

Astronomieunterricht in der Realschule am Beispiel der Cassini-Mission

Henner Striedelmeyer

Im Vergleich zur Original-Hausarbeit musste ich einige Änderungen vornehmen. So fehlen in dieser Version bspw. aus Gründen der Formatierung und des Platzbedarfs die Anlagen, sowie eine Tabelle inmitten der Arbeit. Beim Lesen der Arbeit ist dies zu berücksichtigen, da ich die Hinweise auf die Anlagen nicht entfernt habe.

Weiterhin behalte ich mir vor, Änderungen an der Arbeit vorzunehmen, sobald mir gute Vorschläge gemacht werden oder mir etwas Tolles einfällt. Somit erhebt dieses Dokument keinen Anspruch auf Vergleichbarkeit zu meiner Hausarbeit.

Wer mailen möchte: hstriede@gmx.de

INHALTSVERZEICHNIS

KAPITEL I	3
WARUM ASTRONOMIE? – EINE EINFÜHRUNG [3, 9, 13, 14, 15].....	3
ASTRONOMIE IN DER KLASSE 10 DER REALSCHULE – ABER WIE?	9
TAG DER RAUMFAHRT	10
DIE CASSINI-MISSION [1, 2, 4, 5, 8, 9, 18 - 21] {1, 3}	12
KAPITEL II	22
MUSEUM, PLANETARIUM, STERNWARTE UND PLANETENWEG	22
VORSTELLUNG DER UNTERRICHTSEINHEIT [3, 6 – 17, 20] {1, 11, 12, 13, 18, 19, 22}	27
VORSTELLUNG DES „CASSINI TEACHER GUIDE“	38
<i>Vorstellung der Unterrichtseinheiten („Stunden“)</i>	
<i>des „Cassini Teacher Guide“</i>	41
<i>Kritikpunkte und Anmerkungen</i>	48
KAPITEL III	53
DER PLANETENWEG IM UNTERRICHT [1 – 5, 8 – 11]	53
<i>Die Wahl des richtigen Maßstabes</i>	53
<i>Die Wahl des richtigen Weges</i>	56
<i>Ziele der Sequenz über den Planetenweg</i>	56
<i>Das Vorgehen im Unterricht</i>	57
DIE KEPLERSCHEN GESETZE [5 – 16]	63
CASSINI IM UNTERRICHT [3, 7, 10, 11, 17]	82
ÜBERSETZUNG DER ANLEITUNG „ICH BASTEL MIR CASSINI“	87
TITAN IM AQUARIUM	91
CASSINI IM PLANETARIUM	98
KAPITEL IV	102
RESÜMEE	102
INTERNETADRESSEN ZUM THEMA CASSINI-MISSION	104
LITERATURANGABEN	107
ANLAGENNACHWEIS	109

Kapitel I

Warum Astronomie? – Eine Einführung [3, 9, 13, 14, 15]

Wenn Du nachts aus Deinem Fenster an den Himmel blickst, was siehst Du da? – Sterne. – Ist da noch etwas? – Ja, Dunkelheit.

So, oder so ähnlich sehen Antworten von Kindern auf diese Fragen aus. Die Kinder und Jugendlichen, ebenso die Erwachsenen, können an jedem klaren Abend an den Himmel blicken und sehen Objekte am Firmament. Doch wissen sie immer, was sie eigentlich alles sehen?

Bereits sehr früh wurde mein Interesse, den Abend- und Nachthimmel etwas näher zu betrachten, geweckt. Es war an einem Grillabend bei meinem Grundschullehrer. Einige Schüler, darunter auch ich, blieben noch etwas länger. Etwa gegen 22.00 Uhr gingen wir mit unserem Lehrer zum Nordhang des Berges, auf dem er wohnt. Langsam wurden am dunkelblauen Himmel einige helle Punkte sichtbar – die Sterne. Wir waren alle sehr aufgeregt, denn wir wußten, daß unser Lehrer sehr spannend erzählen konnte. Er zeigte uns den großen Wagen (Ursa maior (UMa), Großer Bär), den Polarstern und das Himmels-W (Cassiopeia (Cas)). Einige spannende Geschichten aus dem alten Griechenland begleiteten seine Ausführungen. Auch wenn es für lange Zeit das Einzige war, was ich über den Sternhimmel erfahren habe, so wußte ich doch immerhin schon etwas und wollte noch mehr erfahren.

In der 7. Klasse gab es auch einen, in dieser Beziehung, spannenden Moment. Im Physikunterricht haben wir die Sonnen- und die Mondfinsternis durchgenommen. Wir schauten uns die Lehrbuchseiten an, machten zwei Zeichnungen an der Tafel und – Astronomie ade!

Wieder vergingen einige Jahre. Mittlerweile war ich in der 12. Klasse. Eines morgens schrieb unser Physik LK-Lehrer folgende Überschrift an die Tafel:

„Ein Ausflug in die Astronomie“. Unsere Aufgaben bestanden darin, einen Kreis mit 8 cm Durchmesser in 12 Sektoren, den Tierkreiszeichen, zu unterteilen.... Es sollte zeichnerisch die Planetenschleife des Mars dargestellt werden. Danach ging es im „normalen“ Stoff weiter. Doch noch einmal führte uns unser Lehrer in den Weltraum. In einem längeren Projekt haben wir mit Hilfe einer von unserem Lehrer geschriebenen Computersimulation Satellitenflüge untersucht und anhand dieser die Begriffe Normal- und Tangentialkraft geklärt, die Energien im Gravitationsfeld besprochen und die Keplerschen-Gesetze kennengelernt.

Alles andere, was ich während meiner Schulzeit aus dem Gebiet der Astronomie erfahren habe, stammt aus Büchern, Zeitschriften und einem Besuch im Planetarium. Erst im Studium bot sich mir die Möglichkeit, mehr über mein Hobby zu lernen und zu begreifen. Ich habe mehrere Beobachtungen auf einer kleinen Sternwarte durchgeführt, habe einiges in der Theorie dazugelernt, kenne jetzt mehr als zwei Sternbilder und bin seit über vier Jahren im Planetarium Osnabrück tätig. In sehr vielen Gesprächen habe ich in den letzten Jahren festgestellt, daß ein Interesse an der Astronomie bei den meisten Menschen vorhanden ist (siehe auch den Abschnitt über den „Tag der Raumfahrt“), jedoch kaum Grundwissen vorausgesetzt werden kann – man beachte die Antworten auf die Fragen am Anfang. Unterscheiden sich die Antworten von denen, die Erwachsene geben würden, wirklich so stark?

Die Astronomie ist eine der ältesten Naturwissenschaften. Gleichzeitig ist sie aber auch eine der modernsten Wissenschaften, dessen Bedeutung im Zeitalter der Raumfahrt einem größeren Teil der Öffentlichkeit bewußt wird und durch immer neue Medien, wie dem Internet, auch überhaupt erst zugänglich wird. Während man noch vor einigen Jahren auf das, was im Fernsehen oder Zeitschriften und Zeitungen an Neuem gezeigt wurde, angewiesen war, kann man sich heute bei vielen Internetadressen zusätzliche Informationen über neue Projekte besorgen.

Auch in der Schule sollte die Astronomie genügend Raum im Unterricht finden. Einerseits wegen ihrer kulturgeschichtlichen Dimension, andererseits wegen der heute sehr bedeutsamen astrophysikalischen Forschungsergebnisse¹.

Auch wenn die Astronomie wahrscheinlich hauptsächlich im Physikunterricht ihren Platz finden wird, so darf man nicht aus den Augen verlieren, daß sie auch andere Fächer streift, so daß fächerübergreifendes Arbeiten möglich ist. So wird beispielsweise sehr viel Mathematik benötigt, um die Rechnungen durchzuführen. Man kann im Geographieunterricht über die Erde, aber auch über die anderen Planeten sprechen, sich im Deutschunterricht philosophischen Texten widmen, in Geschichte die alten Weltbilder besprechen und in Englisch Texte aus dem Internet lesen und übersetzen. Somit muß die Behandlung der Astronomie nicht zwingend zu einer stofflichen Überlastung des Physikunterrichts führen.

In der ehemaligen DDR hatte das Unterrichtsfach Astronomie seinen festen Stellenwert. Es sollte den Schülern Grundwissen über ausgewählte kosmische Objekte, Vorgänge und Erscheinungen im Weltall sowie über deren Zusammenhänge und Gesetzmäßigkeiten vermitteln. Zwar gibt es an den meisten Schulen der neuen Bundesländer den Astronomieunterricht noch heute, aber mancherorts muß er um seinen Fortbestand kämpfen. Auch in vielen alten Bundesländern taucht der Astronomieunterricht seit neuestem wieder im Lehrplan auf, meist aber erst in der gymnasialen Oberstufe. Auch der Lehrplan von Nordrhein-Westfalen schlägt eine Grundkursesequenz Astrophysik vor, ebenfalls für die Oberstufe. Im Rahmen der DPG (Deutsche Physikalische Gesellschaft) und der MNU (Deutscher Verein zur Förderung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts) haben sich zum Thema „Astronomie in der Schule“ neue Arbeitskreise gebildet, und auch auf europäischer Ebene hat die „European Association for Astronomy Education“ (Homepage: <http://www.rz.uni-frankfurt.de/EAAE/>) ihre Arbeit aufgenommen und somit sind zumindest in organisatorischer Hin-

¹ vgl. Praxis der Naturwissenschaften-Physik 7/45. Jahrgang 1996, Themenheft: Astronomie – Astrophysik, Vorwort von Prof. Dr. Wilfried Kuhn

sicht die ersten Schritte getan. Auch die Tatsache, daß sich die physikdidaktischen Zeitschriften „Praxis der Naturwissenschaften“ im Jahr 1996, „Physik in der Schule“ im Jahr 1997 und „Naturwissenschaften im Unterricht - Physik“ im Jahr 1993 mit dem Thema Astronomie in der Schule auseinandersetzen und einige Unterrichtsvorschläge zu lesen sind, zeigt, daß dieses Thema für die Schule an Bedeutung gewinnt. Jedoch sind die dort beschriebenen Vorschläge fast ausschließlich für die Sekundarstufe II gedacht.

Welche Ursachen aber hat es, daß man für die Sekundarstufe I kaum Unterrichtsmaterialien und Hinweise findet? – Die Unterrichtszeit in Physik ist in den letzten Jahren immer knapper geworden. Neue Stoffgebiete (Elektronik, Kernphysik und Informationstechnik) haben Einzug in den Physikunterricht gehalten. Der Astronomieunterricht findet daher seinen Platz meist nur in Arbeitsgemeinschaften und im Wahlpflichtbereich oder im wahlfreien Bereich. Ein weiterer Grund ist die mangelnde Ausbildung der Lehrer an den Universitäten in Astronomie; wer sich in der Astronomie unsicher fühlt, wird sie kaum unterrichten. Hinzu kommt noch, daß es methodisch nicht einfach ist, Astronomie in der Sekundarstufe I für die Schüler ansprechend zu unterrichten. Der Unterricht sollte reich an Experimenten und Schüleraktivitäten sein. Doch findet man, wie gesagt, kaum Unterrichtsvorschläge für die Sekundarstufe I. Zur Astronomie gehören natürlich auch Himmelsbeobachtungen. Diese sind oft schwer zu realisieren (siehe auch den Abschnitt „Museum, Planetarium, Sternwarte und Planetenweg“). Neben gutem Wetter braucht man, um richtig beobachten zu können, auch ein Fernrohr oder besser mehrere, da eine Klassenstärke von über 30 Schülern keine Seltenheit mehr ist. Auch die Tatsache, daß wegen der Lichtverschmutzung in den Städten den meisten Schülern hier ein guter Anblick des Sternhimmels oft verborgen bleibt, und sie vielleicht nicht einmal den Großen Wagen auffinden können, zeigt, daß man mit dem Astronomieunterricht auf niedrigem Niveau beginnen muß und keine großen Vorkenntnisse erhoffen darf.

Meine Idee geht nun dahin, die Gebiete der Astronomie zu finden, die auch in der 10. Klasse einer Realschule zu unterrichten sind und dabei trotzdem

eine moderne Forschungsmission, nämlich die Cassini-Mission, einzubeziehen. Es ist schnell einzusehen, daß man nicht über die Untersuchungen, die die Cassini-Sonde oder die Huygens-Sonde durchführen, physikalisch im Detail sprechen kann. Dennoch denke ich, daß auch bereits die phänomenologische Besprechung einiger Untersuchungen den Schülern im späteren Leben hilft, wenn sie etwas über diese oder auch andere Missionen in den Medien erfahren, um sich etwas mehr über die Forschung selbst, aber auch über den Sinn der Forschung im Weltall vorstellen zu können.

Wichtig ist hierfür natürlich ein sinnvoller Einstieg. Was nützt es den Schülern, etwas über die Cassini-Mission zum Saturn zu erfahren, ohne zu wissen was ein Planet ist, wo sich Saturn befindet, wie die gewonnenen Daten zur Erde gelangen und so weiter. Diesen Herausforderungen können wir uns am besten stellen, wenn wir den historischen Gang der Astronomie auch in der Schule, zumindest in den relevanten Teilen gehen und einige Bereiche der klassischen Astronomie genauer betrachten. Zusätzlich bietet dieses Vorgehen auch die Möglichkeit, einiges aus dem Physikunterricht zu wiederholen.

Wie dies im Einzelnen aussehen könnte, soll in dieser Arbeit dargestellt werden, natürlich nicht immer bis ins Detail, da dies den Umfang der Arbeit sprengen würde. Die Arbeit soll dennoch als Grundlage dienen, Astronomie in der 10. Klasse einer Realschule unterrichten zu können. Zusätzlich soll sie den Lehrern aber auch Hemmungen nehmen, Astronomie zu unterrichten. Um dies zu erreichen habe ich sehr viele Quellenangaben, insbesondere zu Internetadressen, beigefügt. Viele dieser Quellen beinhalten aber auch Informationen über andere Schwerpunkte, als die Cassini-Mission. Die Arbeit ist daher in vielen Teilen auch so gestaltet, daß man die Cassini-Mission durch eine andere Raumfahrtmission austauschen kann. So wird man bei anderen Missionen den Saturn eventuell gegen einen anderen Planeten austauschen, den man näher bespricht und statt des „Cassini Teacher Guide“ (ein Unterrichtsvorschlag aus den USA, der später betrachtet wird), sucht man im Internet vielleicht nach einem anderen Teacher Guide. Vieles kann jedoch übernommen werden.

Hinweise in eigener Sache:

Anreden und Bezeichnungen, wie Lehrerin, Lehrer, Schülerin und Schüler kürze ich dadurch ab, in dem ich lediglich von „Lehrer“ und „Schüler“ spreche.

Neben den Überschriften der einzelnen Abschnitte habe ich in Klammern die Quellen angegeben. Eckige Klammern bezeichnen Bücher und Zeitschriften, die im Literaturverzeichnis zu finden sind. Die Mengenklammern benutze ich für Hinweise auf Inhalte aus dem Internet. Diese finden sich im Abschnitt „Internetadressen zum Thema Cassini-Mission“ wieder. Bei Abbildungen und Fotos bin ich ebenfalls nach diesem Prinzip verfahren. Wörtlich übernommene Passagen habe ich zusätzlich im Text gekennzeichnet.

Einige der angegebenen Bücher sind nicht mehr lieferbar. Trotzdem habe ich sie als Nachschlagewerke für den Unterricht empfohlen. Diese Bücher werden in Bibliotheken noch vorzufinden sein. Informationen hierzu findet man unter folgender Internetadresse: www.ubka.uni-karlsruhe.de/kvk.html. Unter dieser Adresse findet man eine umfangreiche Bibliotheksdatenbank.

Leider sind einige Abbildungen und Fotos qualitativ nicht sehr gut. Ich habe mich dennoch entschieden, diese mit in die Arbeit aufzunehmen, damit man einen Eindruck bekommt, was an Bildmaterial vorhanden ist.

Astronomie in der Klasse 10 der Realschule – aber wie?

Wie ich im vorigen Abschnitt bereits erwähnt habe, ist mein Vorschlag für die 10. Klasse der Realschule gedacht. Möchte man sinnvoll über längere Zeit Astronomie betreiben, so ist dies sicher der richtige Zeitpunkt. Gerade für meinen Unterricht benötige ich unter anderem Wissen aus der Mathematik der 10. Klasse, so daß eine Absprache mit dem Mathematiklehrer vorteilhaft ist.

In dem Lehrplan für die Realschule in Niedersachsen werden ebenfalls Vorschläge zum Astronomieunterricht gegeben. Zum einen im Wahlpflichtunterricht (Themenkreis: Optik/Schwerpunkt Astronomie), zum anderen im wahlfreien Unterricht (Astronomie). Mein Vorschlag ist ebenfalls in einem dieser Bereiche anzusiedeln. Als dritte Möglichkeit stünde auch einer Astronomie AG nichts im Wege.

Beim Lesen der Arbeit ist festzustellen, daß ich an die einzelnen Unterrichtssequenzen keine Stundenangaben geschrieben habe. Dies hat zwei Gründe: Erstens habe ich bis jetzt nicht die Möglichkeit gehabt, meinen Vorschlag ausprobieren zu können oder durch jemand anders ausprobieren zu lassen, zweitens möchte ich kein starres Stundenraster vorgeben. Dennoch denke ich, daß mein Vorschlag in einem Schulhalbjahr zu unterrichten ist.

Tag der Raumfahrt

Am 20. August 1998 fand erstmals in Deutschland der Tag der Raumfahrt statt. Die Schirmherrschaft hat Bundesforschungsminister Dr. Jürgen Rüttgers übernommen. Das deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrttechnik (DLR), die Raumfahrtindustrie, zahlreiche Lehrstühle von Universitäten sowie Planetarien und Sternwarten waren für die Gestaltungen dieses Tages zuständig. Den ganzen Tag über hielt der DLR-Standort Köln-Porz die Türen für die Öffentlichkeit offen. Darüber hinaus fanden im gesamten Bundesgebiet Veranstaltungen zahlreicher Organisationen und Industrieunternehmen statt.

Ein Ziel der Veranstaltung war nach eigenen Aussagen, „der Öffentlichkeit den Nutzen und die Anwendung von Raumfahrt im täglichen Leben aufzuzeigen“ (Presse-Information der DLR Nr. 32/98).

Bis zum frühen Nachmittag zählte alleine die Veranstaltung in Köln-Porz mehr als 20.000 Besucher. Eine Zielgruppe der Aktion waren Schulklassen, die ihren Unterricht an diesem Tag nach Köln-Porz verlegen sollten. Weit über 1000 Schüler folgten diesem Ruf. Sie hatten nicht nur die Möglichkeit sich Weltraumlabor wie das SPACELAB, das COLUMBUS-Modul der Internationalen Raumstation – oder andere – in Originalgröße anzuschauen, sondern konnten auch bei Trainingseinheiten, wie dem Unterwasser-Training der Astronauten dabei sein und sich mit Astronauten unterhalten. Dies sind nur einige wenige Highlights dieses Tages, die direkt am DLR-Standort in Köln-Porz stattfanden.

In München konnte man unter anderem den Röntgensatelliten ROSAT besichtigen, in Braunschweig konnte man mit dem Astronauten Dr. Reinhold Ewald, der an Bord der Raumstation MIR war, sprechen und in Berlin-Adlershof wurde über die Ergebnisse der Planetenforschung informiert. Die genannten Beispiele decken allerdings nur einen kleinen Teil der Ereignisse ab, die bundesweit stattfanden.

Der Besucherandrang beim Tag der Raumfahrt zeigt mir einmal mehr, daß das Interesse in der Bevölkerung für das, was im Weltraum geschieht, vorhanden ist. Es ist sehr viel Aufklärungsarbeit notwendig, damit möglichst viele Menschen einerseits den Sinn der Weltraumforschung verstehen, andererseits aber auch verstehen, was man erforscht und womit man es erforscht. Der Astronomieunterricht kann helfen, dieses Verständnis aufzubauen.

Die Cassini-Mission [1, 2, 4, 5, 8, 9, 18 - 21] {1, 3}

In dem Buch „Saturn“ von Garry Hunt und Patric Moore (1983) heißt es in der Einleitung auf Seite 5 wie folgt: *„Vor den Pioneer- und Voyager-Missionen wußten wir relativ wenig von Saturn. Inzwischen haben wir zwar eine Menge dazugelernt, aber es gibt noch vieles, was wir nicht wissen. Obwohl gegenwärtig wegen der Mittelkürzungen bei der NASA keine weiteren Sonden geplant sind, wird es sicher in Zukunft wieder welche geben, sowohl von den USA als auch von der UdSSR. Saturn bleibt weiterhin nicht nur das imposanteste, sondern auch das interessanteste Mitglied unseres Planetensystems.“* Zum Saturnmond Titan sind noch diese Sätze aus der Einleitung interessant: *„Bis jetzt haben wir keine direkten Informationen über die Oberfläche, denn die Voyager-Sonden konnten nur die äußere Wolkenschicht photographieren. Mehr werden wir erst erfahren, wenn eine Spezialsonde um Titan geschickt wird, um mit Radar die Oberflächenformationen zu untersuchen.“*

Die Cassini-Huygens-Mission war also bereits lange erhofft und geplant und soll nun die Ergebnisse der Pioneer- und Voyager-Missionen verbessern und ergänzen. Speziell für die Erforschung des Saturnmondes Titan geht die Huygens-Sonde, eine kleinere Forschungsraumsonde, die an einem Fallschirm auf Titan landen soll, mit auf die lange Reise. Während des Fluges ist sie an der Cassini-Sonde befestigt.

Der Ringplanet Saturn ist der sechste Planet in unserem Sonnensystem, von innen nach außen gezählt. Damit liegt seine Bahn zwischen der von Jupiter und der von Uranus. Er ist der äußerste Planet, der noch mit bloßem Auge von der Erde aus beobachtet werden kann und war schon im Altertum bekannt. Ihm wurde der Name Saturn zu Ehren des Vaters von Jupiter gegeben. Seine Entfernung von der Sonne beträgt $1,432 \cdot 10^9$ km. Um die Sonne zu umlaufen benötigt Saturn 29,46 Jahre, seine Rotationsdauer beträgt 10 Stunden 40 Minuten. Er hat einen äquatorialen Durchmesser von 120660 km, der polare beträgt dagegen nur 108000 km. Mit 9,6 % besitzt

Saturn die stärkste Abplattung eines rotationssymmetrischen Körpers im Sonnensystem. Obwohl Saturn wegen seiner gewaltigen Größe eine Masse von $5,686 \cdot 10^{26}$ kg besitzt, hat er mit $0,69 \text{ g/cm}^3$ die geringste Dichte von allen Planeten. Die Ringe des Saturn sind bereits in einem kleinen Fernrohr sichtbar. Obwohl wir durch die Flüge der Raumsonden wissen, daß auch Jupiter, Uranus und Neptun Ringe besitzen, ist das Ringsystem des Saturn bei weitem das größte (der E-Ring erstreckt sich als äußerster Ring bis 237000 km über die Saturnwolken).

Saturn besitzt 23 bekannte Monde, von denen Titan der größte und interessanteste ist, da er als einziger Mond im Sonnensystem eine Atmosphäre besitzt. Er wurde bereits 1655 von Christian Huygens entdeckt. Titan hat einen Durchmesser von 5140 km und ist damit um einiges größer als der Erdmond mit einem Durchmesser von 3476 km. Er hat eine Masse von $1,36 \cdot 10^{23}$ kg und eine Dichte von etwa $1,88 \text{ g/cm}^3$.

Doch nun zur Cassini-Mission an sich. Cassini ist am 6. Oktober 1997 gestartet, um Informationen über das Saturnsystem zur Erde zu senden, über die Ringe, die Monde, die Magnetosphäre und, nicht zuletzt, über den Planeten Saturn selbst. Bei dem Entwurf der Cassini-Mission waren zeitweise bis zu 4300 Personen beteiligt, wenn man die Fertigungsteams der Industrie und die Wissenschaftler an den Universitäten und Forschungseinrichtungen



Abb. 1: Das Planungsteam (Comic) {3}

hinzuzählt. Mit der Planung wurde bereits 1982 begonnen. Es werden 27 wissenschaftliche Untersuchungen während der gesamten Mission durchgeführt. Jedes Untersuchungsteam hat einen Repräsentanten beim JPL

(Jet Propulsion Laboratory) und einen sogenannten *Principle Investigator*, meist einen Professor einer Universität. Diese PI's, zusammen mit ihren Teams sind über die USA, Frankreich, England, Deutschland, Italien, Öster-

reich, Ungarn, Spanien, Skandinavien, die tschechische Republik und die Niederlande verteilt. Viele sind Mitglieder der European Space Agency (ESA). Die Gesamtkosten für die Mission belaufen sich auf 3,15 Milliarden US-Dollar.

Die Cassini-Sonde, inklusive der Huygens-Sonde, wiegt 5650 kg. Sie und die Huygens-Sonde wurden mit einer Rakete vom Typ Titan IVB/Centaur gestartet. Um zum Saturn zu gelangen, macht sich Cassini die Gravitationswirkung verschiedener Planeten zu Nutze. Die Flugbahn (trajectory), auf der sich Cassini dabei bewegt, wird auch Hohmann-Bahn genannt. In diesem Fall spricht man von der „Venus-



Abb. 2: Cassini mit Huygens [19]

Venus-Earth-Jupiter Gravity Assist (VVEJGA) trajectory“. Diese Bezeichnung gibt die zeitliche Abfolge der Planetenvorbeiflüge an. Die Vorbeiflüge an den Planeten (flybys) sind auf der folgenden Abbildung (Abb. 3), mit Datum versehen, dargestellt. Auf dem Bild sind neben den „flybys“ auch Kursmanöver (trajectory correction maneuvers, oder kurz: TCMs) zu erkennen, die dafür sorgen, daß Cassini auf der gewünschten Flugbahn bleibt.

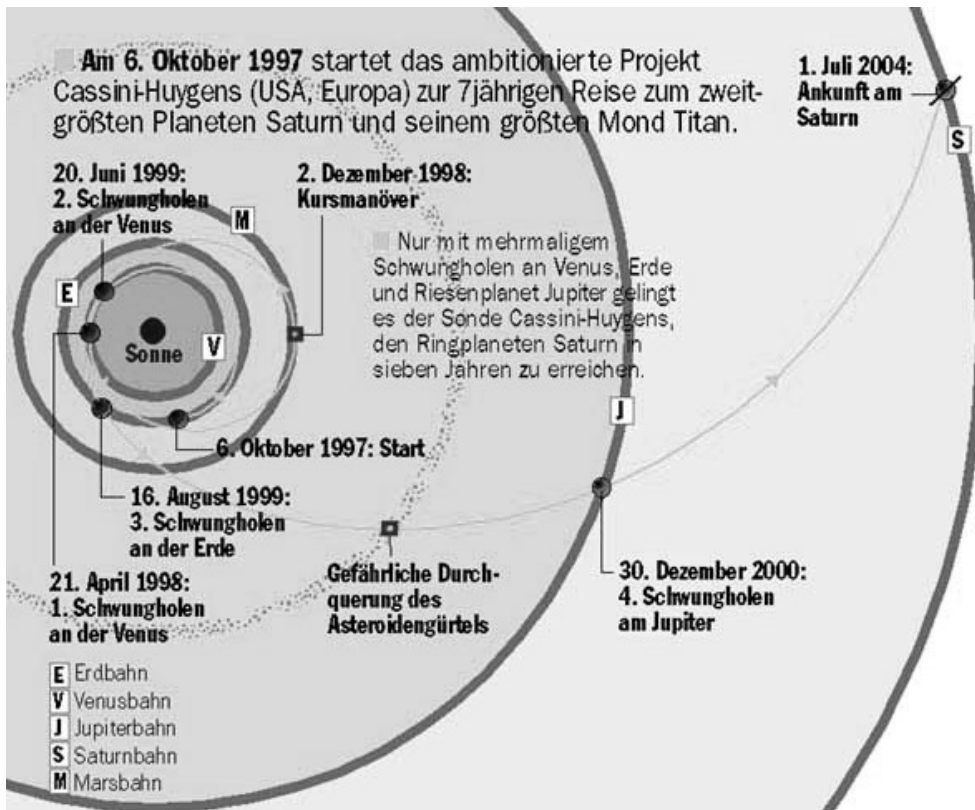


Abb. 3: Die Flugbahn von Cassini {24}

Um die Flugbahn zu überwachen, werden drei Techniken zeitgleich verwendet: der Dopplereffekt, das sogenannte „Ranging“ (Triangulation –

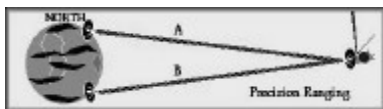


Abb.4: Prinzip des Ranging {25}

Verbindung mit dem DSN (Deep Space Network)) und die Auswertung von Sternaufnahmen. Am 1. Juli 2004 erreicht Cassini den Saturn. Ist Cassini am

Saturn angekommen, so arbeitet die Sonde noch 4 Jahre im Saturnsystem, wobei nun die Gravitation von Saturn und seinen großen Monden zusammen mit Kursänderungen über den Raketenantrieb benutzt werden, um die Sonde auf der gewünschten Flugbahn zu halten. Vierundzwanzig Tage vor dem Titan-flyby wird Cassini, und damit auch die Huygens-Sonde, auf den genauen Eintrittspunkt der Huygens-Sonde zu Titan manövriert. Zwei Tage später löst sich die Huygens-Sonde von Cassini. Um die Flugbahn der Huygens-Sonde zu überwachen, werden ebenfalls der Dopplereffekt und das „Ranging“ angewendet, aber auch Bilder von Titan und den großen Saturnmonden herangezogen. Durchschnittlich werden dabei 6 Bilder am Tag zur Erde übertragen.



Abb. 5: Mission Design {3}

All diese einzelnen Schritte sind bereits seit langem festgelegt. Die JPL spricht von „operation concepts (ops concepts)“, die Teil des gesamten „Mission Design“ sind. Es sind zuverlässige, vorab geplante Verfahren, denen Mensch und Maschine folgen, um ein gemeinsames Ziel zu erreichen.

Zwei Jahre bevor Cassini am Saturn ankommt, werden die Instrumente auf der Sonde eingeschaltet. Sie werden kalibriert und beginnen wissenschaftliche Daten zu sammeln. Auf dem gesamten Flug vor dieser Zeit werden sie nur eingeschaltet, um sie auf ihre Funktionen zu prüfen. Lediglich das Magnetometer wird an der Erde kalibriert.

Die Cassini-Sonde arbeitet sehr selbständig, daß heißt, sie übernimmt den allgemeinen Service für die 12 an Bord befindlichen wissenschaftlichen Untersuchungen selbst. Die Instrumente arbeiten unabhängig voneinander, aber die Daten können gemeinsam gesammelt werden. Die Daten werden später, nach weiterer Bearbeitung innerhalb der Sonde, auf die ich im einzelnen nicht eingehen möchte, entweder im „solid state“ Datenspeicher (SSR, es befinden sich zwei an Bord von Cassini, mit einer Speicherkapazität von je 2 GBit) gespeichert oder direkt zur Erde übermittelt.

Die grundsätzlichen Vorgänge werden von dem JPL gesteuert. Die wissenschaftlichen Untersuchungen können die Wissenschaftler jedoch von ihren Heimatinstitutionen aus steuern, wobei alles beim JPL zusammenläuft. Wegen der langen Vorbereitungsphase und der langen Flugdauer ist es einzusehen, daß einige dieser Untersuchungen ein Update benötigen, meistens in Form neuer Software. Für diese Fälle existieren sogenannte „day-to-day strategies“ oder „day-to-day ops concepts“. Zu diesen gehört ebenfalls die Über-

wachung des Treibstoffvorrates, sowie die Regelung der Datenübertragungsrate und des Energieverbrauchs während des Fluges.

Eines der wichtigsten Teile des ops concepts ist, was das JPL „Magellanmode“ nennt. Es geht darum, daß Cassini mit ein und derselben Antenne, der Parabol-Hauptantenne (HGA, „High Gain Antenna“) Daten sammelt und sich dann so ausrichtet, daß mit dieser Antenne die Daten zur Erde übermittelt werden können.

Die meisten Vorgänge bei Cassini sind Abfolgen standardisierter Abläufe. Diese Abläufe sind zu Betriebsmodi zusammengefaßt und die Übergänge zwischen ihnen bestehen aus vorher geplanten Sequenzen. In ihnen ist beispielsweise festgelegt, in welcher Reihenfolge die Instrumente eingeschaltet werden müssen.

Während der Cassini-Mission werden drei Arten der Fortbewegung genutzt; zum einen der uns bereits bekannte „gravity assist“, das Schwungholen an Planeten und später an den Saturnmonden, zum zweiten der Vortrieb durch die zwei Haupttriebwerke (je 445 N Schub) der Cassini-Sonde, die als Treibstoff Bipropellant nutzen, und zum dritten kleine Kursänderungen und Drehbewegungen der Sonde durch die „Reaction Control Thrusters“, 16 kleinen Triebwerken (je 1 N Schub), die in vier Gruppen zu je vier Triebwerken an verschiedenen Stellen der Sonde befestigt sind. Diese benötigen als Treibstoff Hydrazin (N_2H_4). Bipropellant besteht aus zwei Komponenten, Monomethyl-Hydrazin ($N_2H_3CH_3$) und Stickstoff Tetraoxid (N_2O_4).

Zur gesamten Kommunikation mit Cassini werden die Parabol-Hauptantenne und zwei Hilfsantennen (LGA, „Low Gain Antenna“) benutzt. Die LGAs werden zur Kommunikation mit der Erde eingesetzt, wenn die Hauptantenne Daten sammelt und auf das Zielobjekt ausgerichtet ist. Gesendet wird auf zwei Frequenzen im Gigahertzbereich.

Während der Arbeitszeit wird Cassini ungefähr $2 \cdot 10^{18}$ Bits wissenschaftlicher Daten sammeln und senden, das sind soviel wie in 800 Serien der „Encyclopedia Britannica“ enthalten ist. Die Datenübertra-



Abb. 6: Encyclopedia Britannica {3}

gungsrate schwankt zwischen 40 bits/s und 170000 bits/s. Auf der Erde gibt es drei „Deep Space Network“ (DSN) Antennen, die die Kommunikation mit Cassini ermöglichen, eines in Goldstone, Kalifornien, eines in Madrid, Spanien und eines in Canberra, Australien. Ein kleines Problem bei der Kommunikation mit Cassini ist die Zeit, die Übertragungen brauchen, um von der Erde aus Cassini zu erreichen und umgekehrt. Diese Zeit beträgt zwischen 70 und 90 Minuten, je nachdem, ob Saturn und Erde in Opposition oder in Konjunktion zueinander stehen.

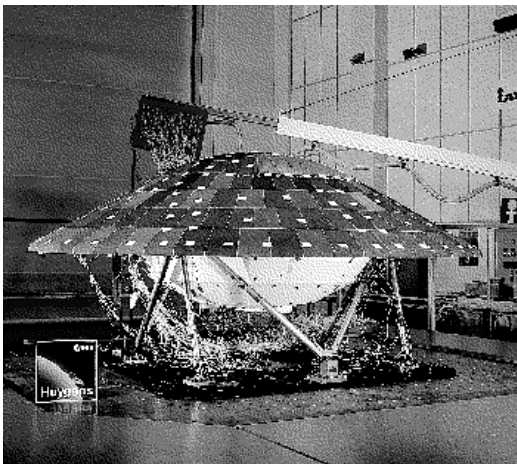


Abb. 7: Die Huygens-Sonde; das Aussehen der Sonde wird von dem Hitzeschild dominiert [19]

Nun zur Mission der Huygens-Sonde: Sie ist ein Projekt der ESA und soll die Wolken, die Atmosphäre und die Oberfläche von Titan untersuchen. Die Huygens-Sonde löst sich im November 2004 von Cassini und tritt etwa drei Wochen später in die Titanatmosphäre ein. Hier werden unter anderem Temperatur, Druck und

die Dichte gemessen. Die Sonde soll während ihres Einsatzes etwa 1100 Bilder zur Erde schicken. Die Daten der Huygens-Sonde werden von der HGA Cassini's empfangen, in den SSRs gespeichert und am Ende der Huygens-Mission zur Erde gesendet. Der Flug durch die Titanatmosphäre dauert etwa 150 Minuten. Danach wird Huygens noch weitere 3 Minuten, mit etwas Glück auch länger, auf der Oberfläche von Titan arbeiten. Die folgende Grafik zeigt die Phasen während des Eintritts in die Titanatmosphäre und die Landung auf Titan.

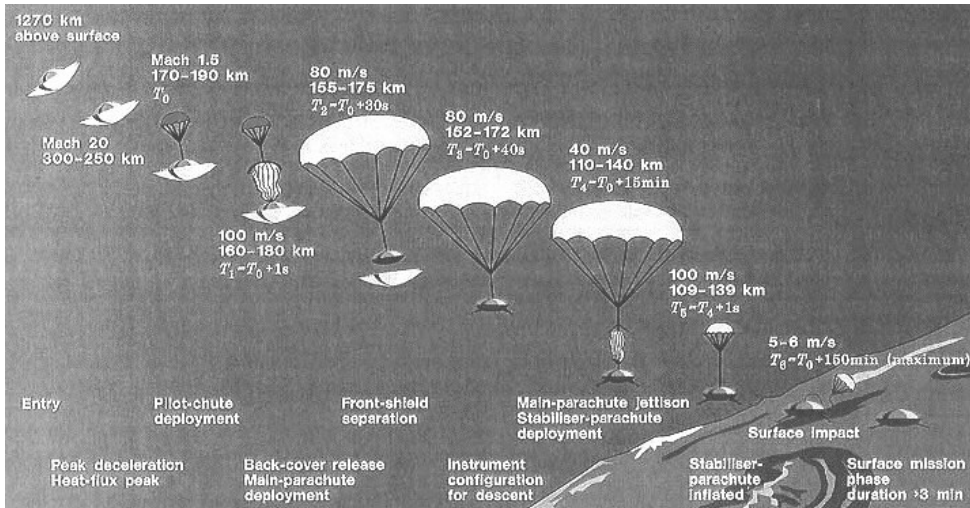


Abb. 8: Die Huygens-Sonde während des Fluges durch die Titanatmosphäre und bei der Landung [19]

Was soll im einzelnen untersucht werden?

- Wie sieht die Atmosphäre von Saturn unterhalb der obersten Wolkenschicht aus?
- Wie entstehen Stürme auf Saturn und wie enden sie?
- Worin unterscheiden sich die Polarregionen von den Äquatorregionen?
- Wie sieht das Saturninnere aus?
- Aus was, neben Eis und Staub, bestehen die Saturnringe?
- Wie groß sind die einzelnen Partikel?
- Wie bilden und ändern sich die Ringe?
- Befinden sich innerhalb der Ringe noch weitere Monde?
- Wie sieht die Oberfläche von Titan aus?
- Gibt es Seen, Ozeane oder Flüsse auf Titan?
- Aus welcher Richtung weht der Wind auf Titan?
- Wieviel Sonnenlicht erreicht die Oberfläche?
- Könnte auf Titan jemals Leben existiert haben?
- Wie sieht die Vergangenheit der Saturnmonde aus?
- Ist der Mond Phoebe ein eingefangener Asteroid?
- Wieso ist die Oberfläche vom Mond Iapetus zur Hälfte hell und zur Hälfte dunkel?
- Warum haben einige Monde die gleichen Umlaufbahnen?

- Welche Arten von Teilchen werden von der Magnetosphäre eingefangen?
- Ändern sich diese Teilchen mit der Zeit?
- Wie beeinflusst die Magnetosphäre die Ringe und Monde?
- Was sagt uns die Magnetosphäre über das Innere von Saturn?

Die Instrumente auf der Cassini-Sonde:

- Cassini Plasma Spectrometer – Untersucht das Plasma innerhalb und in der Nähe des Magnetfeldes von Saturn
- Composite Infrared Spectrometer – Spektrale Kartierungen zur Untersuchung der Temperaturen und der Zusammensetzung der Saturnoberfläche, seinen Ringen und seinen Monden
- Cosmic Dust Analyzer (Staubanalysegerät) – Untersucht Eis- und Staubkörner in der Nähe des Saturnsystems
- Dual Technique Magnetometer – Untersucht Saturn's Magnetfeld und dessen Wechselwirkung mit den Ringen, den Monden und dem Sonnenwind
- Imaging Science Subsystem – Multispektrale Bilder von Saturn, Titan, dem Ringsystem und den Eismond
- Ion And Neutral Mass Spectrometer – Untersucht die außen liegende Atmosphäre und Ionosphäre von Saturn, Titan und den vereisten Monden auf ihre Zusammensetzung
- Magnetospheric Imaging Instrument – Globale Bilder der Magnetosphäre und vor-Ort-Messungen im Magnetfeld
- Radio and Plasma Wave Science – Untersucht Plasmawellen, natürliche Radio-Emissionen und Staub im Saturnsystem
- Titan Radar – Kartographiert die Oberfläche von Titan und mißt die Höhe der Oberflächenmerkmale (Altimetrie)
- Radio Science Subsystem – Sucht nach Gravitationswellen mißt die Masse und Struktur der Atmosphäre



Abb. 9: Die Cassini-Sonde mit der Huygens-Sonde; die Grafik stellt einige wissenschaftliche Instrumente dar {3}

- Ultraviolett Imaging Spectrograph – Untersucht die Struktur, Chemie und Zusammensetzung der Atmosphäre und der Ringe
- Visual and Infrared Mapping Spectrometer – Identifiziert die Zusammensetzung von Oberflächen, Atmosphären und der Ringe

Die Instrumente der Huygens-Sonde:

- Aerosol Collector and Pyrolyser – Sammelt Titan's Aerosole, um die chemische Zusammensetzung zu analysieren
- Descent Imager/Spectral Radiometer – Führt spektrale Messungen durch und fotografiert Titan's Oberfläche und den atmosphärischen Dunst
- Doppler Wind Experiment – Benutzt Radiosignale, um die Windgeschwindigkeit auf Titan zu ermitteln
- Gas Chromatograph/Mass Spectrometer – Identifiziert und quantifiziert die verschiedenen Atmosphärenbestandteile auf Titan
- Huygens Atmospheric Structure Instrument – Mißt die physikalischen und elektrischen Eigenschaften der Titanatmosphäre
- Surface Science Package – Bestimmt die physikalischen Eigenschaften der Titanoberfläche (Einsatz nach der Landung auf Titan)

Kapitel II

Museum, Planetarium, Sternwarte und Planetenweg

Moderne Museen sollen nicht nur eine große Menge Exponate bereitstellen, die man sich anschauen kann, aber keinesfalls berühren darf, sondern man soll in ihnen etwas erleben. Der Besucher soll in ihnen etwas sehen können, lernen und arbeiten, erfahren und – im wahrsten Sinne des Wortes – etwas begreifen können.

Ein Museum hat viele Vorteile, von denen hier nur einige genannt sind: Man kann die Ausstellung auch bei schlechtem Wetter besuchen. Auf wenig Raum wird eine Fülle von Informationen anschaulich dargestellt, die man sich sonst aus vielen Büchern zusammensuchen müßte. Moderne Ausstellungen gehen allerdings dazu über, nicht mehr so viele Informationen in langen Texten, die dann sowieso kaum jemand liest, zu erteilen, sondern gezielt wichtige Informationen in kurzen, prägnanten Texten zu geben. Ebenso kann der Einsatz moderner Medien, wie Computer, Videoprojektionen und Diaprojektionen, die Bandbreite des Lernens und Erlebens erweitern, da verschiedene Sinne gleichzeitig angesprochen werden. Einen weiteren Vorteil bieten Führungen durch eine Ausstellung. Bei diesen kann man unter Umständen mit dem Führer Schwerpunkte absprechen, so daß auch in größeren Ausstellungen gezieltes Lernen möglich ist. Einige Museen bieten ganze Projektstage an, an denen Ausstellungen Stück für Stück erarbeitet werden können. Gerade Dauerausstellungen bieten die Möglichkeit, bei Fragen und Problemen, die vielleicht nach einem Museumsbesuch entstehen, die Ausstellung noch einmal zu besuchen und die Fragen notfalls durch Fachkundige beantworten zu lassen.

Ein großer Nachteil ist die Unruhe, die aufkommt, wenn eine Schulklasse an einer Ausstellung nicht interessiert ist. Außerdem ist nicht jede Klasse für einen Museumsbesuch geeignet, gerade wenn Disziplinprobleme vor-

programmiert sind. In solchen Fällen sollte man besser von einem Museumsbesuch absehen, da dieser wirkungslos wäre.

Ein weiteres Hilfsmittel, sich über den Sternhimmel zu informieren, ist das Planetarium, das 1924 von W. Bauersfeld, Jena, entwickelt wurde. In einem Planetarium wird der Sternhimmel in naturgetreuer Weise an eine Kuppel projiziert. Der Projektor befindet sich in der Mitte dieses runden Raumes. Die Darstellung des Sternhimmels ist vom Ort des Betrachters und der Zeit unabhängig. Im Zeitraffer können in einem Planetarium die Bewegungen der Sterne, Planeten und des Mondes gezeigt werden. In neueren, computergesteuerten Planetarien, wie etwa in Münster, sind sogar „Raumflüge“ möglich. Auch besondere Erscheinungen, wie Finsternisse, Sternschnuppen, Sonnenaufgänge und andere, sind darstellbar. In den meisten Planetarien werden die Vorführungen, egal ob live oder vom Band, durch Dias und Computer- oder Video-

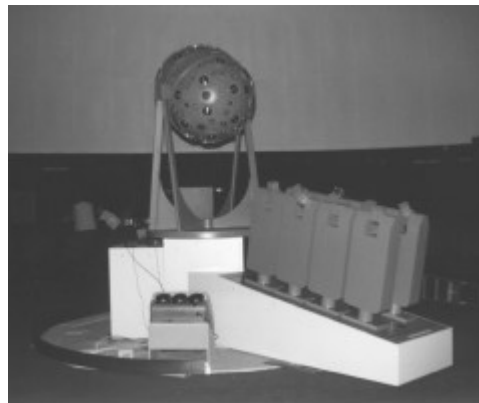


Abb. 1: Planetarium in Münster

sequenzen ergänzt.

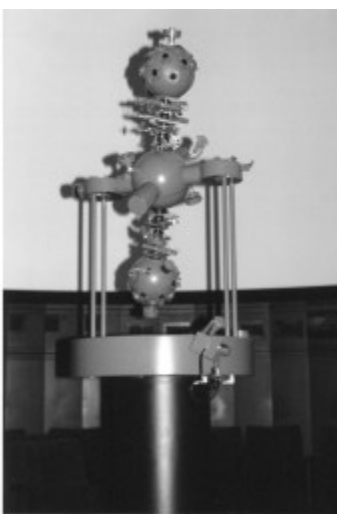


Abb. 2: Planetarium in Osnabrück

Werden in den Planetarien, neben den öffentlichen Vorführungen, auch spezielle Schulvorführungen angeboten, wie auch im Planetarium in Osnabrück, so kann man auch hier in der Regel Spezialthemen absprechen, die dann visualisiert und erklärt werden. Durch die räumliche und zeitliche Unabhängigkeit können auch „Beobachtungen“ in Gegenden, wie zum Beispiel am Nord- oder Südpol, durchgeführt werden, Gegenden, die uns sonst oft unzugänglich bleiben. Auch „Zeitreisen“ sind möglich. Getreu dem Motto „ein

Jahr geht schnell vorüber“ kann man sich in wenigen Minuten beispielsweise den Lauf der Sonne und die Stellung der Planeten, über die Dauer eines Jahres, anschauen. Ein großer Vorteil beim Planetarium ist, daß es niemals schlechtes Wetter mit Wolken oder Störungen durch Licht gibt, die den Blick auf den Sternhimmel verwehren, es sei denn, man möchte gerade dieses zeigen.

Ein kleiner Nachteil ist das nicht allzu dichte Netz an Planetarien in Deutschland, so daß häufig weite Busreisen einem Planetariumsbesuch vorausgehen. Doch entschädigt die Vorführung meist für die Strapazen der An- und Abreise.

Sternwarten bieten die Möglichkeit den Himmel direkt zu betrachten und zwar nicht nur mit dem bloßen Auge, sondern auch durch ein Fernrohr. Auch hier sind Beobachtungen in Klassenstärke möglich. Man muß jedoch bedenken, daß immer nur eine Person zur Zeit durch das Fernrohr schauen kann, es also bei einer Gruppenstärke von 25 bis 30 Personen einige Zeit dauert, bis alle ein Objekt gesehen haben. Die Wartezeit, bis man wieder mit Beobachten an der Reihe ist, muß gerade bei Schülern sinnvoll überbrückt werden. Da die Beobachtungen im Dunkeln(!) stattfinden, gibt es, außer etwas über die Objekte zu berichten oder Geschichten zu den Sternen und Sternbildern zu erzählen,

kaum Möglichkeiten, eine Klasse „im Zaum“ zu halten. Ein Erlebnis mit einer Schulklasse bei einem Besuch der Sternwarte auf dem Oldendorfer Berg bei Melle hat gezeigt, daß das Interesse der Schüler so groß war,

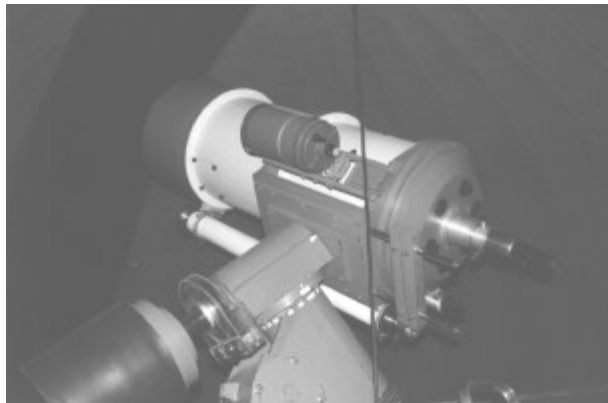


Abb. 3: Sternwarte auf dem Oldendorfer Berg (60 cm Durchmesser, 192 cm Brennweite)

daß Unruhe entstand, weil die Schüler so viele Fragen hatten. Gewiß ist ein Besuch einer Sternwarte auch nicht mit jeder Gruppe möglich. Trotzdem

halte ich den Besuch einer Sternwarte innerhalb einer Unterrichtseinheit Astronomie für sehr sinnvoll, da man Dinge erkennen kann, die einem sonst verborgen bleiben, wie die für das Auge verschiedenen Farben der Sterne, den Anblick offener Sternhaufen, Einzelheiten auf dem Mond und nicht zuletzt die Ringe des Saturn.

An vielen Sternwarten besteht die Möglichkeit von beobachteten Objekten Fotos zu machen, sowie Aufnahmen mit einer CCD-Kamera. Die Bilder kann man später im Unterricht weiter verwenden und, vorausgesetzt man hat die Möglichkeit, am Computer bearbeiten. Was man letztendlich mit dem Bildmaterial macht, hängt gewiß auch von der Klassenstufe ab, in der man die Unterrichtseinheit durchführt und worauf man die Schwerpunkte legt. Vor dem Besuch einer Sternwarte sollte auf jeden Fall das Fernrohr als optisches Gerät noch einmal besprochen werden.

Ein großer Nachteil bei Sternwarten sind die beschränkten Beobachtungszeiten. Wenn man nicht gerade die Sonne beobachten will, muß es dunkel sein. In den Wintermonaten ist dies zwar bereits recht früh der Fall. Beobachtungen sind durchaus ab 17.00 Uhr möglich, aber es ist unter Umständen auch sehr kalt, da in einer Sternwarte die Kuppel während der Beobachtung geöffnet sein muß. Wegen störender Luftbewegungen darf auch nicht geheizt werden. Was es heißt, bei $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ drei Stunden in einer Sternwarte zu beobachten, habe ich bereits mehrfach miterlebt und das wichtigste bei einer solchen Beobachtung ist dann die richtige Kleidung, da innerhalb der Kuppel die Bewegungsmöglichkeiten sehr eingeschränkt sind und nicht die Möglichkeit besteht, sich außer durch die passende Kleidung warm zu halten. Beobachtungen in den Sommermonaten können auch in Sommerkleidung durchgeführt werden, doch muß man bis nach 23.00 Uhr warten, damit es für eine Beobachtung dunkel genug ist. Abgesehen davon wird der Nachthimmel in unseren Breiten in den Monaten Juni und Juli sowieso nie ganz dunkel, da die Sonne auch nachts nicht sehr weit unter den Nordhorizont sinkt. Ein weiterer Nachteil ist die extreme Wetterabhängigkeit, da Beobachtungen bei bewölktem Himmel oder Nebel bereits nicht mehr möglich sind. Ein anderer Grund, der die Beobachtungsbedingungen verschlechtern

kann, ist die Lichtverschmutzung, die gerade im Bereich größerer Städte den Nachthimmel stark aufhellt.

Eine weitere Möglichkeit, Astronomie auch außerhalb der Schule zu betreiben, ist die Begehung eines Planetenweges. Er soll uns die Größenverhältnisse unseres Sonnensystems verdeutlichen. Man spaziert bei der Sonne los, wandert sämtliche Planeten(-bahnen) ab und bekommt so ein Bild vom Abstand der Planeten von der Sonne und der einzelnen Planetenbahnen untereinander. Ein solcher Planetenweg befindet sich beispielsweise in Melle bei Osnabrück. An der Sonne und an jedem Planeten sind noch Hinweise über diese gegeben, so daß hier auch etwas zu lernen ist.



Abb. 4: Planetenweg Melle – Der Saturn



Abb. 5: Planetenweg Melle – Die Sonne

Falls sich in der Nähe kein Planetenweg befindet, kann man diesen auch mit einer Schulklasse selber erstellen, indem man auf einer Karte die Position der Sonne festlegt, sowie ihren Maßstab. Damit ergeben sich dann die Entfernungen der Planetenbahnen (hier als Kreise angenommen) und ihre maßstabsbedingte Größe. Diesen „eigenen“ Planetenweg kann man dann, genau wie den in Melle, begehen. Wie so etwas im Unterricht aussehen könnte, habe ich im Abschnitt „Der Planetenweg im Unterricht“ dargestellt.

Vorstellung der Unterrichtseinheit

[3, 6 – 17, 20] {1, 11, 12, 13, 18, 19, 22}

Wie in dieser Arbeit oftmals deutlich wird, liegt der Schwerpunkt der Unterrichtsvorschläge, die in der Literatur zu finden sind, im Bereich der Sekundarstufe II. Leider sind auch sehr viele Autoren der Meinung, daß man ein geschlossenes Kapitel aus der Astronomie nur in einem Grund- oder Leistungskurs der Sekundarstufe II behandeln und man in früheren Jahrgängen „nur“ einfachere astronomische Probleme ansprechen kann, will man über die Astronomie nicht nur plaudern. Schauen wir uns die einfachen Probleme allerdings genauer an und reihen sie in sinnvoller Weise aneinander, so stellen wir fest, daß auch sie ein Schulhalbjahr oder sogar ein Schuljahr füllen können, ohne daß man nur plaudert. Allerdings muß man schon sehr viel Zeit in ausgiebige Literaturrecherchen investieren, damit man einen interessanten und den Schülern angemessenen Unterricht gestalten kann. Dieser sollte viele Versuche beinhalten und in weiten Teilen leicht verständlich sein, damit der Astronomieunterricht nicht zu einem Eliteunterricht mutiert. Vor allem darf er nicht abschrecken.

Die Literaturrecherche war auch ein Großteil meiner Arbeit. Doch leider stellte ich immer wieder fest, daß die Vorschläge, wie sie in den Zeitschriften und Büchern oder im Internet dargestellt sind, vom Anspruch her nicht passen. Sehr häufig findet man Vorschläge für die Sekundarstufe II, aus denen man die gesamte Mathematik entfernen müßte, damit sie auch in der Sekundarstufe I zu unterrichten sind. Dann ergibt es allerdings oft keinen Sinn mehr, sie zu unterrichten. Das andere Extrem sind Vorschläge für die ersten sechs bis sieben Schuljahre.

Mein Vorschlag soll für die Klasse 10 einer Realschule gedacht sein. Die Folge ist, daß viele Vorschläge ein wenig umgestellt werden müssen, aus vier Vorschlägen einer gemacht werden muß, oder man aus einem Nebensatz in einem Vorschlag eine kleine Unterrichtssequenz erstellen muß. Vorschläge, die genau für die 10. Klasse passend sind, findet man nur sehr selten, wenn überhaupt.

In diesem Abschnitt meiner Arbeit möchte ich sehr viele Literaturhinweise geben, die das Auffinden von hilfreichen Texten einfacher gestalten sollen. Bei der Angabe von Internetadressen sei auf den Abschnitt über diese Adressen verwiesen, in dem ich kurze Informationen darüber gebe, was auf den Seiten zu finden ist.

Doch nun zur eigentlichen Unterrichtseinheit. Wie ich bereits im Einführungskapitel erwähnt habe, soll der Unterricht dazu dienen, die Cassini-Mission als ein Beispiel einer Weltraummission besser zu verstehen. Dabei soll man die Cassini-Mission auch durch andere Raumfahrtmissionen austauschen können, ohne einen komplett neuen Unterricht planen zu müssen. Aus diesem Grund wird auch eine sehr lange Unterrichtsphase darauf verwendet, Grundlagen der Astronomie einzuführen, die aber immer die Verbindung zur Mission herstellen sollen. Erst im letzten Teil kommt man auf die Cassini-Mission an sich zu sprechen. Dieses liegt natürlich auch daran, daß die Physik, die hinter den Experimenten der Cassini-Sonde und der Huygens-Sonde steht, in der 10. Klasse einer Realschule nicht zu unterrichten ist, man sich also auf Grundlagen der Mission beschränken muß, dazu mehr im Abschnitt „Cassini im Unterricht“.

Am Anfang der Unterrichtseinheit muß eine ansprechende Motivation stehen, obwohl sich diese bei den meisten Schülern aus dem Thema selbst ergeben wird. Der Lehrer sollte einen Überblick über das geben, was der Unterricht der nächsten Zeit bietet. Der Besuch in einem Planetarium und auf einer Sternwarte müssen selbstredend auch genannt werden, da solche Exkursionen den Schülern gefallen werden. Während einige Schüler vielleicht bereits in einem Planetarium waren, ist die Anzahl der Schüler, die schon einmal auf einer Sternwarte waren, erwartungsgemäß recht gering.

Der Lehrer muß allerdings eine Sache bedenken: Der Besuch der Sternwarte liegt mit Sicherheit nicht in der Unterrichtszeit und eventuell der(die) Planetariumsbesuch(e) ebenfalls nicht. Für diese außerschulischen Aktivitäten müssen unter Umständen Stunden aus der Unterrichtszeit auf den Nachmit-

tag verschoben werden. Wandertage zu beantragen ist im Bereich des wahlfreien Unterrichts sicher schwierig, da Schüler aus mehreren Klassen in dieser Gruppe sind.

Da der Planetariumsbesuch schon aus organisatorischen Gründen nicht gleich in der zweiten oder dritten Stunde stattfinden wird, kann man diese Zeit nutzen, um das Vorwissen der Schüler in Erfahrung zu bringen, da dieses unter Umständen sehr große Unterschiede aufweisen kann. Anschließend bietet es sich an, einen geschichtlichen Überblick der Astronomie zu geben. Man kann damit in der Vorantike beginnen. Die Schüler erfahren, welche Erkenntnisse die Menschen von damals aus den Himmelsbeobachtungen gewonnen haben und wie sie diese gedeutet haben. Fehlvorstellungen, wie sie die Menschen entwickelt haben, können in der Klasse diskutiert werden. Dabei entwickeln die Schüler Vorstellungen, was Gegenstand der Astronomie ist. Natürlich sollte man früh genug auf den Unterschied zwischen Astronomie und Astrologie hinweisen und dabei erwähnen, daß sich Astronomen damals teilweise als Astrologen ihr Geld für die Forschung (und für das Leben) verdient haben, da mit der Astronomie kaum etwas zu verdienen war. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Besprechung der verschiedenen Weltbilder, die ebenfalls aus den Himmelsbeobachtungen abgeleitet wurden. Hier kann der Lehrer sehr gut Texte aus Geschichtsbüchern heranziehen. In diesen wird auch häufig die Verbundenheit der Ergebnisse der Astronomie mit gesellschaftlichen Zusammenhängen deutlich. Überhaupt hat die Gesellschaft und insbesondere die Kirche des Mittelalters das vorhandene Wissen teilweise in eine Richtung geleitet, die für die Wissenschaft nicht förderlich war. Ein passendes Beispiel ist die Vorstellung über die Gestalt der Erde.

Bei der Besprechung der Geschichte der Astronomie werden den Schülern auch wichtige Arbeitsmethoden der Astronomie, wie das genaue Beobachten und das Rechnen vor Augen geführt. Als eine erste Rechnung im Unterricht bietet sich die Berechnung des Erdumfangs nach Eratosthenes an. Diese findet sich auch in vielen Mathematikbüchern wieder. Es kann durchaus sein, daß den Schülern diese Berechnung aus dem Mathematikunterricht

bereits bekannt ist. Wer statt der Berechnung den Versuch, den Erdumfang nach Eratosthenes zu bestimmen, durchführen möchte, dem sei der erste Versuch aus dem Buch „Astronomische Musterversuche“ von Schlosser und Schmidt-Kahler [6] (S. 14 ff.) nahegelegt. In diesem Versuch wird nicht die Sonne als Beobachtungsobjekt herangezogen, sondern Aufnahmen von Fixsternen (Methode nach Posidonius), die der Lehrer vorher angefertigt haben muß. Es werden zwei Sternspuraufnahmen der Zenitgegend verwendet. Dabei hängt der Ort der zweiten Aufnahme von dem der ersten ab. Die Kamera wird entlang des Meridian einige hundert Kilometer verschoben. Das System der Sternspuren verschiebt sich gemäß der Änderung der geographischen Breite. Die Arbeit mit diesen Fotos wird sich aber zu dieser Zeit als sehr schwierig herausstellen, da die Schüler mit etwas arbeiten müssen, was sie nicht (unbedingt) kennen. Der Grund, warum statt der Sonne diese Fotos herangezogen werden, wird in den Grundlagen zu diesem Versuch im Buch selbst ausführlich dargelegt.

In diesem Zusammenhang ist vielleicht noch interessant, daß man zur Zeit des Eratosthenes, wir befinden uns etwa 250 Jahre vor Christi Geburt, bereits von der Kugelgestalt der Erde wußte. In späteren Jahrhunderten wurde dennoch wieder von einer flachen Erde ausgegangen!

Ist man mit dem geschichtlichen Überblick bis zur Zeit Keplers vorgedrungen, sollte der Planetariumsbesuch stattfinden, da auf Kepler und die folgenden Jahrhunderte später eingegangen wird. Bei diesem Besuch ist es meiner Meinung nach zweckmäßig, wenn er einige Fragen offenläßt, die man im nachfolgenden Unterricht besprechen kann. Dies sollte man mit dem Vorführer im Vorfeld absprechen. Dem Besuch im Planetarium sollte eine Besprechung dessen, was ein Planetarium ist, was es kann und was nicht, vorausgehen. Je nach Interesse und Zeit für eine solche Vorbesprechung sollte der Lehrer sich mit dem Planetariumsleiter in Verbindung setzen und fragen, ob dieser Informationen über das Planetarium, eventuell sogar Pläne des Projektors, zur Verfügung stellen kann. Bei der Besprechung des Projektors werden zwangsläufig die Begriffe Stern, Sonne, Planet, Ekliptik und so weiter auftreten. Viele Schüler werden vielleicht die

Begriffe kennen, aber nicht unbedingt ihre Bedeutung. So kann man nicht voraussetzen, daß ein Schüler der 10. Klasse die Unterschiede zwischen einem Planeten und der Sonne kennt, außer die für ihn sichtbaren (Unterschiede)! Außerdem sollte die weit verbreitete Meinung bei Schülern abgebaut werden, daß man im Planetarium nur einen Film sieht. Die Frage, „Welchen Film zeigen Sie denn?“ ist mir als Vorführer im Planetarium Osnabrück nur allzu gut bekannt.

Nun zur Planetariumsveranstaltung an sich. Was sollte gezeigt werden? Die Planetariumsvorführung kann den Weg für einen Großteil der Unterrichtseinheit Astronomie ebnen. Diesen Vorteil sollte man nutzen. Daher sollten Sternbilder gezeigt werden, sowie der Lauf der Sonne, der Planeten und des Mondes. Bei all diesen Objekten kann man darauf eingehen, wie man sie findet und wie man ihre Position am Sternhimmel beschreibt. Für den weiteren Unterricht bietet es sich an, daß Äquatorsystem mit Rektaszension und Deklination zu nennen. Bei der Betrachtung der Planeten sollte auf jeden Fall auch der Lauf eines Planeten über längere Zeit betrachtet werden, so daß die Planetenschleifen deutlich werden. In bezug auf die Cassini-Mission bietet sich der Planet Saturn als Betrachtungsobjekt an. Jedoch ist die Planetenschleife sehr klein. Besser zu sehen ist sie beim Planeten Mars. Natürlich dürfen auch Sonnen- und Mondfinsternis nicht fehlen, sowie die Mythologie der Sternbilder. Zusätzlich sollten einmal alle Objekte erwähnt werden, die man in unserem Sonnensystem findet. Dies ist im Planetarium sehr gut möglich.

Für die Stunden nach dem Planetariumsbesuch ist somit für Unterrichtsstoff gesorgt. Man kann die gesehenen Phänomene nochmals aufgreifen und besprechen. Nicht immer werden beispielsweise im Gebiet der Optik die Sonnen- und Mondfinsternis besprochen; so bieten sich Zeichnungen an der Tafel an. Begriffe der Optik, wie etwa Lichtstrahl, Kern- und Halbschatten, werden wiederholt.

Beginnen würde ich allerdings mit der Messung des Sonnendurchmessers. Motivieren kann man diese Messung dadurch, daß im Planetarium die Frage

nach dem Sonnendurchmesser gestellt und nicht beantwortet wurde, statt dessen auf diesen Versuch hingewiesen wurde. Eine andere Möglichkeit ist, daß man versucht, den genannten Sonnendurchmesser zu bestätigen. Diesen Versuch habe ich selbst durchgeführt. Die Versuchsbeschreibung mit meinen Ergebnissen befindet sich im Abschnitt über die Keplerschen Gesetze. Den Grund, warum man bereits sehr früh den Sonnendurchmesser bestimmen sollte, möchte ich kurz darlegen. Man kann diesen Versuch nutzen, um den Schülern das 1. Keplersche Gesetz nahezubringen. Mißt man den Sonnendurchmesser über längere Zeit immer wieder, so stellt man fest, daß dieser nicht konstant ist. Dieses führt zu der Annahme, daß die Erde um die Sonne eine Ellipse beschreibt; mehr dazu im Abschnitt über die Keplerschen Gesetze. Den Sonnendurchmesser sollte man dazu mehrmals bestimmen. Anbieten würde es sich im Abstand von je einem Monat. Da mit einem Projektionsbild der Sonne gearbeitet wird, ergeben sich für den Unterricht wichtige Vorteile: Zum einen ist die Beobachtung der Sonne mit ungeschütztem Auge gefährlich, die Projektion der Sonne zu beobachten ist dagegen annähernd gefahrlos, doch das Lichtbündel zwischen Okular und Projektionsschirm ist noch sehr heiß. Zum zweiten können alle Schüler das wandernde Sonnenbild betrachten und stehen als Zeitnehmer zur Verfügung.

Um nun zwischen der ersten Messung und der Einführung des 1. Keplerschen Gesetzes etwas Zeit zu gewinnen, so daß mehrere Messungen vorliegen, sollte man jetzt etwa die Sonnen- und Mondfinsternis besprechen. Ein Hinweis sei dazu noch gegeben: Das Tafelbild mit Sonne, Mond und Erde sollte vorher einmal angezeichnet werden, damit auch alle Schatten an der Tafel zu sehen sind, über die man sprechen möchte. Vielleicht findet auch zu der Zeit, in der man diese Phänomene bespricht, gerade eine Sonnen- oder Mondfinsternis statt. Eine Beobachtung dieser würde sich dann anbieten. Sollte in der folgenden Zeit ein solches Phänomen stattfinden, kann man die Sequenz natürlich entsprechend verschieben.

Als nächstes kann man die im Planetarium kennengelernten Sternbilder noch einmal aufgreifen. Auf Sternkarten oder einem Computerprogramm,

wie „Sky Map“ oder „Sky Globe“, können diese Sternbilder wiedergefunden werden. Vorher sollte man jedoch versuchen, die Schüler verschiedene Sternbilder aus der Erinnerung heraus an der Tafel zeichnen zu lassen und die Sternkarten nur zum Vergleich nutzen. Die Schüler können jetzt ihr eigenes kleines Miniplanetarium basteln. Dies geschieht mit Hilfe eigens erstellter Sternbilddias, einer selbst gebauten Projektionseinrichtung, dem inneren einer Küchenrolle und einer Taschenlampe. Beispiele, sowie der Zusammenbau dieses Miniplanetariums, sind im Buch „Astronomie auf Klassenfahrten“ von Dieter Vornholz [12] (Seite 83 ff.) beschrieben.

An dieser Stelle bietet es sich an, die Begriffe Äquatorsystem, Deklination und Rektaszension einzuführen. Hierzu eignen sich sehr gut Zeichnungen aus Schulbüchern oder dem „dtv Atlas zur Astronomie“ [9] (Seite 40).

Achtet man bei der Erstellung der Sternbilddias darauf, daß die Größenverhältnisse zwischen den einzelnen Sternbildern auf den Dias passen, so kann man mit diesen noch einen Versuch durchführen. Man kann auf einer Sternkarte die Positionen der Sternbilder anhand einzelner Sterne ablesen und versuchen, die Region um den Polarstern an der Tafel darzustellen. Dazu zeichnet man den benötigten Teil des Koordinatensystems unter Zuhilfenahme von Zirkel und Lineal an die Tafel, trägt die entsprechenden Koordinaten in das System ein und die Schüler suchen sich die richtige Position für ihr Sternbild. Die Koordinaten werden in Deklination und Rektaszension angegeben. Darstellen könnte man etwa den Bereich der in Norddeutschland zirkumpolaren Sternbilder. In diesem Teil des Unterrichts bietet sich Gruppenarbeit besonders an, da es nicht genügend zirkumpolare Sternbilder gibt, so daß jeder aus der Klasse versorgt wäre. Anbieten würden sich folgende Sternbilder: Großer Wagen, Kleiner Wagen, Drache, Cepheus und Kassiopeia. Man kann die Arbeit jedoch sehr gut aufteilen. Die Positionen für die Sternbilder müssen ermittelt, die Sternbilddias hergestellt und das Koordinatensystem an die Tafel gezeichnet werden.

Da die Schüler die Sternbilder aber auch am Nachthimmel wiederfinden sollen, ist es nun an der Zeit, die drehbare Sternkarte einzuführen. Eine

drehbare Sternkarte können sich die Schüler aus Kopiervorlagen selbst herstellen. Sehr gut geeignet als Kopiervorlage ist beispielsweise die Sternkarte von Dr. Backhaus. Auch diese findet man in dem Buch „Astronomie auf Klassenfahrten“ [12] (Seite 151/152). Den Gebrauch der drehbaren Sternkarte können die Schüler im Klassenraum erlernen. Das Aufsuchen der Sternbilder mit der Sternkarte kann dann am besten mit dem Besuch einer Sternwarte verbunden werden, der nach der nächsten Sequenz folgen kann.

In dieser Sequenz wird noch einmal auf den Geschichtsteil vom Anfang zurückgegriffen. Im folgenden legt man den Schwerpunkt auf das Beobachten. Beginnen möchte ich diesem Abschnitt mit einem sehr einfachen Instrument, dem Sehrohr. Die Herstellung eines Sehrohrs ist ebenfalls im Buch [12] (Seite 83 ff.) beschrieben. Es ist leicht aus der Konstruktion des Miniplanetariums herzustellen. Auch das Sehrohr sollte bei dem Besuch auf der Sternwarte mitgeführt werden. Es ist besonders gut geeignet, um den Schülern ein bestimmtes Objekt am Himmel zu zeigen. Man stellt es auf den zu betrachtenden Punkt am Himmel ein und läßt die Schüler durchschauen. Es hilft den Schülern wenig, wenn man sagt: „Schaut etwa zwei Finger breit neben den Deneb im Schwan“. – Ist die Nacht sehr dunkel, befinden sich an dieser Stelle neben Deneb sehr viele Objekte, die gemeint sein könnten. Um einen besonders kleinen Ausschnitt zu betrachten, könnte man ein Sehrohr, extra für diesen Zweck, mit einer verstellbaren Blende aus der Physiksammlung ausstatten. So wäre der zu betrachtende Bereich sehr genau einzustellen.

Als nächstes sollte das Fernrohr besprochen werden. Dieses ist nicht mehr Gegenstand des Optikunterrichts in der Realschule und daher für die Schüler etwas Neues. Besonders interessant für den Unterricht ist das astronomische (Keplersche) Fernrohr, da es zu diesem Versuche gibt. Ein geeignetes Arbeitsblatt mit einem Versuch zu diesem Thema habe ich unter folgender Internetadresse gefunden: www.prenzberg.de/marktplatz/manni/optik/o08. Auf diesem Arbeitsblatt wird ein Versuch beschrieben, bei dem mit Hilfe eines Keplerschen Fernrohrs die Glühwendel einer Glühlampe betrachtet wird. Im folgenden wird der Strahlengang beim Auge und beim Fernrohr

verglichen. Aus ähnlichen Dreiecken leitet man die Formel für die Vergrößerung dieses Fernrohrstyps her. Die Bildentstehung wird aber auch in Schulbüchern der Physik dargestellt und erläutert. Besonders gut eignen sich hier ältere Bücher, da in diesen auf das Fernrohr genauer eingegangen wurde. Nachdem man das Keplersche Fernrohr (Refraktor) besprochen hat, kann man noch kurz über den Reflektor, das Spiegelfernrohr, sprechen, da auch dieses häufig zum Einsatz kommt. Internetseiten, die das Fernrohr zum Inhalt haben, findet man leicht über Suchmaschinen.

Nun kann der Besuch auf einer Sternwarte folgen. Vor der Sternwarte können die Schüler noch einmal die Sternbilder betrachten und auch schwächere Sterne sehen, da Sternwarten in der Regel in dunkleren Gegenden aufgestellt sind, wo der Nachthimmel durch die Lichtverschmutzung nicht so stark aufgehellert ist wie in den Städten. Der Umgang mit der drehbaren Sternkarte kann weiter vertieft werden und mit dem Sehrohr können bestimmte Objekte am Sternhimmel eingestellt werden, die beobachtet werden sollen. Dies können beispielsweise auch die Objekte sein, die anschließend durch das Fernrohr in der Sternwarte betrachtet werden sollen. Das größte Fernrohr in Niedersachsen, das auch der breiten Öffentlichkeit zugänglich ist, befindet sich auf dem Oldendorfer Berg bei Melle (mehr dazu war im Abschnitt „Museum, Planetarium, Sternwarte und Planetenweg“ zu lesen). Ideal wäre es, wenn zur Beobachtungszeit auch Planeten sichtbar wären und diese sich nicht unter dem Horizont befänden. Hierdurch hätte man einen Übergang zur nun folgenden Unterrichtssequenz geschaffen.

Die Planeten sollten noch aus dem Planetarium in Erinnerung sein. Die Schüler sollen die Namen der Planeten von der Sonne aus nennen können und eine Vorstellung über die Entfernungen im Sonnensystem bekommen. Zu diesem Zweck habe ich mir überlegt, mit den Schülern einen Planetenweg zu bauen. Diesem Planetenweg habe ich in der Arbeit einen eigenen Abschnitt gewidmet und meine Vorgehensweise, die ich leider noch nicht erprobt habe, genau beschrieben. Nach dem Bau und der Begehung des eigenen Planetenweges sollten den Schülern die wichtigsten Punkte über unser Sonnensystem bekannt sein. In dieser Sequenz müssen die Schüler auch

den Begriff der „astronomischen Einheit“ kennen lernen, da dieser im weiteren Unterrichtsverlauf benötigt wird. Spätestens in dieser Sequenz sollte auch der Begriff der „Ekliptik“ fallen und erklärt werden.

Innerhalb des Abschnitts über das Sonnensystem wird auch immer wieder der Begriff der Planetenbahn fallen. Aus diesem Grund sollten nun die Keplerschen Gesetze eingeführt werden. Bis zu diesem Zeitpunkt sollten zwei bis drei Messungen des Sonnendurchmessers vorliegen, die im Abschnitt über die Keplerschen Gesetze jetzt ihre Anwendung finden. Näheres über diese Unterrichtssequenz, befindet sich im Abschnitt „Die Keplerschen Gesetze“. In diesem Abschnitt befinden sich auch die Literaturangaben zu diesem Thema. Wichtig sind insbesondere bei diesem Thema Absprachen mit dem Mathematiklehrer, da der Kosinus und die Berechnung der Fläche eines Kreissegments benötigt werden. Beides ist Thema des Mathematikunterrichts der Klasse 10 und sollte im Unterricht entsprechend vorgezogen werden.

Zur Bestätigung des 3. Keplerschen Gesetzes wird Saturn herangezogen (wegen seines Bezuges zur Cassini-Mission; bei Missionen zum Jupiter wäre an dieser Stelle auch Jupiter denkbar). Da Cassini sich auf diesen Planeten zu bewegt und ihn später umkreist, wird er nun im Unterricht genauer behandelt. Im „Cassini Teacher Guide“, der in dieser Arbeit im Abschnitt „Der „Cassini Teacher Guide““ näher vorgestellt wird, sind hierzu einige gute Ansätze zu finden. Um überhaupt zu wissen, wo sich Saturn im Sonnensystem befindet, diene der Planetenweg. Nun betrachten wir die nähere Umgebung des Planeten. Dazu können wir das „Saturnsystem“ aus dem „Teacher Guide“ entnehmen (siehe mehr dazu im Abschnitt „Der „Cassini Teacher Guide““). In Kurzreferaten können die Schüler Informationen über die Saturnmonde und das Ringsystem sammeln und der Klasse vortragen. Zu diesem Zweck müßte der Lehrer Kopien für die Schüler mit Informationen über die Monde austeilern (bspw. aus [5] – das Buch ist lt. Auskunft eines Buchhändlers allerdings nicht mehr lieferbar, so daß man es sich in einer Bücherei ausleihen müßte; Die KVK der Universität Karlsruhe (online Bibliothek) verweist auf die englische Originalversion des Buches: ISBN:

0528815458). Auf diese Weise erfahren die Schüler etwas über das Ziel der Cassini-Mission.

Der „Cassini Teacher Guide“ empfiehlt den Entdeckungen der Naturforscher in bezug auf Saturn eine eigene Sequenz zu widmen und die Entdeckungen anhand einer Zeitachse darzustellen. Diesen Vorschlag finde ich sehr gut, zumal er einen Anschluß an den ersten Geschichtsteil und die Geschichte Keplers bietet. Die Schüler werden mit für die Naturwissenschaft wichtigen Namen wie etwa Galileo Galilei, Christian Huygens, Jean-Dominique Cassini, William Herschel, Johann Franz Encke, James Clerk Maxwell, James E. Keeler und Gerard P. Kuiper konfrontiert. Einige dieser Namen werden wahrscheinlich bereits in den Kurzreferaten über die Monde und Ringe auftreten, aber zur Herstellung einer „Zeitachse der Entdeckungen“ sollten sie dennoch nochmals herangezogen werden. Anhand dieser Namen kann man auch die Entwicklung der Beobachtungsmethoden besprechen, die mit den neuen Entdeckungen einher gingen. Am Ende dieser Zeitachse dürfen natürlich die Pioneer-Mission, die Voyager-Missionen, die Entdeckungen des Hubble Weltraum Teleskops und die Cassini-Mission nicht fehlen. Auch zu diesem Thema empfehle ich das Buch [5] in Zusammenhang mit Artikeln aus Lexika.

Nun folgt die Besprechung der Cassini-Huygens-Mission. Da diese eine wichtige Rolle spielt und etwas umfangreicher ausfallen wird, habe ich dieser Sequenz einen eigenen Abschnitt („Cassini im Unterricht“) zur Verfügung gestellt.

Am Ende der Unterrichtseinheit sollte ein zweiter Planetariumsbesuch angesetzt werden, der einen Abschluß darstellen soll. Diese Vorführung muß nicht live sein und sollte das Gelernte in Teilen wiederholen, aber speziell auf die Cassini-Huygens-Mission eingehen. Wie diese Planetariumsvorführung aussehen könnte, habe ich im Abschnitt „Cassini im Planetarium“ kurz dargestellt.

Vorstellung des „Cassini Teacher Guide“

Der „Cassini Teacher Guide“ (im folgenden möchte ich ihn kurz ‚TG‘ nennen) ist eine Anleitung, wie man eine Unterrichtseinheit über die Raumsonde Cassini gestalten kann. Er orientiert sich am amerikanischen Schulsystem und ist ausgelegt für die Klassen 5 – 9 und soll in 14,5 (!) Stunden plus weitere Stunden für Zusatzstoff aus anderen Bereichen (z.B. Kunst) unterrichtet werden. Die Sprache ist natürlich Englisch (amerikanisches Englisch). Man kann sich das komplette Dokument als pdf-file aus dem Internet herunterladen und findet es unter verschiedenen Adressen. Eine mögliche Adresse möchte ich hier angeben: <http://www.jpl.nasa.gov/cassini/MoreInfo/teaguide.html>. Unter dieser Adresse kann man den TG sowohl als Gesamtdokument (etwa 3,5 MB) oder in Einzelstücken herunterladen.

Auch über andere Themen findet man im Internet TGs, insbesondere in den USA.

Der TG ist so angelegt, daß er nicht nur Stundenvorschläge bietet, sondern auch einen großen Teil des nötigen Hintergrundwissens vermitteln kann. Er besteht aus sechs Teilen, die ich kurz beschreiben möchte.

Die ersten Seiten im TG sind mit Informationen über den TG selbst gefüllt, inklusive einer Anleitung, wie der TG zu benutzen ist und einer Kurzübersicht über die im TG vorbereiteten Stunden. Diese habe ich übersetzt und hier mit abgedruckt (aus Formatierungsgründen befindet sie sich im Anhang).

Im zweiten Teil sind die einzelnen „Stunden“ näher beschrieben. (Ich habe die Anführungszeichen gesetzt, da im TG zwar von Stunden die Rede ist, es sich aber eher um Sequenzen von jeweils mehreren Stunden handelt.) Die genauere Beschreibung dieser „Stunden“ ist im weiteren Verlauf des Textes zu lesen.

Im dritten großen Teil des TG werden Verbindungen zur Kunst und zur Mythologie hergestellt. Bei der Kunst wird noch unterschieden, und zwar werden einerseits Zeichnungen, Poster und Lithographien gezeigt, andererseits findet man im sprachlichen Bereich der Kunst ein Anagramm¹, das Huygens zur Veröffentlichung seiner Entdeckung des ersten Saturnmondes benutzt hatte, und zwei Gedichte über Saturn und Titan. Auch zu diesen Bereichen werden Unterrichtsvorschläge gemacht. Es werden Diskussionsanregungen gegeben und Vorschläge für eine Gedichtinterpretation aufgezeigt.

Der vierte Teil ist ein Frage-Antwort Teil. Auf 100 Fragen rund um die Cassini-Mission (inkl. Saturn und Titan) werden Antworten gegeben, die als Hintergrundwissen für die „Stunden“ dienen sollen. Es sei darauf hingewiesen, daß sich am Anfang der „Stundenbeschreibungen“ im zweiten Teil Hinweise auf diese Fragen befinden.

Der fünfte Teil ist ein Glossar mit Fachbegriffen. Es werden die im TG benutzten Fachbegriffe, von „Asteroid“ über „Heliopause“, bis hin zu „X-Rays“, kurz erläutert.

Im Anhang befinden sich dann noch Beobachtungshinweise für Saturn, über die Dauer der Cassini-Mission, ein Cassini Kreuzworträtsel, eine Darstellung des elektromagnetischen Spektrums und eine Aufzählung von Ressourcen über Saturn und die Cassini-Mission.

Im folgenden möchte ich den zweiten Teil des TG, die „Stunden“, genauer vorstellen. Es sei aber darauf hingewiesen, daß ich an dieser Stelle eine völlig wertfreie Stundenbeschreibung geben möchte; die Kritik an einzelnen Teilen soll dann später folgen. Selbstverständlich ist, daß meine Beschreibung der „Stunden“ nur einen Eindruck geben kann, was wie unterrichtet werden soll. Die „Stunden“ sind nicht bis in Detail dargestellt. Dieses ist bei Interesse im TG nachzulesen.

¹ Wortumbildung durch Buchstaben- oder Silbenversetzung (Bertelsmann Universal Lexikon, Verlagsgruppe Bertelsmann GmbH /Bertelsmann LEXIKOTHEK Verlag GmbH, Gütersloh 1987)

Zuerst möchte ich kurz aufzeigen, wie die „Stunden“ gegliedert sind. Jede „Stunde“ ist in vier Teile aufgeteilt. Der erste Teil soll den Schülern einen Überblick geben, was in der „Stunde“ vermittelt werden soll. Dieser Teil ist sehr allgemein gehalten. Im zweiten Teil wird eine Verbindung zwischen dem Allgemeinen aus dem ersten Teil und Saturn, beziehungsweise Cassini hergestellt. Es werden Freihandversuche durchgeführt und Arbeitsaufträge in Gruppen oder alleine gelöst. Am Ende dieses Teils müssen die Schüler das Gelernte reflektieren, entweder schriftlich oder mündlich im Schüler-Lehrer Gespräch. Der dritte Teil besteht meist aus einer Stillarbeit, die in Gruppen durchgeführt wird. In diesem Teil werden wichtige Punkte aus dem zweiten Teil näher beleuchtet und die Schüler werden dazu angehalten, bestimmte Begriffe oder Zusammenhänge nochmals zu wiederholen, um sie besser zu verstehen. Anhand vorgegebener Kriterien kann der Lehrer den Lernfortschritt überprüfen. Der vierte Teil ist letztlich eine Wiederholung der gesamten „Stunde“ und soll dem Abschluß und der Zusammenfassung dienen. Es werden kurze Aufsätze geschrieben oder Diskussionen geführt.

Jeder „Stunde“ ist eine standardisierte Seite vorgestellt. Auf dieser ist der zu vermittelnde wissenschaftliche Inhalt wiedergegeben und eine kurze Inhaltsangabe der Stunde zu lesen. Weiterhin sind die Lernziele dargestellt, die Voraussetzungen genannt, die für die „Stunde“ nötig sind und es ist die Zeit angegeben, die man für den Unterricht einplanen sollte. Ferner sind die Fragen und Antworten (s.o.) genannt, die zur Vorbereitung im 4. Teil des TG gelesen werden sollten. In einem Extrafeld sind dann noch die Materialien aufgezählt, die der Lehrer für den Unterricht benötigt. Um sich dies besser vorstellen zu können, habe ich diese Seite für die 1. „Stunde“ (LESSON A1) der Arbeit als Anlage beigefügt.

Teilweise wird das Lesen der Stundenbeschreibung etwas mühselig sein, da im TG sehr viele Arbeitsblätter enthalten sind, die ich natürlich nicht alle dieser Arbeit hinzufügen kann. Diese werden in den folgenden Beschreibungen jedoch erwähnt. Ich habe die Namen der Arbeitsblätter meist in Anführungszeichen gesetzt, damit man sie als solche besser erkennen kann. Trotzdem wird man nicht immer genau verstehen, auf was die Arbeit der

Schüler hinauslaufen soll. Darum sei nochmals auf die Internetadresse des TG verwiesen.

Vorstellung der Unterrichtseinheiten („Stunden“)

des „Cassini Teacher Guide“

Themen:

The Saturn System	3 Std.
Moon Comparisons (Vergleich der Monde)	3 Std.
Moons, Rings & Relationships	3 Std.
It´s About Time! A History of Saturn Discoveries	2 Std.
<hr/>	
The Cassini Robot	2 Std.
People of the Cassini Team	1,5 Std.

Beschreibungen der Lehreinheiten und deren Ziele:

LESSON A1:

Der Lehrer erstellt eine Skizze des Sonnensystems mit der Sonne, den Planeten und ihren Umlaufbahnen um die Sonne. Die Schüler denken sich andere Systeme aus, wie etwa das Schulsystem oder ein Computersystem. Nun sollen sie eines dieser Systeme skizzieren. Der Lehrer teilt die Schüler in Gruppen von maximal 4 Schülern ein, wobei in einer Gruppe die Systeme paarweise verschieden sein sollen. In diesen Gruppen sollen die Schüler auf einem Blatt Papier ihre eigenen Skizzen in die vier Ecken zeichnen und die Ähnlichkeiten der vier verschiedenen Systeme herausfinden und in der Mitte des Blattes notieren. Im Klassenverband werden jetzt die Ergebnisse besprochen und das Schülerverständnis über das Wort „System“ geklärt.

Die Schüler sollen nun Saturn mit der Erde vergleichen. Danach sollen die Schüler überlegen, wie eine Skizze des Saturnsystems anzufertigen wäre. In

kleinen Gruppen wird das „Saturn System diagram“ zusammengebaut, der „Scavenger hunt“ (frei übersetzt: Schnitzeljagd) ausgefüllt und das Arbeitsblatt „The Saturn System Chart for Student Use“ vervollständigt. Dies sind Materialien, die im TG enthalten sind und herauskopiert werden können (Achtung: natürlich auch englischer Text!). Sie sollen den Schülern Fakten über den Saturn und seinen größten und für die Mission wichtigsten Mond, Titan, näherbringen. Nun wird geklärt, was nach Meinung der Schüler wichtig für eine Skizze des Saturnsystems ist.

Auf einem großen Blatt Papier soll nun jede Gruppe ihre eigene Skizze des Saturnsystems anfertigen. Weiterhin soll jeder Schüler einen kleinen Aufsatz schreiben, indem er das Saturnsystem beschreibt und mit dem Sonnensystem vergleicht.

Erkennbare Lernziele:

- Die Schüler sollen imstande sein, das Saturnsystem zu skizzieren und zu erläutern,
- die Skizzen sollen Saturn, die sieben Saturnringe und die 14 nächsten bekannten Monde des Saturn beinhalten und sie sollen
- in einer schriftliche Erläuterung Vergleiche zwischen dem Saturnsystem und dem Sonnensystem ziehen können.

LESSON A2:

Im ersten Teil wird der Erdmond besprochen. Die Schüler sollen ihre Kenntnisse über den Erdmond darstellen (fragenorientiert, frontal). Der Lehrer sammelt die Antworten und schreibt sie auf den dafür vorgesehen Teil der „Earth’s Moon Chart“ -Folie. Danach bekommt jeder Schüler eine Kopie der „Earth’s Moon Chart“ -Kopiervorlage. Die auf dieser angegebenen Daten (Entfernung zur Erde, Radius, Masse, Dichte usw.) werden besprochen. Im Anschluß ergänzt jeder Schüler auf seinem Exemplar die in der Klasse gesammelten Antworten.

Im zweiten Teil wird die Verbindung zu den Saturnmonden geschaffen. In einem Venn-Diagramm (bekannt aus der Mengenlehre) sollen die Schüler nun das Saturnsystem mit dem Erde-Mond System vergleichen, wobei in die Schnittmenge die Gemeinsamkeiten beider Systeme eingetragen werden. In einem weiteren Schritt sollen die Schüler selber sagen, was sie gerne über die Saturnmonde wissen möchten. Die Antworten werden vom Lehrer an der Tafel festgehalten. Nun folgt das Spiel „Go to Saturn“. Die Klasse wird in Gruppen von maximal vier Schülern aufgeteilt, wobei jeder Gruppe eine Nummer zugeordnet wird. Jede Gruppe erhält den kompletten Satz „Moon Cards“. Die Schüler bekommen nun Zeit und Platz (es sind einige DIN-A4 Blätter) die „Moon Cards“ zu untersuchen. Daraufhin sollen die Gruppen die „Moon Cards“ nach einem Kriterium ihrer Wahl sortieren. Einer in jeder Gruppe wird als Schriftführer benannt. Der Schriftführer schreibt auf ein Blatt Papier die Nummer der Gruppe und beschreibt kurz, wie die Gruppe ihre Karten sortiert hat. Nun kommt vom Lehrer die Anweisung „Go to Saturn“ und die Gruppen rotieren und untersuchen, wie eine andere Gruppe ihre „Moon Cards“ sortiert hat. Der Schriftführer der Gruppe notiert die Nummer der Gruppe, deren „Moon Cards“ sie gerade untersuchen und wie diese wohl(?) die „Moon Cards“ sortiert haben. Die Anweisung „Go to Saturn“ wird so oft wiederholt, bis jede Gruppe alle Anordnungen der „Moon Cards“ gesehen hat. Ist jede Gruppe an ihren eigenen Startpunkt zurückgekehrt, so müssen sie ihre Karten zwecks späterer Betrachtung unverändert liegen lassen. Nun stellt jede Gruppe an der Tafel ihre Ordnung in den Karten, also ihr Kriterium, der Klasse vor. Nachdem dies jede Gruppe getan hat, wird in der Klasse über dieses Kriterium diskutiert und erfragt, ob die anderen Gruppen bei der Untersuchung dieser Anordnung auch dieses Kriterium erkannt haben, denn schließlich hat jede Gruppe die Anordnung der anderen untersucht, was aber nicht heißt, daß sie auch das selbe darin gesehen und notiert haben (Distanz von Saturn, Bahngeschwindigkeit, Umlaufzeit ergeben die gleiche Anordnung!!). Am Ende des Spiels werden den Schülern vom Lehrer einige Fragen gestellt, die das Gelernte sichern sollen. Die Antworten werden in einer Tabelle festgehalten. Unter anderem werden die Schüler nach ihrem „Lieblingsmond“ gefragt.

Im dritten Teil soll nun in Zweiergruppen in einem Venn-Diagramm der Lieblingsmond mit dem Erdmond verglichen werden. Hierbei sollten die Gruppen paarweise verschiedene „Lieblingsmonde“ haben! Ein Vertreter jeder Gruppe soll das Ergebnis vor der ganzen Klasse darstellen.

Am Ende der Einheit werden (wie in jeder „Stunde“) Fragen zur Reflektion gestellt.

Erkennbare Lernziele:

- Die Schüler sollen in der Lage sein, den Erdmond mit einem der Saturnmonde mit Hilfe eines Venn-Diagramms zu vergleichen und dabei Ähnlichkeiten und Unterschiede herauszustellen.

LESSON A3:

Die Schüler untersuchen die Kraft, die benötigt wird, um etwas in einer Umlaufbahn zu halten (Gravitationskraft). Danach überlegen sie, was den Saturn umkreist. Dies soll zu einer Diskussion über die Beschaffenheit der Ringe als eigenständige Partikel führen, die Saturn genau wie seine Monde umkreisen. Dann benutzen die Schüler Daten von den „Moon Cards“, um Hypothesen (im TG) zu testen, die assoziieren sollen, in welcher Weise die Bahngeschwindigkeit vom Abstand des Saturn abhängt. Daraufhin lernen sie noch weitere Methoden kennen, um Daten zu analysieren, insbesondere Datenblätter lesen und Meßpunkte in Graphen eintragen, die die Bahngeschwindigkeit gegen den Abstand des Saturnmittelpunktes darstellen. Dies soll die Schüler dahin führen, selbst Hypothesen über die Bahngeschwindigkeiten der Planeten um die Sonne aufzustellen und ihre Hypothesen zu prüfen, indem sie Daten in Graphen einzeichnen und Datenblätter untersuchen.

Erkennbare Lernziele:

- Die Schüler sollen in der Lage sein, aus Tabellen Daten über Ringe und Monde herauszufinden und

- die Schüler sollen Daten aus Tabellen und Graphen interpretieren können und eine Zusammenfassung über die Zusammenhänge schreiben können, die zwischen der Bahngeschwindigkeit der Planeten/Asteroiden und dem Abstand zur Sonne bestehen.

LESSON A4:

Mit zehn zu Grunde liegenden Karten über die Geschichte der (Saturn-) Entdeckungen sollen die Schüler darstellen, wie Wissenschaftler im Zuge der Menschheitsgeschichte etwas über Saturn herausgefunden haben. In Gruppen bearbeiten die Schüler die Karten, erstellen Präsentationen und helfen sich gegenseitig, eine Zeitachse mit diesen Entdeckungen innerhalb der Klasse herzustellen. Diese soll die Schüler vorbereiten, ihre „eigene Zeitachse“ zu basteln, die die Wissenschaftler, ihre Technologien und ihre Entdeckungen widerspiegelt. Die Schüler sollen ebenso befähigt werden, die Verbesserungen der Technologien zu erkennen, die bei der Saturnbeobachtung eingesetzt wurden und werden und unsere Fähigkeit steigern, die wissenschaftlichen Geheimnisse zu lösen.

Erkennbare Lernziele:

- Die Schüler sollen eine Zeitachse (maßstabsgetreu !) erstellen können, die zeigt, wie sich unser wissenschaftliches Verständnis über Saturn im Laufe der Zeit entwickelt hat und wie es sich weiter entwickeln wird.

LESSON B1:

In Gruppen zu maximal 4 Schülern wird nach einer Definition für einen Roboter gesucht. Einer in der Gruppe schreibt die Definition auf, ein anderer stellt sie der ganzen Klasse vor. Der Lehrer notiert die wichtigsten Begriffe an der Tafel. *Der Lehrer erzählt, daß ein Roboter, der dazu gebaut ist, den Weltraum zu erforschen, Raumschiff genannt wird.* Die Schüler sollen

erarbeiten, welche Fähigkeiten ein Raumschiff haben muß, um andere Planeten zu erforschen. Die Antworten werden wieder vom Lehrer festgehalten. Der Lehrer teilt an die Schüler Kopien des „Spacecraft Component Sheet“ aus. Die Schüler sollen in Gruppen den Raumschiffteilen menschliche Funktionen zuordnen und über sie diskutieren. Danach sollen die Schüler die Raumschiffteile ausschneiden, und auf einem Blatt Papier in eine „vernünftige“ Ordnung bringen und aufkleben. Die einzelnen Teile sollen jetzt beschriftet werden und zwar mit den Namen, die die menschlichen Funktionen bezeichnen. Nun sollen die Schüler ihrem Raumschiff einen Namen geben. Dieser soll aus der in der letzten Stunde erstellten Zeitachse stammen. Die Raumschiffe sollen der ganzen Klasse vorgestellt werden. Wenn es nötig ist, sollen die Schüler ihre Konstruktionen auch begründen. Der Lehrer fragt im Anschluß, was die Schüler über Raumschiffe wissen möchten und notiert die Fragen.

Im zweiten Teil wird anfangs mit Hilfe der „Cassini „Gee Whiz“ Facts“ das Raumschiff Cassini dargestellt. Jeder Schüler erhält eine Kopie der „Cassini Component Functions“ und der Seite „A Robot in Our Own Image“. Auf einer Folie der „Cassini Component Functions“ in der Schülerversion (es gibt sie auch ausgefüllt in der Lehrerversion) stellt der Lehrer am Beispiel des „spacecraft bus component“ –Blattes vor, wie die Schüler auf dem Arbeitsblatt vorgehen sollen, nämlich eine menschliche Analogie zum entsprechenden Raumschiffteil zu finden. Mit Hilfe dieses Arbeitsblattes können die Schüler das Arbeitsblatt „Cassini: A Robot in our Own Image“ vervollständigen. Die Schüler sollen mit einem Skelett-Symbol beginnen und dann im Uhrzeigersinn weiterarbeiten. Wenn sie fertig sind, legt der Lehrer seine fertige Folie des Arbeitsblattes auf den Projektor und geht zusammen mit den Schülern jeden Punkt durch und bespricht ihn. An dieser Stelle bietet es sich an, die nun noch offenen Fragen über Raumschiffe zu besprechen.

Im dritten Teil sollen die Schüler in Gruppen ihr eigenes Raumschiff bauen. In einer Tabelle soll vorher festgehalten werden, was man alles benötigt (siehe vorherige Arbeitsblätter). Das Raumschiff soll nur aus Gegenständen, wie z.B. Joghurtbecher und Eierkartons, Draht, Filmboxen, Papier, Alumi-

niumfolie u.ä. bestehen. Diese Modelle sollen auch wieder der ganzen Klasse vorgestellt werden.

Am Ende der Einheit werden wieder Fragen zur Wiederholung und Reflektion gestellt.

Erkennbare Lernziele:

- die Schüler sollen in der Lage sein, selbst Raumschiffmodelle für die Erforschung des Weltalls zu bauen und
- die Schüler sollen in einer Tabelle den Raumschiffteilen menschliche Funktionen zuordnen können, um sie besser zu verstehen.

LESSON B2:

Die Schüler überlegen welche Berufe notwendig sind, um eine Mission, wie die Cassini-Mission, zu verwirklichen. Die Antworten werden in eine Tabelle eingetragen. Nun wird nach den Qualifikationen, Arbeitsgewohnheiten und Fertigkeiten gefragt, die für diese Berufe notwendig sind.

Im zweiten Teil werden die Menschen näher betrachtet, die an der Cassini-Mission beteiligt sind. In Gruppen zu je drei Schülern werden die Kurzbiographien der „Cassini Members“ untersucht und es werden Poster erstellt, anhand derer die Schüler „ihre“ Mitglieder der ganzen Klasse präsentieren. Der Lehrer hält an der Tafel die 5 Bedingungen fest, die in allen Vorstellungen genannt werden (s. TG). Nun wird die Tabelle der Berufe um die neu kennengelernten ergänzt.

Im dritten Teil wird eine Mappe angelegt, in die die Kurzbiographien sowie die Poster für die Vorstellung der Missionsmitglieder eingheftet werden. Jeder Schüler soll nun einen Aufsatz schreiben, der zwei Fragen beantwortet: „Welches Cassini Team Mitglied würdest Du Dir als Mentor wählen und warum?“ und „In welcher Form ist die Cassini Mission ein Beispiel für

Wissenschaft als menschliche Bemühung?“. Im Anschluß soll jeder Schüler ein Exemplar der Kurzbiographie ausfüllen. Dieses wird mit in die Mappe der Cassini-Team-Mitglieder geheftet. Die Mappe kann z.B. bei Elternabenden oder beim „Tag der offenen Tür“ der Schule zusammen mit den Modellen der Raumschiffe und anderen Arbeiten (Tabellen usw.) ausgestellt werden.

Auch am Ende dieser Einheit werden wieder Fragen zu Wiederholung und Reflektion gestellt, die überprüfen sollen, was die Schüler verstanden haben.

Erkennbare Lernziele:

- Die Schüler sollen die für eine Raumfahrtmission notwendigen Berufe kennenlernen und durch die Kurzbiographien die Menschen, die an der Cassini-Mission beteiligt sind.

Kritikpunkte und Anmerkungen

In diesem Abschnitt möchte ich folgende Punkte beispielhaft ansprechen:

1. Den Anspruch einzelner Unterrichtssequenzen im TG,
2. das Problem der englischen Sprache,
3. die Schwierigkeiten bei der Änderung und Übersetzung des TG und
4. einige gute Unterrichtsvorschläge des TGs.

Man erkennt an diesem kurzen Abriß der „Stunden“ sehr gut, daß der TG nicht nur für eine Klassenstufe, sondern für mehrere geschrieben wurde. Ein Beispiel: Einerseits werden auf den „Moon Cards“ physikalische Begriffe wie Masse und Dichte benutzt, auf der anderen Seite werden die Bauteile der Sonde mit menschlichen Funktionen verglichen, um ihre Arbeitsweise zu verdeutlichen. Ein Sprung im Anspruch, wie ich ihn hier an einem Beispiel dargestellt habe, ist im Verlauf der „Stunden“ sehr oft vorhanden. Man sollte sich daher vor dem Unterrichten nach dem TG sehr genau überlegen, was man ohne Änderungen übernehmen kann.

Meiner Meinung nach kann es nicht sinnvoll sein, um bei dem Beispiel mit den „Moon Cards“ zu bleiben, bei der Masse und der Dichte nur die nackten Zahlen zu vergleichen, ohne diese Begriffe vorher einzuführen. Da die Begriffe jedoch in den „Stunden“ des TG weder eingeführt noch in irgendeiner Weise erklärt werden, ist genau zu überlegen in welcher Klassenstufe man sinnvoll mit den „Moon Cards“ arbeiten kann. Natürlich muß auch das Darstellen von Zahlen in der Exponentialschreibweise vorher besprochen worden sein, damit ein Gefühl für die Größe der Werte bei den Schülern vorhanden ist, und ein Vergleich der Zahlen überhaupt möglich ist.

Eine andere Schwierigkeit birgt die Sprache. Natürlich liegen auch die Arbeitsblätter in englischer Sprache vor. Für einen Einsatz in der 10. Klasse einer Realschule und um den geht es ja in dieser Arbeit, müßte der Lehrer die Arbeitsblätter übersetzen. Dieses ist allerdings mit einem solch gewaltigen Arbeitsaufwand verbunden, daß jeder Lehrer allein aufgrund dieser Vorarbeit auf den Unterricht mit dem TG im deutschen Sprachraum verzichten wird. Größtenteils würde das schlichte Übersetzen auch nicht ausreichen, da die Arbeitsblätter im TG mit sehr vielen Bildern und Grafiken ausgestattet sind, die in die Übersetzungen wieder eingefügt werden müßten. Diese Arbeit gestaltet sich aber bei dem vorliegenden pdf-file als äußerst schwierig und aufwendig, da man die Änderungen nicht ohne weiteres im pdf-file vornehmen kann, sondern sich die Seiten oder Abschnitte einzeln heraus kopieren müßte, um sie in anderen Programmen weiter zu bearbeiten.

Dennoch bietet der TG auch einige empfehlenswerte Unterrichtsvorschläge. So finde ich beispielsweise das „Saturn System Diagram“ aus LESSON A1 sehr gut. Es besteht aus drei Seiten, auf denen maßstabsgetreu das „innere“ Saturnsystem mit seinen Monden und Ringen dargestellt ist. Saturn hat dabei die Größe eines Basketballs. Da die vorliegenden drei Seiten für Dimensionen des Saturnsystems bei diesem Maßstab nicht ausreichen, ist außerhalb der Bahn des Mondes Helene eine Bruch in der Entfernungsachse. Titan findet somit noch auf den drei Seiten Platz, die noch weiter außen liegenden Monde Rhea, Hyperion, Iapetus und Phoebe sind mit Angaben ver-

sehen, wie weit entfernt sie sich im Diagramm vom Zentrum des Saturn befinden (Phoebe bspw. 26 Meter). In dieser Darstellung wird die Größe des Saturnsystems deutlich. Die Schüler erkennen auch die gewaltigen Ausmaße des Ringsystems. Dieses ist ebenfalls mit den Bezeichnungen der Ringe und der Teilungen in dem Modell dargestellt. Der englische Begleittext ist hier nicht störend, da er sich in Grenzen hält, so daß man dieses Modell ohne weitreichende Übersetzungen im Unterricht der 10. Klasse einsetzen kann.

Die Idee, verschiedene physikalische Größen der Saturnmode zu vergleichen, ist auch nicht von der Hand zu weisen. Besonders die Betrachtung, wie sich die Umlaufgeschwindigkeiten mit wachsendem Abstand zum Saturn verhalten, ist gut. Hier können die Schüler Parallelen zum Sonnensystem und den Bahngeschwindigkeiten der Planeten finden.

Texte in deutscher Sprache findet man genug. Sehr zu empfehlen sind die Texte aus dem Buch „Saturn“ von Hunt und Moore [5] oder ein ähnliches Buch. Hier sind jedem der größeren Monde des Saturn mindestens zwei Seiten gewidmet, auf denen die Schüler viel über sie erfahren. Eine Tabelle mit wichtigen Daten findet man einige Seiten vorher. Leider fehlen Angaben über die Bahngeschwindigkeiten der Monde. Diese kann man jedoch aus dem TG übernehmen und als zusätzliche Informationen der Tabelle hinzufügen.

Ein nächster guter Punkt im TG ist die Betrachtung der Entdeckungen, die Saturn betreffen, über die vergangenen vierhundert Jahre hinweg. Aber da auch dies mit Arbeitsblättern geschieht, die sehr viel Text enthalten, muß man sich woanders entsprechende Texte besorgen (teilweise auch [5]) oder als Lehrer von den Entdeckungen, eventuell von Dias und Bildern begleitet, berichten.

Der Unterricht, wie er in SECTION B vorgestellt wird, ist meiner Meinung nach so nicht für eine 10. Klasse geeignet. Natürlich ist es ausgesprochen wichtig, verschiedene Bauteile der Cassini-Sonde kennenzulernen und auch ihre Funktionsweise zu verstehen, aber die Art, dieses über einen Vergleich

der Bauteile mit Körperteilen oder der Funktion von menschlichen Organen zu erreichen, finde ich nicht dem Alter entsprechend, auch wenn es auf einer Internetseite der NASA genauso gemacht wird, allerdings mit anspruchsvollerem Text. Besser und einfacher wäre es wahrscheinlich, einige Bauteile ganz „normal“ im Unterricht zu besprechen. So brauche ich die Funktionsweise der Antennen nicht mit einem Telefongespräch zu vergleichen. Viel spannender wird es für die Schüler sein, zu erfahren, daß eine Nachricht bis zu 90 Minuten unterwegs ist (und auch wieso), bevor sie von der Erde aus die Sonde erreicht, wenn diese sich erst einmal an ihrem Ziel, dem Saturnsystem, befindet. Genauso werde ich die kleinen Triebwerke, die für kleine Kursänderungen und Drehbewegungen der Sonde zuständig sind (Orientations Thrusters) nicht mit „tanzenden Beinen“ vergleichen müssen, damit Schüler der 10. Klasse die Funktionsweise verstehen. Viel eher könnte man über die Antriebsart der Triebwerke sprechen und einfache Versuche mit Wasserraketen oder Kugelwagen machen, um die Physik, die hinter der Antriebsart steht, etwas zu beleuchten.

Den in LESSON B2 gemachten Vorschlag, über die Personen zu sprechen, die an der Mission beteiligt waren oder noch sind, halte ich im Astronomieunterricht in Deutschland, so wie es der TG vorschlägt, für überflüssig. Jedoch wird es für einige Schüler interessant sein zu erfahren, welche Berufszweige an der Raumfahrtindustrie beteiligt sind. Da die Mentalität der Amerikaner eine andere ist, kann ich mir vorstellen, daß gerade dieser Teil des TG den Schülern dort viel Freude bereitet.

Was mir im TG völlig fehlt, sind Informationen über den Missionsablauf, die Aufgaben, die diese Mission erfüllen soll und jegliche Informationen über die Huygens-Sonde. Ebenso kommt die Physik im TG recht kurz. Allerdings muß man hier noch einmal auf die Klassenstufen aufmerksam machen, für die der TG gedacht ist. Wieviel Physik ist in diesem Alter sinnvoll und vor allem machbar? Betreibt man Astronomie in der 10. Klasse im Wahlpflichtbereich der Realschule im Fach Physik, darf diese nicht außen vor bleiben, auch wenn man sich im Randbereich der Physik bewegt. Vieles kann vielleicht nicht bis in Detail hinterfragt oder physikalisch korrekt for-

muliert werden, aber dennoch sollten einige physikalische Gesetzmäßigkeiten ihren Platz im Unterricht finden, schüler- und vor allem altersgerecht aufbereitet.

Kapitel III

Der Planetenweg im Unterricht [1 – 5, 8 – 11]

Auf einem Planetenweg sollen die Abstände der Planeten von der Sonne in unserem Sonnensystem dargestellt werden. Die Planetenbahnen, sowie die Sonne und die Planeten selbst, werden im vorher bestimmten Maßstab verkleinert. Auf dem Planetenweg in Melle sind die Sonne, sowie die Planeten, im Maßstab 1 : 1.000.000.000 verkleinert am Weg, mit Informationstafeln versehen, aufgestellt. Der Interessierte kann nun diesen Weg abschreiten und soll durch die Zeit, die er von Planet zu Planet benötigt, die Größe des Sonnensystems erfahren.

Natürlich kann man mit einer Schulklasse nach Melle fahren und den dort vorhandenen Planetenweg abgehen und die Informationen von den Tafeln entnehmen. Viel spannender und effizienter dürfte es jedoch für eine Klasse sein, sich einen solchen Planetenweg selber zu erstellen.

Die Wahl des richtigen Maßstabes

Das Sonnensystem besitzt bereits unvorstellbare Dimensionen. Der mittlere Abstand des Planeten Pluto von der Sonne beträgt etwa $5,9 \cdot 10^9$ km. Die Planetenbahnen sind Ellipsen (1. Keplersches Gesetz). Allerdings ist die Exzentrizität der Ellipsen recht gering, so daß die Planetenbahnen kaum von der Kreisform abweichen. Meist wird daher mit dem mittleren Abstand eines Planeten von der Sonne gearbeitet. Die folgende Tabelle zeigt, wie gering die Bahnexzentrizitäten sind.

Planet	Bahnexzentrizität (num. Exzentrizität)
Merkur	0,2056
Venus	0,0068
Erde	0,0167
Mars	0,0934
Jupiter	0,0482
Saturn	0,0557
Uranus	0,0474
Neptun	0,0113
Pluto	0,2468

Tabelle 1: Bahnexzentrizitäten der Planetenbahnen

Die numerische Exzentrizität ergibt sich dabei wie folgt:

Sei e der Abstand des Brennpunktes vom Mittelpunkt der Ellipse und a die Länge der großen Halbachse, dann ist $\varepsilon = e / a$ die numerische Exzentrizität. Hieraus ergibt sich auch die Dimensionslosigkeit der numerischen Exzentrizität. Eine Skizze der Ellipse findet man im Abschnitt über die Keplerschen Gesetze. In dieser Unterrichtssequenz wird sie den Schülern auch das erste mal vorgestellt. In diesem Abschnitt braucht daher die Ellipsenbahn für die Schüler nicht eingeführt werden. Man kann genauso gut später über die Ungenauigkeiten diskutieren, die man bei dem Bau des Planetenweges akzeptiert hat.

Wie sich die numerische Exzentrizität für die Bahn eines Planeten auswirkt, sei am Beispiel des Pluto kurz dargestellt. Die Bahn des Planeten Pluto hat eine numerische Exzentrizität von $\varepsilon = 0,2468$. Sein Aphel (Sonnenferne) hat einen Abstand von etwa $7350 \cdot 10^6$ km von der Sonne und sein Perihel einen Abstand von $4400 \cdot 10^6$ km. Die Sonne befindet sich etwa $1472 \cdot 10^6$ km vom Mittelpunkt der Ellipse entfernt. Bei der Erde, mit einer numerischen Exzentrizität $\varepsilon = 0,0167$, hat die Ellipse bereits Ähnlichkeit mit einer Kreisbahn, so wie wir es bei dem Bau des Planetenweges annehmen wollen. Im Aphel befindet sich die Erde etwa $152 \cdot 10^6$ km von der Sonne entfernt und im Perihel noch etwa $147 \cdot 10^6$ km. Die für diese Rechnungen benötigten Gleichungen kann man sich aus der Geometrie der Ellipse leicht herleiten. Zum Teil sind sie im Abschnitt „Die Keplerschen Gesetze“ angegeben.

Möchte man sich einen Planetenweg erstellen, so muß man bedenken, daß man diesen auch mit einer Schulklasse abwandern können muß, was bedeutet, daß man die Entfernung Sonne – Pluto auf diesem nicht zu groß wählen darf.

Ein anderer Punkt ist die Größe der Sonne. Handelt es sich um einen selbst gebauten Planetenweg, so müssen natürlich auch die Planeten und die Sonne selber hergestellt werden, bzw. in fertiger Größe passend vorliegen. Die Sonne ist das größte Objekt im Sonnensystem und darf auf dem Planetenweg nicht fehlen. Bei einem Maßstab von 1 : 1.000.000.000 hätte die Sonne einen Durchmesser von etwa 1,4 Metern und Pluto wäre etwa 6 Kilometer von dieser Sonne entfernt. Dies wäre eine Strecke, die man mit einer Schulklasse durchaus bewältigen könnte. Eine Sonne aber in dieser Größe zu bauen ist eine recht umständliche Sache. Ein weiteres Problem ergibt sich, wenn diese Sonne von einem Ort zu einem anderen transportiert werden soll; sie müßte zerlegbar sein! Da ich gerade vor dem Computer auf einem Gymnastikball sitze, habe ich mich entschlossen, diesen die Sonne darstellen zu lassen. Seine Vorteile sind eindeutig:

1. er paßt durch jede Tür und notfalls auch in ein Auto,
2. die Größe ist meistens auf dem Ball angegeben und
3. er ist auch in gelb erhältlich (für die Vorstellungskraft der Schüler ist dieser Punkt nicht unerheblich).

Mein Gymnastikball hat einen Durchmesser von 65 cm. Es ergibt sich ein Maßstab von 1 : 2.141.538.462, also etwa 1 zu 2 Milliarden. Pluto wäre auf diesem Planetenweg etwa 2,8 Kilometer von der Sonne entfernt und hätte einen Durchmesser von 0,11 cm. Hier erkennt man das nächste Problem, denn die Planeten werden ja auch verkleinert und Pluto mit einer Größe von nur 0,11 cm ist ebenfalls schwer herzustellen (Beispiele finden sich weiter unten im Text). Aber dies ist immer noch besser, als eine große Sonne transportieren zu müssen, zumal die Größenverhältnisse sehr gut deutlich werden. Immerhin liegen die Planeten Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun mit ihrer Größe im Zentimeterbereich.

Die Wahl des richtigen Weges

Der Weg, der als Planetenweg ausgewählt wird, muß zwei Bedingungen erfüllen, wenn man die Position der Planeten vorher auf einer Karte durch Kreise bestimmen möchte und nicht mit einem Bandmaß auf einem Weg abstecken will (dem ersten Vorschlag möchte ich hier folgen).

Er sollte möglichst keine Kurven haben, da diese die Entfernungen von der Sonne zu den Planeten und die Abstände zwischen den Planeten verfälschen würden. Ideal wäre es, wenn man den Ort der „Sonne“, vielleicht gekennzeichnet durch einen Baum oder einen Strommasten, von jedem „Planeten“ aus sehen könnte. Dies ist bei einer Strecke von 2,8 Kilometern durchaus noch möglich, man muß einen solchen Weg jedoch vorher suchen! Sehr gut wäre es, wenn auf dem Weg auch keine Berge wären, denn diese würden die Abstände ebenfalls verfälschen.

Ziele der Sequenz über den Planetenweg

Wie bereits in den vorherigen Teilen der Arbeit geklärt wurde, sind zu diesem Zeitpunkt die Planeten im Sonnensystem, zumindest was ihre Namen betrifft, bekannt. Nun sollen die Schüler ein Gefühl für diese riesigen Entfernungen bekommen. Dies wird durch die Erstellung eines Planetenweges erreicht. Zusätzlich sollen die Schüler noch physikalische Größen der Planeten durch Kurzreferate kennenlernen. Eine Nachbesprechung soll diese Kenntnisse vertiefen. Am Ende der Unterrichtssequenz „Planetenweg“ sollen die Schüler

- die Namen der Planeten in der richtigen Reihenfolge nennen können,
- die Abstände der Planeten von der Sonne kennen und ein Gefühl für diese Entfernungen entwickeln,
- die astronomische Einheit kennen,
- die Durchmesser der Planeten kennen,
- verstehen, warum man erdartige und jupiterartige Planeten unterscheidet, und die Merkmale, die zu dieser Unterscheidung führen, kennen,

- berichten können, warum Pluto in dieses Schema nicht hineinpaßt und
- erkennen, daß die Geschwindigkeit der Planeten mit dem Abstand von der Sonne abnimmt (dies wird später beim Saturnsystem wieder benötigt).

Außerdem wird der Umgang mit Karte und Zirkel, sowie das Erstellen von Tabellen und Diagrammen geübt.

Das Vorgehen im Unterricht

Eine besondere Motivation muß wahrscheinlich nicht gegeben werden, da sie aus der Sache selber entsteht. Kennt man den Abstand eines Planeten, der Erde, von der Sonne, so wird man auch die anderen erfahren wollen, gerade deshalb, weil es sich um sehr große Entfernungen handelt, die man sich kaum vorstellen kann. Der Abstand der Erde von der Sonne könnte den Schülern vielleicht durch den Planetariumsbesuch bekannt sein, sonst sollte man diesen jetzt nennen. Es bietet sich an, jetzt astronomische Einheit „AE“ (Abstand Sonne - Erde) einzuführen. Man kann diese Größe einfach bekanntgeben oder durch einen Versuch bestimmen lassen.

An dieser Stelle kann man den Bau eines Planetenweges motivieren. Der Lehrer muß nun noch kurz erklären, was ein Planetenweg ist und was er eigentlich bezwecken soll. Die Klasse muß sich auf einen Maßstab einigen, wobei mein Vorschlag wäre, wie bereits oben erwähnt, diesen durch die Größe eines Gymnastikballs (bspw. 65 cm im Durchmesser), der die Sonne darstellen soll, vorzugeben. Nun besorgen sich die Schüler aus Büchern Angaben über die Radien der Planeten und ihren Entfernungen von der Sonne. Diese werden in eine Tabelle übertragen, in der noch zwei Spalten freigelassen werden. In diese kommen die im Maßstab (bei mir 1 : 2.141.538.462) verkleinerten Werte für den Durchmesser oder Radius und den Abstand Sonne - Planet. Das Umrechnen der Daten kann auch mit einem Tabellenkalkulationsprogramm, wie etwa Excel, geschehen, falls eine entsprechende Ausrüstung in der Schule vorhanden ist. Mit diesem Programm könnten sich die Schüler eine übersichtliche Tabelle mit allen Daten erstellen.

Im nächsten Schritt suchen die Schüler und der Lehrer gemeinsam auf einer Landkarte der näheren Umgebung eine wenig befahrene Straße oder noch besser einen Weg aus, auf der oder dem man den Planetenweg abschreiten kann, wobei die oben beschriebenen Bedingungen eingehalten werden sollten. Ist dies geschehen, so werden von diesem Kartenausschnitt Kopien für jeden Schüler erstellt. Diese sollten entsprechend vergrößert werden, damit die Kreise für die Planetenbahnen später nicht zu klein sind. Natürlich muß man den Schülern den Prozentsatz, mit dem vergrößert wurde, mitteilen. Man legt gemeinsam den Ort für die „Sonne“ fest. Nun können die Schüler die Planetenbahnen mit einem Zirkel in die Karte einzeichnen. Im folgenden Schritt muß überlegt werden, wie man die verkleinerten Planeten am besten darstellt. Die Schüler sollten Vorschläge, wie etwa Tennisball, Tischtennisball oder rund geformte Früchte, einbringen. Diese entsprechen dann zwar nicht unbedingt in Farbe und Form den Planeten, aber die Größe kann einigermaßen gut dargestellt werden und um die geht es ja hauptsächlich. Für die kleineren Planeten empfehlen sich andere Gegenstände, wie Stecknadelkopf, Styroporkügelchen oder ähnliches. Auch hier geht es nur um die ungefähre Größe, damit ein Vergleich zur Sonne und zu den großen Planeten anschaulich dargestellt wird.

Man sollte noch einmal klären, ob die Schüler wissen, wie man von dem Radius oder Durchmesser eines Planeten auf seinen Umfang schließt und wie man am besten den Umfang eines Balls oder einer Frucht bestimmt (man legt ein Band um den Ball oder die Frucht und mißt die Länge des umliegenden Bandes).

Nun teilt man die Klasse in zehn Gruppen und teilt jeder einen Planeten, und einer Gruppe die Sonne zu. Bis zum „Wandertag“ müssen diese Gruppen ihren Planeten hergestellt (die Sonne ist ja bereits fertig(!)), und ein Kurzreferat vorbereitet haben, das sie während der Wanderung an der Stelle, wo sich der Weg mit der Bahn ihres Planeten kreuzt, halten. Hier zeigen sie dann auch ihren selbst gebastelten Planeten. Da jede Gruppe ihren Planeten, allein schon wegen seiner Größe, immer dabei haben kann, können immer wieder Größenvergleiche angestellt werden.

Um die Referate vernünftig vorbereiten zu können, sollten die Schüler in der Schulbibliothek arbeiten dürfen. Falls diese nicht entsprechend ausgestattet ist, kann auch die Stadtbibliothek als Tip angegeben werden oder es werden Kopien mit Informationen zu den Planeten ausgeteilt. Um die Referate im folgenden Unterricht einsetzen zu können, sollte man einige Punkte voraussetzen. Die Referate sollten auf jeden Fall auch Angaben über den Abstand des Planeten von der Sonne, seinen Radius, seine Masse, seine mittlere Dichte, seine Rotationsdauer und die Anzahl seiner Monde enthalten. Dies sind einige Punkte, die für die Entscheidung wichtig sind, ob es sich um erdartige oder jupiterartige Planeten handelt. Diese Einteilung soll später mit den Schülern vorgenommen werden.

Für die Begehung des Planetenweges sollte am besten ein Nachmittag gewählt werden. Dies ist zwar organisatorisch nicht ganz einfach (s.o.), aber die beste Lösung. Insgesamt sollten etwa drei bis vier Stunden eingeplant werden, ohne An- und Abfahrt. Man muß bedenken, daß man unter Umständen den Weg zum Ausgangspunkt auch wieder zurück wandern muß.

Zur Nachbereitung empfiehlt es sich, in der Schule die Planeten miteinander zu vergleichen. Hierfür sollen die Referate als Grundlage dienen. Gemeinsam wird eine Tabelle erstellt, in der die in den Referaten genannten Daten über die Planeten aufgenommen und dann verglichen werden. Das Augenmerk der Schüler wird nun auf die Dichte der verschiedenen Planeten gelenkt. Die Schüler werden den großen Unterschied zwischen den Dichten der Planeten Merkur, Venus, Erde und Mars und denen der äußeren Planeten erkennen. Nun wird untersucht, ob zwischen diesen Planetengruppen noch andere Unterschiede bestehen. Diese wird man in Masse, Radius, Rotation, sowie bei der Anzahl der Monde und dem Vorhandensein eines Ringsystems finden. Sehr schnell fällt auf, daß Pluto eine Ausnahme bildet. Damit ist die Einteilung in erdartige und jupiterartige Planeten geschehen und für die Schüler offensichtlich. Es sollte dennoch noch einmal hervorgehoben werden (evtl. in Merksätzen), daß die vier erdartigen Planeten eine feste Oberfläche besitzen, die vier jupiterartigen Planeten dagegen nicht.

Damit sind die Planeten weitestgehend, auch ihre physikalischen Besonderheiten betreffend, auf Schülerniveau der 10. Klasse, beschrieben.

Im folgenden sei dargestellt, wie die Aufzeichnungen eines Schülers aussehen könnten (bei dem Schüler in der Regel handschriftlich):

Der Planetenweg

Ein Planetenweg ist eine begehbare, verkleinerte Abbildung des Sonnensystems auf die Erde.

Der von uns gewählte Maßstab ist 1 : 2 141 538 462 .

Die Sonne wird durch einen Gymnastikball mit einem Durchmesser von 65 cm dargestellt.

Planeten	Abst. S – P in Mill. km	Abst. S' - P' in m	Durchmesser d in km	Durchmesser d' in cm
Merkur	57,9	27,04	4878	0,23
Venus	108,2	50,52	12104	0,57
Erde	149,6	69,86	12756	0,60
Mars	227,9	106,42	6794	0,32
Jupiter	779	363,76	142769	6,67
Saturn	1427	666,34	120600	5,63
Uranus	2870	1340,15	50800	2,37
Neptun	4496	2099,42	48600	2,27
Pluto	5900	2755,03	2300	0,11

S : Sonne P : Planet d : Durchmesser

S – P : Abstand des Planeten von der Sonne

S' – P' : im Maßstab verkleinerter Abstand des Planeten von der Sonne

d' : im Maßstab verkleinerter Durchmesser des Planeten

Planetenbau: Mein Planet ist der Jupiter.

Zuerst muß aus dem Durchmesser d' der Umfang U' berechnet werden, wobei

$$U' = \pi * d' \text{ ist.}$$

Für den Planeten Jupiter ergibt sich so: $U' = \pi * 6,67 \text{ cm} = 20,95 \text{ cm}$.

Dies entspricht in etwa dem Umfang eines Tennisballs.

(Auf das Kurzreferat über Jupiter an dieser Stelle wird verzichtet.)

An dieser Stelle ist in der gedruckten Version der Arbeit eine Tabelle mit Daten der Planeten, auf die aus verschiedenen Gründen in dieser Version verzichtet werden muss!

Auffälligkeiten bei den Daten der Planeten:

1. Die Geschwindigkeit der Planeten nimmt mit dem Abstand von der Sonne ab.
2. Die mittlere Dichte der vier inneren Planeten ist wesentlich größer, als die der äußeren Planeten.
3. Die Masse und die Größe ist bei den vier inneren Planeten wesentlich geringer als bei Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun. Pluto ist relativ klein und leicht.
4. Jupiter und Saturn haben eine im Vergleich kurze Rotationszeit und besitzen sehr viele Monde.
5. Insgesamt ist die Rotationsdauer bei den äußeren Planeten (außer bei Pluto) geringer als bei den inneren Planeten.
6. Die äußeren Planeten besitzen mehr Monde als die inneren Planeten.
7. Die äußeren Planeten (außer Pluto) besitzen ein Ringsystem.

Merke: Man kann die Planeten (bis auf Pluto) in zwei Gruppen einteilen. Die Planeten Merkur, Venus, Erde und Mars bezeichnet man als erdartige Planeten, die Planeten Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun bezeichnet man als jupiterartige Planeten. Pluto paßt nicht in diese Einteilung. Im Gegensatz zu den erdartigen Planeten besitzen die jupiterartigen Planeten keine silikatischen, festen Oberflächen.

Diagramm: Abgetragen ist die Umlaufgeschwindigkeit (v) der Planeten gegen den Abstand des Planeten von der Sonne (A) (siehe die Anlage zu diesem Abschnitt). Grundlage ist die obige Tabelle (*nicht enthalten s.o.*).

Merke: Die mittlere Bahngeschwindigkeit nimmt mit dem Abstand eines Planeten von der Sonne ab. Merkur hat die höchste Bahngeschwindigkeit (47,9 km/s) und Pluto die niedrigste (4,74 km/s).

Anmerkung: Falls bei den einzelnen Punkten, die zur Einteilung der Planeten in erdartige- und jupiterartige Planeten führt, von den Schülern die Frage kommen sollte, warum die Eigenschaften so „verteilt“ sind, muß der Lehrer abwägen, ob es die Zeit und der Leistungsstand der Gruppe zuläßt, die Entwicklung des Sonnensystems zu besprechen.

Die Keplerschen Gesetze [5 – 16]

1. *Die Planeten bewegen sich auf Ellipsen, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht.*
2. *Der von der Sonne nach einem Planeten weisende Radiusvektor überstreicht in gleichen Zeiten gleiche Flächen.*
3. *Die Quadrate der Umlaufzeiten der Planeten verhalten sich zueinander wie die 3. Potenzen der großen Halbachsen ihrer Bahnellipsen.*

nach [8] (S. 53/54)

Die Keplerschen Gesetze gelten für die Bewegungen der Planeten allerdings nicht exakt, da sie Lösungen des Zweikörperproblems sind. Im Sonnensystem betrachten wir, wenn wir mit den Keplerschen Gesetzen arbeiten, immer nur zwei Körper (die Sonne und den jeweiligen Planeten, einen Planeten und einen seiner Monde oder zwei andere Körper in unserem Sonnensystem). Die gravitativen Einflüsse der anderen Körper lassen wir außer Acht. Trotzdem beschreiben sie die Bewegungen in unserem Sonnensystem, zumindest für schulische Zwecke, genau genug.

Im folgenden sei eine Ellipse mit allen für die weiteren Ausführungen wichtigen Bezeichnungen dargestellt.

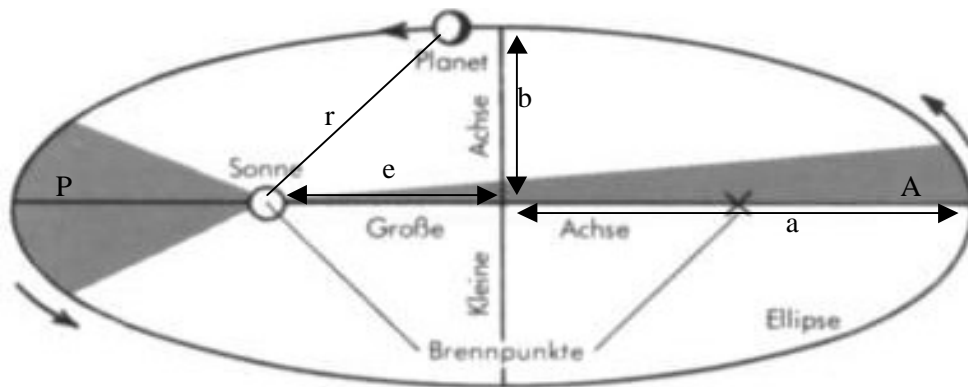


Abb. 1: Die Ellipse {22} (bearbeitet)

a = große Halbachse

b = kleine Halbachse

e = lineare Exzentrizität

$\varepsilon = e/a$ = numerische Exzentrizität Gleichung (1)

S = Sonne (Zentralkörper)

P = Perihel; A = Aphel

r = Fahrstrahl von der Sonne zum Planeten

Es gilt weiterhin:

$$r_1 + r_2 = 2a \quad (2),$$

wobei r_1 die Strecke von der Sonne zum Perihel (r_p) ist und r_2 die Strecke von der Sonne zum Aphel (r_a);

$$\varepsilon = (r_a - r_p) / (r_a + r_p) \quad (3).$$

Der zweite Brennpunkt, der im ersten Keplerschen Gesetz erwähnt wird, auf den im weiteren jedoch nicht eingegangen wird, ist unter anderem nötig, wenn man eine Ellipse, eventuell für die Schüler konstruieren möchte. Hierzu befestige man einen Faden an beiden Brennpunkten. Diese können beispielsweise zwei in ein Brett geschlagene Nägel sein. Nun straffe man den Faden mit einem Stift und ziehe unter andauerndem Straffen eine (geschlossene) Kurve. Auf dem Brett entsteht so eine Ellipse. Diese Art der Konstruktion nennt man auch die „Gärtnerkonstruktion der Ellipse“. Um den Schülern die Ellipse nahe zu bringen, halte ich diese Konstruktion für sinn-

voll, zumal man auf dem Brett nun auch alle anderen oben genannten Termini einführen kann.

Die Keplerschen Gesetze sind für die Astronomie grundlegend und sollten alleine deswegen im Astronomieunterricht ihren Platz finden. Möchte man sie in der Sekundarstufe I einführen, sollte man verstärkt darauf achten, für die Schüler nachvollziehbare Beobachtungen und Rechnungen durchzuführen, da die Behandlung der Keplerschen Gesetze alles andere als einfach ist.

Nach ausführlichen Literaturrecherchen habe ich drei Möglichkeiten gefunden, die Keplerschen Gesetze einzuführen. Zwei dieser Möglichkeiten orientieren sich an Beobachtungen und für die Schüler mehr oder weniger komplizierten Rechnungen, die dritte geht den historischen Weg und beschreibt die Arbeit Keplers, neben der anderer wichtiger Naturwissenschaftler (Astronomen) vor Kepler.

Für den historischen Weg ist ein recht hoher Zeitaufwand nötig. Außerdem finde ich, daß die Texte, die hier die Beobachtungen und Arbeiten Keplers beschreiben, sehr schwer zu lesen sind, nicht nur wegen ihres Inhaltes, sondern auch wegen ihrer Länge. Eingebettet sind diese Texte in dem Kapitel „Die Entwicklung des naturwissenschaftlichen Weltbildes“ in dem Buch „Physik, Band III A, Mechanik“ von Wilfried Kuhn [7].

Auch wenn man diese Sequenz über die Keplerschen Gesetze als eigenständige Sequenz unterrichten will, und nicht in einen über längere Zeit dauernden Astronomieunterricht einbauen möchte, wie in meinem Vorschlag, sollte man der Geschichte ein wenig Aufmerksamkeit schenken. Meiner Meinung nach ist es sinnvoll, um die Geschichte nicht völlig aus den Augen zu verlieren, einen Lehrervortrag einzubauen, der die wichtigsten Momente von den Anfängen der Astronomie, über die verschiedenen Weltbilder, bis hin zu Kepler, wiedergibt. Es bietet sich zur Veranschaulichung an, den Vortrag, der natürlich auch bei entsprechenden Vorkenntnissen der Schüler,

in ein Lehrer-Schüler Gespräch übergehen kann, mit Dias und Bildern zu ergänzen. Dies kann etwa durch eine Karte geschehen, um die antiken und vorantiken Kulturzentren mit hoher astronomischer Entwicklung zu zeigen ([9], S. 12), weiterhin durch eine Darstellung der Planetenbahnen nach Ptolemäus, um die Epizykel zu erläutern, oder man zeigt Dias der großen Astronomen über die gerade gesprochen wird. Den Schülern wird es durch diese ergänzenden und anschaulichen Darstellungsformen erleichtert, dem Unterricht zu folgen. Insbesondere für die Darstellung der Epizykel eignen sich auch Computersimulationen.

Dieser geschichtliche Abriss der Astronomie soll den Schülern unter anderem vermitteln, wie man vom geozentrischen zum heliozentrischen Weltbild gelangte. Dabei sollte auch geklärt werden, daß falsche Deutungen von Himmelserscheinungen zu primitiven Vorstellungen über das Weltall im Altertum führten und hieraus dann mystische und abergläubische Schlußfolgerungen entstanden sind. Die Schüler sollen erkennen wie die Astronomie, gerade im Mittelalter, von der Kirche beeinflusst wurde und wie eine Gesellschaft eine Wissenschaft in eine bestimmte Richtung lenken kann. Natürlich muß auch über die Methoden und Ergebnisse der astronomischen Forschung zu dieser Zeit gesprochen werden, um den Schülern zu zeigen, wie technische Entwicklungen die Wissenschaft vorangetrieben haben. Da die Breite der Phänomene nicht mehr von einem Menschen erfaßt werden konnte, spezialisierte sich der Berufszweig des Astronomen aus dem des Naturwissenschaftlers heraus.

Bereits an dieser Stelle sollte man auch das Fernrohr ansprechen. Als neues Beobachtungsinstrument hat es Kepler als einer der ersten ausprobieren können. Man kann für das Fernrohr auch eine eigene Sequenz einbauen und sich etwas länger mit diesem Gerät beschäftigen, da man zu diesem sehr hilfreiche Versuche mit den Schülern durchführen kann. In meinem Unterrichtsvorschlag habe ich dies auch getan.

Enden sollte der geschichtliche Abriss an der Stelle, an der Kepler ansetzt, um das Planetensystem, wie wir es heute kennen, durch seine Gesetze zu

erklären. Sein früherer Werdegang hingegen gehört natürlich noch in den „Geschichtsteil“. Bettet man die Keplerschen Gesetze, so wie in meinem Vorschlag, in eine Unterrichtseinheit Astronomie ein, so empfiehlt es sich, den Geschichtsteil vorzuziehen und aufzuteilen. Eine genauere Beschreibung befindet sich im Abschnitt „Vorstellung der Unterrichtseinheit“.

Nun zu den beiden anderen Vorschlägen. In dem Vorschlag von Martin Reble [16] (Versuch 12, S. 73 ff.) wird die Sonne als Beobachtungsobjekt herangezogen, in dem Buch „Astronomische Musterversuche für die Sekundarstufe II“ [6], der Mond, zumindest um das 1. und 2. Keplersche Gesetz nachzuweisen. Das 3. Keplersche Gesetz wird am Beispiel der Jupitermonde gezeigt.

Hinzufügen möchte ich noch, daß einer der Autoren des Buches [6], auch der Autor eines Artikels namens „Der Sonnendurchmesser als Schlüsselwert in der Schulastronomie“ ist, den ich in der Zeitschrift „Praxis der Naturwissenschaften – Physik“ von 1988 gefunden habe. Aus diesem Artikel möchte ich zumindest einige Punkte herausgreifen, da sie den Artikel von Martin Reble, den ich als Einführung, oder besser Bestätigung, der Keplerschen Gesetze in der Sekundarstufe I für den besten halte, sehr gut ergänzen. Insbesondere der Abschnitt „Abweichung der Erdbahn von der Kreisbahn und Bestimmung ihrer Exzentrizität“ deckt sich in vielen Teilen mit der Bestätigung des 1. Keplerschen Gesetzes bei Martin Reble, geht aber einen etwas anderen Weg.

Im folgenden möchte ich die Einführung der Keplerschen Gesetze nach Reble kurz beschreiben, wobei beim 1. Keplerschen Gesetz der Artikel von Schlosser mit einfließen wird.

1. Keplersches Gesetz: Die Planeten bewegen sich auf Ellipsen, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht.

Ausgangspunkt ist sowohl bei Reble, als auch bei Schlosser, die Messung des Sonnendurchmessers. Bewegt sich die Erde auf einer elliptischen Bahn um die Sonne, die in einem der Brennpunkte dieser Bahn steht, so muß der Sonnendurchmesser innerhalb eines Jahres variieren. Reble beschreibt in seinem Artikel die Messung des Sonnendurchmessers mit einem Celestron 8 (Fernrohr) mit parallaktischer Aufstellung (Die Achsen weisen zum Himmelspol und zum Himmelsäquator. Die Polachse ist raumfest.). Dieses, oder ein ähnliches Gerät, ist aber an den wenigsten Schulen vorhanden. Schlosser erläutert eine Methode, wie die Bestimmung des Sonnendurchmessers auch mit einem Fernglas durchführbar ist. Dies habe auch ich versucht und konnte damit den Sonnendurchmesser bestimmen (die Versuchsbeschreibung und die notwendigen Gleichungen finden sich weiter unten).

Man sollte noch erwähnen, daß man bei dieser Vorgehensweise den Winkeldurchmesser der Sonne bestimmt und nicht etwa direkt den Sonnendurchmesser in Kilometern; hierzu wäre noch eine kleine Umrechnung nötig (diese ist im Anhang zu finden).

Eigentlich müßte man den Sonnendurchmesser nun mehrmals im Jahr, etwa jeden 1. des Monats und vielleicht zusätzlich am Sommer- und Winteranfang, bestimmen. Leider ist auch hier die Zeit in der Schule in den meisten Fällen nicht vorhanden, so daß man sich auf eine oder zwei Messungen beschränken muß und die restlichen Werte aus Jahrbuchtabellen entnehmen muß (bekannte Jahrbücher: Ahnert, P., „Kalender für Sternfreunde“, Leipzig; Keller, H.-U., „Das Himmelsjahr“, Stuttgart). Diese Vorgehensweise spielt insbesondere dann eine Rolle, wenn man dieses Thema als eigenständige Unterrichtseinheit bearbeiten möchte und nicht in eine Unterrichtseinheit Astronomie einbaut, so wie ich es vorschlage.

Trägt man nun die Meßwerte in ein Diagramm ein, so stellt man fest, daß der Sonnendurchmesser zur Wintersonnenwende am größten und zur Sommersonnenwende am kleinsten ist. Als Beispiel sei hier das Diagramm der Messungen von Schlosser [16] gegeben.

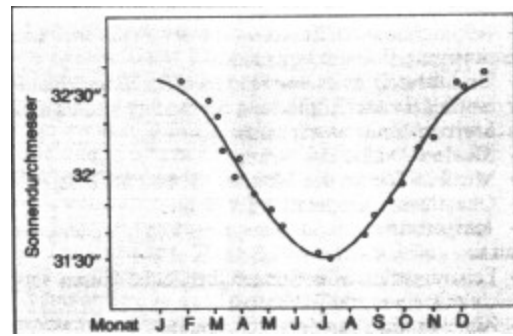


Abb. 2: Der Sonnendurchmesser im Versuch von Schlosser [16]

Anhand der Schwankungen des Sonnendurchmessers ist bereits nachgewiesen, daß die Erde auf ihrer Bahn um die Sonne eine Ellipse beschreibt, es sei denn, wir hätten es bei der Sonne mit einem Cepheiden zu tun. Diese ändern ihren Durchmesser periodisch (bekanntester Vertreter ist δ Cephei). Da die Sonne aber in den Eigenschaften, die einen Cepheiden ausmachen, wie beispielsweise Oberflächentemperatur und Sternfarbe konstant ist, können wir diese Möglichkeit ausschließen. In beiden Artikeln wird jetzt noch die numerische Exzentrizität ϵ der Erdbahn bestimmt ($\epsilon = 0,017$), die sich aus den Extremwerten des Winkeldurchmessers (im Aphel und im Perihel) ergibt. Hier gehen die beiden Autoren den gleichen Weg, auch wenn dies anhand der Gleichungen nicht sofort offensichtlich ist.

Schlosser weist in seiner Ausführung noch auf eine Schwierigkeit hin: In der Formel für den Winkeldurchmesser der Sonne steht der Kosinus der Deklination. Schlosser ist der Meinung, daß dies in der Sekundarstufe I zu Schwierigkeiten führt. Natürlich taucht dieser Kosinus auch in dem Artikel von Martin Reble auf, allerdings weist er auf diese Schwierigkeit nicht hin. Es ist jedoch zu beachten, daß der Lehrplan der Klasse 10 den Kosinus vorsieht und daß Schlosser von der gesamten Sekundarstufe I und nicht nur von der 10. Klasse spricht. Man sollte bei der Behandlung der Keplerschen Gesetze in der 10. Klasse eine Absprache mit dem Mathematiklehrer treffen, daß dieser die Einführung des Kosinus entsprechend vorzieht.

Versuch zum 1. Keplerschen Gesetz:

Zuerst habe ich den Sonnenradius bestimmt. Dies habe ich mit dem Versuchsaufbau von Wolfhard Schlosser durchgeführt. Die Sonne hat auf ihrer Bahn über den Himmel eine Winkelgeschwindigkeit von

$$\omega = 15''/s \cdot \cos \delta \quad (4).$$

Die Winkelgeschwindigkeit müßte an dieser Stelle in der Schule eingeführt werden. Die Vorgehensweise kann man Schulbüchern der 11. Klasse entnehmen.

In der Gleichung (4) ist δ die Deklination. Sie liegt zwischen $-23,4^\circ$ zur Wintersonnenwende und $+23,4^\circ$ zur Sommersonnenwende. Schlosser gibt in seinem Artikel eine Näherungsformel für die Deklination an. Diese kann man benutzen, wenn man auf ein spezielles Fernrohr mit Teilkreisen oder ein Himmelsjahrbuch verzichten möchte (oder muß). Sicherlich ist es in der Schule gut, zumindest einmal diese Formel anzuwenden, um zu zeigen, daß man auch ohne Jahrbuch arbeiten kann. Die Formel lautet:

$$\delta = 23,4^\circ \cdot \sin (T \cdot 1^\circ + M \cdot 30^\circ - 111^\circ) \quad (5).$$

T ist der Tag im Monat und M die Monatsnummer, angefangen bei Januar (=1). Die Deklination ändert sich mit den Jahreszeiten ungefähr sinusförmig. Bei meinem Versuch habe ich diese Näherungsformel benutzt.

Ich habe ein Fernglas (8x40) auf einem

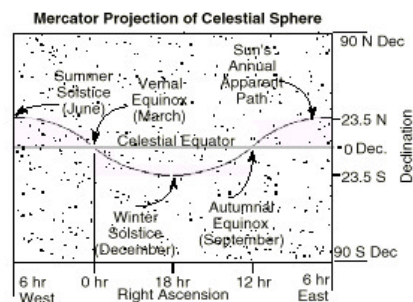


Abb. 3: Deklination der Sonne [20]

Stativ befestigt. Das eine Teilsystem des Fernglases habe ich geschlossen gehalten, das andere, geöffnet. Das offene Teilsystem habe ich durch ein Loch in einer Pappe geschoben, die für Schatten auf meinem Projektionschirm sorgen sollte (siehe Fotos nächste Seite). Etwa 40 cm hinter dem Okular habe ich ein Blatt Papier, als Projektionsschirm, gelegt. Ein wenig schwierig war es, ein möglichst helles und scharfes Bild der Sonne auf diesem Blatt Papier zu erhalten. Das Blatt Papier hätte senkrecht zur optischen Achse stehen müssen. Das Bild der Sonne wäre dann rund gewesen. Nach-

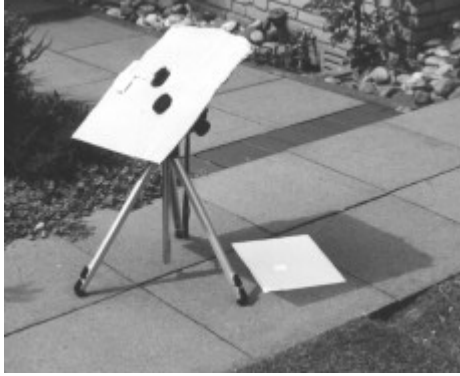


Abb. 4: Foto des Versuchs



Abb. 5: Foto des Versuchs – Aufnahme von hinten

dem ich das Bild zu meiner Zufriedenheit hergestellt habe, habe ich einen Kreis um das Bild der Sonne gezeichnet, dessen Durchmesser etwas größer war, als das Bild der Sonne. Nun habe ich die Zeit gemessen, die das Bild der Sonne brauchte, von dem Moment an, wo es den Rand des Kreises berührt hatte, bis zum völligen Verlassen des Kreises. Die Zeiten sind in der folgenden Tabelle wiedergegeben:

Messung	Zeit T [s]
1	129
2	132
3	131

Mit der Näherungsformel (5) habe ich die Deklination der Sonne für meinen Versuchstag, den 12.08.98 berechnet: Das Ergebnis lautet: $14,72^\circ$.

Nun habe ich den Winkeldurchmesser der Sonne bestimmt. Die Formel lautet:

$$\varphi = \omega \cdot T \quad (6).$$

(ω ist hier die Winkelgeschwindigkeit aus Gleichung (4))

Dazu habe ich zuerst den Mittelwert der Zeiten aus meinen drei Messungen gebildet, er beträgt $T_m = 130,7$ s. Diesen Mittelwert habe ich in die Gleichung (6) eingesetzt und es folgt $\varphi = 31'36''$ (Literaturwert: $\varphi = 32'32''$ (im Perihel) und $\varphi = 31'28''$ (im Aphel) nach [9]). Dies zeigt, daß man mit einfachen Mitteln, wie mit einem Fernglas, den Sonnendurchmesser recht genau bestimmen kann. In der Schule, in der die Zeit sowieso nur für einige wenige Messungen reichen wird, kommt es hauptsächlich auf die richtige

Vorgehensweise an, und darauf, daß ein möglichst genauer Wert für den Sonnendurchmesser erreicht wird. Das ist mit diesem Versuch also möglich. Um ein Diagramm, wie in Abb. 2 dargestellt zu zeichnen, benötigt man weitere Einträge aus dem Jahrbuch. Im folgenden kann man schauen, wie gut der selbst ermittelte Wert in die Kurve paßt. Wenn ich meinen Wert in Abb. 2 einzeichnen würde, wäre eine Übereinstimmung mit der Kurve gegeben.

Um die numerische Exzentrizität zu ermitteln, benötige ich die Formeln für die Ellipsen, insbesondere Gleichung (3). Es gilt nämlich, hier speziell für die Apsiden (Aphel und Perihel)

$$r_a \cdot \varphi_a = r_p \cdot \varphi_p \quad (7).$$

(Im Aphel und im Perihel stehen \vec{r} und \vec{v} senkrecht aufeinander. Der Betrag des Drehimpulses ist also $m \cdot r_p \cdot v_p$ beziehungsweise $m \cdot r_a \cdot v_a$. Wegen der Erhaltung des Drehimpulses gilt: $r_p \cdot v_p = r_a \cdot v_a$.)

Somit läßt sich Gleichung (3) umformen zu

$$\varepsilon = (1 - (\varphi_a / \varphi_p) / 1 + (\varphi_a / \varphi_p)) \quad (8).$$

(Druckfehler im Text [16] $\varepsilon = (1 - (\Phi_a / \Phi_p) / 1 - (\Phi_a / \Phi_p))$). Es sei darauf hingewiesen, daß Reble in seinem Text mit Φ den Sonnenradius (in $^\circ$) und Schlosser mit φ den Sonnendurchmesser (in Bogensekunden) bezeichnet. Da sich diese in ihrer Größe jedoch nur durch eine Konstante unterscheiden, kann man die Gleichungen, wie oben geschehen, aufstellen und entsprechend umwandeln.

Setzt man nun in (8) die Extremwerte der Winkeldurchmesser der Sonne ein ($\varphi_p = 32'32''$; $\varphi_a = 31'28''$ [9]), so erhält man eine numerische Exzentrizität von $\varepsilon = 0,0167$.

Schlosser führt in seinem Artikel an dieser Stelle hilfsweise den Sonnendurchmesser d ein und benötigt dann natürlich auch die Astronomische Einheit AE. Er vermeidet dadurch die Aufstellung der Gleichung (7) und erhält

so auf anderem Wege

$$(\varphi_p / \varphi_a) \approx 1 + 2\varepsilon \quad (9).$$

Dieser Zusammenhang gilt für kleine Exzentrizitäten. Mit der Bestimmung der Exzentrizität der Erdbahn beenden beide, Reble und Schlosser, ihre Ausführungen zur Einführung des 1. Keplerschen Gesetzes.

In beiden Artikeln wird nun auf das 2. Keplersche Gesetz eingegangen, jedoch möchte ich mich in meiner Beschreibung auf die Vorgehensweise von Martin Reble beschränken.

2. Keplersches Gesetz: Der von der Sonne nach einem Planeten weisende Radiusvektor überstreicht in gleichen Zeiten gleiche Flächen.

Reble veranschaulicht an einem Modell den Inhalt des 2. Keplerschen Gesetzes. Er hat eine hypothetische Planetenbahn mit dem Computer gezeichnet, in der Fahrstrahlen für jeweils $t = 0,1 \cdot nT$ eingezeichnet sind. Diese Ellipse hat er vergrößert, auf Plexiglas gebracht und längs der Fahrstrahlen zerschnitten. Wiegt man nun einzelne Teile, so sind diese paarweise gleich schwer.

Im weiteren betrachtet er den Kalender. An diesem stellt man fest, daß Sommer- und Winterhalbjahr nicht gleich lang sind. Das Sommerhalbjahr ist einige Tage länger (93d 16h zu 89d 0h – auf der Nordhalbkugel). Die Erde ist weiter von der Sonne entfernt und die Bahngeschwindigkeit der Erde etwas geringer als im Winterhalbjahr. Dementsprechend ist der Winkeldurchmesser der Sonne von der Erde aus gesehen kleiner.

Eine genauere Überprüfung gibt die Berechnung der Flächen von Kreissektoren. In einem kleinen Ausschnitt muß dafür die Erdbahn als Kreisbahn angenommen werden, so daß wir einen Kreissektor erhalten; damit sind die beiden Fahrstrahlen r_1 und r_2 gleich lang. Den Winkel zwischen den Fahrstrahlen bezeichnet Reble mit $\Delta\lambda$. Die Fläche des Kreissektors ist damit

$$A = \pi \cdot r^2 \cdot (\Delta\lambda / 360^\circ) \quad (10).$$

In den Ausführungen zum 1. Keplerschen Gesetz benutzt Reble die Aussage, daß $r \cdot \Phi$ (Φ ist hier der Sonnenradius) konstant ist. Somit ist $r^2 = (\text{const})^2 / \Phi^2$ und damit

$$A = (\pi \cdot (\text{const})^2 \cdot \Delta\lambda) / (\Phi^2 \cdot 360^\circ) \quad (11).$$

Durch eigene Messungen oder Jahrbucheinträge kann man nun zeigen, daß $\Delta\lambda/\Phi^2$ konstant ist und damit gilt das 2. Keplersche Gesetz. In seinem Artikel führt Reble dieses anhand eigener Messungen und Jahrbucheinträgen vor.

Ich sehe allerdings hier einige Schwierigkeiten, in einer 10. Klasse der Realschule diese Formeln zu benutzen, auch wenn Kreissektoren in der 10. Klasse in Mathematik behandelt werden (eine Absprache mit dem Mathematiklehrer ist auch hier empfehlenswert). Man muß auch immer bedenken, daß die Unterrichtseinheit Astronomie wahrscheinlich als AG oder im wahlfreien Unterricht stattfinden wird, und dies meistens die letzten Schulstunden eines Tages sind. Ein langsames, schrittweises Vorgehen bei diesen Berechnungen ist daher sehr empfehlenswert. Die einzelnen Schritte sollten von Skizzen begleitet werden.

Auf eine beispielhafte Darstellung des 2. Keplerschen Gesetzes wie beim 1. Keplerschen Gesetz sei hier verzichtet. Die Vorgehensweise von Reble ist im Text (s.o.) beschrieben.

3. Keplersches Gesetz: Die Quadrate der Umlaufzeiten der Planeten verhalten sich zueinander wie die 3. Potenzen der großen Halbachsen ihrer Bahnellipsen.

Das 3. Keplersche Gesetz verbindet die Umlaufzeiten mit den Entfernungen der Planeten von der Sonne. In der 10. Klasse einer Realschule wäre es nun interessant, als Beleg für das 3. Keplersche Gesetz, diesen Zusammenhang selbst herzuleiten. Es sei zum einen wieder auf den Text von Reble verwiesen, der dies mit dem Planeten Jupiter nachvollzieht. Zum anderen wird das 3. Keplersche Gesetz im Buch „Astronomische Musterversuche für die Se-

kundarstufe II“ [6] (Versuch 14, S. 83 ff.) anhand der Bewegungen der Jupitermonde dargestellt. Dieser Vorschlag ist meiner Meinung nach jedoch zu anspruchsvoll für die beschriebene Zielgruppe. Auch in dem Buch selbst ist dieser Versuch nicht mit dem Zusatz (SI: geeignet für die Sekundarstufe I) versehen, der die Versuche kennzeichnen soll, die auch in der Sekundarstufe I durchgeführt werden können.

Ich habe mich für einen Mittelweg zwischen dem Vorgehen von Reble und einem ebenfalls in dem besagten Buch [6] beschriebenen Versuch zur Entfernungsbestimmung des Saturn entschieden. Ich ziehe den Planeten Saturn dem Jupiter vor, da immer die Cassini-Mission zum Saturn im Blick behalten werden soll. Um aktuellere Daten, als die im Buch [6] enthaltenen zu gewinnen, habe ich den dort beschriebenen Versuch selbst durchgeführt, auch um eventuelle Schwierigkeiten herauszufinden. Die Entfernungsbestimmung im Buch wird mit den Saturndaten von 1976/77 durchgeführt. Ich habe den Versuch mit Daten aus 1998/99 wiederholt.

Die Kritik an dem Versuch, sowie einige Hinweise, folgen im Anschluß an die Versuchsbeschreibung.

Versuch zum 3. Keplerschen Gesetz:

Auf eine Einführung und die Grundlagen möchte ich hier aus Platz- und Zeitgründen verzichten, da sie sich ohnehin mit denen im Buch [6] über große Teile hinweg decken würden.

Im Buch wird vorgeschlagen, anhand eines Himmelskalenders die Bahn-schleife des Planeten in eine Sternkarte einzutragen. Mein Vorgehen war an dieser Stelle ein anderes. Da ich den Einsatz des Computers in der Schule an den Stellen, wo es sinnvoll ist, begrüße, habe ich mir die Daten für die Planetenpositionen aus einem einfach zu bedienenden Computerprogramm gewonnen. „SkyMap 3.1“ ist ein Astronomie-Shareware Programm (im Internet zu finden unter {10}), das unter anderem die Planetenposition eines ausgewählten Planeten zu einem eingestellten Datum (mit Uhrzeit) anzeigt.

Des Weiteren kann man sich auch die Bahn des Planeten über einen längeren Zeitraum in einer Sternkarte anzeigen und ausdrucken lassen (siehe Anlagen). Man sieht so sehr schön die Planetenschleifen. Zwei für diesen Versuch große Nachteile hat das Programm allerdings, wie sich später zeigen wird: Die Rektaszension wird nur in Stunden, Minuten und Sekunden und nicht in Grad angegeben, und die Ekliptik ist nicht mit einer Gradeinteilung versehen, was die Auswertung vereinfachen würde.

Ich habe die Planetenpositionen in eine Tabelle eingetragen und zwar die Deklination δ , sowie die Rektaszension α des Saturn. Vorangestellt ist das jeweilige Datum mit Uhrzeit, zu dem die Daten gehören.

Datum	Deklination δ	Rektaszension α
1.1.98	+3° 7' 23''	0 ^h 54 ^m 36 ^s
1.2.98	+3° 54' 5''	1 ^h 4 ^m 44 ^s
1.3.98	+4° 59' 53''	1 ^h 10 ^m 31 ^s
1.4.98	+6° 25' 31''	1 ^h 24 ^m 10 ^s
1.5.98	+7° 48' 27''	1 ^h 38 ^m 20 ^s
1.6.98	+9° 2' 28''	1 ^h 51 ^m 59 ^s
1.7.98	+9° 54' 5''	2 ^h 2 ^m 28 ^s
1.8.98	+10° 18' 2''	2 ^h 8 ^m 28 ^s
1.9.98	+10° 9' 1''	2 ^h 8 ^m 21 ^s
1.10.98	+9° 32' 38''	2 ^h 2 ^m 38 ^s
1.11.98	+8° 42' 12''	1 ^h 53 ^m 34 ^s
1.12.98	+8° 4' 32''	1 ^h 45 ^m 57 ^s
1.1.99	+7° 57' 23''	1 ^h 43 ^m 8 ^s

Die genährte jährliche Eigenbewegung des Saturn beträgt somit

$$\mu_{\delta} = \delta_{1.1.99} - \delta_{1.1.98} = +4^{\circ}50' \text{ in Deklination und}$$

$$\mu_{\alpha} = \alpha_{1.1.99} - \alpha_{1.1.98} = 49^{\text{m}}32^{\text{s}} \text{ in Rektaszension.}$$

Für die mittlere Eigenbewegung pro Monat ergibt sich so

$$\mu_{\delta} / 12 = +24'10'' \text{ in Deklination und}$$

$$\mu_{\alpha} / 12 = 4^{\text{m}}3^{\text{s}} \text{ in Rektaszension.}$$

In der nun folgenden Tabelle sind die von der Eigenbewegung befreiten Planetenpositionen dargestellt. Diese erhält man, indem man von den Positionen die Eigenbewegung für jeden Monat subtrahiert. m ist ein „Zähler“ ($m = 0$ am 1.1.98, $m = 1$ am 1.2.98 und so weiter).

Datum	$\delta - m \cdot (\mu_\delta/12)$	$\alpha - m \cdot (\mu_\alpha/12)$
1.1.98	+3° 7' 23''	0 ^h 54 ^m 36 ^s
1.2.98	+3° 29' 55''	0 ^h 56 ^m 41 ^s
1.3.98	+4° 11' 33''	1 ^h 2 ^m 25 ^s
1.4.98	+5° 13' 1''	1 ^h 12 ^m 1 ^s
1.5.98	+6° 11' 47''	1 ^h 22 ^m 8 ^s
1.6.98	+7° 1' 38''	1 ^h 31 ^m 44 ^s
1.7.98	+7° 29' 5''	1 ^h 38 ^m 10 ^s
1.8.98	+7° 28' 52''	1 ^h 40 ^m 7 ^s
1.9.98	+6° 55' 41''	1 ^h 35 ^m 57 ^s
1.10.98	+5° 55' 8''	1 ^h 26 ^m 11 ^s
1.11.98	+4° 40' 32''	1 ^h 13 ^m 4 ^s
1.12.98	+3° 38' 42''	1 ^h 1 ^m 24 ^s
1.1.99	+3° 7' 23''	0 ^h 54 ^m 36 ^s

Der Planet wird auf diese Weise in seiner Bahnbewegung „angehalten“. Die Erde, als Beobachtungsort, wandert jedoch weiter. Die Bahnschleife geht dabei in eine Ellipse über. Eine solche Ellipse erhält man auch bei der Entfernungsbestimmung von Fixsternen. Man spricht von der Parallaxenellipse (vgl. [6], S.39). Die große Halbachse der Ellipse ist die Parallaxe π , die wir zur Entfernungsbestimmung des Planeten benötigen. Erwähnt sei noch, daß die kleine Halbachse die Neigung der Planetenbahn gegen die Ekliptik angibt; sie wird hier nicht betrachtet.

Nun trägt man in einer Sternkarte mit ekliptikalischen Koordinaten die Ellipse anhand der obigen Tabelle ein und bestimmt die Länge der großen Halbachse in Grad. Da die Ellipse dicht an der Ekliptik liegt, wird es reichen, die große Halbachse auf die Ekliptik zu projizieren und so ihre Länge in Grad zu bestimmen. Entsprechende Karten kann man aus bekannten Sternatlanten kopieren (Will Tirion, „Bright Star Atlas 2000.0“ oder „Cambridge Star Atlas 2000.0“; eine weitere Quelle ist der Norton's Star Atlas: lt. Internet: 18. Auflage, Longman Scientific & Technical, 1989).

Ein anderer Weg ist, sich die Rektaszensionswerte auch in Grad zu beschaffen, oder sie sich aus den oben angegebenen Werten zu berechnen. Hierzu benutzt man folgende Umrechnung: 1h entspricht 15° , 1^m entspricht $15'$ und so weiter. Man erhält so folgende Werte:

Datum	$\alpha - m \cdot (\mu_\alpha/12)$	$\alpha - m \cdot (\mu_\alpha/12)$ <u>in Grad</u>
1.1.98	$0^h 54^m 36^s$	$13^\circ 39' 0''$
1.2.98	$0^h 56^m 41^s$	$14^\circ 10' 15''$
1.3.98	$1^h 2^m 25^s$	$15^\circ 36' 15''$
1.4.98	$1^h 12^m 1^s$	$18^\circ 0' 15''$
1.5.98	$1^h 22^m 8^s$	$20^\circ 32' 0''$
1.6.98	$1^h 31^m 44^s$	$22^\circ 56' 0''$
1.7.98	$1^h 38^m 10^s$	$24^\circ 32' 30''$
1.8.98	$1^h 40^m 7^s$	$25^\circ 1' 45''$
1.9.98	$1^h 35^m 57^s$	$23^\circ 59' 15''$
1.10.98	$1^h 26^m 11^s$	$21^\circ 32' 45''$
1.11.98	$1^h 13^m 4^s$	$18^\circ 16' 0''$
1.12.98	$1^h 1^m 24^s$	$15^\circ 21' 0''$
1.1.99	$0^h 54^m 36^s$	$13^\circ 39' 0''$

Auf diese Weise kann man die Ellipse auch auf ein Blatt mit Millimeterpapier zeichnen, wobei man für die Deklination (in Grad) und die Rektaszension (in Grad) jeweils eine Strecke von 1 cm für 1° wählen sollte. Jetzt kann die große Halbachse direkt ausgemessen werden (das Blatt befindet sich als Anlage am Ende der Arbeit).

In meiner Zeichnung ergibt sich ein Wert von $a = 6,15^\circ = \pi$ (ich habe die große Halbachse π genannt, da es sich um die Parallaxe handelt).

Jetzt kann man entweder die Formel $r = 1 \text{ AE} / \sin \pi$ (AE: Astronomische Einheit; sie ist den Schülern aus der Sequenz über den Planetenweg bekannt) benutzen, um die Entfernung des Planeten zu erhalten, oder man geht den konstruktiven Weg, der hier ebenfalls dargestellt ist (Anlage).

Setzt man den Wert für π in die Formel ein, so ergibt sich ein Abstand des Saturn von der Sonne von 9,33 Astronomischen Einheiten. Der Literaturwert ist 9,576 Astronomische Einheiten [9].

Reble beschreibt noch, daß man aus den Werten der Eigenbewegung des Planeten die Umlaufzeit des Planeten ermitteln kann. Da es sich bei der Deklination um sehr kleine Werte handelt, kann man sich bei der Berechnung auf Pythagoras $E = \sqrt{\mathbf{d}^2 + \mathbf{a}^2}$ (12) beschränken, ansonsten wäre eine Gleichung der sphärischen Trigonometrie $\cos E = \cos \mathbf{d} \cdot \cos \mathbf{a}$ (13) notwendig. Die Werte für die Umlaufzeiten sind jedoch sehr ungenau, wie sich zeigt.

Martin Reble führt seine Berechnung am Jupiter durch. Im Jahr 1982 beschreibt dieser eine Bewegung von $27,2^\circ$ in Rektaszension und $-7,2^\circ$ in Deklination. Da der Winkel zwischen Rektaszension und Deklination ein rechter Winkel ist, kann man den Satz des Pythagoras anwenden, um die Hypotenuse und damit die Eigenbewegung in diesem Jahr zu berechnen. Es ergibt sich eine Eigenbewegung \mathbf{E} von $28,1^\circ$ und damit eine Umlaufzeit von 12,8 Jahren. Der Literaturwert lautet 11,86 Jahre.

Rechnung:

$$E = \sqrt{\mathbf{d}^2 + \mathbf{a}^2}$$

$$E = \sqrt{(27,2^\circ)^2 + (-7,2^\circ)^2}$$

$$E = 28,1^\circ$$

$$\frac{360^\circ}{28,1^\circ} = 12,8$$

Somit folgt eine Umlaufzeit von Jupiter von 12,8 Jahren. Der Fehler zum Literaturwert beträgt also etwa 1 Jahr.

Benutze ich meine Werte von Saturn für das Jahr 1998 ($11,4^\circ$ in Rektaszension, $4,4^\circ$ in Deklination), so erhalte ich eine Eigenbewegung von $12,2^\circ$ und eine Umlaufzeit von 29,5 Jahren, der Literaturwert beträgt 29,46 Jahre. Im Buch [6] („Astronomische Musterversuche ...“) sind die Werte von 1976 für den Saturn angegeben ($15,23^\circ$ in Rektaszension, $-3,24^\circ$ in Deklination). Setzt man diese ein, so ergibt sich eine Umlaufzeit des Saturn von 23,1 Jahren!

Man sieht deutlich die Abweichung vom Literaturwert (etwa 6,5 Jahre). Wie kommt es zu dieser Differenz? – Wir beobachten und rechnen mit der scheinbaren Bewegung des Planeten. Je nachdem, wo wir zum 1.1. eines

Jahres die Messung beginnen (in Nähe der Opposition oder in Nähe der Konjunktion), ist der Planet scheinbar schneller oder langsamer. Deutlich wird dies auch, wenn wir die jährliche Eigenbewegung in Rektaszension des Saturn von 1976 und 1998 vergleichen: $15,23^\circ$ zu $11,4^\circ$. 1976 ist der Planet scheinbar schneller als 1998, seine Umlaufzeit ist daher, wenn man dieses Jahr für die Rechnung heranzieht, viel kürzer. Der Fehler, den man somit macht, ist unter Umständen sehr groß. Die Eigenbewegung in Deklination spielt nur eine geringe Rolle bei diesem Fehler, da sie im Vergleich sehr gering ist. Ich habe die beiden Planetenbahnen für diese Jahre den Anlagen beigefügt. Ein einfacher, wenn auch nicht sehr genauer Weg, die scheinbaren Unterschiede in den Geschwindigkeiten aus diesen Anlagen zu entnehmen, ist der folgende: Man mißt mit einem Lineal die Distanz vom Planeten zum Endpunkt der eingezeichneten Bahn. Diese entspricht der scheinbaren Bewegung für ein Jahr. Dabei stellt man fest, daß diese Distanz auf dem Blatt mit der Saturnbahn von 1976 größer ist, als die auf dem Blatt mit der Saturnbahn von 1998.

Möchte man auf diese Weise die Umlaufzeit des Saturn bestimmen, so muß man sich vorher das „passende“ Jahr aussuchen. Den Schülern allerdings zu erklären, warum man etwa im Jahr 2013 das Jahr 1998 heranzieht, halte ich für schwierig. Besser wäre es dann zur Bestätigung des 3. Keplerschen Gesetzes die Umlaufzeit aus einem Buch zu entnehmen und die Formel

$$\frac{R_{Erde}^3}{T_{Erde}^2} = \frac{R_{Saturn}^3}{T_{Saturn}^2} \quad (14)$$

zu überprüfen. Immerhin kann man für die Entfernung des Saturn einen guten selbst ermittelten Wert einsetzen:

$$\frac{1^3}{1^2} = \frac{9,33^3}{29,628^2}$$

$$\frac{1}{1} = \frac{812,2}{877,8}$$

Diesen Fehler von etwa 7,5 % kann man für die Schüler mit der Zeichenungenauigkeit und Rechenungenauigkeiten begründen. Für R_{Erde} und R_{Saturn} habe ich die Werte für die große Halbachse (in AE) eingesetzt, für die Um-

laufzeiten T_{Erde} und T_{Saturn} die Werte der siderischen Umlaufzeiten in tropischen Jahren.

Wie bei der Versuchsdurchführung bereits erwähnt, erspart man sich viel Arbeit, wenn man die Rektaszension in Grad vorliegen hat. Dies erspart viel Rechenarbeit. Günstig ist ein Taschenrechner mit Dezimal-Sexagesimaltaste (Grad/ Minuten/ Sekunden-Taste), wie sich im Versuch eindeutig zeigt. Diese Darstellungform besitzen mittlerweile aber auch schon einfache Schultaschenrechner. Ansonsten muß man mit Dezimaldarstellungen der Deklinations – und Rektaszensionsangaben rechnen. Dies ist natürlich auch möglich. Um die Ellipsenform sicherzustellen, sollte man für sich eine eigene Auswertung durchführen, denn die mittlere jährliche Eigenbewegung des Planeten hängt noch davon ab, von welcher Stellung man ihn zum 1.1. der aufeinanderfolgenden Jahre beobachtet beziehungsweise mit der Datenaufnahme mit einem Computerprogramm beginnt (Opposition oder Konjunktion – in Konjunktion ist der Planet nicht sichtbar → Daten mit dem Computerprogramm aufnehmen). Der Unterschied wird jedoch um so geringer, je weiter der Planet von der Sonne entfernt ist. Alleine deswegen ist der Saturn dem Jupiter schon vorzuziehen. Ein großer Vorteil dieses Versuches ist es, daß man ihn je nach Zeit, Wissensstand der Schüler und Interesse der Schüler ausweiten oder straffen kann. Man kann zum Beispiel die Umlaufzeit berechnen lassen oder sie der Literatur entnehmen. Der Einsatz eines Fernrohres ist möglich, um Saturn direkt zu beobachten und Fotos zu machen, die ausgewertet werden können, um auf diese Weise die Planetenposition zu bestimmen. Um den Versuch, insbesondere die Rechenarbeit zu straffen, ist es möglich, die Werte direkt, ohne Computerprogramm oder Himmelsjahrbuch, anzugeben. Man braucht beim Saturn auch nicht die Werte eines jeden ersten eines Monats, muß aber darauf achten, daß die Zeitpunkte der Bewegungsumkehr der scheinbaren Bewegung mit einbezogen werden, und daß die Zeitabstände äquidistant sind.

Cassini im Unterricht [3, 7, 10, 11, 17]

Wie ich bereits mehrfach erwähnt habe, scheinen mir die Experimente der Cassini-Sonde und der Huygens-Sonde nicht für den Unterricht einer 10. Klasse der Realschule geeignet. Im Abschnitt über die Cassini-Mission habe ich eine Aufstellung der Experimente beider Sonden dargestellt und im Anhang befindet sich eine Liste des JPL (aus dem Internet) mit den Experimenten. Natürlich hätte man einem Experiment ein ganzes Halbjahr widmen können, um es den Schülern auf diese Weise etwas näher zu bringen, nur würde dieses Experiment alleine im Raum stehen, ohne den Zusammenhang „Sonnensystem – Planeten – Saturn“. Für diese Grundlagen wäre dann keine Zeit. Mir erscheint es wichtiger zu verstehen, wohin die Mission geht und was – im Groben – untersucht werden soll. Wohin die Cassini-Huygens-Mission geht, haben die Schüler in den vorangegangenen Unterrichtssequenzen bereits gelernt und können sich nun auch etwas darunter vorstellen, was meiner Meinung nach ganz wichtig ist. Nun geht es darum, den Schülern die Mission an sich näher zu bringen.

Zuerst ist für die Schüler sicherlich interessant, eine Vorstellung über die zeitlichen Dimensionen einer solchen Mission zu bekommen. Man könnte mit den Schülern beispielsweise eine große Zeitachse mit den wichtigsten Stationen der Mission erstellen. Diese würde 1981 beginnen und 2008 mit einem Pfeil enden, der andeuten soll, daß die Cassini-Sonde noch weiter benutzt wird – falls sie noch funktioniert (extended mission). Grundlagen für diese Zeitachse können sowohl Zeitungsartikel, als auch Internetseiten sein. Spätestens dann, wenn Cassini bei Saturn ankommt, werden auch die Zeitungen und Zeitschriften wieder von der Mission berichten. Besorgt man sich Informationen aus Internetseiten, hat man meistens das Problem, daß diese in englischer Sprache verfaßt sind. Noch existieren keine deutschen Übersetzungen dieser Seiten, zumindest habe ich keine gefunden.

Sinnvoll ist daher zur Einführung in das Thema ein Vortrag des Lehrers, begleitet von sehr vielen Bildern und kurzen Videosequenzen aus dem Internet. Diese kann man mit einem Overhead-Display oder einem Videoprojektor für alle Schüler sichtbar machen. Die Schüler können während des Vortrags verschiedene Daten und die dazugehörigen Ereignisse notieren. Nach dem Vortrag können diese dann gemeinsam gesammelt und auf der Zeitachse abgetragen werden. Ist die Zeitachse fertig, kann man mit den Schülern einige Ereignisse herausuchen, die man näher bespricht, zum Beispiel den Raketenstart oder die „flyby-Manöver“.

Beide Themen, der Raketenstart auf der einen, und das Schwungholen an den Planeten auf der anderen Seite, bieten genug Möglichkeiten einige Unterrichtsstunden sinnvoll zu nutzen. Bei der Besprechung beider Themen kann man die drei Newtonschen Axiome (Trägheitsgesetz, Dynamisches Grundgesetz und Reaktionsgesetz) und den Impulserhaltungssatz in Verbindung mit dem Trägheitsgesetz einführen, sowie das Newtonsche Gravitationsgesetz. Beim Trägheitsgesetz und dem dynamischen Grundgesetz sollte man sich allerdings auf die Translationsbewegungen beschränken. Der Lehrplan für die Realschule (Niedersachsen) schreibt im Gebiet „Bewegungen“ die dynamische Kraftdefinition als ein Lernziel vor, so daß es sich nunmehr nur um eine Wiederholung handeln dürfte.

Da diese Themen in den Schulbüchern hinreichend beschrieben sind und sich die Einführung auf diese Art und Weise wohl bewährt hat, beschreibe ich sie nicht näher. Wollte man die Einführung dieser Themen etwas genauer beschreiben, würde sich auch schnell eine eigene Arbeit daraus entwickeln.

Ich schlage vor, die Begriffe „Newtonsche Axiome“ oder „Newtonsche Gesetze“, sowie „Gravitationsgesetz“ als Suchbegriffe in Suchmaschinen im Internet einzugeben. Man erhält auf diese Weise, auch für den Unterricht, einige Zusatzinformationen.

An dieser Stelle bietet es sich ebenfalls an, mit den Schülern zu erarbeiten, wie sich die Bahngeschwindigkeit der Monde mit dem Abstand von Saturn ändert. Die Abnahme der Geschwindigkeit kann man in ein Diagramm aufnehmen und mit dem Diagramm aus der Unterrichtssequenz über den Planetenweg vergleichen. Man sollte versuchen, diesen Zusammenhang mit den Schülern zu deuten.

Empfehlenswert ist auch die „Activity 1.1.A“ im Teacher Guide über die Marsmissionen „Mars Global Surveyor“ und „Mars Pathfinder“. Der Teacher Guide selbst läuft unter dem Namen „Live from Mars“. In der „Activity 1.1.A“ werden Raketen aus Luftballons und Strohalmen gebaut und die Flugbahnen untersucht.

Möchte man genauer über den Raketenstart sprechen und die Art der Fortbewegung von Raketen, so kann ich das, wenn auch etwas ältere Buch (1963) von Wilhelm Emeis „Schulversuche zur Physik des Raketenantriebes“ [17], empfehlen. In diesem Buch werden in der Schule durchführbare Versuche vorgestellt, sowohl mit Raketenwagen, als auch mit aufsteigenden Raketen. Vorab wird die Theorie erklärt. Ein Kapitel ist unter anderem dem Schub im Vakuum gewidmet. In einer Tabelle sind die charakteristischen Daten für die in den Versuchen verwendeten Raketen und zum Vergleich die entsprechenden Werte für technische Raketen angegeben. Diese Tabelle könnte man um die Daten der Titan IV Rakete ergänzen. Hierzu kann man das von mir erstellte Arbeitsblatt „Die Titan IV – Rakete“ heranziehen. Dieses befindet sich im Anhang zu dieser Arbeit. Kleine Filme über den Start der Cassini-Mission erhält man im Internet unter folgender Adresse: www.jpl.nasa.gov/cassini.

An dieser Stelle möchte ich darauf hinweisen, daß man die Zeit, die zur Verfügung steht, nicht außer Acht lassen darf, denn das hier beschriebene Thema ist nicht in einer Doppelstunde hinreichend zu besprechen.

Die Besprechung der Flugbahn der Sonde gestaltet sich etwas problematischer, da man Schwierigkeiten haben wird, geeignete Versuche zu finden.

Ausgangspunkt dürfte daher eine Abbildung ähnlich der Abbildung 3 im Abschnitt „Die Cassini-Mission“ sein. Man kann über die Vor- und Nachteile einer solchen Flugbahn diskutieren und besprechen, auf was man bei der Berechnung dieser Flugbahn achten muß (u.a. Planetenkonstellation).

Möchte man über den Zweck der Mission sprechen, so muß man zwischen der Muttersonde Cassini und der Tochtersonde Huygens differenzieren. Von beiden Sonden sind zahlreiche Fotos und Skizzen im Internet enthalten. Man muß sich die für seine Unterrichtszwecke passenden herausuchen und eventuell bearbeiten, ähnlich wie ich es bei der Titan IV Rakete getan habe.

Auch empfiehlt es sich, daß zumindest der Lehrer ein Modell der Cassini-Sonde hat. Eine Bauanleitung und die einzelnen auszuschneidenden Teile befinden sich im Internet. Es existieren, was den Zusammenbau betrifft, zwei verschiedene Modelle, ein leichteres und ein schweres. Die Adresse lautet: www.jpl.nasa.gov/cassini/products. Darüber hinaus habe ich mir die Mühe gemacht, die Bauanleitung für das „einfachere“ Modell zu übersetzen und die Cassini-Sonde zu basteln. Mehr darüber steht im Abschnitt „Die Cassini-Sonde zum Basteln“.

Möchte man dennoch eines der Experimente der Mission besprechen, so empfehle ich das Doppler Wind Experiment der Huygens-Sonde. Erstens ist es durchaus möglich, den Schülern in nicht allzu langer Zeit den Doppler-Effekt nahe zu bringen, natürlich ohne Gleichungen oder ähnliches, sondern nur vom Phänomen her (Autos auf der Straße anhören, Vorbeifahren eines Zuges). Zweitens sind an diesem Experiment beide Sonden beteiligt. Nähere Informationen befinden sich auf den Internetseiten der Uni Bonn.

Da dieses Experiment durchgeführt wird, während die Huygens-Sonde durch die Atmosphäre des Saturnmondes Titan fällt, bietet es sich an, an dieser Stelle die „Titanatmosphäre“ im Klassenraum herzustellen. Natürlich ist es nicht möglich die wirkliche Titanatmosphäre im Klassenraum herzustellen, aber es gibt einen Modellversuch, der diese sehr gut darstellen soll. Dieser ist im Internet zu finden und eigentlich für jüngere Schüler gedacht,

aber er beinhaltet auch für Schüler der Klasse 10 sehr interessante Aspekte und ich würde ihn an dieser Stelle durchführen. Nähere Informationen und eine Übersetzung der Versuchsanleitung befindet sich im Abschnitt „Titan im Aquarium“.

Ein viel diskutierter Punkt bei der Cassini-Mission sind 32,8 kg Plutonium 238, das für die Energieversorgung der Datenübertragungsgeräte genutzt wird. Zu diesem Thema befinden sich einige Artikel im Internet (in deutscher Sprache). Möchte man dieses Thema im Unterricht ansprechen, so braucht man in einer deutschen Suchmaschine (bspw. YAHOO) nur den Begriff „Cassini“ eingeben, um genügend Informationen zu bekommen. Bei der Wahl der Quellen sollte man darauf achten, objektiv zu bleiben. Es gibt Quellen, in denen eine Katastrophe geradezu heraufbeschworen wird, aber es gibt auch Quellen, in denen sachlich argumentiert wird und in denen die von der NASA eingerichteten Sicherheitsmaßnahmen dargelegt werden.

Zum Abschluß bietet es sich an, eine Kollage der gesammelten Informationen über die Cassini-Huygens-Mission zu erstellen, die man in der Schule ausstellen kann. Auf dieser Kollage können die Zeitachse, ein kurzer Aufsatz über die Mission, die Flugbahn mit kurzen Beschreibungen, Fotos aus dem Internet und andere in der Unterrichtseinheit hergestellte Materialien ihren Platz finden, wie etwa die von den Schülern bestimmte Entfernung des Saturn oder Fotos vom Planetenweg oder vom Versuch „Titan im Aquarium“. Die einzelnen Arbeiten können in Gruppen ausgeführt werden. Natürlich darf auch das Modell der Cassini-Sonde nicht fehlen. Für diesen Ausstellungszweck müßte es allerdings von einer Schülergruppe gebaut werden.

Übersetzung der Anleitung „Ich bastel mir Cassini“

Beschrieben ist das „einfachere“ Modell der Cassini-Sonde.

Auf den Internetseiten befindet sich neben den auszuschneiden Teilen die Bastelanleitung. Ich habe diese übersetzt und während des Zusammenbaus in einigen Teilen etwas umgeschrieben, so daß meiner Meinung nach deutlicher wird, was eigentlich gemeint ist. Ich hoffe somit, daß diese Bastelanleitung für den Bastler verständlich ist, denn das Basteln an sich birgt genug Schwierigkeiten. Nicht alle Teile passen so gut zusammen, wie es die Bastelanleitung erhoffen läßt. Vorab sei bereits gesagt, daß man etwas stärkeres Papier nehmen sollte (ab ca. 90g/m³), damit die Konstruktion hält. Als Zeitrahmen sollte man sich etwa drei Stunden setzen, allerdings kann man auch in der Gruppe (zwei oder drei Personen (Schüler!)) arbeiten, da die Teile zum Ausschneiden sich auf drei Seiten befinden und man auch zeitgleich mehrere Teile zusammenkleben kann.

Bewußt habe ich die Namen der einzelnen Teile des Modells nicht übersetzt, da die Bezeichnungen mit auf der Vorlage stehen und sie dann – insbesondere von Schülern – leichter aufzufinden sind.

Dem Anhang dieser Arbeit habe ich die Seiten aus dem Internet als Kopiervorlage beigelegt, allerdings sind diese Seiten in Grautönen gehalten. Die Originale aus dem Internet sind gelb! – Die wirkliche Sonde ist allerdings auch nicht gelb. Hier nun noch die Internetadresse, unter der man die Originalseiten findet: www.jpl.nasa.gov/cassini/products

Die Bastelanleitung

1. Schneiden Sie alle Teile aus.
2. Schneiden Sie alle Schlitzte aus, die im *Central Core* mit V,W,X,Y und Z bezeichnet sind. Setzen Sie das *Central Core* zusammen, indem Sie die Laschen A und B miteinander verbinden (achten Sie darauf, daß sich die Laschen im Inneren befinden, so daß man sie nicht sieht).
3. Setzen Sie die *Probe* zusammen, indem Sie *Probe Bottom* und *Probe Top* ausschneiden, wo es eingezeichnet ist. Legen Sie diese an der gestrichelten Linie übereinander und kleben Sie sie zu abgeplatteten Kegeln zusammen. Kleben Sie die Laschen am *Probe Bottom* an die *Probe Top* und versichern Sie sich, daß die Kegelspitzen sich gegenüberliegen und die Stützbeine (dunkle Linien) noch sichtbar sind.
4. Setzen Sie die *High Gain Antenne* zusammen und schneiden Sie die Schlitzte D aus. Dann verbinden Sie die Streifen A und B, so daß ein flacher Kegel entsteht.
5. Knicken Sie die Spitzen der *Low Gain Antenne* um, und stecken Sie sie in die Schlitzte D auf der Innenseite der *High Gain Antenne*.
6. Wickeln Sie die *RTG's* um einen Stift und bilden aus ihnen enge Zylinder. Kleben Sie diese nun an der vorgesehenen Stelle. Schneiden Sie in die Streifen E Schlitzte.
7. Nachdem Sie den *Launch Adapter* ausgeschnitten haben, setzen Sie ihn zusammen, in dem Sie die Streifen A und B so miteinander verbinden, daß ein verstümmelter Kegel entsteht, wobei die farbige Seite außen und die Klebestreifen innen sein sollen.
8. Setzen Sie den *Upper Adapter* genauso zusammen wie den *Launch Adapter*.

9. Setzen Sie die *Remote Sensing Instrument Platform* zusammen, indem Sie diese an den gepunkteten Linien falten (farbige Seite nach außen) und die weißen Streifen innen zusammenkleben. In den Streifen G sind die Schlitze auszuschneiden.

10. Setzen Sie die *Fields and Particles Instrument Platform* zusammen, indem Sie sie an den gepunkteten Linien falten (farbige Seite nach außen) und die weißen Streifen innen zusammenkleben. In den Streifen H sind die Schlitze auszuschneiden.

11. Setzen Sie den *Cosmic Dust Analyzer* zusammen, indem Sie den länglichen Streifen zu einem Zylinder rollen, so daß der weiße Streifen überlappt. Knicken Sie dann den *Cosmic Dust Analyzer* an den vorgesehen Stellen. Falten Sie die runde Grundfläche nach unten und kleben die Streifen innen zusammen.

12. Setzen den *Magnetometer Boom* zusammen, indem Sie ihn der Länge nach zu einem dreieckigen Querschnitt falten und dann den weißen Streifen nach innen knicken und ankleben. Der Streifen M muß außen liegen.

13. Setzen Sie die *Thrusters* zusammen, indem Sie sie an den gepunkteten Linien falten (farbige Seite nach außen) und die weißen Streifen innen kleben. Schneiden Sie Schlitze in die Streifen I.

14. Setzen Sie das *Electronics Module* zusammen, indem Sie die Streifen A und B zusammenbringen, mit der farbigen Seite nach außen, und den Streifen nach innen.

15. Befestigen Sie die *RTG's* am *Central Core*, indem Sie die Streifen E in die Schlitzpaare X stecken.

16. Befestigen Sie die *Thrusters*, indem Sie die Stützen im 60° - Winkel falten und die Streifen I in die Schlitzpaare Y einführen. Beachten Sie dabei, daß sie nach unten zeigen.
17. Befestigen Sie die *Probe* am *Central Core*, indem Sie die Streifen C in die Schlitz Z stecken.
18. Befestigen Sie den *Launch Adapter*, indem Sie ihn am Boden der *Central Core* ankleben.
19. Befestigen Sie die *Instrument Platforms*, indem Sie die Streifen G in die Schlitz W und die Streifen H in die Schlitz V stecken.
20. Befestigen Sie den *Cosmic Dust Analyzer* an der Oberseite der *Central Core*, indem Sie die Streifen über den Rand der *Central Core* falten und an die richtige Stelle ankleben, so wie es in der Illustration gezeigt ist.
21. Befestigen Sie den *Upper Adapter* mit Klebstoff an der Oberseite der *Central Core*.
22. Befestigen Sie das *Electronics Module* an dem *Upper Adapter* (Hilfsstützen nach oben).
23. Befestigen Sie den *Magnetometer Boom* am *Electronics Module*, wie es in der Illustration gezeigt ist.
24. Kleben Sie die Hilfsstützen an die *High Gain Antenne*.

Titan im Aquarium

Diesen Versuch habe ich im Internet gefunden und die Anleitung übersetzt. Auch wenn er für die Klassen 3 – 8 vorgesehen ist, kann man ihn, denke ich, auch in der 10. Klasse der Realschule einsetzen, zumal er eine Vorstellung über eine der wichtigsten Missionsaufgaben der Huygens-Sonde vermittelt. Aus diesem Grund habe ich ihn hier mit aufgeführt, obwohl ich ihn noch nicht selbst durchgeführt habe.

In der Übersetzung ist immer wieder von einem „liner“ die Rede, der das Aquarium vor den tiefen Temperaturen des Trockeneises oder des flüssigen Stickstoffs schützen soll. Er besteht aus Styrodur, mit dem man das Aquariuminnere abdichtet und so vor der Kälte schützt. Eine wörtliche Übersetzung habe ich für den Begriff „liner“ in diesem Zusammenhang nicht gefunden, man könnte es jedoch mit „Isolation“ übersetzen. Ich habe mich entschieden, den Begriff „liner“ bei der Übersetzung beizubehalten.

Nun zur Übersetzung der Internetseite

Adresse: lyra.colorado.edu/sbo/mary/Cassini/titan_demo.html

Titan im Aquarium

Von Mary Urquhart für die Klassenstufe 3-8 (USA)

Titan, der größte Mond des Saturn, ist größer als die Planeten Pluto und Merkur. Er ist der einzige Mond im Sonnensystem mit einer dichten Atmosphäre (der Oberflächendruck ist 1,6 mal so hoch wie der auf der Erde in Meereshöhe), er ist verhüllt in einer dicken Schicht aus organischen Wolken und einem Schleier aus organischen Verbindungen, entstanden aus photochemischen Prozessen (Reaktionen von Sonnenlicht und atmosphärischen Gasen, wie Methan). Titan ist eine kalte Welt mit einer Oberflächentemperatur von nur 93 K (oder -292 °F), kalt genug, damit Wasser massiv vereist und aussieht wie Stein. Sogar das Gas, das wir ausatmen, Kohlendioxid, würde zu trockenem Eis erstarren. Regen könnte, wie auch immer, auf Titan fallen und Seen und Ströme könnten Teile von Titans Oberfläche bedecken. Anstatt aus Wasser würde der Regen aus organischen Verbindungen, wie Methan oder Ethan bestehen. Wie die Oberfläche von Titan wirklich aussieht ist unbekannt, aber die Cassini-Mission zum Saturn wird uns helfen, viele Fragen über den kalten, bewölkten Mond zu beantworten.

Sich so eine fremde Welt wie Titan vorzustellen, ist schwierig. Die Konstruktion von Titan in einem Aquarium wird helfen, Schülern diesen in Wolken eingehüllten Mond näherzubringen. Die Bestandteile sind einfach zu finden und die Schüler sind begeistert und fasziniert von der Demonstration.

Sie benötigen:

- Ein Aquarium (ein kleines 10 Gallonen (etwa 40 l) Aquarium ist passend)
- Einen Styrodur Kühler (*Styrofoam (Bez. aus dem Text)* ist die Bezeichnung eines Materials der Firma DOW Chemical (www.dow.com) aus den USA. In Deutschland stellt die Firma BASF Styrodur her, das mit Styrofoam vergleichbar ist.)
- Ein scharfes Messer mit gebogener Spitze (um Styrodur zu schneiden)
- Eine Mixschüssel
- Ein Gefäß mit etwa zwei Tassen Wasser Inhalt
- Etwa eine halbe Tasse Schmutz oder Sand
- Etwas Ammoniak oder einen Haushaltsreiniger mit Ammoniak
- Eine Flasche Sirup (für die Demonstration wird nur eine kleine Menge benötigt)
- Einen Schneebesen
- 3 bis 5 Pfund Trockeneis
- Einen Behälter für das Trockeneis
- Arbeitshandschuhe
- Einen Hammer
- Eine Schere
- Papierhandtücher

Benötigte Zeit: Etwa ½ Stunde

Anleitung:

1. Bevor jemand aus der Klasse ein Stück des Styrodur-Kühlers abschneidet, legen Sie ein etwa 4 Inch hohes Stück zurück um es später in das Aquarium zu legen. Dieses soll verhindern, daß das Glas des Aquariums platzt, wenn Sie das Trockeneis einfüllen.
2. Plazieren Sie alle Gegenstände auf einem Tisch, bevor Sie mit der Demonstration beginnen. Versichern Sie sich, daß alle Schüler während der Demonstration in das Aquarium schauen können und geben Sie sich selbst genug Raum zum Arbeiten.
3. Erzählen Sie den Schülern, daß Titan ein vereister Mond ist. Fragen Sie sie, welche Arten von Eis sie auf Titan erwarten. Sie werden vielleicht Wassereis sagen. Geben Sie das Wasser in die Mixschüssel.
4. Sprechen Sie über die sehr niedrige Temperatur auf Titan: Es ist so kalt, daß Ammoniak gefriert. Zu dem Wasser fügen Sie ein paar Spritzer Ammoniak.
5. Genauso wie Titan ein vereister Mond ist, besteht er aber doch zur Hälfte aus Fels. Geben Sie den Schmutz oder den Sand dazu.
6. Mixen Sie mit dem Schneebesen die Bestandteile in der Schüssel.
7. Stellen Sie die Isolierung aus Styrodur (vorher mit dem Messer aushöhlen) in das Aquarium (falls noch nicht geschehen) und gießen Sie die Mixtur hinein.
8. Nun schlagen Sie mit dem Hammer das Eis, solange es gefroren ist, in kleine Stücke (je kleiner, desto besser). Das Trockeneis sollte dabei in einem zusätzlichen Plastikbeutel sein, damit es nicht durch den Raum fliegt. Versichern Sie sich, daß jeder, der das Trockeneis berührt, Handschuhe trägt.

9. Während Sie das Trockeneis zerkleinern, berichten Sie, daß es auf Titan so kalt ist, daß das Gas, das wir ausatmen gefriert und daß das Trockeneis gefrorenes Kohlendioxid ist. Nachdem das Trockeneis in winzige Stücke geschlagen ist, öffnen Sie vorsichtig den Beutel mit der Schere und schütten das Trockeneis langsam in die Mixtur in dem „liner“. Achten Sie darauf, daß kein Trockeneis das Glas berührt (ein bißchen wird keinen Schaden anrichten, doch eine große Menge wird das Aquarium zerbrechen lassen).

10. Wenn Sie das Trockeneis dazugeben, wird sich eine „Atmosphäre“ in dem Aquarium bilden. Die Wände des Aquariums sorgen dafür, daß sich die „Atmosphäre“ nicht im Klassenraum verteilt. Besprechen Sie, aus was die Atmosphäre wirklich besteht (in erster Linie Stickstoff, genau wie auf der Erde), und fragen Sie die Schüler, was die Atmosphäre auf Titan festhält (besonders jüngere Schüler werden nicht verstehen oder wissen, daß auf den Planeten und Monden Gravitation herrscht. Ohne Gravitation würde die Atmosphäre wegfliegen. Die Tatsache, daß Titan eine Atmosphäre hat, ist ein Beweis dafür, daß Titan Gravitation besitzt. Vergewissern Sie sich, daß die Schüler nicht denken, daß nur Planeten und Monde mit einer Atmosphäre Gravitation besitzen.). Dies ist ebenso ein guter Zeitpunkt über die Dichte der Atmosphäre auf Titan zu sprechen (Erinnern Sie sich, daß Titans Atmosphäre einen Oberflächendruck besitzt, der 1,6 mal so hoch ist wie der der Erdatmosphäre auf Meeresspiegelhöhe.).

11. Solange die „Atmosphäre“ noch dick und undurchsichtig ist, fragen Sie die Schüler, ob sie darstellen könnten, wie die Oberfläche von Titan aussieht, wenn sie diese wegen der Wolken und dem Dunst in der dicken Atmosphäre nicht sehen können (Falls die Diskussion im vorherigen Punkt solange andauert, daß die „Atmosphäre“ sich beginnt zu verteilen, fügen Sie ein wenig Wasser hinzu.). Dies ist ein passender Zeitpunkt über das Geheimnis von Titan zu sprechen; kein Mensch weiß, wie die Oberfläche von Titan wirklich aussieht. Das Cassini Raumschiff wird Radar einsetzen, um die Oberfläche von Titan abzubilden, fast genauso,

wie Magellan die Oberfläche der Venus abgebildet hat. Cassini wird außerdem die Huygens-Sonde starten, die in die Atmosphäre von Titan eindringen wird, und hoffentlich auf der Oberfläche landet.

12. Die „Atmosphäre“ sollte sich nun weit genug verteilt haben, um die Oberfläche sehen zu können (normalerweise nach 5 bis 10 Minuten). Nun ist ein günstiger Zeitpunkt zu besprechen, was auf der Oberfläche von Titan sein könnte. Sprechen Sie über den fremdartigen organischen „Regen“, der auf Titan fallen könnte. Das Material, welches abregnet, ist näher an Benzin als an Sirup, aber als flüssiges organisches Material, das außerdem nicht sofort gefriert, ist Sirup genauso gut. Schütten Sie ein wenig Sirup auf die Oberfläche Ihres „Titan“. Besprechen Sie, wie viele Planetenforscher hoffen, sehr kalte Seen, Ströme, und vielleicht Ozeane aus organischen Flüssigkeiten auf der Oberfläche von Titan zu finden. Die Seen sollten der Huygens-Sonde keinen Schaden zufügen, denn sie ist konstruiert, um auf diesen zu treiben.

13. Um den „liner“ zu säubern, lassen Sie das Aquarium mit dem „liner“ einen Tag auf einer Ablage oder auf einem Tisch stehen. Dann können Sie die Reste entfernen, indem Sie ihn in eine Toilette schütten (Der Schmutz oder Sand könnte den Ausguß blockieren.). Danach spülen Sie den „liner“ in einem Becken aus und er ist fertig, um nochmals benutzt zu werden.

Vorschläge, um diese Demonstration zu unterrichten:

Bei jüngeren Schülern:

- Die Schüler kann man mit dieser Demonstration sehr begeistern. Versichern Sie sich, daß alle Schüler während der Vorführung in das Aquarium schauen können. Vielleicht müssen Sie das Experiment auf dem Boden durchführen. Die Schüler sollten in einem Halbkreis sitzen.
- Die Schüler können gute Assistenten sein.
- Lassen Sie das Aquarium nach dem Versuch noch im Raum stehen. Die Schüler können so noch einige Male hinein schauen.
- Ein Schuß Wasser stellt die „Atmosphäre“ wieder her, falls Sie noch zusätzliche Zeit für eine Diskussion verwenden wollen.

Ältere Schüler:

- Geben Sie den Schülern die Möglichkeit, mehr an dem Experiment mitzuwirken.
- Fragen Sie die Schüler, was man nehmen könnte, um die „Atmosphäre“ von der Zusammensetzung her, realistischer zu machen (flüssiger Stickstoff).
- Lassen Sie die Schüler die Größe Titans mit einem der anderen Saturnmonde und der Größe der Planeten vergleichen. Ist es ein Wunder, daß Titan eine Welt für sich ist? Das „Scale Model Saturn“ (ebenfalls im Internet) kann helfen.

Cassini im Planetarium

Das Planetariumsprogramm soll einen Abschluß für die Unterrichtseinheit „Astronomie in der Realschule am Beispiel der Cassini-Mission“ bieten. Dazu ist es erforderlich, daß es die wichtigsten Aspekte aus dem Unterricht wiederholt und den Schülern auf diese Weise die Möglichkeit gibt, die neuen Erkenntnisse und Erfahrungen zu reflektieren. Gleichzeitig sollte das Planetariumsprogramm aber auch der breiten Öffentlichkeit die Chance geben, sich über die Cassini-Mission zu informieren. Für das Programm bedeutet das, daß es sowohl die klassischen Gesichtspunkte eines Planetariumsprogramms beinhalten muß, wie den Sternhimmel mit seinen Sternbildern und Orientierungshilfen, als auch die Cassini-Mission selbst.

Im Osnabrücker Planetarium sind viele Programme auf diese Art zusammengestellt. Von den „Beobachtungen“ am Nachthimmel wird zu einem Schwerpunktthema übergeleitet. Die Cassini-Mission bietet gute Voraussetzungen als Schwerpunktthema im Planetarium zu fungieren. Einerseits existieren sehr viele Bilder und Videosequenzen über die Mission, die man sich aus dem Internet laden und in die Vorführung einbauen kann. Andererseits finden Weltraummissionen in der Bevölkerung wachsendes Interesse.

Diese Art von Programmen laufen im Planetarium Osnabrück in der Regel vom Band. Auf einem Tonband oder einer Cassette sind der Text und die Befehle für die Steuerung der einzelnen Geräte des Planetariums vorher programmiert worden. Als Vorführer kann man schlecht in die laufende Vorführung eingreifen, um etwa Zwischenfragen zu beantworten, da dies ein Anhalten des Bandes bedeuten würde. Hierdurch würden Teile der Automatik außer Kraft gesetzt werden, und die Vorführung danach oft nicht wie vorgesehen weiter laufen. Aus diesem Grund muß ein solches Programm gut durchdacht sein. Die Länge des Programms sollte 45 Minuten nicht überschreiten.

Im folgenden möchte ich kurz beschreiben, wie ich mir eine Vorführung im Osnabrücker Planetarium über die Cassini-Mission vorstellen könnte. Der

Text erhebt dabei keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Es sollen lediglich einige mir wichtige Programmpunkte herausgestellt werden.

Beginnen könnte das Programm mit einem Abendhimmel über Osnabrück. Es sollten die hellsten Sterne und einige Planeten sichtbar sein. Es ist sinnvoll ein Datum einzustellen, an dem sich Saturn zu diesem Zeitpunkt noch unter dem Osthorizont befindet. In diesem Fall kann man die Tagesbewegung des Sternhimmels darstellen, ohne daß man Gefahr läuft, daß Saturn am Westhorizont untergeht. Man kann einige Stunden vorübergehen lassen und den Gästen im Planetarium hierbei einige Sternbilder, den Polarstern und die zirkumpolaren Sterne zeigen. Natürlich sollte man bereits an dieser Stelle auf die Planeten hinweisen, denn einige sind ja unter Umständen sichtbar. Der Tagesgang sollte stoppen, wenn Saturn hoch am Himmel steht.

Der Saturn als weiterer Planet, der am Himmel sichtbar ist, bietet einen guten Anlaß, das Sonnensystem anzusprechen. An dieser Stelle kann man mit Hilfe des Sonnensystem-Projektors die Planetennamen nennen und die Gravitationswechselwirkung ansprechen, die die Planeten auf ihren Bahnen hält. Zur Wiederholung für die Schüler bietet es sich an, mit Hilfe von Dias die Keplerschen Gesetze an dieser Stelle darzustellen.

Die Gäste im Planetarium haben am Nachthimmel die tägliche Bewegung der Planeten mit den Sternen beobachten können. Nun kann man die jährliche Bewegung zeigen. Die Bewegung des Saturn sollte dabei zumindest eine Planetenschleife beinhalten, um die scheinbare und wirkliche Bahn der Planeten ansprechen zu können. An dieser Stelle kann man auch die Ekliptik erwähnen und im Planetarium zeigen.

Im folgenden sollte man sich ganz dem Saturn widmen. Begleitet von einigen Aufnahmen des Saturn, die von der Erde und den Voyager-Sonden aus entstanden sind, kann man den Planeten und das Saturnsystem näher beschreiben. Titan sollte dabei als größter und interessantester Mond des Saturn genauso herausgestellt werden, wie das Ringsystem des Planeten. An-

hand von Dias kann ebenfalls sehr gut die Geschichte der Saturnentdeckungen aufgezeigt werden, angefangen vom „Planet mit Ohren“ bis hin zu den neuesten Entdeckungen weiterer Monde. Das Bildmaterial findet man in Büchern und im Internet. Besonderes Interesse findet in der Bevölkerung auch immer die Mythologie. Da Saturn der äußerste Planet im Sonnensystem ist, der noch mit bloßem Auge sichtbar ist, gibt es auch über ihn Geschichten und Sagen. So sollte man in einer solchen Planetariumsvorführung für die Mythologie Zeit finden.

Nun kann man sich im Programm der Cassini-Mission zuwenden. Bei den Gästen im Planetarium sollte bis zu dieser Stelle ein so großes Interesse aufgebaut worden sein, mehr über den Saturn und sein System zu erfahren, daß es ihnen selbstverständlich und unerläßlich erscheint, daß eine weitere Mission, die Cassini-Mission, zum Saturn gestartet worden ist.

Der Sternhimmel sollte nun auf Cape Canaveral eingestellt werden, wo am 6. Oktober 1997 um 5:38 Uhr Cassini seinen langen Weg zum Saturn begonnen hat. Im Internet befinden sich Fotos der Rakete vor dem Start und Videosequenzen vom Start. Die Videosequenzen können auf Videoband überspielt und in der Planetariumsvorführung abgespielt werden. Mit Hilfe des Sonnensystem-Projektors und Dias kann die Flugbahn der Cassini-Sonde zum Saturn dargestellt werden. Diese Möglichkeiten sollten in der Vorführung konsequent genutzt werden.

Nicht unerwähnt, da zum Teil in Deutschland entwickelt, darf die Huygens-Sonde bleiben, die während des Fluges als Tochtersonde an der Muttersonde Cassini befestigt ist und wichtige Erkenntnisse über den Mond Titan gewinnen soll. Von beiden Sonden findet man ebenfalls Bilder im Internet. Besonders imposant wirken die Fotos aus der Herstellungszeit der Sonden.

In einigen Sätzen sollte berichtet werden, was die beiden Sonden im Saturnsystem erforschen sollen. Hierbei ist eine Unterstützung durch Bildmaterial ebenfalls unerläßlich, da die Schüler, aber auch die meisten Erwachsenen ansonsten mit den fallenden Fachbegriffen nicht viel anfangen können.

Da die Huygens-Mission besonderes Interesse bei den Besuchern wecken wird und das Bildmaterial vom Mond Titan sehr eindrucksvoll ist, kann man sehr gut noch ein wenig über diese Mission sprechen. Dabei ist die Landung der Sonde auf Titan sicherlich ein zentraler Punkt.

Zum Abschluß des Programms sollte wieder der Nachthimmel über Osnabrück sichtbar sein, so wie wir ihn vor unserem Ausflug nach Cape Carnival verlassen haben. „... Die Nacht geht weiter vorüber. Während Saturn am Südwesthimmel seinen weiten Bogen zieht, dämmt im Osten bereits der Morgen. Die Sonne geht auf, eine Nacht im Planetarium geht vorbei.“

Kapitel IV

Resümee

„Astronomie in der Realschule am Beispiel der Cassini-Mission“ – eine Unterrichtseinheit, die vor allem zwei Dinge soll: Ersten soll sie bei den Schülern Interesse und Spaß an der Astronomie wecken, was meiner Meinung nach bei in der Astronomie dicht beieinander liegt, da für die meisten Astronomie ein Hobby ist, und zweitens Grundkenntnisse der Astronomie aufbauen.

Beim Lesen der Arbeit wird deutlich, daß ich einige Gebiete, die im Astronomieunterricht sonst vornehmlich behandelt werden, nur streife, wie etwa die Kometen und Meteore, die Sterne, unsere Galaxis und fremde Galaxien. Ich habe mich bemüht, in meinem Unterrichtsvorschlag die Themen herauszugreifen, die relevant sind, um die Cassini-Mission besser zu verstehen.

Wie ich bereits am Anfang der Arbeit erwähnt habe, ist den meisten Menschen heute der Blick auf einen dunklen Nachthimmel durch die Lichtverschmutzung verwehrt. Sichtverhältnisse, wie Wagenschein sie damals an der Odenwald-Schule vorgefunden hatte, sind an den meisten Schulen heute nicht mehr zu finden. Um dennoch dafür zu sorgen, daß die Schüler viele Dinge, über die in der Schule gesprochen wird, selber entdecken und sehen können, sind die Besuche an den außerschulischen Lernorten, wie dem Planetarium oder der Sternwarte, unerlässlich. Aber auch die Versuche in der Schule sollten den Schülern die Möglichkeit geben, selbst zu entdecken und Erfahrungen zu sammeln.

Der Einsatz moderner Medien darf in einer Unterrichtseinheit, die sich mit einer der modernsten Wissenschaften beschäftigt, nicht fehlen. Darum sollten verschiedene Arbeiten am Computer durchgeführt, und das Internetangebot genutzt werden. Kurze Vorträge, die der Lehrer zur Information der

Schüler halten muß, können und sollten durch Dias und Videosequenzen aus dem Internet ergänzt werden.

Es ist sicherlich nicht einfach, Astronomie in der Schule zu unterrichten. Außerdem sind Mathematikkenntnisse bei vielen Versuchen unerlässlich. Aus diesem Grund habe ich mich entschieden, meinen Unterrichtsvorschlag der 10. Klasse der Realschule zuzuordnen. Für die früheren Jahrgängen ist die benötigte Mathematik zu schwer.

Viele Lehrer hatten während ihres Studiums nicht die Möglichkeit, sich mit der Astronomie näher zu beschäftigen. Für diese Lehrer wird es einige Überwindung kosten, sich an den Astronomieunterricht heranzuwagen. Gerade diesen Personen soll meine Arbeit eine Hilfe sein. Aus diesem Grund habe ich sehr viele Literaturhinweise gegeben und mir zur näheren Betrachtung die Themen herausgesucht, die in den Physikbüchern für die Schule meist etwas untergehen, wie der Planetenweg und die Keplerschen Gesetze. Zusätzlich bin ich noch auf ein Angebot aus den USA, den „Cassini Teacher Guide“, eingegangen. Um sich Anregungen für Versuche und Unterrichtsinhalte zu besorgen, ist dieser Teacher Guide geeignet. Ich kann mir jedoch nicht vorstellen, ohne Einschränkungen und Änderungen, mit ihm in der Schule zu arbeiten, die sprachlichen Hindernisse gar nicht berücksichtigt. Aber ich denke, dafür ist er auch gar nicht vorgesehen, obwohl Gespräche mit einem Lehrer, der auch Erfahrungen in den USA gesammelt hat, ergeben, daß der Unterricht auf die im Teacher Guide beschriebene Weise dort ganz normal ist. An den Universitäten werden wissenschaftliche Inhalte so aufbereitet, daß sie in der Schule gut vermittelbar sind und zwar auch in den unteren Klassenstufen.

Abschließend bleibt zu sagen, daß die Astronomie durchaus für den Unterricht in der Schule geeignet ist. Der Unterricht sollte allerdings nicht auf die Sekundarstufe II beschränkt sein. Auch in der Sekundarstufe I kann man den Schülern einen interessanten Astronomieunterricht anbieten.

Internetadressen zum Thema Cassini-Mission

In diesem Abschnitt sind Internetadressen angegeben, die mir bei der Erstellung der Arbeit hilfreich waren. Sie sind ähnlich wie die Literaturangaben mit Nummern versehen, und an den entsprechenden Stellen der Arbeit findet man diese Nummern wieder.

Die Adressen habe ich mit kurzen Kommentaren versehen, so daß nachvollziehbar ist, was man unter ihnen findet. Dies sind längst nicht alle Internetseiten, die Inhalte über die Cassini-Mission enthalten. Viele der Seiten geben aber Links zu weiteren interessanten Seiten.

- {1} www.jpl.nasa.gov/cassini
Seite der NASA über die Cassini-Mission; von hier aus sind fast alle Informationen über die Cassini-Mission via Links erreichbar.
Es können Informationen abgerufen, aber auch Bilder und Videos zur Mission angeschaut werden.

- {2} <http://www.jpl.nasa.gov/cassini/MoreInfo/teaguide.html>
Adresse vom Teacher Guide

- {3} <http://www.jpl.nasa.gov:80/cassini/Mission/cas.html>
Startseite der Beschreibung der Cassini-Mission

- {4} <http://www.jpl.nasa.gov/cassini/Spacecraft/vitalstats.html>
Vergleich verschiedener Orbiter, die die NASA gestartet hat – sehr interessant

- {5} <http://www.jpl.nasa.gov/cassini/Science/MAPS/probesci.html#DWE>
Seite mit Instrumenten der Huygens-Sonde mit kurzer Beschreibung (kurze Informationen zum Doppler Wind Experiment)

- {6} <http://www.jpl.nasa.gov/cassini/Science/orbiter.html>
Gleiche Seite für Cassini, allerdings mit vielen Links zu den Experimenten.
- {7} <http://www.estec.esa.nl/spdwww/huygens/html/>
Homepage der Huygens Sonde (auch auf Englisch)
Auf den einzelnen Seiten findet man alles über Huygens und Titan, angefangen von der Mission an sich, bis hin zu den einzelnen Systemen der Huygens-Sonde und wie sie funktionieren.
- {8} <http://www.aspsky.org/html/tnl/40/activity.html>
„Scale model“ von Saturn und seinen Ringen.
- {9} http://lyra.colorado.edu/sbo/mary/Cassini/scale_saturn.html
Saturn Modell (gelber Hintergrund)
- {10} <http://didaktik.physik.uni-wuerzburg.de/~pkrahmer/home/such5.html>
Astronomie-Links weltweit – ideal für Unterrichtseinsätze (auch mal deutsche Texte!!)
- {11} <http://www.ZUM.de/schule/Schule.html>
Astronomie in der Schule – diese Seiten befinden sich teilweise noch im Aufbau
- {12} <http://www.penzberg.de/marktplatz/manni/optik/o08.html>
Seite zum Keplerschen Fernrohr – Schulversuche
- {13} <http://www.gwdg.de/~unolte/AVG/astro/beginner.html#Inhalt>
Eine Einführung in die Astronomie von Uwe Nolte. Die Seiten sind bereits ein kleines Buch.
- {14} <http://www.jpl.nasa.gov/cassini/today/>
Die Seiten zeigen auf einem Bild die aktuelle Position von Cassini.

- {15} <http://space.jpl.nasa.gov/>
Sonnensystem Simulator – man kann sich Bilder von Objekten im Sonnensystem anschauen.
- {16} <http://www.jpl.nasa.gov/cassini/MoreInfo/casshuyg.html>
Informationen über die Personen Huygens und Cassini (Englisch)
- {17} <http://www.jpl.nasa.gov/cassini/Spacecraft/human.html>
Es handelt sich um eine Seite mit einem Vergleich von menschlichen Funktionen und Teilen der Cassini-Sonde, ähnlich wie im Teacher Guide, nur wissenschaftlicher.
- {18} <http://quest.arc.nasa.gov/OER/>
Seite der educational resources der NASA
- {19} <http://www.infodrom.north.de/~muh/Astronomie/Projekte/Drehbare/>
Seite über eine drehbare Sternkarte mit Bauanleitung
- {20} <http://www.gwdg.de/~unolte/AVG/astro/Teil02/Teleskop.html>
Interessante Seite mit viel Wissenswerten über Teleskope
- {21} <http://www.rz.uni-frankfurt.de/EAAE/>
Heimatseite der „European Association for Astronomical Education“
- {22} <http://www.uni-leipzig.de/~kepler/index.htm>
Johannes-Kepler-Gymnasium – Informationen zu Johannes Kepler
- {23} <http://aibn91.astro.uni-bonn.de/~dwe/>
Informative Seiten über das Doppler Wind Experiment
- {24} <http://www.kleine.co.at/raumfahrt/saturn/SATURN/mission.htm>
Eine Zeitschrift mit vielen populären Informationen zur Cassini-Mission (auf deutsch!!)

Literaturangaben

- [1] Horst W. Köhler: „Die Planeten“, Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig 1983
- [2] Kendrick Frazier und die Redaktion der Time-Life Bücher: „Der Planet Erde: Das Sonnensystem“, Ungekürzte Buch-Gemeinschafts-Lizenzangabe mit Genehmigung von TIME-LIFE Books B.V., Amsterdam Niederlande für die Bertelsmann Club GmbH, Gütersloh und die angeschlossenen Buchgemeinschaften © 1985 Time-Life Books B.V.
- [3] „Unterrichtshilfen Astronomie Klasse 10“, Volk und Wissen Volkseigener Verlag Berlin, 1980
- [4] „Spektrum der Wissenschaft: Verständliche Forschung, Planeten und ihre Monde“, verschiedene Autoren, © 1988 Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH & Co., 6900 Heidelberg
- [5] Hunt , Moore, „Saturn“, Verlag Herder, Freiburg im Breisgau 1983
- [6] Schlosser/Schmidt-Kaler, „Astronomische Musterversuche für die Sekundarstufe II“, Hirschgraben-Verlag, Frankfurt am Main, 1986
- [7] Kuhn, Wilfried, „Physik“, Band III A, Mechanik, Georg Westermann Verlag, Braunschweig, 1977
- [8] Lindner, „Taschenbuch der Astronomie“, Fachbuchverlag Leipzig-Köln, 1993
- [9] „dtv-Atlas zur Astronomie“, Deutscher Taschenbuch Verlag GmbH & Co.KG, München, 1990
- [10] Gerthsen, Vogel, „Physik“ (17. Auflage), Springer Verlag, 1993

- [11] Orear, „Physik“, Carl Hanser Verlag München Wien, 1991
- [12] Vornholz, Dieter, „Astronomie auf Klassenfahrten“, Westermann Schulbuchverlag GmbH, Braunschweig 1992
- [13] „Praxis der Naturwissenschaften – Physik“, 4/37. Jg. 1988 und 7/45. Jg. 1996, verschiedene Texte (Themenheft Astronomie)
- [14] „Physik in der Schule“ 35 (1997), verschiedene Texte
- [15] Brähler, Rainer, „Über die Wirksamkeit des Physikunterrichts“, aus „Naturwissenschaften im Unterricht – Physik“, 1/80
- [16] Reble, Maritn, „Keplersche Gesetze im Unterricht“ aus „Astronomie und Raumfahrt“ 33, 1996
- [17] Emeis, Wilhelm, „Schulversuche zur Physik des Raketenantriebes“, Aulis Verlag Deubner & CO KG, 1963
- [18] Longman, „Dictionary of Contemporary English“, Longman Group UK Limited, 1987
- [19] European Space Agency, „The Cassini/Huygens Mission“, Pre-printed from ESA Bulletin, No. 92, November 1997
- [20] Doody, Stephan, „Basics of Space Flight Learners´ Workbook“, JPL D-9774, Rev. A, Dezember 1995
- [21] Althaus, Tilmann, „Cassini-Huygens – Die Erforschung des Saturnsystems“, aus Sterne und Weltraum, Heft 10, 1997

Anlagennachweis

Auf die Anlage muss in der „Online-Version“ der Arbeit verzichtet werden. Erstens stoße ich auf Probleme mit der Formatierung, zweitens würde wesentlich mehr Speicher benötigt werden, da ich die meisten Dokumente einscannen müsste. Zu den meisten Anlagen finden sich im Text Literaturhinweise oder Internetadressen. Ich bitte um Verständnis.

In den Anlagen befindet sich:

zum Thema:

- | | |
|-----------------------|--|
| Teacher Guide | <ul style="list-style-type: none"> • Stundentafel • LESSON A1 Startseite |
| Planetenweg | <ul style="list-style-type: none"> • Diagramm (Bahngeschwindigkeit eines Planeten gegen die mittlere Entfernung zur Sonne) |
| Keplersche Gesetze | <ul style="list-style-type: none"> • Umrechnung des Sonnendurchmessers von Bogen Sekunden in Kilometer • Parallaxe des Saturn • zeichnerische Ermittlung der Saturnentfernung • scheinbare Bewegung des Saturn im Jahr 1976 • scheinbare Bewegung des Saturn im Jahr 1998 |
| Cassini im Unterricht | <ul style="list-style-type: none"> • Arbeitsblatt zur Titan IV Rakete • Arbeitsblatt zum Keplerschen Fernrohr • Experimente der Cassini-Mission (Internet) |
| „Cassini basteln“ | <ul style="list-style-type: none"> • Vorlagen |