Klasse im Profilbereich als Additum das Thema Flugphysik behandelt werden. Dieses sieht unter anderem auch den Bau von Modellraketen vor [ISB09d].

Als mathematisches Werkzeug wird an dieser Station der Logarithmus benötigt, welcher jedoch erst im Mathematikunterricht der 10ten Jahrgangsstufe behandelt wird [ISB09d]. Deshalb wurde eine Herleitung und Erläuterung dieser Funktion umgangen indem man den Graphen der Logarithmusfunktion aufgezeichnet hat und die Schüler die Werte aus diesem ablesen lässt.

Für diese Station ergeben sich folgenden Lernziele:

- Die Schüler sollen in der Lage sein das dritte Newton'sche Gesetz anzuwenden
- Die Schüler sollen erklären können wie der Antrieb einer Rakete aus physikalischer Sicht funktioniert

- Die Schüler sollen die Raketengleichung verstehen und anwenden können

Die Station wurde hierfür in drei Teile gegliedert.

Der erste Teil umfasst einen einleitenden Versuch, um das Grundprinzip der Raketentechnik, das dritte Newton'sche Gesetz, zu demonstrieren. Im zweiten Teil wird die Raketengleichung theoretisch hergeleitet und mit einer Anwendung vertieft. Der letzte Teil befasst sich mit dem Start einer Wasserrakete.

### 3.3.1.1. Versuch 1: Skateboard

#### **Benötigte Materialien:**

- Skateboard
- schweren Ball

#### **Versuchsaufbau:**



Abb. 3.7 : Versuchsaufbau Vertiefungsstation 1, Versuch 1

#### **Versuchsdurchführung:**

Zunächst stellt sich ein Schüler auf das Skateboard. Dieser wirft nun den Ball in Blickrichtung von sich weg. Das Skateboard bewegt sich in die entgegengesetzte Richtung in die der Ball geworfen wurde. Anschließend diskutieren die Schüler im Gespräch mit dem Betreuer, weshalb diese Bewegung des Skateboards einsetzt und



wie man diese als Analogon für die Raketentechnik ansieht. Ziel der Diskussion ist, dass die Schüler verstehen, dass man die ausströmenden Gase als viele kleine Bälle ansehen kann und diese somit nach dem Impulserhaltungssatz bzw. dem dritten Newton'schen Gesetz die Rakete fortbewegen. Weiterhin, falls den Schülern dies nicht bekannt ist, wird hierbei auch noch einmal spezifisch auf das dritte Newton'sche Gesetz eingegangen.

### 3.3.1.2. Theoretische Herleitung: Raketengleichung

Bei diesem Abschnitt der Vertiefungsstation beschäftigen sich die Schüler mit der Herleitung der Raketengleichung. Dies geschieht in Anlehnung an [MÜL77]

In Aufgabe 1 müssen die Schüler zunächst den vorangehenden Skateboard – Versuch als Gedankenexperiment weiterführen. Hierbei sollen sie sich vorstellen, dass sie auf einem ruhenden, mit Steinen beladenen Skateboard stehen. Das Gesamtgewicht des Skateboards, des Schülers und der Steine entspricht dem Gewicht von 1000 Steinen. Nun sollen sie die Geschwindigkeitsänderung unter zu Hilfenahme des Impulserhaltungssatzes berechnen, wenn sie einen Stein mit 15 m/s von sich wegwerfen. Im nächsten Schritt wird die Größe der Geschwindigkeitsänderung berechnet, wenn der Skateboardfahrer einen weiteren Stein von sich wirft. Die Berechnung wird zeigen, dass diese bis auf die vierte Nachkommastelle gleich ist. Die Schüler werden hiernach postulieren, dass bei kleinen Masseänderungen, die Geschwindigkeitsänderung pro geworfenem Stein relativ konstant ist. In diesem Zusammenhang können die Schüler von ihrem Arbeitsblatt die Information beziehen wie die korrekten Begriffe, die in der Raketentechnik verwendet werden, für die von ihnen benannten Variablen heißen. Auch werden sie über die Geschwindigkeiten aufgeklärt mit denen Satelliten die Erde umkreisen und entwickeln, im Gespräch mit dem Betreuer, wie Flugbahnen für Raketen zu wählen sind, um Satelliten in die Erdumlaufbahn zu befördern. Zudem wird ihnen erläutert, dass sie zusätzlich zur Bahngeschwindigkeit noch eine gewisse kinetische Energie notwendig ist um eine bestimmte Höhe erreichen zu können, da die Rakete sich im Gravitationsfeld der Erde befindet.

In Aufgabe 2 berechnen die Schüler, unter der vereinfachten Annahme, dass sich die Masse der Rakete nur geringfügig ändert, ob es möglich ist, Satelliten mit einer Ausströmungsgeschwindigkeit von 5400 m/s auf ihre Umlaufbahn zu befördern.

Die Schüler werden nun jedoch feststellen, dass, unter dieser Annahme, nur Geschwindigkeiten erreicht werden können, die die Ausströmungsgeschwindigkeit nicht überschreiten. Nun sollen die Schüler hinterfragen, was an der von ihnen aufgestellten Vermutung falsch ist. Nachdem sie herausgefunden haben, dass die Massenänderung nicht korrekt berücksichtigt wurde, wird vom Betreuer die korrekte Raketengleichung erläutert.

Anhand der dritten Aufgabe sollen die Schüler das eben Hergeleitete festigen und in einen realen Kontext bringen. Hierzu berechnen sie die Masse des Treibstoffs der benötigt wurde um den ersten Satelliten, Sputnik I, ins Weltall zu befördern.

### 3.3.1.3. Versuch: Wasserrakete

#### Benötigte Materialien:

- Verschiedene PET-Flaschen
- Startrampe
- Adapter für PET-Flasche
- Wasser
- Luftpumpe
- Schnur
- Messbecher
- Waage
- Messschieber
- PC mit Java – Applet “Water rocket Simulator”

#### Versuchsaufbau:



Abb. 3.8: Versuchsaufbau Vertiefungsstation 1, Versuch: Wasserrakete

**Water Rocket Simulation** [Home Page](#)

This page does a numerical simulation of the entire flight of your rocket. Just enter the details below, and see how your rocket flies!

Now including Bruce Berggren's air pulse formula! The air pulse is taken as an instantaneous impulse, so the acceleration curves don't show it, but the velocity curve takes a jump upwards on burnout.

Also with Launch Tube simulation, including the ability to use a launch tube of a different size from the nozzle, like with Scott's T-Nozzles.

Rocket volume:	2	(litres)
Water volume:	0.8	* (litres)
Pressure:	120p	(in Kpa, append 'b' for bars, 'p' for PSD)
Nozzle size:	22	* (millimeters)
Nozzle loss factor:	0.16	* (0.05-0.3ish)
Bottle diameter:	110	(millimeters)
Coefficient of Drag:	0.3	(typical range 0.1-0.5)
Dry mass:	100	* (grams)
Initial speed (for second stage):	0	(metres/second)
Launch tube length:	0	(millimetres)
Launch tube diameter:	0	(millimetres, zero means same as nozzle)
Water density:	1	* (kg/litre)

**Notes**

- Any single entry may be specified as a range, for example "80-120". This will divide the range into 20 (logarithmic) steps, and compute the simulation for all of the values. This suppresses the graph.
- A range specification for an entry marked with a \* will show the best altitude achieved.

Abb. 3.9 : Screenshot "Water Rocket Simulation"<sup>4</sup>

### Versuchsdurchführung:

Zunächst starten die Schüler das Applet „Water-Rocket-Simulator“ von Clifford Heath [HEA09]. Zudem einigen sich die Schüler auf eine bzw. zwei PET - Flaschen, die sie abfeuern möchten. Zu Beginn sollen sie sich mit den zu messenden Größen, die für das Applet benötigt werden, wie beispielsweise dem Flaschendurchmesser und dem Flaschenhalsdurchmesser, auseinandersetzen. Als nächstes vermessen sie die Rakete mit Messschieber und Maßband, zudem wiegen sie die Raketen und speisen schließlich die benötigten Daten in das Applet ein. Dieses berechnet sodann die Ausströmungsgeschwindigkeit ihrer Rakete. Auch zeigt es ihnen an, wie hoch die Rakete fliegen wird und wie groß die Geschwindigkeit bei Brennschluss sein wird. Da das Programm erlaubt, bestimmte Variablen mit einem Intervall einzugeben, wie etwa die Menge des Wassers die in die Rakete gefüllt wird oder der Druck mit dem die Rakete abgefeuert wird, können die Schüler nun anhand verschiedener PET Flaschen herausfinden, welche Rakete mit welcher Betankung und mit welchem Startdruck am höchsten fliegen wird.

<sup>4</sup> Bildnachweis:[HEA09]

Im letzten Schritt werden die von den Schülern berechneten Raketen abgefeuert. Hierzu wird die selbstgebaute Startrampe an eine Luftpumpe angeschlossen.

Da hier eine handelsübliche Fußluftpumpe verwendet wird, die nur einen Druck zwischen 3 und 4 bar erzeugt, ist es relativ ungefährlich die Schüler mit den Wasserraketen allein arbeiten zu lassen. Bei höherem Druck muss man jedoch aufpassen, dass kein Schüler zu nahe an die Rakete geht, da sie entweder bersten könnte oder das beim Start austretende Wasser die Schüler verletzen könnte. Deshalb sollte auf einen genügend großen Sicherheitsabstand geachtet und eventuell auf eine Schutzscheibe um die Rakete zurückgegriffen werden. Ausgelöst wird die Rakete durch eine 10 Meter lange Reißleine, die mit der Startbox verbunden ist.

### 3.3.2. Vertiefungsstation 2: Raketenaufstieg

Da sich die aktuellen Nachrichten mit der „Rückkehr“ zum Mond beschäftigen, befasst sich diese Station mit den Energien, die für einen Flug zum Mond notwendig sind. Des Weiteren wird auf die Flugbahn zum Mond und den Landungsmöglichkeiten auf dem Mond eingegangen. Letztere werden interaktiv anhand des Java – Applets „Lunar Lander“ [FLA97] nachgespielt und analysiert.

#### Lehrplanbezug:

Die physikalischen Grundlagen dieser Station bilden das Newton'sche Gravitationsgesetz und der Energieerhaltungssatz. Das Gravitationsgesetz wird in der siebten Jahrgangsstufe im Fach Natur und Technik im Themenkomplex „Überblick über Kraftarten und ihre Ursachen“ angeschnitten [ISB09a], vertieft wird dieses in der zehnten Jahrgangsstufe [ISB09d]. Anwendung findet es an dieser Station für die Berechnung des Punktes zwischen Erde und Mond an welchem sich die Gravitationskräfte beider Himmelskörper gegenseitig aufheben. Nebenbei wird hierfür noch die Kräfteaddition, die in der 7ten Jahrgangsstufe behandelt wird, als Grundlage benötigt.

In der achten Jahrgangsstufe wird die quantitative Beschreibung von Energieumwandlungen als Anwendung des Erhaltungsprinzips behandelt [ISB09b]. Diese findet mit der Berechnung der Startgeschwindigkeit für den Flug zum Mond Anwendung. Auch lernen die Schüler neben der von ihnen im Unterricht eingeführten potentiellen Energie  $E_{pot} = mgh$  eine allgemeinere Formel für die potentielle Energie in einem Gravita-

tionsfeld,  $E_{pot} = GM\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r}\right)$ , kennen.

Für diese Station ergeben sich folgende Lernziele:

- Die Schüler sollen in der Lage sein das Gravitationsgesetz mathematisch zu formulieren
- Sie sollen über die Reichweite der Gravitation informiert sein
- Sie sollen wissen, dass sich Kräfte überlagern können und dieses Prinzip anwenden können

- Sie sollen den Energieerhaltungssatz mathematisch Anwenden können
- Die Schüler sollen die erste kosmische Geschwindigkeit und deren Herleitung kennen
- Die Schüler sollen, anhand der atmosphärischen Eigenschaften von Planeten, die Landemöglichkeiten abwägen
- Sie sollen anhand einer Skizze eines Raumfluges, die einzelnen Phasen diese verstehen und erklären können

Um dies in die Tat umzusetzen wurde die Station in drei Teile gegliedert. Zunächst wird diskutiert, was man unter der Gravitationskraft versteht und wie groß deren Reichweite ist. Zudem wird die Energie berechnet die benötigt wird, um aus dem Gravitationsfeld der Erde, bei einem Flug zum Mond, zu gelangen. Hierbei muss der Punkt berechnet werden an dem sich die Gravitationsfelder von Erde und Mond aufheben. Der zweite Teil beschäftigt sich nun mit dem Gravitationsfeld des Mondes. Im dritten Teil diskutieren die Schüler, wie eine Raumfähre auf der Mondoberfläche landen kann und simulieren dies am PC.

### **3.3.2.1. Teil 1: Gravitationskraft und Erdgravitationsfeld**

Am Anfang dieses Teilbereichs steht eine Diskussion mit dem Thema Gravitation, die vom Betreuer begleitet wird. Die Schüler sollen verstehen was man unter Gravitation versteht und wie diese wirkt. Hierbei werden die Schüler auch darauf aufmerksam gemacht, dass jedes Teilchen unabhängig davon, wie weit es entfernt ist, jedes andere Teilchen anzieht. Weiter sollen die Schüler nun selbständig herausfinden welche Energie bzw. Startgeschwindigkeit notwendig ist, um mit einem Raumschiff auf dem Mond zu landen. Hierfür berechnen sie zuerst den Punkt an dem sich die Gravitationskräfte von Erde und Mond aufheben. Auch wird darauf eingegangen, dass der Einfluss der Gravitationskraft der Sonne auf das System Erde – Mond vernachlässigt wird. Dieser Punkte würde sonst, je nach Stellung von Sonne – Erde – Mond, um einige tausend Kilometer variieren. Auch sollte der Betreuer zur Vervollständigung erwähnen, dass die Mondbahn um die Erde eine Ellipse ist und somit

nur ein Punkt zu einem bestimmten Zeitpunkt berechnet wird, da der Abstand Erde – Mond auch zeitlich variiert. In einem weiteren Schritt müssen die Schüler danach anhand des Energieerhaltungssatzes die benötigte Geschwindigkeit berechnen um diesen Punkt zu erreichen. In einer weiteren Diskussion erarbeiten die Schüler zusammen mit dem Betreuer, weshalb die Startgeschwindigkeit viel höher, als sie berechnet wurde, sein muss. Hierbei werden Aspekte wie Reibung und Luftwiderstand mit einbezogen.

### **3.3.2.2. Teil 2: Gravitationsfeld des Mondes**

Im zweiten Teil dieser Station beschäftigen sich die Schüler mit der Anziehungskraft des Mondes die auf „ihr“ Raumschiff wirkt. Hierfür berechnen sie zuerst die Geschwindigkeit, wiederum mit dem Energieerhaltungssatz, mit der das Raumschiff auf die Mondoberfläche auftritt. Als nächstes betrachten sie die Abbildung der Flugbahn der Apollo 11 Mission auf dem Arbeitsblatt. Anhand dieser sollen die Schüler nun erklären wie ein Flug zum Mond in den einzelnen Teilschritten abläuft. Wichtig ist, dass der Betreuer an dieser Stelle über fundierte Hintergrundinformationen zu den einzelnen Teilabschnitten verfügt und diese den Schülern gut erläutern kann. Die Schüler sollen herausfinden wie man Treibstoffkosten minimieren kann. Hierbei werden auch mehrstufige Raketen angesprochen. Auch wird darauf eingegangen, dass die Kommandokapsel auf einer Umlaufbahn um den Mond bleibt und nur eine Landefähre auf die Oberfläche geschickt wird. Somit muss für den späteren Wiederaufstieg von der Mondoberfläche, nur ein geringeres Gewicht zurück in die Mondumlaufbahn befördert werden, sodass hierfür weniger Treibstoff benötigt wird, der somit auch nicht zum Mond befördert werden muss. Des Weiteren sollen die Schüler sich Gedanken machen wie die Landekapsel sicher auf den Mond zu befördern ist. Sie sollen abwägen ob eine Fallschirmlandung möglich ist. Durch die nicht vorhandene Atmosphäre des Mondes, ist diese Option jedoch nicht möglich und so müssen sie sich mit anderen Möglichkeiten auseinandersetzen, wie man die Landekapsel vor der Landung auf dem Mond abbremsen kann. Ein weiterer Diskussionspunkt ist wie man ein Raumschiff in der Mondatmosphäre steuern kann. Diese Punkte werden im letzten Teil dieser Station verifiziert.



### 3.3.2.3. Teil 3: Java Applet: Lunar Lander

#### Benötigte Materialien:

- PC mit Java
- Applet „Lunar Lander“

#### Versuchsaufbau:

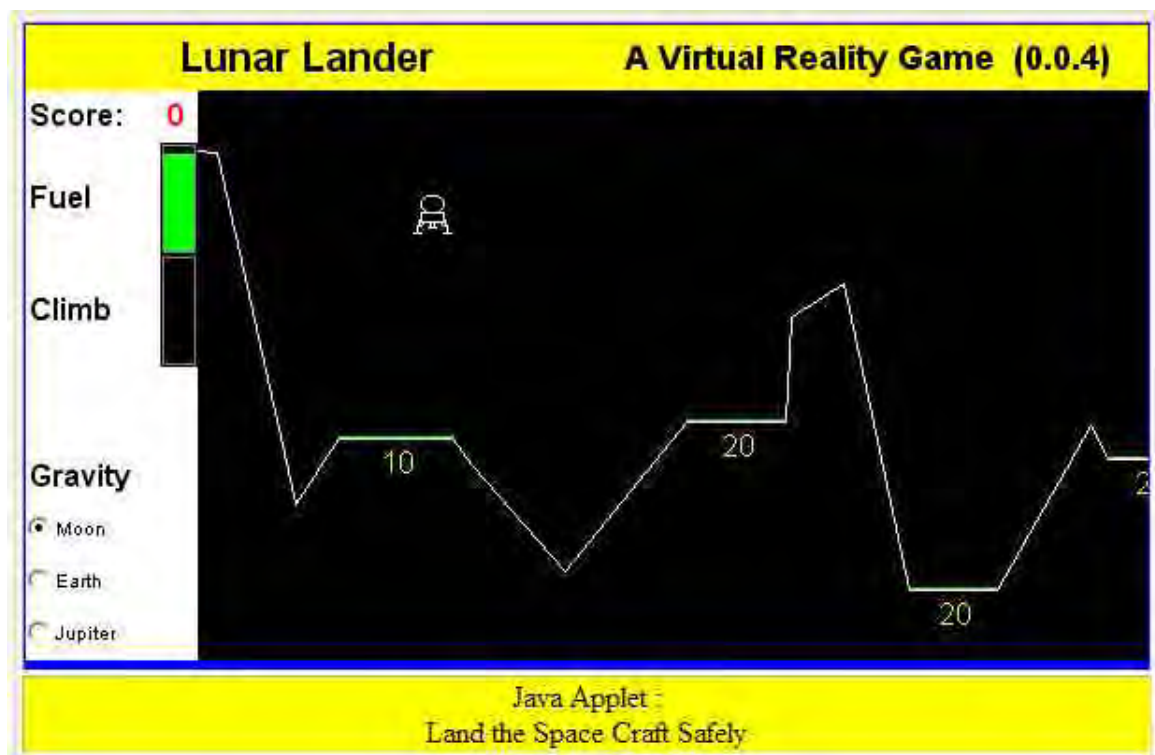


Abb. 3.10: Screenshot "Lunar Lander"<sup>5</sup>

#### Versuchsdurchführung:

Das Applet Lunar Lander, das als Freeware im Internet verfügbar ist, befasst sich mit der Landung von Raumschiffen auf dem Mond, sowie den Planeten Erde und Jupiter. Hierfür wird die Gravitationskraft passend zum jeweiligen Himmelskörper im Applet geändert. Mit der Space-Taste wird das Raumschiff beschleunigt, mit der linken und rechten Pfeiltaste kann das Raumschiff geneigt werden.

<sup>5</sup> Bildnachweis: [FLA97]

Beim Start des Applets fällt das Raumschiff sogleich auf die Mondoberfläche. Zunächst müssen die Schüler versuchen das Raumschiff zu landen. Die Schüler überprüfen nun ihre, in Teil 2 aufgestellten, Theorien, und werden zur Schlussfolgerung kommen, dass es nur möglich ist zu landen, indem die Landefähre gegen die Mondanziehungskraft beschleunigt wird. Sie werden qualitativ ein Gefühl dafür bekommen, dass es nur eine bestimmte Höchstgeschwindigkeit gibt, mit der man auf der Mondoberfläche landen kann, da sonst die Landefähre zerschellt. Weiterhin können sie den Treibstoffverbrauch für ihre Manöver betrachten und sehen so welcher Schüler die Landefähre am Energieeffizientesten auf die Oberfläche gebracht hat.

Weiterhin können die Schüler nun zu weiteren Landeplattformen auf dem Planeten fliegen. Somit können sie auch herausfinden wie die Landefähre überhaupt und weiterhin wie sie am energieeffizientesten zu steuern ist.

Qualitativ können die Schüler zudem den Unterschied zwischen Mond-, Erd- und Jupiteroberfläche untersuchen. Die Schüler werden erkennen, dass auf die Raumfähre unterschiedliche Gravitationskräfte wirken und lernen so die Auswirkungen auf die Landekapsel kennen. Zudem sollen sie zum Schluss anhand des Gravitationsgesetzes erkennen, wodurch dieser Unterschied zustande kommt.

### 3.3.3. Vertiefungsstation 3: Flug zum Mars

In den letzten zwanzig Jahren stand der Mars im Mittelpunkt der Interplanetaren Erforschung, aktuell wird sogar eine bemannte Marsmission geplant. Bei dieser Station sollen die Schüler vereinfacht kennenlernen, wie solch ein Flug zum Mars zu planen ist und worauf man, im Besonderen bei der Flugplanung, zu achten hat.

Lehrplanbezug:

Die physikalischen Grundlagen für diese Station sind der Energieerhaltungssatz und die Kepler'schen Gesetze.

In der achten Jahrgangsstufe wird die quantitative Beschreibung von Energieumwandlungen als Anwendung des Erhaltungsprinzips behandelt [ISB09b]. Diese wird zusammen mit einer allgemeineren, als in der Schule erläuterten, Formel für die potentielle Energie,  $E_{pot} = GM \left( \frac{1}{R} - \frac{1}{r} \right)$ , benötigt um die Startgeschwindigkeit zu berechnen die für einen Flug zum Mars notwendig ist.

Die Kepler'schen Gesetze werden den Schülern in der zehnten Jahrgangsstufe mitgeteilt und auf die Bewegung von Himmelskörpern angewendet [ISB09d]. Als Anwendung dieser werden bei dieser Station die Kepler'schen Gesetze sowohl für die Berechnung der Umlaufzeit des Mars benutzt, als auch für die Berechnung der Flugzeit einer Raumsonde, die auf einer Hohmannbahn von der Erde zum Mond geschickt wird. Letzteres findet sich in der Lehrplanalternative Astrophysik wieder, die Schüler der 12ten Jahrgangsstufe wählen können. Hier wird als Unterpunkt die „Bestimmung der Bahnparameter von Raumsonden“ angesprochen. [ISB09e] Unter diesen Punkt fällt auch die qualitative Betrachtung eines Swing-By Manövers. Explizit hierfür wird in dieser Vertiefungsstation ein Versuch zu dessen Verdeutlichung durchgeführt.

Es ergeben sich folgende Lernziele:

- Die Schüler sollen das Marsfenster erklären können
- Die Schüler sollen wissen was eine Hohmannbahn ist
- Sie sollen die Keplerschen Gesetze anwenden können

- Sie sollen den Energieerhaltungssatz anwenden können
- Die Schüler sollen wissen was ein Swing-By Manöver ist und in der Lage sein es zu erklären

Um diese Lernziele umzusetzen wurde die Station in zwei Teile aufgeteilt. Der erste Teil behandelt den Flug zum Mars und dessen Flugplanung. Die Schüler werden hierbei die Flugzeit und den richtigen Abschusszeitpunkt berechnen. Weiterhin werden sie die Hohmannbahn, als energieärmste Flugbahn zwischen zwei Punkten, kennenlernen. Ihre Ergebnisse verifizieren die Schüler am Java Applet „Shoot Mars“ [WEL03]. Im zweiten Teil wird den Schülern das Swing-By Manöver vorgestellt, bei dem Raumschiffe nahe genug an massereichen Objekten, wie Planeten, vorbeifliegen und so durch die Gravitationskraft ihre Richtung und Geschwindigkeit ändern.

### 3.3.3.1. Teil 1: Berechnung des Flugs

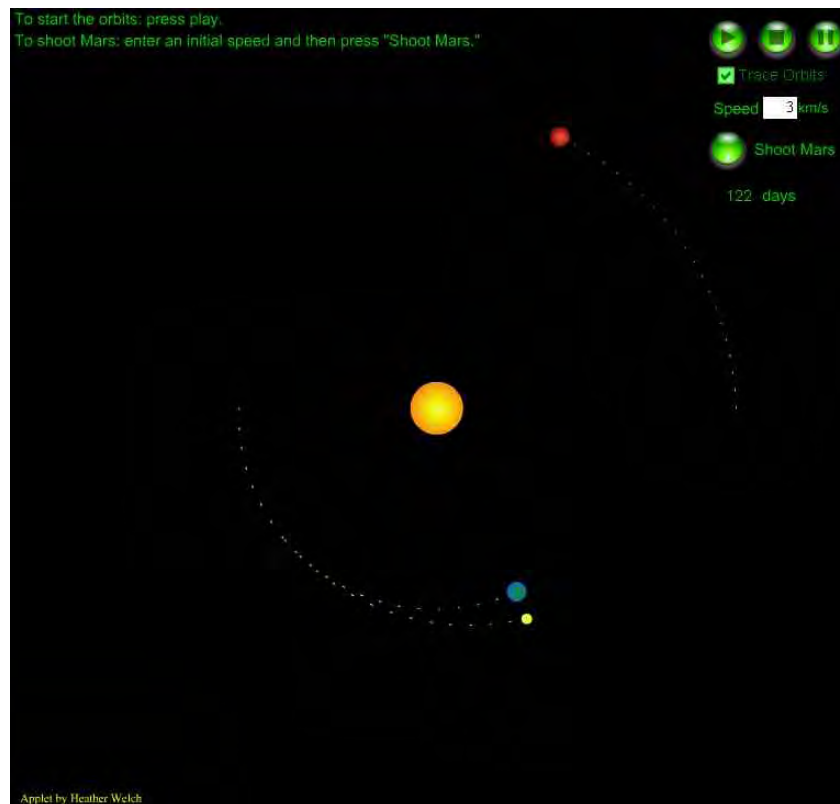
Die Berechnungen in diesem Teilabschnitt der Station lehnen sich an [MÜL77] an. Am Anfang wird mit den Schülern, falls gewünscht, mit dem Betreuer zusammen, auf das Gravitationsfeld der Sonne eingegangen. Hierzu kann zur Verdeutlichung der Potentialtrichter von Basisstation 5 zu Hilfe genommen werden. Ein gutes Analogon zur potentiellen Energie die überwunden werden muss um zum Mars zu gelangen ist ein Skateboardfahrer auf einer Halfpipe, der ein Stück nach oben fahren will. Dieses Beispiel ist den Schülern schon aus der achten Jahrgangsstufe bekannt. Somit können die Schüler nun die erste Aufgabe bearbeiten, bei der sie mit dem Energieerhaltungssatz berechnen sollen, welche Anfangsgeschwindigkeit benötigt wird um zum Mars zu gelangen. Weiterhin sollen die Schüler daraus ableiten, dass eine Sonde die mit dieser Geschwindigkeit abgefeuert wird, mit einer Endgeschwindigkeit von 0 km/s am Mars ankommen würde. Zusätzlich zu dieser benötigten Geschwindigkeit muss die Raumfähre auch noch aus dem Gravitationsfeld der Erde gelangen, den Schülern wird hier erläutert, dass dieses Thema in Vertiefungsstation 2 behandelt wird und ihnen im Anschluss erklärt wird.

Im nächsten Schritt werden die Schüler auf dem Arbeitsblatt dazu aufgefordert, darüber nachzudenken welche Flugbahn man zum Mars wählen würde. Die Schüler

werden meist den Zeitpunkt wählen, an dem sich der Mars in Opposition zur Erde befindet, also Sonne, Erde und Mars eine Linie bilden und die kürzeste Verbindung zwischen Erde und Mars als Flugbahn benennen. Deshalb ist der Betreuer hier besonders angehalten die Schüler auf folgende zwei Aspekte hinzuweisen. Zum einen, dass sich Erde und Mars um die Sonne weiterbewegen, zum anderen dass die Erde ja schon eine Geschwindigkeit hat mit der sie sich um die Sonne bewegt. Mit etwas Hilfe des Betreuers erörtern die Schüler nun die Eigenschaften der Hohmannbahn. Zur weiteren Berechnung der notwendigen Startgeschwindigkeit müssen die Schüler zunächst die Bahngeschwindigkeiten von Erde und Mars berechnen. Auch sollen die Schüler erkennen, dass die Keplerschen Gesetze für die weitere Berechnung anzuwenden sind, da das Raumschiff auf einer elliptischen Bahn um die Sonne gebracht wird. Mit diesen Informationen erkennen die Schüler nun, dass die Startgeschwindigkeit nur noch ein Drittel der, in der vorherigen Aufgabe berechneten, Geschwindigkeit wäre.

Der letzte Schritt dieser Aufgabe besteht darin die Flugdauer der Sonne zu berechnen und den Zeitpunkt anzugeben bei welchem die Raumfähre von der Erde aus gestartet werden muss. Die Flugdauer wird mit Hilfe des dritten Keplerschen Gesetzes berechnet, wobei den Schülern hier erklärt werden muss, dass die Erde als Referenzobjekt dient. Die Stellung, die Erde und Mars beim Start der Rakete haben müssen, lässt sich mit einem Dreisatz berechnen.

Die Schüler können nun die von ihnen berechneten Daten am Java Applet „Shoot Mars“ verifizieren.



**Abb. 3.11: Screenshot "Shoot Mars"**<sup>6</sup>

Zu Beginn des Applets können die Schüler die von ihnen berechnete Startgeschwindigkeit eingeben. Im Applet kreisen Erde und Mars um die Sonne. Mit der Betätigung des Feldes „Shoot“ wird die Raumfähre von der Erde abgefeuert. Die Schüler müssen nun den richtigen Moment abwarten, bei der Erde und Mars die benötigte Konstellation aufweisen. Die Schüler werden merken, dass es sich um einen relativ kleinen Bereich handelt in welchem das Raumschiff starten kann, da die Raumfähre schon bei wenigen Grad Unterschied nicht am Mars ankommt und erfolglos zur Erde zurückfliegt. In diesem Zusammenhang wird noch einmal die Bedeutung des Mars-Fensters erläutert.

<sup>6</sup> Bildnachweis: [WEL03]

### 3.3.3.2. Versuch: Swing-By Manöver

#### Benötigte Materialien

- Glasplatte
- Plexiglasscheibe
- Motor mit niedriger Drehzahl
- Lichtschranke
- Kühlschiene
- Elektromagnet
- Neodymmagnet
- Stativmaterial
- Styroporkugel
- Fähnchen
- kleine Metallkugel
- Stromquellen + Kabel

#### Versuchsaufbau:

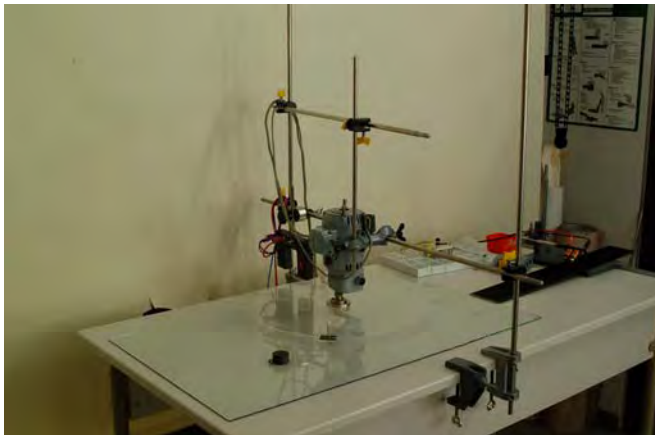


Abb. 3.12: Versuchsaufbau Vertiefungsstation 1, Versuch 1



Abb. 3.14: Startrampe



Abb. 3.13: Lichtschranke und Fähnchen zum Auslösen der Startvorrichtung

Eine Versuchsbeschreibung findet sich bei [DUD04]. Im Folgenden werden nur die Abweichungen und Besonderheiten zu diesem Bauplan erläutert. Das Herzstück des Versuchs ist der Motor. Zur Durchführung wird ein Motor mit sehr geringer Drehzahl benötigt, der jedoch noch in der Lage ist, die an dem Motor befestigte Plexiglasscheibe ruckelfrei zu drehen. An der Plexiglasscheibe wird ein Neodymmagnet angebracht, der von einer Styroporkugel umhüllt wird. Der Motor symbolisiert hierbei nun die Sonne, und die Styroporkugel den Planeten an dem das Swing-By Manöver ausgeführt werden soll.

Als nächstes muss noch eine Abschussanlage aufgebaut werden, die sicherstellt, dass die Kugel zum richtigen Zeitpunkt am Planeten eintrifft. Hierfür wurde eine Kühlschiene verwendet, auf der die Kugel beschleunigen kann. Auch trifft die Kugel somit ohne seitlichen Drall auf die Tischplatte und kann so perfekt ein Swing – By Manöver ausführen. Um die Reibung zu minimieren, wurde eine Glasplatte auf den Tisch gelegt. Die Kugel wird von einem Elektromagneten gehalten, der durch eine Schaltung an die Lichtschranke angeschlossen ist. Sobald nun der Kontakt der Lichtschranke durch das Fähnchen unterbrochen wird, schaltet sich der Elektromagnet aus und die Kugel rollt los. Hierfür muss nun nur noch das Fähnchen in richtigem Abstand auf der Plexiglasscheibe angebracht werden. Die Kalibrierung erfordert etwas Geduld. Zudem sollte der Tisch danach nicht mehr bewegt werden, bzw. größere Erschütterungen vermieden werden, da die Versuchsanordnung sehr sensibel ist.

#### **Versuchsdurchführung:**

Am Anfang erklärt der Betreuer den Schülern was ein Swing – By Manöver ist und wie man Nutzen für die Interplanetare Raumfahrt daraus zieht.

Danach nehmen die Schüler die Anlage in Betrieb. Zunächst wird ihnen die Funktionsweise vom Betreuer erklärt und auch das Analogon, Sonne – Motor, Styroporkugel – Planet und Metallkugel – Raumschiff. Davor wird jedoch ein einfacher Magnet vor die Kühlschiene gestellt und den Schülern der zu erwartende Effekt demonstriert. Die Kugel wird durch den Magneten abgelenkt und ändert somit ihre Richtung und Geschwindigkeit. Nun können die Schüler selbständig Metallkugeln zum Planeten schicken und Swing – By Manöver durchführen. Die Schüler werden feststellen, dass



dies nicht immer funktioniert und sie werden dazu angehalten, mitzuzählen wie viele Versuche sie brauchen bis der gewünschte Effekt auftritt. Auch werden sie feststellen, dass das Raumschiff mit dem Planeten kollidieren würde, wenn es zu nah an diesem vorbeifliegt. Weiterhin kann zusätzlich auf der Glasplatte ein Ziel aufgestellt werden, sodass die Schüler nun versuchen müssen mittels Swing – By – Manöver zu diesem Ziel zu gelangen. Sie werden nach einiger Zeit merken, dass extreme Feinarbeit nötig ist und einige Millimeter darüber entscheiden, ob die Mission erfolgreich wird. Anschließend sollen die Schüler die auf dem Arbeitsblatt skizzierten Flugbahnen der beiden Voyager Sonden betrachten und analysieren. Sie sollen feststellen, dass die beiden Sonden auf einer Hohmann-Bahn zum Jupiter geflogen sind, an diesem Planeten durch ein Swing – By – Manöver Schwung geholt haben, anschließend zum Saturn geflogen sind, wo sie wiederum ein Swing – By Manöver durchführten und letzt endlich am Uranus vorbei sich momentan immer noch aus dem Sonnensystem entfernen.

### 3.3.4. Vertiefungsstation 4: Geostationäre Umlaufbahn und ISS

Bei dieser Station geht es um Satelliten und die ISS. Die Schüler untersuchen wie diese auf ihren Umlaufbahnen um die Erde gehalten werden. Weiterhin beschäftigen sie sich mit dem Aufbau und den Aufgaben der ISS

#### Lehrplanbezug:

Grundlegend für diese Station sind das Newton'sche Gravitationsgesetz und die Zentripetalkraft. Das Newton'sche Gravitationsgesetz wird in der Schule in der siebten Jahrgangsstufe schon eingeführt [ISB09a], jedoch wird beides zusammen erst in der 10ten Jahrgangsstufe im Physikunterricht als Unterpunkt zu „Kreisbewegung mit konstanter Winkelgeschwindigkeit“ behandelt. Ferner werden in diesem Zusammenhang auch „Bewegungen unter Einwirkung der Gravitationskraft“ angesprochen. Im Lehrplan sind hierfür als Anwendung jedoch nur Planetenbahnen vorgesehen, was an dieser Station durch Satellitenbahnen ergänzt und gleichzeitig einen Transfer der Aufgabe in das Erdgravitationsfeld erlaubt [ISB09d].

All diese drei Punkte werden in dieser Station aufgegriffen. Im ersten Versuch wird die Zentripetalkraft genauer untersucht. Das Kräftegleichgewicht, das in der siebten Jahrgangsstufe im Natur und Technik Unterricht eingeführt wird [ISB09a], findet hier mit der Betrachtung von Satellitenbahnen Anwendung.

Weiterhin müssen die Schüler bei dieser Station eine Präsentation über die ISS erstellen, wobei sie die Materialien selbst zu beschaffen haben. Dies wird im Lehrplan der siebten Jahrgangsstufe vom ISB als zu erreichendes Grundwissen gefordert: „Sie können sich durch Einsatz geeigneter Werkzeuge und Suchstrategien Informationen im Internet beschaffen“ [ISB09a].

Für diese Station ergeben sich folgende Lernziele:

- Die Schüler sollen verstehen welche Kräfte auf einen Satelliten in der Erdumlaufbahn wirken
- Sie sollen Flughöhen und Geschwindigkeiten der Satelliten berechnen können
- Sie sollen verstehen was geostationäre Umlaufbahnen sind und wie diese für die Menschen von Nutzen sind

- Sie sollen einen Überblick über die ISS bekommen
- Sie sollen einen Einblick in die Forschung auf der ISS haben

Die Station wurde hierfür in drei Teile untergliedert. Im ersten Teil leiten die Schüler anhand eines Versuches die Proportionalitäten der Zentripetalkraft her. Danach bearbeiten die Schüler im zweiten Teil zwei Aufgaben, die sich mit der Flughöhe und Geschwindigkeit von Satelliten beschäftigen. Der letzte Abschnitt sieht eine Präsentation über die ISS vor, die von den Schülern selbst erstellt wird. Hierzu steht den Schülern ein PC mit Internetanschluss zur Verfügung. Die Informationen sollen sie von der offiziellen Homepage der ISS beziehen.

#### **3.3.4.1. Versuch 1: Zentripetalkraft**

##### **Benötigte Materialien:**

- Motor mit variabler Drehzahl
- Drehbare Fahrbahn
- Wagen
- Verschiedene Gewichte
- Stoppuhr
- Lineal
- Kraftmesser
- Schnur
- Stativmaterial

**Versuchsaufbau:**

Abb. 3.15 Versuchsaufbau: Vertiefungsstation 4, Versuch 1

**Versuchsdurchführung:**

Durch den Motor wird die Fahrbahn in Drehung versetzt. Zunächst nehmen die Schüler die Apparatur in Betrieb ohne den Wagen am Kraftmesser zu befestigen. Sie werden feststellen, dass der Wagen nach außen gedrückt wird. Mit dem Betreuer diskutieren sie nun über diese Beobachtung. Ziel dieser Diskussion ist, dass die Schüler herausfinden sollen, dass eine Kraft auf den Wagen wirkt die parallel zur Fahrbahn gerichtet ist. Um diese Kraft nun genauer zu erfassen, werden die Proportionalitäten, die zu untersuchen sind (Masse, Umlaufdauer, Abstand zum Mittelpunkt der Kreisbahn) vorgegeben. Im Anschluss sollen die Schüler selbständig Versuchsreihen durchführen und diese in die Tabellen auf dem Arbeitsblatt eintragen. Weiterhin wurde, um den Schülern etwas entgegenzukommen, schon angedeutet, ob es sich um direkte oder indirekte Proportionalitäten handelt, da Schüler der achten Jahrgangsstufe erfahrungsgemäß noch Schwierigkeiten mit diesen haben. Nach der Auswertung stellen die Schüler fest, dass die Kraft direkt proportional zur Masse und zum

Abstand vom Mittelpunkt und indirekt proportional zur Umlaufdauer im Quadrat ist. Außerdem erkennen die Schüler in welche Richtung die Kraft wirkt und wofür die Umlenkrolle im Versuch vorhanden ist. Falls dies zu Problemen führt, kann der Betreuer an dieser Stelle mit den Schülern ein Kräfte diagramm aufzeichnen.

Beim Übergang zum zweiten Teil wird den Schülern zum Nachdenken die Frage gestellt, weshalb sich Satelliten nicht von der Erde entfernen, da sie sich doch in einer Kreisbahn um die Erde bewegen und somit wie am Anfang von Versuch 1 von der Erde wegbewegen müssten. Hierbei sollen die Schüler darauf aufmerksam gemacht werden, dass Kräfte auf den Satellit wirken, die ihn auf der Bahn halten, ähnlich wie die Schnur im Versuch 1. Die Schüler sollen dann erkennen, dass es sich hierbei um die Gravitationskraft der Erde handelt und dass, für eine Umlaufbahn mit konstantem Abstand zur Erde, ein Kräftegleichgewicht notwendig ist.

#### **3.3.4.2. Teil 2: Anwendungen**

Dieser Teil der Station beinhaltet zwei Anwendungen der zuvor hergeleiteten Kräfte. Sie sollen außerdem das Kräftegleichgewicht, das bei einem Satelliten herrscht, verdeutlichen. Weiterhin muss der Betreuer, vor Beginn der Aufgaben, das Newtonsche Gravitationsgesetz kurz erläutern. Dabei soll er vor allem darauf eingehen, dass man sich die Massen der Körper vereinfacht als Punktmassen vorstellt und darauf achten, dass dies den Schülern verständlich wird.

Die erste Aufgabe beschäftigt sich mit der Flughöhe der ISS über der Erdoberfläche. Anhand der Umlaufdauer um die Erde sollen die Schüler die Flughöhe der ISS ausrechnen. Dies wird, mit Hilfe des in Teil 1 hergeleiteten Kräftegleichgewichts von Zentrifugal- und Gravitationskraft, erreicht. Auch stellen die Schüler fest, dass die von ihnen hergeleitete Formel für die Flughöhe massenunabhängig ist. Jedoch sollte noch darauf eingegangen werden, dass die Masse bei einer geringen Flughöhe durchaus eine Rolle spielt, da hier die Luftreibung hinzukommt, da man sich noch in der Atmosphäre der Erde befindet.

Das Satellitenfernsehen, das in der heutigen Unterhaltungswelt eine große Rolle spielt, wird in der zweiten Aufgabe angesprochen. Die Schüler werden darauf aufmerksam gemacht, dass die Satellitenschüssel immer auf einen festen Punkt in den Himmel gerichtet ist. Der Betreuer erörtert den Schülern in diesem Zusammenhang

den Begriff der geostationären Umlaufbahn. Die Schüler sollen erkennen, dass Objekte, die sich in dieser Bahn befinden, 24 Stunden benötigen um die Erde einmal zu umlaufen. Weiter erkennen sie, dass somit eine „geostationäre Schale“ existiert, in der alle diese Satelliten denselben Abstand von der Erde haben. Dieser Abstand wird nun auch von den Schülern berechnet.

#### **3.3.4.3. Teil 3: Vortrag über ISS**

Im letzten Teil dieser Station sollen sich die Schüler, anknüpfend an die Basisstation 3, vertieft mit der ISS auseinandersetzen. Hierfür steht den Schülern ein PC mit Internetanschluss zur Verfügung. Die Schüler sollen selbständig Informationen von der offiziellen Homepage der ISS beziehen und diese in einem Vortrag vorbereiten. Die Schüler setzen sich aktiv damit auseinander was die ISS ist und wie sie erbaut wurde. Sie werden feststellen, dass die Raumstation aus einzelnen Modulen besteht, von denen noch einige fehlen. Zudem werden sie darüber aufgeklärt, dass die ISS ein Gemeinschaftsprojekt mehrerer Staaten ist. Die Experimente, die auf der ISS durchgeführt werden, sind ein zentraler Schwerpunkt des Vortrages. Die Schüler werden angehalten, sich über die Themengebiete, auf denen geforscht wird, zu informieren und auf ihre besondere Bedeutung in der Schwerelosigkeit aufmerksam gemacht. Auch die Transportmöglichkeiten zur ISS, die Aufenthaltsdauer sowie psychische und physische Belastungen, die auf den Menschen in der Schwerelosigkeit wirken, sollen zusammengetragen werden.

### 3.3.5. Vertiefungsstation 5: Ortsfaktor

Diese Vertiefungsstation beschäftigt sich mit dem Ortsfaktor. Zum einen wird den Schülern verdeutlicht was der Ortsfaktor ist, zum anderen werden die unterschiedlichen Ortsfaktoren auf den Planeten und auf dem Mond bestimmt und in einem anschaulichen Versuch dargestellt.

#### Lehrplanbezug:

Für diese Station wird als Grundlage das Newton'sche Gravitationsgesetz benötigt. Dieses wird schon in der siebten Jahrgangsstufe im Natur und Technik Unterricht gelegt [ISB09a] und in der zehnten Jahrgangsstufe vertieft [ISB09d].

Hauptaugenmerk dieser Station liegt auf dem Ortsfaktor. Dieser wird in der siebten Jahrgangsstufe als Fallbeschleunigung im Zusammenhang mit der Gewichtskraft eingeführt [ISB09a], in der neunten Jahrgangsstufe als Unterpunkt der Bewegungsfunktionen, im Zusammenhang von Gewichtskraft und freiem Fall, vertieft [ISB09c].

Bei dieser Station wird nun zur Vertiefung des bereits in der Schule erlernten die Äquivalenz von Fallbeschleunigung und Ortsfaktor erarbeitet und anschließend mit Hilfe des Newton'schen Gravitationsgesetzes gezeigt wie sich der Ortsfaktor bestimmen lässt und von welchen Variablen er abhängt.

Folgende Lernziele ergeben sich für diese Station:

- Die Schüler sollen verstehen was der Ortsfaktor ist und wovon dieser abhängig ist
- Sie sollen erkennen dass auf der Oberfläche von anderen Planeten unterschiedliche Anziehungskräfte herrschen
- Sie sollen sowohl den Unterschied als auch den Zusammenhang zwischen Masse und Gewichtskraft erklären können

Um diese Lernziele umzusetzen wurde die Station in zwei Teil aufgeteilt. Im ersten Teil wird den Schülern anhand eines Versuches im Aufzug gezeigt, dass sich beim Beschleunigen und Abbremsen ihre Gewichtskraft ändert. Anhand dieses Versuches soll mit den Schülern der Begriff des Ortsfaktors eingeführt werden. Der zweite Teil dieser Station beschäftigt sich mit der Schwerebeschleunigung auf den Oberflächen

unseres Mondes und den Planeten unseres Sonnensystems. Diese werden anschaulich in einem Versuch dargestellt.

### 3.3.5.1. Versuch 1: Aufzug

#### **Benötigte Materialien:**

- Aufzug
- Personenwaage

#### **Versuchsdurchführung:**

Die Schüler stellen sich zunächst auf die Waage und messen ihr Gewicht. Hiernach begeben sie sich in den Aufzug und beobachten beim anfahren und abbremsten des Aufzugs, dass sich ihr angezeigtes Gewicht verändert. Gemeinsam mit dem Betreuer erörtern die Schüler anschließend die Ursachen. Sie werden feststellen dass die Waage eigentlich nur die Gewichtskraft misst und diese durch einen Proportionalitätsfaktor umrechnet, um ihnen die Masse anzuzeigen. Um dies zu untermalen tragen die Schüler auf dem Arbeitsblatt noch die Kräfte, die auf die Waage wirken, ein. Weiterhin stellen sie fest, dass bei einer beschleunigten Bewegung sich die angezeigte Masse ändert und sich somit der Proportionalitätsfaktor ändern muss, da ja die Masse der Schüler konstant geblieben ist. Mit Hilfe dieser Zusammenhänge sollen die Schüler die Definition des Ortsfaktors erarbeiten.

Im nächsten Schritt wird den Schüler, mit einigen Hilfestellungen des Betreuers, die Äquivalenz zwischen Gewichtskraft und Gravitationskraft erläutert, so dass sie aus den beiden Formeln  $F = mg$  und  $F = G \frac{mM}{r^2}$  eine formale Definition des Ortsfaktors,

$g = G \frac{M}{r^2}$ , herleiten können. Die Schüler stellen fest dass der Ortsfaktor vom Abstand von der Oberfläche abhängig ist und dass der im Physikunterricht verwendete Wert für  $g$ ,  $9,81 \frac{N}{kg}$ , nur sehr nahe an der Erdoberfläche und für unsere Breiten Gültigkeit besitzt.



Als Anwendung dieser hergeleiteten Formel berechnen die Schüler nun in Aufgabe 1 den Ortsfaktor auf der Mondoberfläche. Die Schüler werden feststellen dass er nur in etwa ein sechstel so groß wie auf der Erdoberfläche ist.

Zur Vertiefung bearbeiten die Schüler danach Aufgabe 2. Sie sollen sich noch einmal Aktiv mit den Begriffen Gewichtskraft und Masse auseinandersetzen, gleichzeitig soll diese Aufgabe auch zur Kontrolle des oben Erlernen beitragen. Diese Aufgabe ist ein Gedankenexperiment bei dem die Schüler sich auf dem Mond auf eine Waage, die von der Erde mitgebracht wurde, stellen. Die Schüler sollen ausrechnen welches Gewicht die Waage bei ihnen anzeigen wird. Somit werden die Schüler angehalten sich noch einmal des Unterschiedes zwischen Masse und Gewichtskraft bewusst zu werden.

### 3.3.5.2. Versuch 2: Wasserflaschen

#### Benötigte Materialien:

- 10 Wasserflaschen
- trockener Sand
- Wasser
- Trichter

#### Versuchsaufbau:



Abb. 3.16 : Versuchsaufbau: Vertiefungsstation 5, Versuch 2

**Versuchsdurchführung:**

Die Schüler sollen bei diesem Versuch zunächst die Gewichtskraft einer gefüllten 1 Liter Wasserflasche auf den verschiedenen Planetenoberflächen und auf der Mondoberfläche berechnen. Die benötigten Daten liegen in einer Tabelle vor die sie noch zu vervollständigen haben. Weiter sollen die Schüler nun ausrechnen was eine Waage, die von der Erde mit zu diesem Planeten genommen wurde anzeigt, wenn man die Wasserflasche auf selbige stellt. Mit diesen berechneten Gewichten wird sodann für jeden Planeten und für den Erdmond je eine Wasserflasche mit Wasser befüllt und beschriftet. Für die Planeten Jupiter und Saturn ist es notwendig eine Füllung zu wählen die eine größere Dichte wie Wasser besitzt. Trockener Sand hat sich hierbei als nützlich erwiesen.

Da den Schülern schon von Filmen her bekannt ist, dass Menschen sich leichter auf dem Mond fortbewegen können, höher und weiter springen und sie schwere Apparaturen sehr leicht herumtragen können, ist Ziel dieses Versuches den Schülern die Möglichkeit zu geben sowohl qualitativ als auch quantitativ abzuwägen wie „schwer“ ein Körper auf jedem Planeten wäre.

## 4. Evaluation

### 4.1. Konzeption der Fragebögen

Die Konzeption der Fragebögen für die Evaluation des Schülerlabors basiert auf denjenigen von [ENG04]. Auf die theoretischen Grundlagen der Interessens- und Selbstbestimmungstheorie wird in dieser Arbeit nicht explizit eingegangen. Diese können bei [ENG04] und [GUD06] nachgelesen werden.

Bei dieser Evaluation wurde nur ein Fragebogen erstellt, der direkt nach der Durchführung des Schülerlabors von den Schülern ausgefüllt wird. Für den Fragebogen wurde eine Bearbeitungszeit von zehn Minuten vorgesehen. Falls das Ausfüllen der Fragebögen nach dem Schülerlabor aus Zeitgründen nicht möglich ist, kann er auch noch in der nächsten Physikstunde von den Schülern bearbeitet werden. Dies nimmt zum einen Unterrichtszeit in Anspruch, zum anderen werden die Ergebnisse etwas verzerrt, da wie nachfolgend erläutert wird, das aktuelle Interesse abgefragt wird und beim späteren Ausfüllen des Bogens, einige Tage zwischen der Durchführung des Schülerlabors und der Befragung liegen können.

Weiterhin wurde bei der Konzeption des Fragebogens darauf geachtet, dass dieser möglichst kurz gehalten wird und dennoch alle relevanten Informationen abfragt. Deshalb wurden nur einige für wichtig erachtete Komponenten aus [ENG04] abgefragt, für die eine genauere Beschreibung bei [ENG04; S.65] nachgelesen werden kann. Die Fragenkomplexe für jede dieser Komponenten wurden jedoch vollständig aus [ENG04] übernommen, da durch das Weglassen einzelner Items, eine Verzerrung der Ergebnisse aufträte und die Reabilität der Komponenten verändert werden würde.

Neben Alter und Geschlecht der Schüler, wurden als Persönlichkeitsvariablen Sach- und Fachinteresse abgefragt. Diese stehen als unabhängige Variablen im Zusammenhang zum aktuellen Interesse, welches ebenfalls abgefragt wird. Dieses wird „[...]durch den Besuch des Schülerlabors und insbesondere durch die dort durchgeführten Experimente hervorgerufen [...] und ist somit ein Maß für das Potential von Schülerlabors, Interesse für die Naturwissenschaften zu fördern.“ [ENG04, S.64]. Das aktuelle Interesse wird in den drei Komponenten, der emotionalen, der wertbezogenen und der epistemischen, abgefragt.

Im zweiten Teil des Fragebogens sollen spezifische Daten zum Schülerlabor ermittelt werden. Bei den ersten beiden Fragen sollen die Schüler ankreuzen, welche Stationen ihnen gefallen bzw. nicht gefallen haben. Somit erhält man ein Feedback welche Stationen für die Schüler von Interesse sind. Mit der dritten Frage soll der Schwierigkeitsgrad der einzelnen Stationen eingeordnet werden können, da hier ja unterschiedliche Klassenstufen, sowohl normale, als auch Modellklassen das Schülerlabor besuchen, um das Schülerlabor in Zukunft für einzelne Jahrgangsstufen optimieren zu können.

Anschließend sollen die Schüler dem Schülerlabor noch eine Schulnote geben und ihre Wahl begründen. Hierbei haben die Schüler auch Gelegenheit die aus ihrer Sicht positiven und negativen Aspekte des Schülerlabors aufzuführen.

Der dritte Teil des Fragebogens wurde für Herrn Völker aufgenommen, der im Rahmen seiner Dissertation die Betreuung von Schülerlaboren untersucht.

## 4.2. Auswertung der Fragebögen

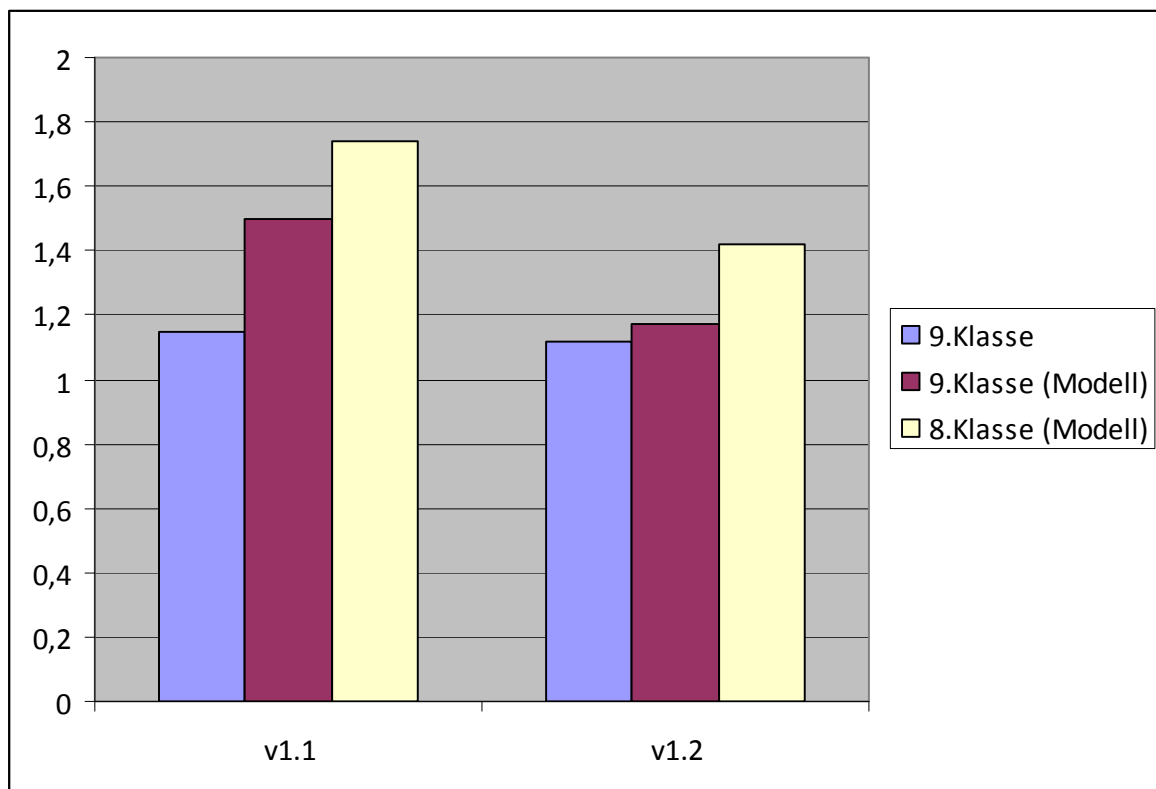
Die tabellarische Auswertung befindet sich im Anhang (Kapitel 6.4)

Die Auswertung der Fragebögen brachte folgende Ergebnisse:

**Tabelle 1 : Zusammensetzung der Klassen**

<b>Klassenzusammensetzung</b>				
Klasse	Schülerinnen	Schüler	Gesamt	Durchschnittsalter
9te Klasse	4	22	26	14,9
9te Klasse (Modell)	4	9	13	14,9
8te Klasse (Modell)	5	14	19	13,6
<b>Gesamt</b>	<b>13</b>	<b>45</b>	<b>58</b>	<b>14,5</b>

### Fachinteresse



**Abb. 4.1 Graphische Auswertung des Fachinteresses**

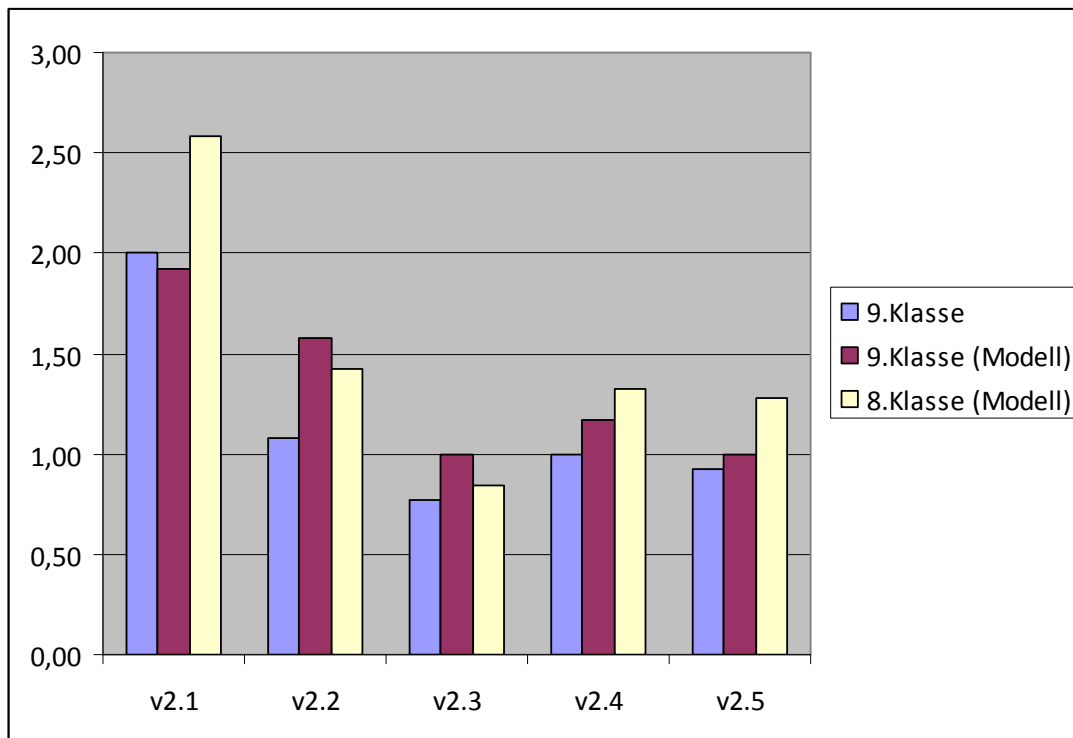
**Sachinteresse**

Abb. 4.2 Graphische Auswertung des Sachinteresses

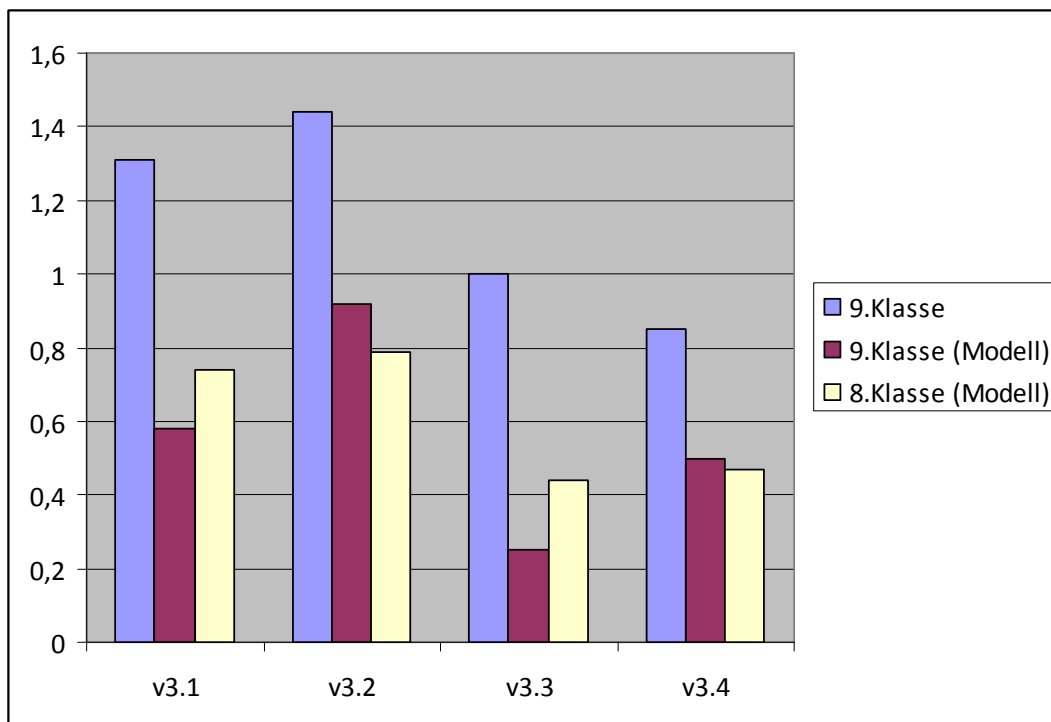
**emotionale Komponente des aktuellen Interesses**

Abb. 4.3 Graphische Auswertung der emotionalen Komponente des aktuellen Interesses

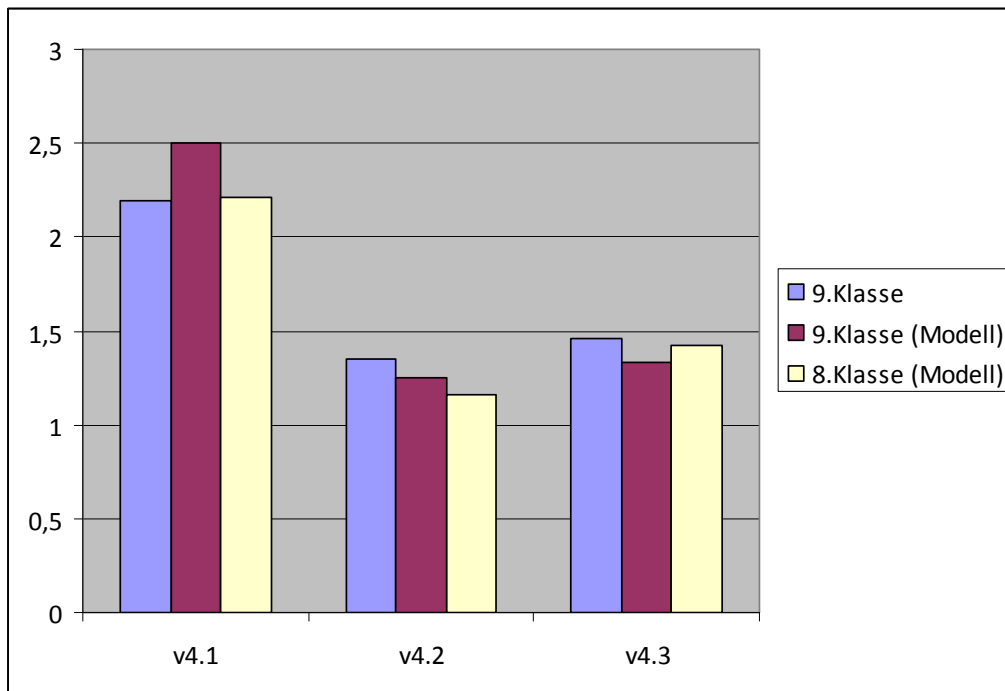
**wertbezogene Komponente des aktuellen Interesses**

Abb. 4.4 Graphische Auswertung der wertbezogenen Komponente des aktuellen Interesses

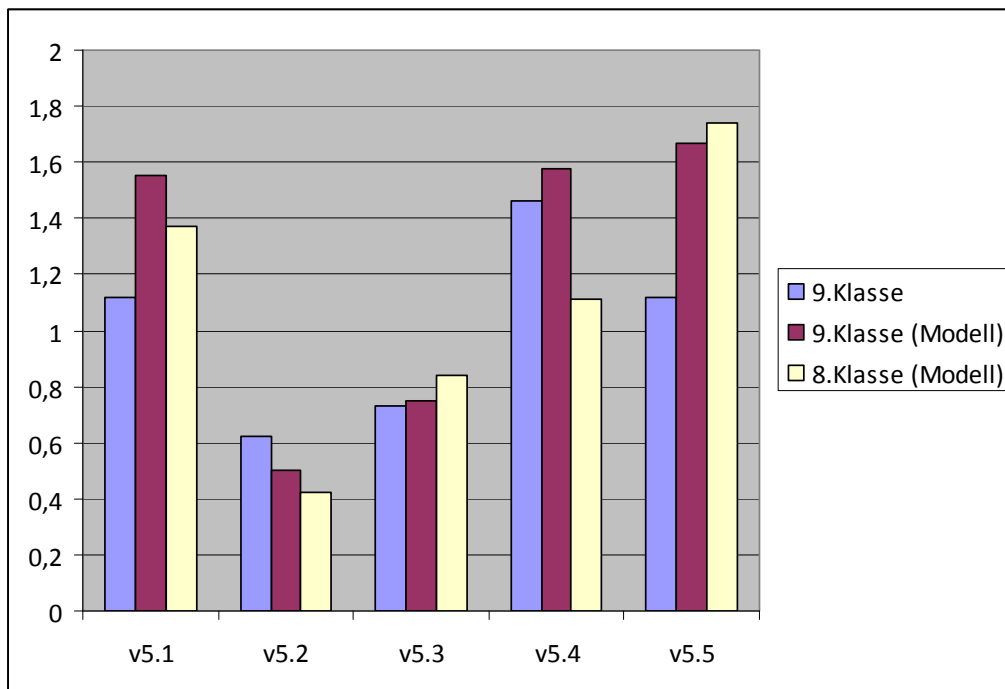
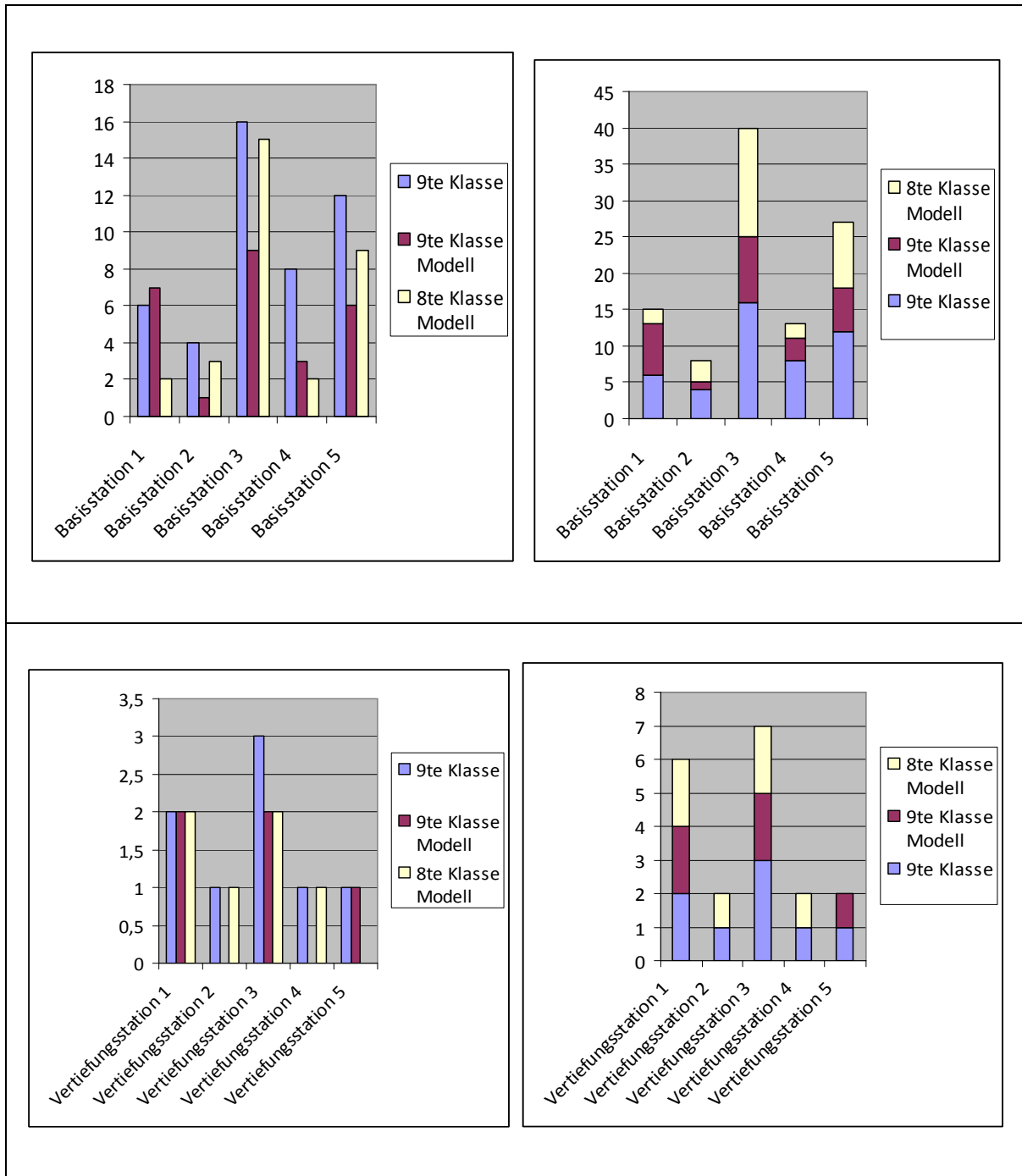
**epistemische Komponente des aktuellen Interesses**

Abb. 4.5 Graphische Auswertung der epistemischen Komponente des Aktuellen Interesses

**Welche Stationen haben dir besonders gefallen?**



**Abb. 4.6 Graphische Auswertung der Frage: Welche Stationen haben dir besonders gefallen?**



**Welche Stationen haben dir nicht gefallen?**

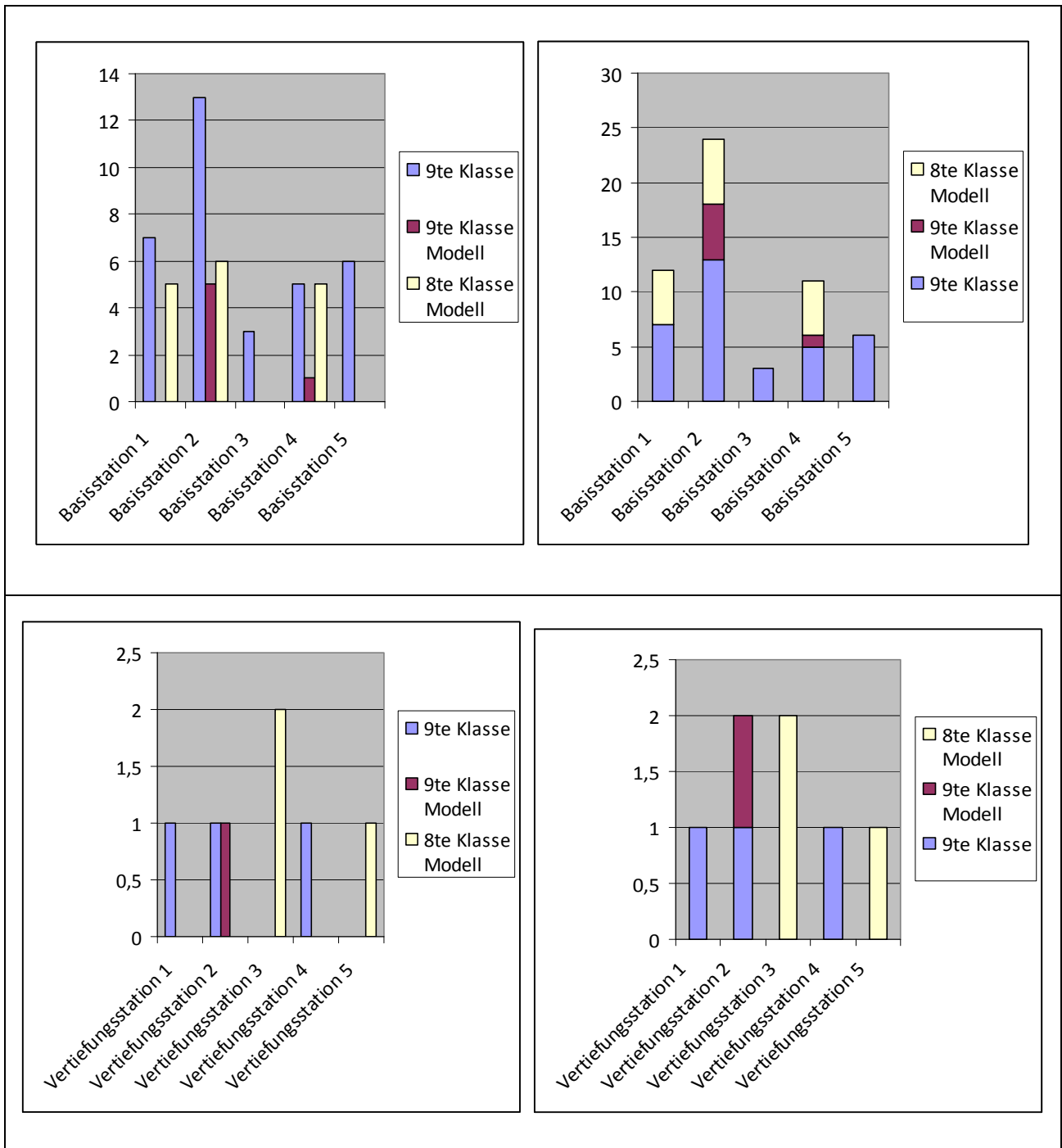


Abb. 4.7 Graphische Auswertung der Frage: Welche Stationen haben dir nicht gefallen?

**Welche Stationen fandest du zu schwer?**

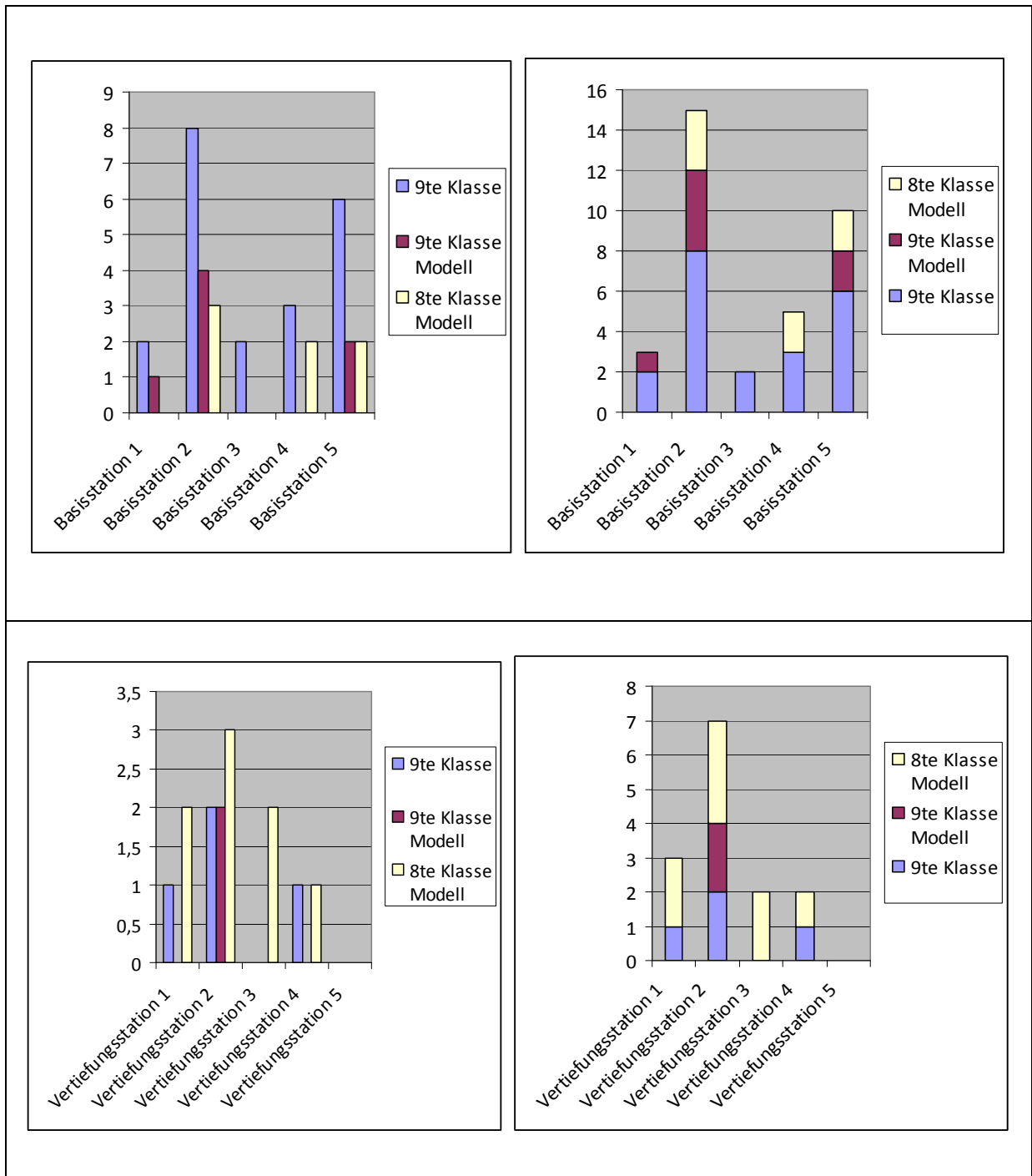


Abb. 4.8 Graphische Auswertung der Frage: Welche Station fandest du zu schwer?

**Beurteilung des Schülerlabors mit Schulnoten**

Tabelle 2 : Beurteilung des Schülerlabors mit Schulnoten

<b>Beurteilung des Schülerlabors mit Schulnoten</b>	
<b>Klasse</b>	<b>Mittelwert</b>
9te Klasse	2,72
9te Klasse (Modell)	1,92
8te Klasse (Modell)	2,00

**Beurteilung der Betreuung im Schülerlabor mit Schulnoten**

Tabelle 3 : Beurteilung der Betreuung im Schülerlabor mit Schulnoten

<b>Beurteilung der Betreuung im Schülerlabors mit Schulnoten</b>	
<b>Klasse</b>	<b>Mittelwert</b>
9te Klasse	1,96
9te Klasse (Modell)	1,50
8te Klasse (Modell)	1,68

Auf die Auswertung der letzten zwei Fragen wird hier nicht explizit eingegangen, da diese auf Wunsch von Hrn. Völker in den Fragebogen aufgenommen wurden.

### **4.3. Ergebnisse der Evaluation**

Das Schülerlabor Raumfahrt haben insgesamt 58 Schüler besucht, wovon lediglich 13 Schülerinnen waren. Das Durchschnittsalter betrug 14,5 Jahre. Diese setzen sich aus Schülern einer 8ten Klasse (Modell), einer 9ten Klasse (Modell) und einer 9ten Klasse zusammen. Alle Schüler besuchen den Naturwissenschaftlichen -Technischen Zweig. Ein besonderes Augenmerk wird in dieser Evaluation deshalb auf den Unterschieden zwischen Modell- und „Normal“-klasse liegen, als auch zwischen der achten und neunten Jahrgangsstufe.

Anhand der Auswertung der Fragebögen kann zunächst festgestellt werden, dass das Fachinteresse relativ niedrig ist, was auch mit aktuellen Forschungsergebnissen in Einklang zu bringen ist und es das schlechte Image des Physikunterrichts widerspiegelt, jedoch tritt auch ein immense Unterschiede zwischen den einzelnen drei Klassen auf. Zunächst ist festzustellen, dass das Fachinteresse in den Modellklassen um einiges höher ist als in der „normalen“ Klasse. Weiterhin kann auch festgestellt werden, dass die achte Klasse im Durchschnitt ein höheres Fachinteresse aufweist als die beiden neunten Klassen. Ein Grund hierfür findet sich im Sachinteresse der achten Klasse, die sehr viel Spaß an Experimenten bekunden und somit zudem ein gesteigertes Interesse am Physikunterricht vorweisen können. Im Gespräch mit einer Lehrkraft stellte sich heraus, dass bei den Modellklassen mehr Zeit im Unterricht für Schülerexperimente bleibt als bei einer normalen Klasse, da die Schüler der Modellklassen wesentlich schneller den Lehrstoff begreifen.

In der Auswertung ist weiter zu erkennen, dass die neunte Klasse im Vergleich zu den beiden Modellklassen ein sehr geringes Sachinteresse aufweist und zudem, im Gegensatz zu den Modellklassen, kaum Interesse an Naturwissenschaften in ihrer Freizeit aufweist. Jedoch sind die Modellklassen auch „ehr weniger“, genauso wie die „normale Klasse“, bereit sich in ihrer Freizeit mit Naturwissenschaften zu beschäftigen und an ihnen Freude zu finden. So kann also festgestellt werden, dass den Schülern das Experimentieren an sich zwar Spaß macht, sie Experimente jedoch nicht in ihrer Freizeit durchführen würden.

Ein weiterer Aspekt, der bei der Auswertung des Schülerlabors in Augenschein getreten ist, ist dass die emotionale Komponente des aktuellen Interesses bei den Modellklassen

sehr hoch ist. Die Experimente haben den Schülern sehr viel Spaß gemacht und kaum einer hat sich bei der Durchführung der Experimente unwohl gefühlt. Dass dies fast jeden Schüler betrifft, zeigt sich an der kleinen Streuung der Messwerte um den Mittelwert. Im Gegenzug ist bei der „normalen Klasse“ nur durchschnittliches Interesse vorhanden. Deren Messwerte weisen eine ungewöhnlich große Streuung auf, so dass darauf zu schließen ist, dass dennoch bei einigen Schülern sehr hohes emotionales Interesse vorhanden war.

Die wertbezogene Komponente ist bei allen drei Klassen gleich hoch und befindet sich im Mittelfeld der Skala. Zudem bewerteten alle Schüler es als sinnvoll, Experimente an diesem Tag durchgeführten zu haben.

Bei der epistemischen Komponente des aktuellen Interesses sind wieder signifikante Unterschiede, zum einen zwischen der „normalen“ Klasse und den Modellklassen und zum anderen zwischen den einzelnen Items selbst, zu verzeichnen.

Die Modellklassen zeigten ein wesentlich höheres Interesse sich auch nach dem Schülerlabor und vor allem außerhalb des Unterrichts mit den im Schülerlabor angesprochenen Themen zu beschäftigen. Alle Schüler bekundeten jedoch wenig Interesse solche Experimenten, wie sie im Schülerlabor durchgeführt wurden, in ihrer Freizeit durchzuführen, oder auch die behandelten Themen in Büchern nachzulesen. Letzteres mag eventuell an der großen Fülle von Informationen im Internet liegen, dass die Schüler nicht freiwillig auf Bücher zurückgreifen wollen, da sie ja dennoch Interesse bekundet haben sich weiterhin mit den im Schülerlabor angesprochenen Themengebieten zu beschäftigen.

Die Auswertung des zweiten Teils des Fragebogens ergibt, dass sich die Basisstationen 3 und 5 als die beliebtesten herauskristallisiert haben, bei den Vertiefungsstationen waren dies die Station 1 und 3. Bei den Basisstationen ist anzunehmen, da vor allem die neunte Klasse und die achte Klasse (Modell) diese beiden favorisierend fanden. Bei der Basisstation 3 ist dies auf die relative Simplität dieser Station zurückzuführen, da keine großen geistigen Anstrengungen nötig waren. Bei Basisstation 5 liegt es vor allem am Potentialtrichter, der, laut dem Betreuer, die Schüler sehr begeistert hat. Des Weiteren waren die Schüler auch von der Vertiefungsstation 1 sehr begeistert, da sie hier Wasserraketen abschießen durften. Die Vertiefungsstation 3 wurde als beliebteste Station

gewählt, da hier, aus eigener Erfahrung, der Gravity-Assist Versuch sehr viel Aufsehen und Begeisterung erregte.

Im Schnitt waren die Basisstationen nicht zu schwer für alle Klassen. Basisstation zwei wurde als einzige von mehr als 10 Schülern als zu schwer empfunden. Hiervon sind jedoch die meisten Stimmen auf die neunte Klasse zurückzuführen, so dass dies nicht für alle Klassen pauschalisiert werden kann. Direkt an diese Ergebnisse gekoppelt sind auch die, für die Stationen, die den Schülern nicht gefallen haben. Hier Schnitt auch die Basisstation 2 im Vergleich zu den anderen Basisstationen schlecht ab, jedoch entfallen hier wiederum die meisten Stimmen auf die neunte Klasse. Bei den Vertiefungsstationen wurde die Station 2 als die schwerste gewählt, was nicht zuletzt auf die Berechnungen und die wenig spektakulären Versuche zurückzuführen ist. Dies könnten auch die Gründe sein, weshalb diese Station den Schülern nicht gefallen hat. Weiterhin gefiel der 8ten Klasse (Modell) die Vertiefungsstation 3 am wenigsten, was auch daran lag, dass diese für die 8te Klasse noch etwas zu schwer war.

Zusammenfassend kann man feststellen, dass das Schülerlabor sowohl für die achte, als auch für die neunte Jahrgangsstufe geeignet ist. Bei einigen Teilbereichen wie z.B. bei der Basisstation 2 oder den Vertiefungsstationen 2 und 3 benötigen die Schüler unter Umständen jedoch eine etwas intensivere Betreuung. Bei dieser Station wurde im Bezug auf den Schwierigkeitsgrad die Goldene Mitte getroffen, nur ein Teil der Schüler empfanden die Station als zu schwer. Damit ist auch sichergestellt, dass das Schülerlabor nicht zu einfach für die Schüler zu bearbeiten ist, sondern einen gewissen Anreiz für geistige Aktivität bietet.

Der gute Gesamteindruck der Bewertung des Schülerlabors spiegelt sich auch in den von den Schülern vergebenen Noten. Hierbei erhielt es von den Modellklassen eine glatte 2.0 von der normalen Klasse hingegen einen Schnitt von 2,72. Hauptgrund für das etwas schlechtere Abschneiden war, dass an diesem Tag das Schülerlabor das erste Mal durchgeführt wurde, zudem etwas länger als geplant dauerte und sich durch das Überziehen Unmut seitens der Schüler breit gemacht hat.

Die Betreuung des Schülerlabors wurde zudem als sehr gut bewertet, die Betreuer wurden als sehr nett, kompetent und kollegial eingestuft. Besonders hat den Schülern der lockere Umgang zwischen den Betreuern und den Schülern gefallen.

## 5. Schlussbemerkung

Die hier vorliegende Arbeit soll die Planung und Durchführung eines Schülerlabors zum Thema Raumfahrt beschreiben. Die Schüler sollten dort vertiefte Kenntnisse über die Größenverhältnisse in unserem Sonnensystem, die Funktionsweise von Raketen, das Leben in der Schwerelosigkeit, sowie grundlegende Kenntnisse zur Himmelsmechanik erhalten.

Ferner ist aufgefallen, dass die meisten Lehrbücher, die astronomische Themen behandeln, veraltet sind oder sehr abstrakte Anwendungen für die Schule bieten. Die Themengebiete die angesprochen werden sind beispielsweise: der Aufbau von Teleskopen, Berechnungen zu den Gezeiten oder Entfernungsbestimmungen. Jedoch wird selten Bezug zu aktuellen Themen und Fragestellungen in der Astronomie bzw. Raumfahrt genommen. Diese Schwierigkeit setzt sich auch mit dem Einsatz von geeigneten Lehrmitteln, wie in Kapitel 2.2 diskutiert, fort. Deshalb wurden einige, der in diesem Schülerlabor eingesetzten Versuche, speziell hierfür gebaut und es wurde somit aufgezeigt, dass spannende Versuche zu diesen Themenbereichen mit relativ einfachen Mitteln möglich sind. Vor allem der Versuch zum Swing – By Manöver erfreute sich großer Beliebtheit.

Die Evaluation dieses Schülerlabors zeigt, dass diese, im Schülerlabor behandelten Themen, Potential haben das Interesse der Schüler für Naturwissenschaften langfristig zu wecken, was auch ein vorrangiges Ziel bei der Konzeption des Schülerlabors war. Auf der anderen Seite finden diese Themen im Lehrplan des Gymnasiums, wie in Kapitel 2.3. beschrieben, jedoch wenig Beachtung. Zudem ist an dieser Stelle anzumerken, dass diese Themenbereiche auch schon im Physikunterricht der achten und neunten Jahrgangsstufe angesprochen werden können, da sie, wie in der Evaluation zu erkennen war, keineswegs zu schwer zu begreifen sind, sondern eine Anwendung zum Lehrplan der siebten und achten Jahrgangsstufe bieten. Weiterhin zeigen die behandelten Themengebiete großes Potential, vor allem für einen fächerübergreifenden Unterricht, der von Lehrplänen und Bildungsstandards gefordert wird. Hier bieten sich vor allem Bezüge zu den Fächern Mathematik und Erdkunde, aber auch zu Wirtschafts- und Rechtslehre und Informatik an.

Während der Durchführung des Schülerlabors konnte man jedoch auch beobachten, dass grundlegende mathematische- und physikalische Kenntnisse bei den Schülern

---

fehlten. Viele waren mit der offenen Aufgabenstellung überfordert, bei Versuchen mit detaillierter Anleitung hingegen waren sie beim Experimentieren relativ sicher, dennoch weckte es den Anschein, dass es eine ungewohnte Situation für die Schüler war. Dennoch können Schülerlabors dazu beitragen, die neue Aufgabenkultur, wie selbständiges und kooperatives Arbeiten und Lösen von offenen Aufgabenstellungen, zu bewältigen und die oben genannten Defizite zu minimieren.



## **6. Anhang**

### **6.1. *Einführungsvortrag***

Einführungsvortrag

# SCHÜLERLABOR - RAUMFAHRT

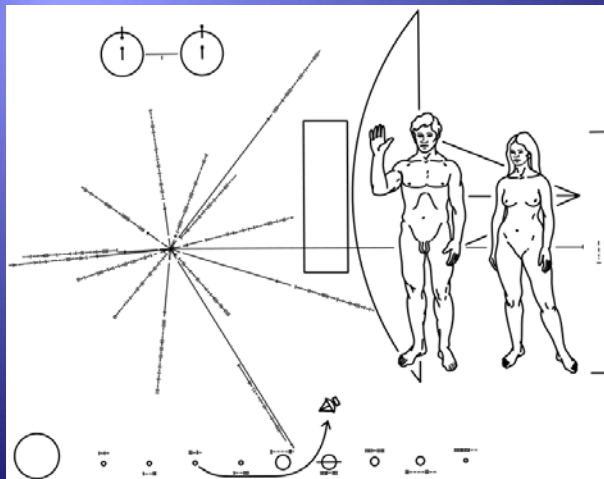
## Tagesablauf

08:00 – 08:30	Einführungsvortrag
08:30 – 08:45	Gruppeneinteilung
08:45 – 09:20	2 Basisstationen
09:20 – 09:35	Pause
09:35 – 10:30	3 Basisstationen
10:30 – 11:00	Präsentation des Planetenweges + Pause
11:00 – 12:30	Vertiefungsstation
12:30 – 13:00	Präsentation der Vertiefungsstationen
Ca. 13:00	Ende

## Gliederung

- ◆ Unser Platz im Universum
- ◆ Der Mond
- ◆ Geschichte der Raumfahrt

## Unser Platz im Universum



<sup>7</sup> Bildnachweis: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/02/Pioneer\\_plaque.svg/763px-Pioneer\\_plaque.svg.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/02/Pioneer_plaque.svg/763px-Pioneer_plaque.svg.png)

## Unser Platz im Universum



Um unsere Position genauer zu beschreiben, können wir sagen wir befinden uns in:

- Würzburg
- Unterfranken
- Bayern
- Deutschland
- Europa
- Erde

8

## Unser Platz im Universum



Die Erde ist der dritte Planet in unserem Sonnensystem

9

<sup>8</sup> Bildnachweis: <http://www.buessert.de/Anfahrt/Erde.gif>

<sup>9</sup> Bildnachweis: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c3/Solar\\_sys8.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c3/Solar_sys8.jpg)

## Unser Platz im Universum

- ◆ In unserem Sonnensystem werden Abstände in Astronomischen Einheiten (AE) gemessen
- ◆  $1 \text{ AE} \triangleq \text{Abstand Erde - Sonne} = 149.567.870.691 \text{ m}$
- ◆ Der äußerste Planet Neptun ist etwa 30AE entfernt
- ◆ Pluto ist größtes Objekt des Kuipergürtel (30 – 50AE)
- ◆ Geschätzte Ausdehnung unseres Sonnensystems 150AE

10

## Unser Platz im Universum

- ◆ Oortsche Wolke ist ungefähr 100.000 AE entfernt
- ◆ Viele Kometen stammen aus der Oortschen Wolke

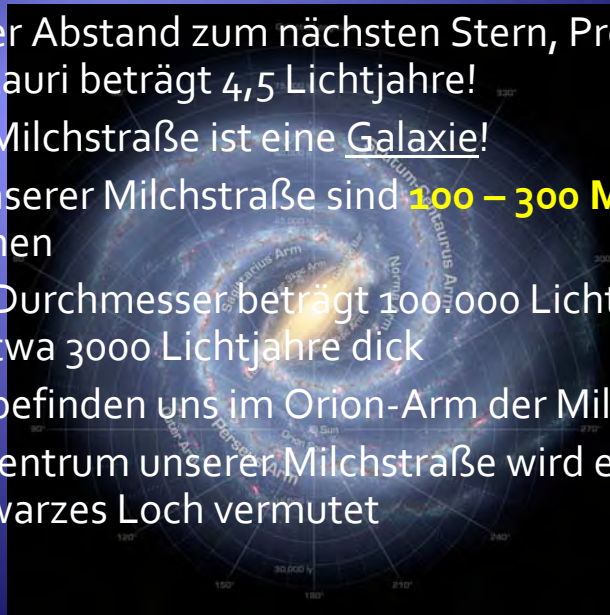
<sup>10</sup> Bildnachweis: Im Hintergrund: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/c0/Oort\\_cloud\\_Sedna\\_orbit-de.svg/600px-Oort\\_cloud\\_Sedna\\_orbit-de.svg.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/c0/Oort_cloud_Sedna_orbit-de.svg/600px-Oort_cloud_Sedna_orbit-de.svg.png)  
 Im Vordergrund: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b3/AchtTNOs.png/400px-AchtTNOs.png>

## Unser Platz im Universum

- ◆ Da die Entfernungen nun zu groß werden verwendet man eine andere Einheit
- ◆ Man gibt Entfernungen an indem man sagt wie lang das Licht zu diesem Punkt braucht
- ◆ **Lichtgeschwindigkeit:  $c = 300.000 \text{ km/s}$**
- ◆ z.B. die Sonne ist 8.5 Lichtminuten entfernt
- ◆ Die Oortsche Wolke 1.5 Lichtjahre

## Unser Platz im Universum

- ◆ Unser Abstand zum nächsten Stern, Proxima Centauri beträgt 4,5 Lichtjahre!
- ◆ Die Milchstraße ist eine Galaxie!
- ◆ In unserer Milchstraße sind **100 – 300 Milliarden** Sonnen
- ◆ Der Durchmesser beträgt 100.000 Lichtjahre und ist etwa 3000 Lichtjahre dick
- ◆ Wir befinden uns im Orion-Arm der Milchstraße
- ◆ Im Zentrum unserer Milchstraße wird ein Schwarzes Loch vermutet



11

<sup>11</sup> Bildnachweis: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/89/236084main\\_MilkyWay-full-annotated.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/89/236084main_MilkyWay-full-annotated.jpg)

## Unserer Platz im Universum

- ◆ Unsere Milchstraße sowie andere Galaxien sind in einem Galaxienhaufen angeordnet
- ◆ Unser Galaxienhaufen ist die Lokale Gruppe
- ◆ Sie enthält ungefähr 100 weitere Galaxien
- ◆ Der Durchmesser beträgt ungefähr 10 Millionen Lichtjahre

12

## Unser Platz im Universum

- ◆ Galaxienhaufen
- ◆ Superhaufen
- ◆ Unserer Superhaufen
- ◆ Erde
- ◆ Die

13

<sup>12</sup> Bildnachweis: <http://www.aakg.de/assets/images/Sequenz-c.jpg>

<sup>13</sup> Bildnachweis: <http://www.aakg.de/assets/images/Sequenz-d.jpg>

## Gliederung

- ◆ Unser Platz im Universum
- ◆ Der Mond
- ◆ Geschichte der Raumfahrt

## Der Mond



14

<sup>14</sup> Bildnachweis: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/dd/Full\\_Moon\\_Luc\\_Viatour.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/dd/Full_Moon_Luc_Viatour.jpg)



## Der Mond

- ◆ Umkreist die Erde in einer mittleren Entfernung von 384000 km (entspricht 1.5 Lichtsekunden)



Maßstabsgetreue Abbildung

15

## Der Mond

### Oberfläche

#### Maria:

- Dunkle Täler
- Basaltstein

#### Terrae:

- Helle Gebirge
- Bis zu 10.000m hoch



8

<sup>15</sup> Bildnachweis: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a7/Earth-Moon.jpg>

## Der Mond

### Oberfläche

#### Krater:

- Meteoriteneinschläge
- Vor ungefähr 4.5 Mio Jahren entstanden



16

## Der Mond

### Oberfläche

#### Regolithschicht

- Entstand durch Zertrümmerung der Mondoberfläche
- mehrere Meter dicke Schicht



17

<sup>16</sup> Bildnachweis: <http://mix.msfc.nasa.gov/IMAGES/THUMB/6901249.jpg>

<sup>17</sup> Bildnachweis: Bildausschnitt von <http://grin.hq.nasa.gov/IMAGES/SMALL/GPN-2001-000013.jpg>

## Der Mond

- ◆ 3 Entstehungshypothesen
  - ◆ Tropfenhypothese
  - ◆ Eingefangener Asteroid
  - ◆ Kollisionstheorie

## Der Mond

### Kann man eines Tages den Mond besiedeln?

- ◆ Besitzt fast kein Magnetfeld
- ◆ Besitzt keine Atmosphäre
  - ◆ Keine Atemluft
  - ◆ Kein Luftdruck
  - ◆ Kein Schutz vor Strahlung
  - ◆ Kein Schutz vor Kleinmeteoriten

## Gliederung

- ◆ Unser Platz im Universum
- ◆ Der Mond
- ◆ Geschichte der Raumfahrt

## Geozentrisches Weltbild

- ◆ Ptolemäus (2.Jh.n.Chr.)
- ◆ Erde als Kugel im Mittelpunkt
- ◆ Planeten, Sonne und Sterne bewegen sich auf Sphären

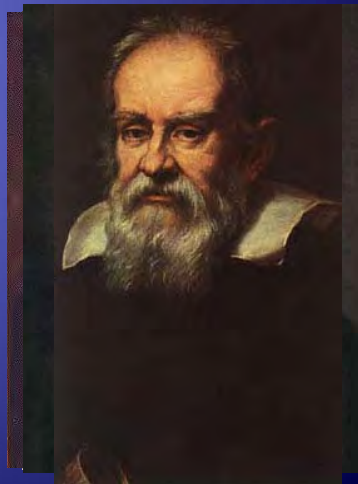


18

<sup>18</sup> Bildnachweis: <http://www.astronomie.de/bibliothek/artikel/geschichte/teleskop/ptolemaeus.jpg>  
Im Hintergrund: <http://www.glauben-und-wissen.de/M2-Dateien/image009.jpg>

## Heliozentrische Weltbild

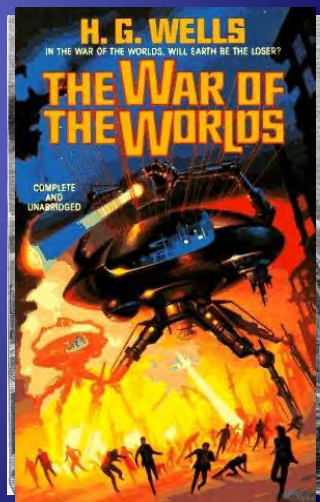
- ◆ Nikolaus Kopernikus  
„Sonne steht im Zentrum des Universums“
- ◆ Johannes Kepler
  - ◆ Gesetze über Planetenbewegungen
- ◆ Isaac Newton
  - ◆ Gravitationsgesetz
  - ◆ Bewegungsgesetze
- ◆ Galileo Galilei
  - ◆ Fernrohr



19

## Raumfahrt in der Literatur

- ◆ Cyrano de Bergerac:  
Die Reise zu den  
Mondstaaten und  
Sonnenreichen (1650)
- ◆ Jules Verne: Von der  
Erde zum Mond (1865)
- ◆ H.G. Wells – Krieg der  
Welten (1898)



20

<sup>19</sup> Bildnachweis: Im Vordergrund: <http://www.astronomie.de/bibliothek/artikel/geschichte/teleskop/t-galilei.jpg>

Im Hintergrund: <http://www.astronomie.de/bibliothek/artikel/geschichte/teleskop/kopernikus.jpg> ;

<http://www.astronomie.de/bibliothek/artikel/geschichte/teleskop/newton.jpg>

<http://www.astronomie.de/bibliothek/artikel/geschichte/teleskop/kepler.jpg>

<sup>20</sup> Bildnachweis: Im Vordergrund <http://listverse.files.wordpress.com/2009/05/n17423.jpg.jpeg>

## Väter der Raketentechnik

- ◆ Konstantin Ziolkowski
  - ◆ 1903 Veröffentlichung der Raketengrundgleichung
- ◆ Robert H. Goddard
  - ◆ 1926 erste Flüssigrakete



21

## Raketen für Militärische Zwecke

- ◆ In den 1930ern Entwicklung von Raketen unter Wernher von Braun
- ◆ Berühmteste Rakete:
  - ◆ A4



22

## Die 50er Jahre

- ◆ Entwicklung der R7 Rakete in der UdSSR
- ◆ Erste Interkontinentalrakete
- ◆ Beförderte am 4. Oktober 1957 den ersten Satelliten in eine Erdumlaufbahn



23

## Die 50er Jahre

- ◆ Sputnik 1 📡
- ◆ Nov. 1957:
  - Laika, erster Hund im All



24

<sup>22</sup> Bildnachweis: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0c/Bundesarchiv\\_Bild\\_146-1978-Anh.026-01%2C\\_Peenem%C3%BCnde%2C\\_V2\\_beim\\_Start.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0c/Bundesarchiv_Bild_146-1978-Anh.026-01%2C_Peenem%C3%BCnde%2C_V2_beim_Start.jpg)

<sup>23</sup> Bildnachweis: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2b/Russia-Moscow-VDNH-Rocket\\_R-7-1.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2b/Russia-Moscow-VDNH-Rocket_R-7-1.jpg)

## Der erste Mensch im Weltall

- ◆ Mercury Programm der USA
- ◆ 12. April 1961 schickten die Russen Juri Gagarin als ersten Menschen ins Weltall
- ◆ 1 Monat später schickten die USA einen Menschen ins Weltall



25

<sup>24</sup> Bildnachweis: <http://astroprofspage.com/wp-content/uploads/2006/11/laika.jpg>

Im Hintergrund: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/be/Sputnik\\_asm.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/be/Sputnik_asm.jpg)

<sup>25</sup> [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7c/MR-3\\_pilot\\_Alan\\_B.\\_Shepard\\_Jr..jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7c/MR-3_pilot_Alan_B._Shepard_Jr..jpg)

Im Hintergrund: [http://www.spacefacts.de/mission/photo2/gagarin\\_yuri.jpg](http://www.spacefacts.de/mission/photo2/gagarin_yuri.jpg)

[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3c/Vostok1\\_descent\\_module.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3c/Vostok1_descent_module.jpg)

<http://www.scienceblogs.de/diaxs-rake/upload/apr09/kapsel.jpg>

[http://www.urbin.de/usa/raumfahrzeuge/mercury\\_ka\\_1.jpg](http://www.urbin.de/usa/raumfahrzeuge/mercury_ka_1.jpg)



## Der Flug zum Mond

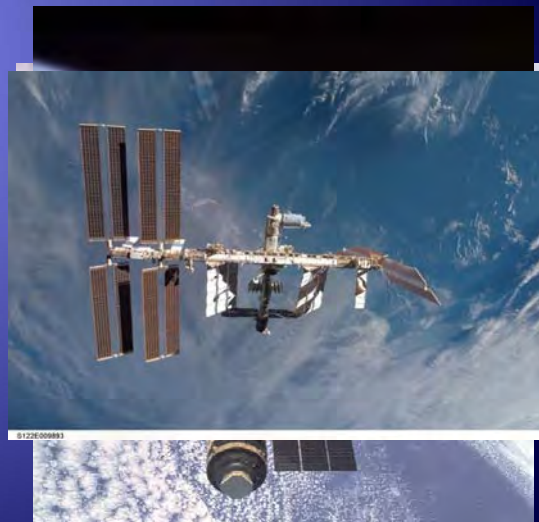
- 1961 kündigte Kennedy das Apollo Programm an
- Entwicklung einer neuen Rakete: Saturn V
- Apollo 8:
  - erster bemannter Flug der den Mond umrundet (24. Dezember 1968)
- Apollo 11:
  - erste bemannte Mondlandung am 21. Juli 1969
- Apollo 12 – 17:
  - weitere Erkundungsflüge zum Mond



26

## Raumstationen

- Forschungsinteresse der Raumfahrt ist die nähere Umgebung der Erde
- 1971: Raumstation Saljut 1
- 1973: Raumstation Skylab
- Seit 1999: ISS



27

<sup>26</sup> <http://grin.hq.nasa.gov/IMAGES/SMALL/GPN-2001-000013.jpg>  
 Im Hintergrund: <http://grin.hq.nasa.gov/IMAGES/SMALL/GPN-2000-001209.jpg> ;  
[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ef/Apollo\\_8\\_Liftoff.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ef/Apollo_8_Liftoff.jpg)

<sup>27</sup> Bildnachweis:  
[http://www.dlr.de/iss/Portaldata/1/Resources/portal\\_news/newsarchiv2009\\_1/iss\\_columbus.jpg](http://www.dlr.de/iss/Portaldata/1/Resources/portal_news/newsarchiv2009_1/iss_columbus.jpg)

## Space Shuttles

- ◆ Erster Start April 1981
- ◆ besonders ökonomisch
- ◆ alle Teile wiederverwendbar
- ◆ 5 Space Shuttles, davon nur noch 3 im Einsatz
- ◆ Ausmusterung 2010 geplant



28

## Ausblick

- ◆ Rückkehr zum Mond
- ◆ Bemannter Flug zum Mars

Im Hintergrund: <http://grin.hq.nasa.gov/IMAGES/SMALL/GPN-2000-001055.jpg>

<sup>28</sup> Bildnachweis: <http://grin.hq.nasa.gov/IMAGES/SMALL/GPN-2000-000802.jpg>

Im Hintergrund: <http://grin.hq.nasa.gov/IMAGES/SMALL/GPN-2000-000765.jpg>

## Organisatorisches

- ◆ 5 Basisstationen die von jeder Gruppe durchgeführt werden
  - ◆ Sonne – Erde – Mond
  - ◆ Die Keplerschen Gesetze
  - ◆ Abstand Erde – Mond
  - ◆ Unser Sonnensystem
  - ◆ Schwerelosigkeit
- ◆ 5 Vertiefungsstationen die von je einer Gruppe durchgeführt werden
  - ◆ Satelliten & ISS
  - ◆ Raketenstart
  - ◆ Raketenanstieg
  - ◆ Flug zum Mars
  - ◆ Ortsfaktor

## Organisatorisches

- ◆ Bildet nun fünf Gruppen
- ◆ In dieser Zusammensetzung werden die Basisstationen durchgeführt
- ◆ Bilden von Vertiefungsgruppen (Aus jeder Basisgruppe geht ein Schüler in eine Vertiefungsgruppe)
- ◆ Nach der Durchführung der Vertiefungsstation werden die einzelnen Stationen der ursprünglichen Basisgruppe erklärt

### **6.3. Fragebogen**



Datum: \_\_\_\_ . Juli 2009

Mein Alter: \_\_\_\_ Jahre

Ich bin:  weiblich

männlich

Ich besuche die \_\_\_\_ . Klasse des \_\_\_\_\_ Gymnasiums  
in Würzburg

## **Befragung zum Schülerlabor - Raumfahrt**

Dauer: ca. 10min.

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

Mit diesem Fragebogen möchten wir deine Meinung zum Schülerlabor kennen lernen. Hierbei handelt es sich *nicht* um einen Test oder eine Klassenarbeit. In diesem Fragebogen gibt es *keine* falschen Antworten. Gib die Antworten, die für dich am besten passen. Antworte bitte ehrlich!

Beantworte bitte alle Fragen.

**1. Gib an, in wie weit folgende Aussagen auf dich zutreffen**

	stimmt gar nicht	stimmt wenig	stimmt ziemlich	stimmt völlig
Im Physikunterricht fühle ich mich wohl	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Experimente durchzuführen macht mir einfach Spaß	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich interessiere mich in meiner Freizeit für Naturwissenschaften	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Physikunterricht macht mir Spaß	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Physik gehört für mich persönlich zu den wichtigen Dingen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Physik bringt mir Spaß	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wenn ich Experimente durchführen kann, bin ich bereit, auch Freizeit dafür zu verwenden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beim Experimentieren habe ich mich nicht wohlfühlt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dass wir heute Experimente durchgeführt haben, erscheint mir sinnvoll	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beim Experimentieren ist die Zeit sehr langsam vergangen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der heutige Besuch ist für mich persönlich von Bedeutung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dass wir heute Experimente durchgeführt haben ist mir persönlich wichtig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich würde gerne mehr über die Experimente lernen, die wir im Schülerlabor durchgeführt haben	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich werde in Büchern nachlesen, um mehr Informationen über das im Schülerlabor behandelte Thema zu bekommen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Solche Experimente, wie wir sie im Schülerlabor durchgeführt haben, würde ich auch in meiner Freizeit bearbeiten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich werde mit Freunden, Eltern oder Geschwistern über Dinge sprechen, die ich im Schülerlabor erlebt habe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Experimente haben mir keinen Spaß gemacht	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich werde außerhalb des Unterrichts über Dinge nachdenken, die wir im Schülerlabor gesehen oder angesprochen haben	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Durchführung der Experimente war langweilig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**2. Gib nun deine persönliche Meinung zum Schülerlabor und den einzelnen Stationen an**

Welche Stationen haben dir besonders gefallen? Mehrfach Antworten sind möglich!

- |   |  |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Sonne —Erde — Mond | <input type="checkbox"/> Abstand Erde—Mond       |
| <input type="checkbox"/> Schwerelosigkeit   | <input type="checkbox"/> Unser Sonnensystem      |
| <input type="checkbox"/> Keplersche Gesetze | <input type="checkbox"/> Vertiefungsstation ____ |

Welche Stationen haben dir nicht gefallen? Mehrfach Antworten sind möglich!

- |   |  |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Sonne —Erde — Mond | <input type="checkbox"/> Abstand Erde—Mond       |
| <input type="checkbox"/> Schwerelosigkeit   | <input type="checkbox"/> Unser Sonnensystem      |
| <input type="checkbox"/> Keplersche Gesetze | <input type="checkbox"/> Vertiefungsstation ____ |

Welche Stationen fandest du zu schwer? Mehrfach Antworten sind möglich

- |   |  |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Sonne —Erde — Mond | <input type="checkbox"/> Abstand Erde—Mond       |
| <input type="checkbox"/> Schwerelosigkeit   | <input type="checkbox"/> Unser Sonnensystem      |
| <input type="checkbox"/> Keplersche Gesetze | <input type="checkbox"/> Vertiefungsstation ____ |

Beurteile das Schülerlabor mit Noten. Warum hast du diese Note gegeben?

- 1       2       3       4       5       6

**3. Gib deine persönliche Meinung zur Betreuung im Schülerlabor an**

Beurteile die Betreuung im Schülerlabor „Raumfahrt“ mit Schulnoten:

1       2       3       4       5       6

Warum hast du diese Note gegeben?

Bei welche/r Station/en hast du dich gut betreut gefühlt? Hier ist mehrfaches Ankreuzen möglich! Erläutere auch bitte deine Wahl.

- |   |  |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Sonne —Erde — Mond | <input type="checkbox"/> Abstand Erde—Mond       |
| <input type="checkbox"/> Schwerelosigkeit   | <input type="checkbox"/> Unser Sonnensystem      |
| <input type="checkbox"/> Keplersche Gesetze | <input type="checkbox"/> Vertiefungsstation ____ |



Bei welche/r Station/en hast du dich schlecht betreut gefühlt? Hier ist mehrfaches  
Ankreuzen möglich! Erläutere auch bitte deine Wahl.

- |   |  |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Sonne —Erde — Mond | <input type="checkbox"/> Abstand Erde—Mond       |
| <input type="checkbox"/> Schwerelosigkeit   | <input type="checkbox"/> Unser Sonnensystem      |
| <input type="checkbox"/> Keplersche Gesetze | <input type="checkbox"/> Vertiefungsstation ____ |



#### 6.4. Tabellarische Auswertung der Fragebögen

Tabelle 4: Fachinteresse der 9ten Klasse

<b>Fachinteresse</b>	Skalierung: 0 = stimmt gar nicht (...) 3 = stimmt völlig	
	<b>Mittelwert</b>	<b>Standardabweichung</b>
v1.1 Im Physikunterricht fühle ich mich wohl	1,15	0,86
v1.2 Der Physikunterricht macht mir Spaß	1,12	0,89

Tabelle 5: Fachinteresse der 9ten Klasse (Modell)

<b>Fachinteresse</b>	Skalierung: 0 = stimmt gar nicht (...) 3 = stimmt völlig	
	<b>Mittelwert</b>	<b>Standardabweichung</b>
v1.1 Im Physikunterricht fühle ich mich wohl	1,50	0,76
v1.2 Der Physikunterricht macht mir Spaß	1,17	0,90

Tabelle 6: Fachinteresse der 8ten Klasse (Modell)

<b>Fachinteresse</b>	Skalierung: 0 = stimmt gar nicht (...) 3 = stimmt völlig	
	<b>Mittelwert</b>	<b>Standardabweichung</b>
v1.1 Im Physikunterricht fühle ich mich wohl	1,74	0,78
v1.2 Der Physikunterricht macht mir Spaß	1,42	0,99

**Tabelle 7: Sachinteresse der 9ten Klasse**

<b>Sachinteresse</b>	Skalierung: 0 = stimmt gar nicht (...) 3 = stimmt völlig	
	<b>Mittelwert</b>	<b>Standardabweichung</b>
v2.1. Experimente durchzuführen macht mir einfach Spaß	2,00	0,83
v2.2 Ich interessiere mich in meiner Freizeit für Naturwissenschaften	1,08	0,87
v2.3 Physik gehört für mich persönlich zu den wichtigen Dingen	0,77	0,85
v2.4 Physik bringt mir Spaß	1,00	0,73
v2.5 Wenn ich Experimente durchführen kann, bin ich bereit, auch Freizeit dafür zu verwenden	0,92	1,00

**Tabelle 8: Sachinteresse der 9ten Klasse (Modell)**

<b>Sachinteresse</b>	Skalierung: 0 = stimmt gar nicht (...) 3 = stimmt völlig	
	<b>Mittelwert</b>	<b>Standardabweichung</b>
v2.1. Experimente durchzuführen macht mir einfach Spaß	1,92	0,49
v2.2 Ich interessiere mich in meiner Freizeit für Naturwissenschaften	1,58	0,76
v2.3 Physik gehört für mich persönlich zu den wichtigen Dingen	1,00	0,58
v2.4 Physik bringt mir Spaß	1,17	0,69
v2.5 Wenn ich Experimente durchführen kann, bin ich bereit, auch Freizeit dafür zu verwenden	1,00	0,41

**Tabelle 9 : Sachinteresse der 8ten Klasse (Modell)**

<b>Sachinteresse</b>	Skalierung: 0 = stimmt gar nicht (...) 3 = stimmt völlig	
	<b>Mittelwert</b>	<b>Standardabweichung</b>
v2.1. Experimente durchzuführen macht mir einfach Spaß	2,58	0,49
v2.2 Ich interessiere mich in meiner Freizeit für Naturwissenschaften	1,42	0,82
v2.3 Physik gehört für mich persönlich zu den wichtigen Dingen	0,84	0,87
v2.4 Physik bringt mir Spaß	1,32	0,86
v2.5 Wenn ich Experimente durchführen kann, bin ich bereit, auch Freizeit dafür zu verwenden	1,28	0,87

**Tabelle 10 : emotionale Komponente des aktuellen Interesses der 9ten Klasse**

<b>emotionale Komponente des aktuellen Interesses</b>	Skalierung: 0 = stimmt gar nicht (...) 3 = stimmt völlig	
	<b>Mittelwert</b>	<b>Standardabweichung</b>
v3.1. Beim Experimentieren habe ich mich nicht wohlgeföhlt	1,31	1,03
v3.2 Beim Experimentieren ist die Zeit sehr langsam vergangen	1,44	1,24
v3.3 Die Experimente haben mir keinen Spaß gemacht	1,00	1,07
v3.4 Die Durchführung der Experimente war langweilig	0,85	0,91

**Tabelle 11 : emotionale Komponente des aktuellen Interesses der 9ten Klasse (Modell)**

<b>emotionale Komponente des aktuellen Interesses</b>	Skalierung: 0 = stimmt gar nicht (...) 3 = stimmt völlig	
	<b>Mittelwert</b>	<b>Standardabweichung</b>
v3.1. Beim Experimentieren habe ich mich nicht wohlgeföhlt	0,58	0,64
v3.2 Beim Experimentieren ist die Zeit sehr langsam vergangen	0,92	0,64
v3.3 Die Experimente haben mir keinen Spaß gemacht	0,25	0,43
v3.4 Die Durchführung der Experimente war langweilig	0,50	0,50

**Tabelle 12 : emotionale Komponente des aktuellen Interesses der 8ten Klasse (Modell)**

<b>emotionale Komponente des aktuellen Interesses</b>	Skalierung: 0 = stimmt gar nicht (...) 3 = stimmt völlig	
	<b>Mittelwert</b>	<b>Standardabweichung</b>
v3.1. Beim Experimentieren habe ich mich nicht wohlgeföhlt	0,74	0,85
v3.2 Beim Experimentieren ist die Zeit sehr langsam vergangen	0,79	0,69
v3.3 Die Experimente haben mir keinen Spaß gemacht	0,44	0,83
v3.4 Die Durchführung der Experimente war langweilig	0,47	0,60

Tabelle 13 : wertbezogene Komponente des aktuellen Interesses der 9ten Klasse

wertbezogene Komponente des aktuellen Interesses	Skalierung: 0 = stimmt gar nicht (...) 3 = stimmt völlig	
	Mittelwert	Standardabweichung
v4.1 Dass wir heute Experimente durchgeführt haben, erscheint mir sinnvoll	2,19	0,88
v4.2 Der heutige Besuch ist für mich persönlich von Bedeutung	1,35	0,78
v4.3 Dass wir heute Experimente durchgeführt haben ist für mich persönlich wichtig	1,46	0,93

Tabelle 14 : wertbezogene Komponente des aktuellen Interesses der 9ten Klasse (Modell)

wertbezogene Komponente des aktuellen Interesses	Skalierung: 0 = stimmt gar nicht (...) 3 = stimmt völlig	
	Mittelwert	Standardabweichung
v4.1 Dass wir heute Experimente durchgeführt haben, erscheint mir sinnvoll	2,50	0,65
v4.2 Der heutige Besuch ist für mich persönlich von Bedeutung	1,25	0,72
v4.3 Dass wir heute Experimente durchgeführt haben ist für mich persönlich wichtig	1,33	0,62

Tabelle 15 : wertbezogene Komponente des aktuellen Interesses der 8ten Klasse Modell

wertbezogene Komponente des aktuellen Interesses	Skalierung: 0 = stimmt gar nicht (...) 3 = stimmt völlig	
	Mittelwert	Standardabweichung
v4.1 Dass wir heute Experimente durchgeführt haben, erscheint mir sinnvoll	2,21	0,77
v4.2 Der heutige Besuch ist für mich persönlich von Bedeutung	1,16	0,81
v4.3 Dass wir heute Experimente durchgeführt haben ist für mich persönlich wichtig	1,42	0,75

Tabelle 16 : epistemische Komponente des aktuellen Interesses der 9ten Klasse

epistemische Komponente des aktuellen Interesses	Skalierung: 0 = stimmt gar nicht (...) 3 = stimmt völlig	
	Mittelwert	Standardabweichung
v5.1 Ich würde gerne mehr über die Experimente lernen, die wir im Schülerlabor durchgeführt haben	1,12	0,89
v5.2 Ich werde in Büchern nachlesen, um mehr Informationen über das im Schülerlabor behandelte Thema zu bekommen	0,62	0,79
v5.3 Solche Experimente, wie wir sie im Schülerlabor durchgeführt haben, würde ich auch in meiner Freizeit bearbeiten	0,73	0,90
v5.4 Ich werde mit Freunden, Eltern oder Geschwistern über Dinge sprechen, die ich im Schülerlabor erlebt habe	1,46	0,89
v5.5 Ich werde außerhalb des Unterrichts über Dinge nachdenken, die wir im Schülerlabor gesehen oder angesprochen haben	1,12	0,75

Tabelle 17 : epistemische Komponente des aktuellen Interesses der 9ten Klasse (Modell)

<b>epistemische Komponente des aktuellen Interesses</b>	Skalierung: 0 = stimmt gar nicht (...) 3 = stimmt völlig	
	<b>Mittelwert</b>	<b>Standardabweichung</b>
v5.1 Ich würde gerne mehr über die Experimente lernen, die wir im Schülerlabor durchgeführt haben	1,55	0,78
v5.2 Ich werde in Büchern nachlesen, um mehr Informationen über das im Schülerlabor behandelte Thema zu bekommen	0,50	0,65
v5.3 Solche Experimente, wie wir sie im Schülerlabor durchgeführt haben, würde ich auch in meiner Freizeit bearbeiten	0,75	0,60
v5.4 Ich werde mit Freunden, Eltern oder Geschwistern über Dinge sprechen, die ich im Schülerlabor erlebt habe	1,58	0,64
v5.5 Ich werde außerhalb des Unterrichts über Dinge nachdenken, die wir im Schülerlabor gesehen oder angesprochen haben	1,67	0,47



**Tabelle 18 : epistemische Komponente des aktuellen Interesses der 8ten Klasse (Modell)**

epistemische Komponente des aktuellen Interesses	Skalierung: 0 = stimmt gar nicht (...) 3 = stimmt völlig	
	Mittelwert	Standardabweichung
v5.1 Ich würde gerne mehr über die Experimente lernen, die wir im Schülerlabor durchgeführt haben	1,37	0,81
v5.2 Ich werde in Büchern nachlesen, um mehr Informationen über das im Schülerlabor behandelte Thema zu bekommen	0,42	0,82
v5.3 Solche Experimente, wie wir sie im Schülerlabor durchgeführt haben, würde ich auch in meiner Freizeit bearbeiten	0,84	0,59
v5.4 Ich werde mit Freunden, Eltern oder Geschwistern über Dinge sprechen, die ich im Schülerlabor erlebt habe	1,11	0,85
v5.5 Ich werde außerhalb des Unterrichts über Dinge nachdenken, die wir im Schülerlabor gesehen oder angesprochen haben	1,74	0,91

**Tabelle 19 : Als „besonders gefallen“ bewertete Stationen der 9ten Klasse**

Welche Stationen haben dir besonders gefallen?			
Station	Anzahl	Station	Anzahl
Basisstation 1	6	Vertiefungsstation 1	2
Basisstation 2	4	Vertiefungsstation 2	1
Basisstation 3	16	Vertiefungsstation 3	3
Basisstation 4	8	Vertiefungsstation 4	1
Basisstation 5	12	Vertiefungsstation 5	1

Tabelle 20 : Als "besonders gefallen" bewertete Stationen der 9ten Klasse (Modell)

<b>Welche Stationen haben dir besonders gefallen?</b>			
<b>Station</b>	<b>Anzahl</b>	<b>Station</b>	<b>Anzahl</b>
Basisstation 1	7	Vertiefungsstation 1	2
Basisstation 2	1	Vertiefungsstation 2	0
Basisstation 3	9	Vertiefungsstation 3	2
Basisstation 4	3	Vertiefungsstation 4	0
Basisstation 5	6	Vertiefungsstation 5	1

Tabelle 21 : Als "besonders gefallen" bewertete Stationen der 8ten Klasse (Modell)

<b>Welche Stationen haben dir besonders gefallen?</b>			
<b>Station</b>	<b>Anzahl</b>	<b>Station</b>	<b>Anzahl</b>
Basisstation 1	2	Vertiefungsstation 1	2
Basisstation 2	3	Vertiefungsstation 2	1
Basisstation 3	15	Vertiefungsstation 3	2
Basisstation 4	2	Vertiefungsstation 4	1
Basisstation 5	9	Vertiefungsstation 5	0

Tabelle 22 : Als "nicht gefallen" bewertete Stationen der 9ten Klasse

<b>Welche Stationen haben dir nicht gefallen?</b>			
<b>Station</b>	<b>Anzahl</b>	<b>Station</b>	<b>Anzahl</b>
Basisstation 1	7	Vertiefungsstation 1	1
Basisstation 2	13	Vertiefungsstation 2	1
Basisstation 3	3	Vertiefungsstation 3	0
Basisstation 4	5	Vertiefungsstation 4	1
Basisstation 5	6	Vertiefungsstation 5	0

Tabelle 23 : Als "nicht gefallen" bewertete Stationen der 9ten Klasse (Modell)

<b>Welche Stationen haben dir nicht gefallen?</b>			
<b>Station</b>	<b>Anzahl</b>	<b>Station</b>	<b>Anzahl</b>
Basisstation 1	0	Vertiefungsstation 1	0
Basisstation 2	5	Vertiefungsstation 2	1
Basisstation 3	0	Vertiefungsstation 3	0
Basisstation 4	1	Vertiefungsstation 4	0
Basisstation 5	0	Vertiefungsstation 5	0

Tabelle 24 : Als "nicht gefallen" bewertete Stationen der 8ten Klasse (Modell)

<b>Welche Stationen haben dir nicht gefallen?</b>			
<b>Station</b>	<b>Anzahl</b>	<b>Station</b>	<b>Anzahl</b>
Basisstation 1	5	Vertiefungsstation 1	0
Basisstation 2	6	Vertiefungsstation 2	0
Basisstation 3	0	Vertiefungsstation 3	2
Basisstation 4	5	Vertiefungsstation 4	0
Basisstation 5	0	Vertiefungsstation 5	1

Tabelle 25 : Als "zu schwer" bewertete Stationen der 9ten Klasse

<b>Welche Stationen fandest du zu schwer?</b>			
<b>Station</b>	<b>Anzahl</b>	<b>Station</b>	<b>Anzahl</b>
Basisstation 1	2	Vertiefungsstation 1	1
Basisstation 2	8	Vertiefungsstation 2	2
Basisstation 3	2	Vertiefungsstation 3	0
Basisstation 4	3	Vertiefungsstation 4	1
Basisstation 5	6	Vertiefungsstation 5	0

Tabelle 26 : Als "zu schwer" bewertete Stationen der 9ten Klasse (Modell)

<b>Welche Stationen fandest du zu schwer?</b>			
<b>Station</b>	<b>Anzahl</b>	<b>Station</b>	<b>Anzahl</b>
Basisstation 1	1	Vertiefungsstation 1	0
Basisstation 2	4	Vertiefungsstation 2	2
Basisstation 3	0	Vertiefungsstation 3	0
Basisstation 4	0	Vertiefungsstation 4	0
Basisstation 5	2	Vertiefungsstation 5	0

Tabelle 27 : Als "zu schwer" bewertete Stationen der 8ten Klasse (Modell)

<b>Welche Stationen fandest du zu schwer?</b>			
<b>Station</b>	<b>Anzahl</b>	<b>Station</b>	<b>Anzahl</b>
Basisstation 1	0	Vertiefungsstation 1	2
Basisstation 2	3	Vertiefungsstation 2	3
Basisstation 3	0	Vertiefungsstation 3	2
Basisstation 4	2	Vertiefungsstation 4	1
Basisstation 5	2	Vertiefungsstation 5	0

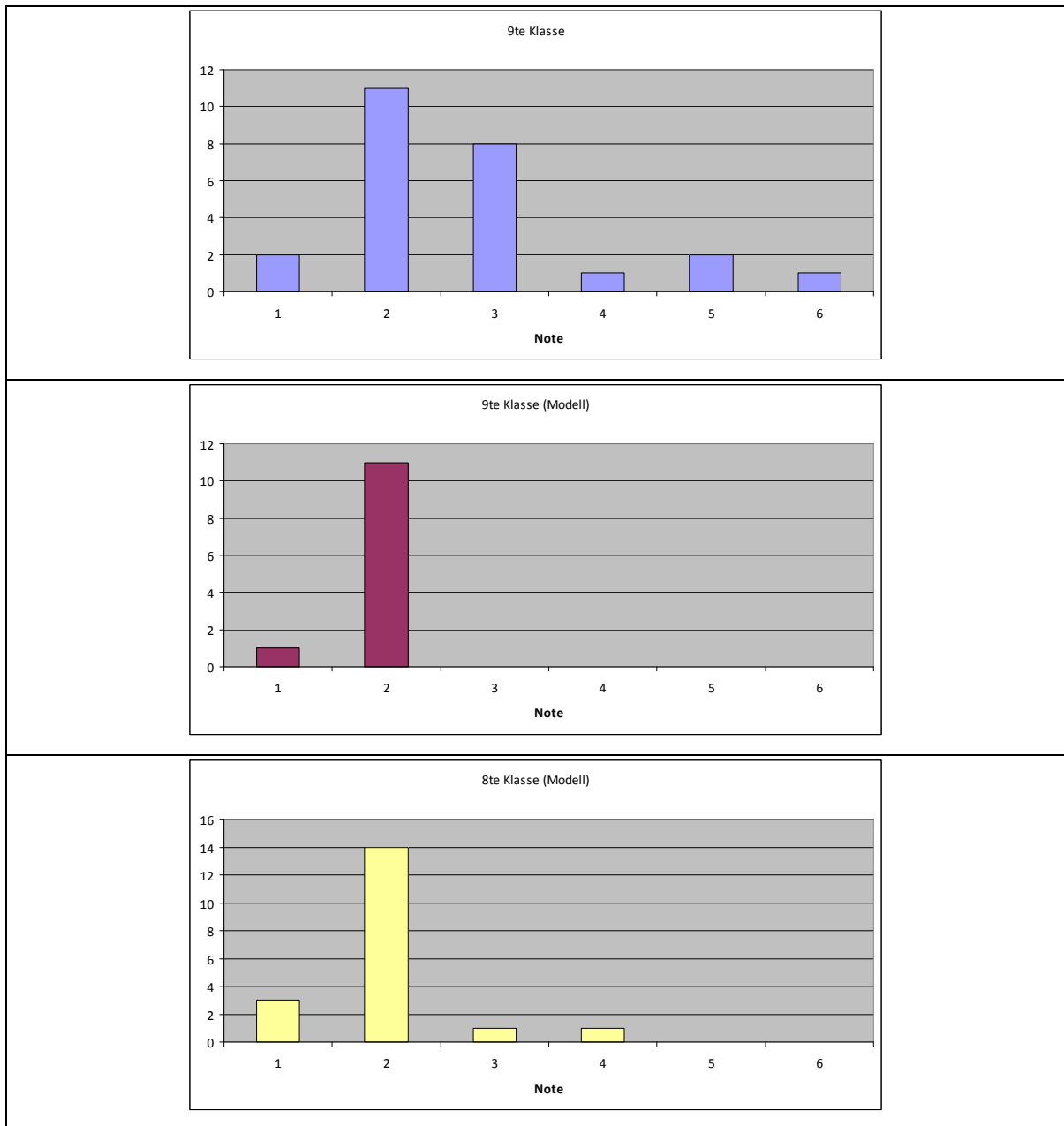


Abb. 6.1 Graphische Auswertung der Benotung des Schülerlabors

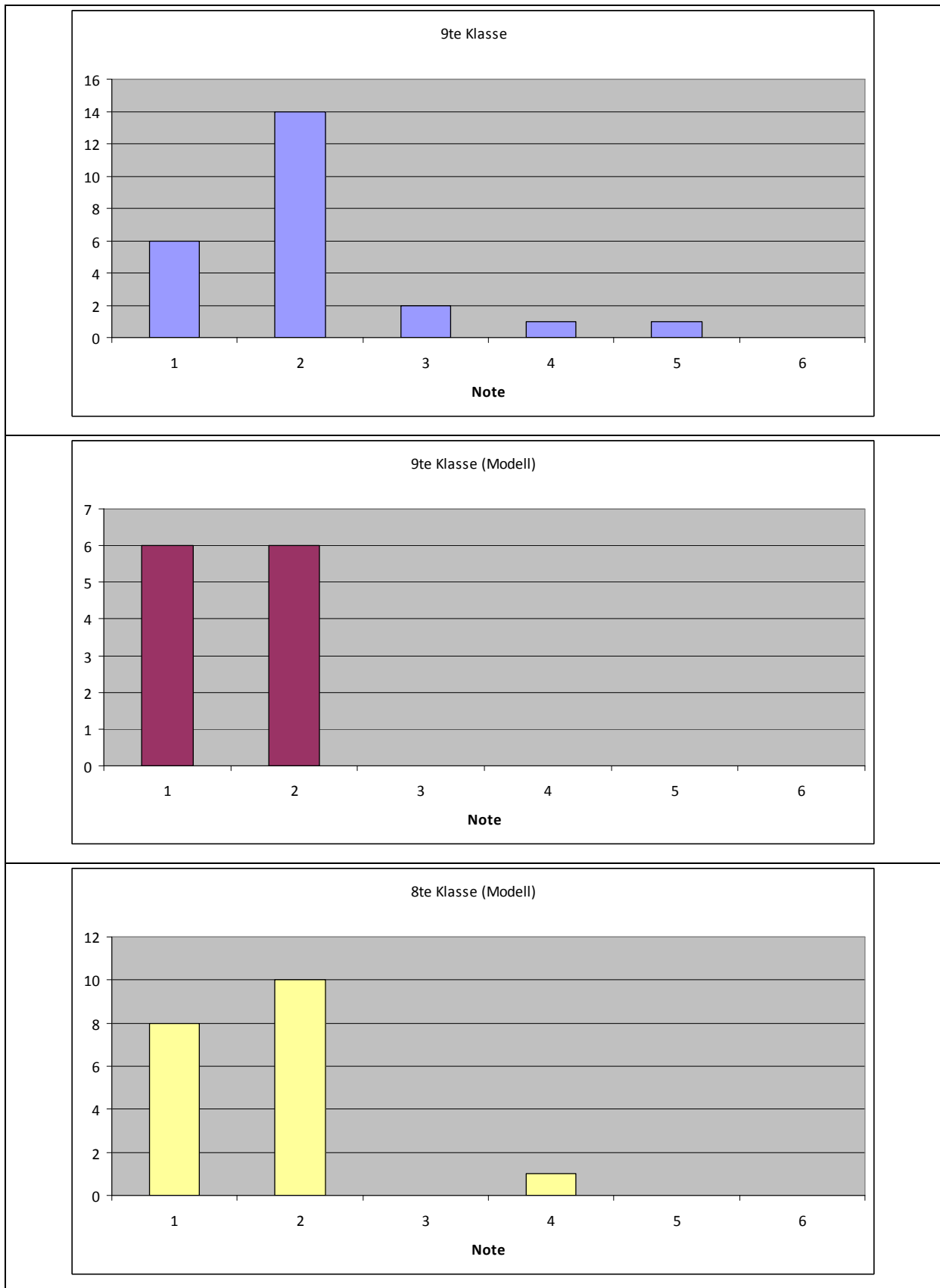


Abb. 6.2 Graphische Auswertung der Benotung der Betreuung im Schülerlabor

## 7. Bibliographie

- [BER07] **Berger, R. (2007):** *Das Gruppenpuzzle im Physikunterricht der Sekundarstufe II – eine empirische Untersuchung auf der Grundlage der Selbstbestimmungstheorie der Motivation*, Logos Verlag, Berlin
- [DAR03] **Darling, D. (2003):** *The Complete Book of SPACEFLIGHT. FROM APOLLO 1 TO ZERO GRAVITY*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey
- [DLR09] **DLR (20.08.09):** *Internationale Raumstation ISS*, <http://www.dlr.de/iss/>
- [DUD04] **Duddy, D. (2004):** *A Gravity Assist Primer*, <http://www2.jpl.nasa.gov/basics/grav/building.php>
- [DUP03] **Dupas, A.; Grant D. (2003):** *Sternstunden der Raumfahrt.*, Arena , Würzburg
- [ENG04] **Engeln, K. (2004):** *Schülerlabors: authentische, aktivierende Lernumgebungen als Möglichkeit, Interesse an Naturwissenschaften und Technik zu wecken*, Logos Verlag, Berlin
- [ENG05] **Engeln, K.; Euler, M. (2005):** *Physikunterricht modernisieren – Erfahrungen aus Kooperationsprojekten zwischen Schule und Wissenschaft*, Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN), Kiel
- [ESA09] **ESA (20.08.09):** *Mars500*, <http://www.esa.int/SPECIALS/Mars500/>
- [FLA97] **Flavin, P. (1997):** *Lunar Lander: Land a space craft*, Java-Applet, [http://www.frontiernet.net/~imaging/lunar\\_lander\\_game.html](http://www.frontiernet.net/~imaging/lunar_lander_game.html)
- [GIE04] **Gieth, H.-J. van der (2004):** *Lernzirkel. Die neue Form des Unterrichts*, 3. Auflage, BVK Buch Verlag Kempen e. K., Kempen
- [GÖT98] **Götz, R. (1998):** *Handbuch des Physikunterrichts für den Sekundarbereich I. Band 8: Atom- und Kernphysik/ Astronomie/ Technikbezüge*, Aulis Verlag Deubner, Köln
- [GUD06] **Guderian, P. (2006):** *Wirksamkeitsanalyse außerschulischer Lernorte. Der Einfluss mehrmaliger Besuche eines Schülerlabors auf die Entwicklung des Interesses an der Physik*, Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades doctor rerum naturalium im Fach Physik, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät I, Humboldt-Universität zu Berlin, unveröffentlicht
- [HEA09] **Heath, C. (2009):** *Water Rocket Simulation*, <http://polyplex.org/rockets/simulation/>
- [ISB09a] **ISB (20.08.09):** *Lehrplan Jahrgangsstufe 7*, [http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1.neu/g8.de/data/media/26418/Lehrplaene/Jgst\\_7.pdf](http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1.neu/g8.de/data/media/26418/Lehrplaene/Jgst_7.pdf)
- [ISB09b] **ISB (20.08.09):** *Lehrplan Jahrgangsstufe 8*, [http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1.neu/g8.de/data/media/26418/Lehrplaene/Jgst\\_8.pdf](http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1.neu/g8.de/data/media/26418/Lehrplaene/Jgst_8.pdf)



- [ISB09c] **ISB (20.08.09):** *Lehrplan Jahrgangsstufe 9*, [http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1.neu/g8.de/data/media/26418/Lehrplaene/Jgst\\_9.pdf](http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1.neu/g8.de/data/media/26418/Lehrplaene/Jgst_9.pdf)
- [ISB09d] **ISB (20.08.09):** *Lehrplan Jahrgangsstufe 10*, [http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1.neu/g8.de/data/media/26418/Lehrplaene/Jgst\\_10.pdf](http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1.neu/g8.de/data/media/26418/Lehrplaene/Jgst_10.pdf)
- [ISB09e] **ISB (20.08.09):** *Lehrplan Jahrgangsstufe 11 & 12*, [http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1.neu/g8.de/data/media/26418/Lehrplaene/Jgst\\_11\\_12.pdf](http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1.neu/g8.de/data/media/26418/Lehrplaene/Jgst_11_12.pdf)
- [KEP08] **kepler089 (2008):** *Planetary Orbit Simulator*, <http://astro.unl.edu/naap/pos/animations/kepler.html>
- [KIR07] **Kircher, E.; Girwitz, R.; Häußler, P. (2007):** *Physikdidaktik. Theorie und Praxis*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York
- [MAR08] **Maran, S. (2008):** *Astronomie für Dummies. das All – hier sind die Zwerge weiß, nicht die Riesen*, 3. Auflage, WILEY-VCH, Weinheim
- [MÜL77] **Müller-Arnke, H. (1977):** *Gravitation und Weltraumfahrt*, Schulverlag Vieweg GmbH, Düsseldorf, Braunschweig
- [LAN07] **Lang, B. (2007):** *Das Sonnensystem. Planeten und ihre Entstehung*, 1. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, München
- [SAN04] **Sanz Fernández de Córdoba, S. Dr. (21.06.2004):** *FIA Astronautic Records Comission – 100km. ALTITUDE BOUNDARY FOR ASTRONAUTICS*, <http://www.fai.org/astronautics/100km.asp>
- [ÜBE82] **Übelacker, E. (1982):** *Der Mond. Was ist Was Band 21*, Tessloff Verlag, Nürnberg
- [WEL03] **Welch, H. (2003):** *Shoot Mars. Trip to Mars!*, [http://galileoandstein.physics.virginia.edu/more\\_stuff/flashlets/ShootMars22.swf](http://galileoandstein.physics.virginia.edu/more_stuff/flashlets/ShootMars22.swf)

## 8. Danksagung

Zu erst möchte ich mich rechtherzlich bei allen bedanken, die mich bei der Anfertigung dieser Arbeit unterstütz haben

Ein besonderer Dank gilt Prof. Dr. Thomas Trefzger für die sehr gute und intensive Betreuung.

Weiterhin möchte ich mich bei Frau Löffler, für ihre Hilfe und Anregungen, die sie mir für die Realisierung der Versuchaufbauten gegeben hat, bedanken

Auch möchte ich mich bei Julia Harz, Charlotte Bierschenk, Theresia Merkert, Analena Kamprad, Benedikt Vormwald, Thomas Bauer und Fabian Bach für das Betreuen der Schülerlabors bedanken.

Zuletzt möchte ich mich bei Julia Brimer und Stefan Gündermann für das Korrekturlesen dieser Arbeit bedanken.

## **9. Erklärung nach §30, Abs.6, LPOI (vom 07.11.2002)**

Hiermit versichere ich, dass ich die Arbeit in allen Teilen selbständig gefertigt und keine anderen als die in der Arbeit angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Soweit nicht anders angegeben, wurden alle Abbildungen selbst erstellt.

Würzburg, den 26.09.2009

---

Stephen Kimbrough