

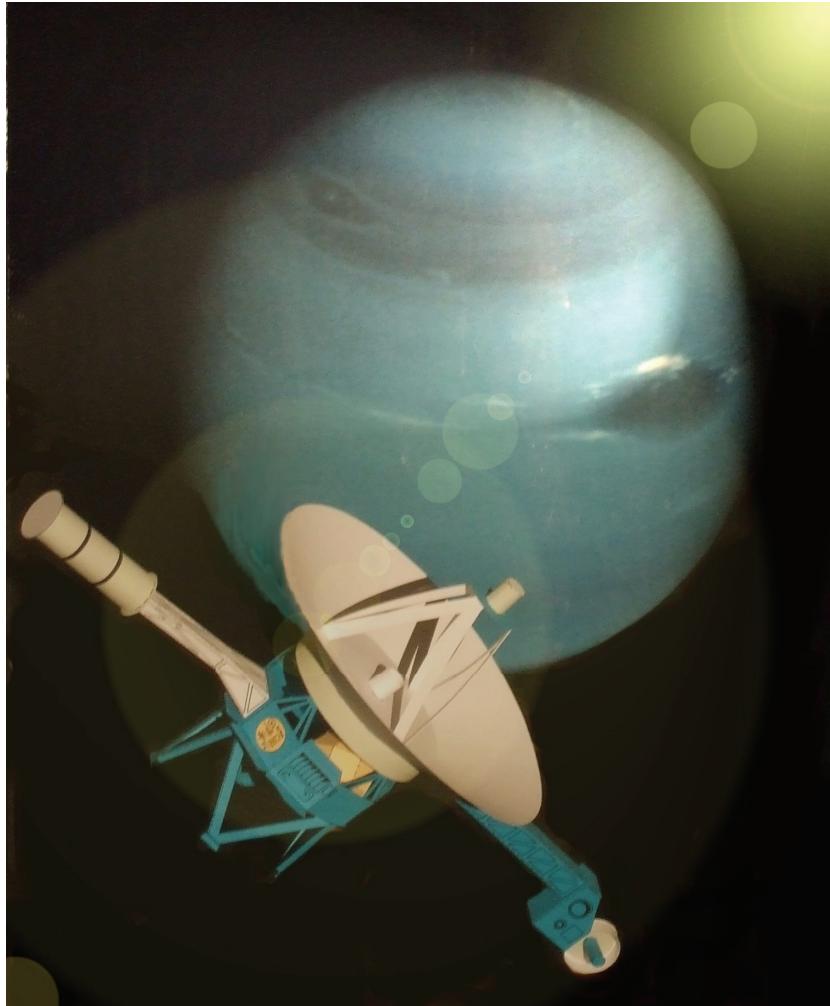
Ein Modell der Raumsonde Voyager

Dirk Brockmann

1. Vorbemerkung

Es ist nun gut 30 Jahre her, dass zwei irdische Botschafter unseren Planeten verließen, technische Meisterwerke, die uns in den Worten Carl Sagans „die Wunder anderer Welten vorführten, aber auch die Einzigartigkeit und Zerbrechlichkeit unserer eigenen Welt“ ([Sa96], S.99). Vier Planeten und Dutzende ihrer Monde besuchten diese beiden Raumsonden. Emsig sendeten sie Tausende von gestochen scharfen Fotos und Messdaten von diesen Himmelskörpern zur Erde. Die Missionen von Voyager 1 und Voyager 2 zählen bis heute zu den erfolgreichsten der Raumfahrtgeschichte.

In diesem Beitrag sollen einige Anregungen gegeben werden, wie man Schülerinnen und Schüler im Unterricht an der Erfolgsgeschichte dieser beiden Raumflugkörper teilnehmen lassen kann. Im Zentrum steht der Bauplan eines Kartonmodells, das arbeitsgleich oder arbeitsteilig gebaut werden kann. Die wesentlichen Komponenten der Planetensonde sind in diesem Modell wiedergegeben und können deshalb auch im Unterricht besprochen werden.



2. Einordnung und Fachübergriffe

Physik	Mechanik	kinetische Energie , Gravitation
Astronomie	Raumfahrt, Planeten	Solare Planeten, Swing-by-Manöver , Voyager-Sonde , Baugruppen von Raumsonden
Verknüpfungen	Astro/ Physik/ Mathematik	Arbeit mit Maßstäben
	Astro/Physik/ Kunst/Werken/ (Rollenspiel)	Bau und Gestaltung eines Modells , Bastelbogen

3. Die vier besuchten Planeten

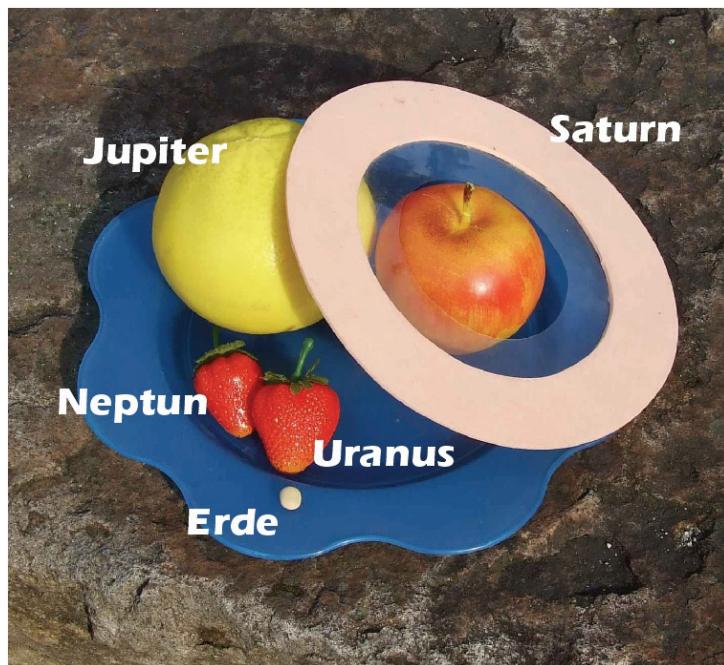
[\(→zurück zum Anfang\)](#)

Forschungsziel der Voyager-Sonden waren in erster Linie die vier großen Planeten unseres Sonnensystems: Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun. Zunächst einmal können die Planeten vorgestellt werden, Schülerreferate bieten sich hier an. Die Reihenfolge aller heute anerkannten Planeten lässt sich bekanntermaßen mit dem nachfolgenden Merkspruch einprägen (auch wenn viele Mütter die astronomische Bildung ihrer Sprösslinge übernehmen):

Mein	Vater	erklärt	mir	jeden	Sonntag	unseuen	Nachthimmel
Merkur	Venus	Erde	Mars	Jupiter	Saturn	Uranus	Neptun

Wichtig ist auch, Vorstellungen von den Größenverhältnissen im Sonnensystem zu vermitteln. Wenig hilfreich ist in diesem Zusammenhang das Nennen unzähliger Riesenzahlen. Denn wer kann sich schon bildhaft den Unterschied zwischen einer Milliarde und einer Billion vorstellen? Wesentlich anschaulicher ist schon das Übertragen auf uns bekannte Dimensionen. Bei Grundschülern können die Größenverhältnisse der Planeten etwa wie folgt eingeführt werden: „*Stellt Euch einmal vor, wir würden wachsen, immer weiter wachsen. Wir wachsen zu riesenhafter Größe, wir werden so groß, dass wir unseren ganzen*

Planeten Erde wie eine kleine Erbse zwischen Daumen und Zeigefinger halten können. Wäre die Erde nur noch so groß wie eine Erbse, dann wäre der große Jupiter immerhin noch so groß wie eine Pampelmuse. Um Jupiter halten zu können, brauchen wir also selbst als Riese noch unsere ganze Hand“. In diesem Maßstab wären der Saturn ein Apfel, Uranus und Neptun zwei Erdbeeren (Venus wäre ebenfalls eine Erbse, Mars ein großes, rotes Pfefferkorn, Merkur und Pluto - für alle, die ihn immer noch mögen - zwei kleine Pfefferkörnchen). Fragt eine Schülerin oder ein Schüler nach der Größe der Sonne in diesem



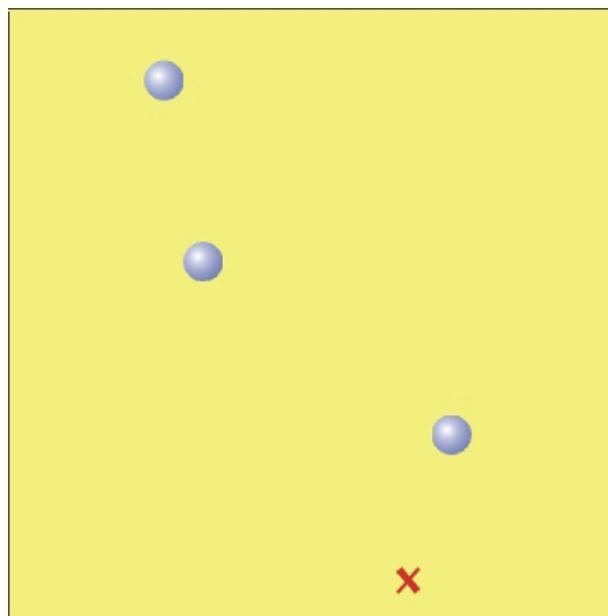
Maßstab, so müsste man dem erstaunten Kind antworten, dass sie etwa so groß wie ein Hüpfball wären. Hübsch ist es auch, die Planeten maßstabsgerecht als Kartonkreise auszuschneiden und bunt bemalt im Klassenzimmer aufzuhängen.

4. Swing-by-Manöver

Ein interessanter und erstaunlicher Aspekt von Raumsondenflügen sind die Swing-by-Manöver (Schwerkraftablenkung), bei denen Eigenbewegung und Schwerkraft großer Himmelskörper ausgenutzt werden, um den Kurs der Sonden umzulenken und sie zu beschleunigen (indem dem Himmelskörper **kinetische Energie** entzogen wird). Das Umlenken einer Sonde kann vereinfacht leicht auf dem Papier durchgespielt werden. Im Falle einer Voyager-Sonde mussten beispielsweise vier Swing-by-Manöver durchgeführt werden. Lassen wir die Schüler einmal folgende Situation auf dem Papier (Bild rechts) durchspielen: Eine Raumsonde befindet sich am Ort des roten Kreuzes. Sie soll die drei Planeten von unten nach oben bereisen. Wie ist die Flugroute einzuplanen?

Szenarien wie diese sind leicht aufzuzeichnen. In vielen Büchern (für Voyager beispielsweise in [HM83]) und auf vielen Internetseiten sind die geplanten Routen der realen Raumsonden abgebildet. Den hier skizzierten Aufgabenvorschlag kann man also beliebig anspruchsvoll konzipieren und auch die Eigenbewegung der Himmelskörper mit berücksichtigen.

[\(→zurück zum Anfang\)](#)



5. Bau eines Modells der Voyager-Sonde

Im Anhang dieses Aufsatzes finden Sie den Modellbogen für eine Voyager-Sonde zusammen mit einer Bauanleitung. Der Bausatz kann arbeitsteilig erstellt werden. Man könnte beispielsweise spielen, dass verschiedene, mit dem Bau von Sondenkomponenten beauftragte Firmen zusammenarbeiten müssen. Die Teile des Bausatzes sind zu diesem Zweck in vier Gruppen eingeteilt. Baugruppe A ergibt beispielsweise die Hochleistungsantenne, Gruppe B die Elektronikbucht, Gruppe C die thermonuklearen Reaktoren und Gruppe D den Instrumentenausleger. Diese vier Gruppen repräsentieren die wesentlichen Komponenten planetarer Raumsonden. Vergleiche mit dem Aufbau anderer Sonden wie Galileo oder Cassini können hier interessant sein. Wie auch immer das Modell eingesetzt wird, es soll den Schülerinnen und Schülern die Voyager-Sonde als technisches Wunderwerk näher bringen.



6. Bauanleitung

[\(→zurück zum Anfang\)](#)

Die Raumsonde *Voyager 2* wurde am 20. August 1977 mit einer Titan-III-E/Centaur-D1T Rakete von Cap Canaveral aus auf eine der erfolgreichsten Planetenreisen aller Zeiten geschickt. Nacheinander untersuchte sie den Jupiter (1979), den Saturn (1981) sowie die äußeren Riesenplaneten Uranus (1986) und Neptun (1989). Die Datenflut, die *Voyager 2* dabei zur Erde sandte, sollte unser Weltbild für immer verändern. Sie beobachtete schwefelspeiende Vulkanmonde, ausgedehnte Ringsysteme um alle großen Planeten, schluchtendurchfurchte Eistrabanten und schuf das bis heute einzige vom Rand des Sonnensystems aufgenommene Bild von unserer Erde. Noch bis in die Gegenwart dauern ihre Messungen des Sonnenwindes an, und für den Fall, dass eines Tages Außerirdische dieses Wunderwerk der Technik abfangen sollten, befindet sich an Bord eine in der Sprache der Mathematik verfasste Botschaft...

Der wesentliche Aufbau der Raumsonde *Voyager 2* wird von diesem vergleichsweise einfach konzipierten **Bastelbogen** (anhängendes Material) wiedergegeben: Die Baugruppe A (Teile A1 bis A9) ergibt die Hochleistungsantenne (High Gain Antenna) zur Kommunikation zwischen Erde und Raumsonde, die Baugruppe B (Teile B1 bis B4) fügt sich zur Elektronikbucht (Electronics Bay), in der die Rechnerelektronik zur Steuerung der Sonde untergebracht ist. Das Teil B3 ergibt darüber hinaus den Hydrazintank, der die Feinsteuerdüsen der Sonde versorgt, das Teil B4 ist die Abdeckung der Botschaft an die möglichen Außerirdischen. Die Baugruppe C (Teile C1 bis C4) ergibt den Baum mit den thermonuklearen Generatoren (RTG) zur Stromversorgung der Sonde und unter der Baugruppe D (Teile D1 bis D4) entsteht der Baum mit der Instrumentierung (Scan Platform), hier sind die meisten der elf wissenschaftlichen Experimente untergebracht. Teil D3 etwa zeigt eine Vorrichtung mit zwei Videokameras (Imaging Science System, ISS), die Teile D1 und D2 ergeben das kombinierte Infrarot-Radiometer-Interferometer-Spektrometer (IRIS), mit dessen Hilfe man das Licht der Planeten regenbogenartig zerlegen kann, um beispielsweise die chemische Zusammensetzung von deren Atmosphären zu untersuchen.

Der Bausatz *Voyager 2* ist im **Maßstab 1:24** ausgelegt. Zum Größenvergleich können deshalb Playmobil®-Figuren dienen. Soll zur Klassenraumgestaltung ein größeres Modell geschaffen werden, kann man den Bausatz natürlich auch größer kopieren. Falls Sie den Bausatz farblich gestalten möchten, finden Sie in der folgenden Übersicht Farbvorschläge:

Teile:	Farbe:
A1, A2, A3, A5, A6, A9, C2, C4, D2	weiß
A4, A8, C1, C3	grau/ anthrazit
A7, B1, B2, D1, D3, D4	dunkelblau
B3, B4	gelb/ gold

Es kann sinnvoll sein, die drei Bögen auf stärkeren, vielleicht sogar farbigen Karton zu kopieren, um dem späteren Modell mehr Stabilität zu verleihen. Ein Anritzen der Faltkanten ist grundsätzlich ratsam. Verschaffen Sie sich vor Beginn des Zusammenbaus bitte mit Hilfe der nachstehenden Explosionszeichnung einen Überblick über die einzelnen Teile des Modells. Die Nummern der Teile stehen stets außerhalb derselben. Kleinere Nummern auf den Teilen bezeichnen Kontaktstellen zu entsprechenden anderen Teilen. Fertigen Sie alle **vier Baugruppen** in der Reihenfolge der Zahlen.

Formen Sie zunächst Teil **A1** zu einer „Schüssel“ und verkleben Sie es an der vorgesehenen Lasche. Dann kleben Sie Bauteil **A2** mit der dreieckigen Zeichnung nach oben in das verbliebene Loch dieser „Schüssel“. Von unten wird Teil **A3** gegen geklebt. Teil **A4** wird alsdann zu einem Zylinder geformt und mit den Laschen von unten an Teil **A3** geklebt. Formen Sie dann Teil **A5** zu einem Zylinder. Nun kommen wir zu einem der schwierigeren Bauteile: Schneiden Sie zunächst die drei inneren, mit einem Kreuz versehenen Dreiecke von Teil **A6** aus. Danach wird das Bauteil an der Außenlinie ausgeschnitten. Bevor die drei Träger nach oben geklappt und mit der kreisförmigen Platte an den jeweiligen Strichmarkierungen verklebt werden, muss Teil **A5** auf den schwarzen Punkt in der Dreiecksmitte geklebt werden. Danach wird Teil **A6** auf die dreieckige Markierung von Teil **A2** geklebt. Formen Sie nun Teil **A8** zu einem Zylinder und kleben Sie es auf die kreisförmige Markierung von Teil **A7**. Kleben Sie weiterhin die Abdeckung **A9** von oben auf Teil **A8** und anschließend das ganze System aus **A7/A8/A9** mittig auf die kreisförmige Abschlussplatte von Teil **A6**. Damit ist die Baugruppe A (Hochleistungsantenne) fertig.

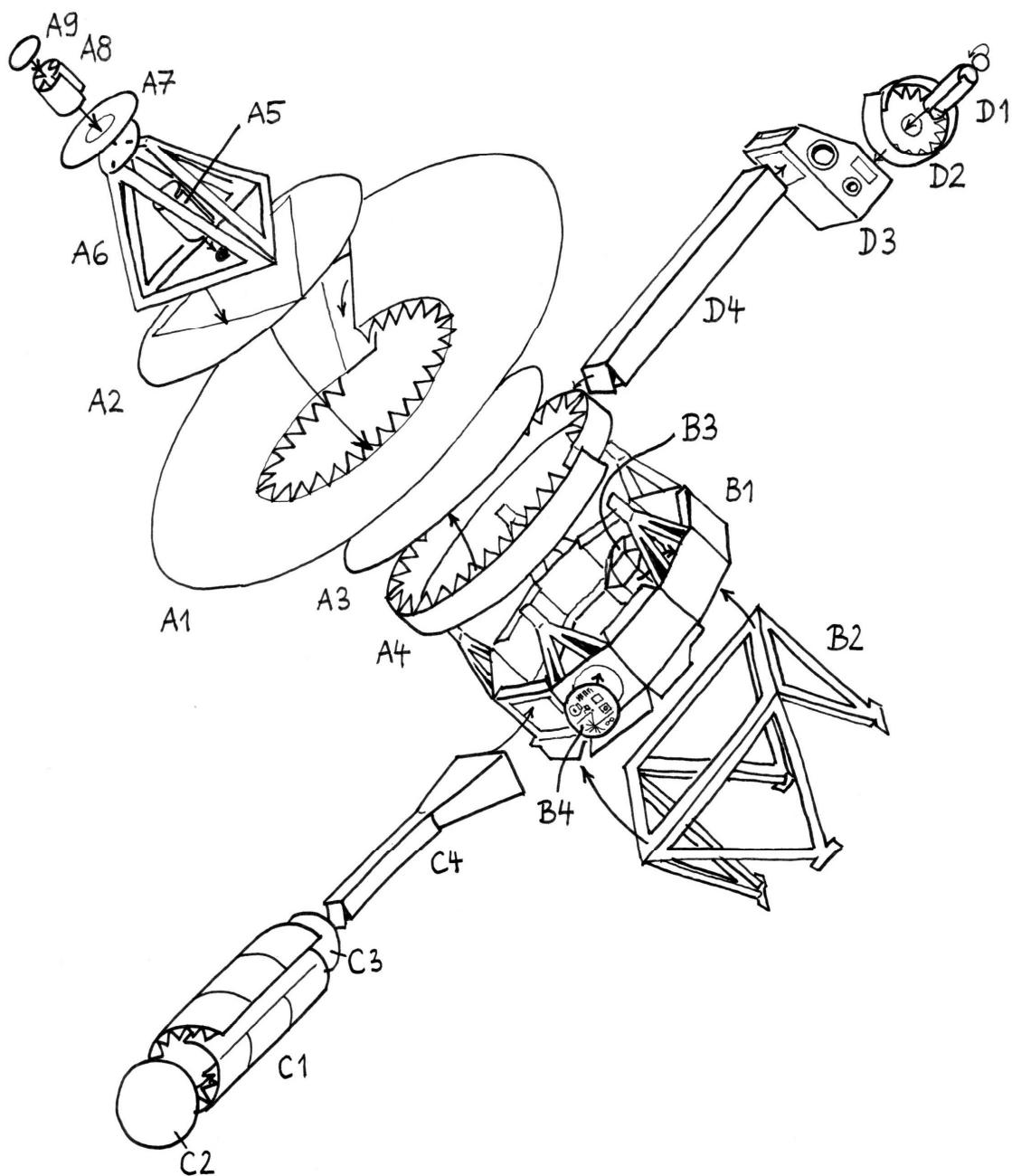
Die Baugruppe B beginnt mit dem schwierigsten Teil **B1** des Bausatzes. Schneiden Sie zunächst das mit einem Kreuz markierte Zehneck aus. Wenn Sie möchten, können Sie ebenfalls die fünf inneren Dreiecke der Tragpfosten ausschneiden. Danach wird das Bauteil entlang der Außenlinie ausgeschnitten. Bevor Sie das Bauteil verkleben, suchen Sie bitte den kleinen Pfeil auf einer der Klebelaschen. Dieser zeigt auf diejenige Seitenwand, an die später rückseitig der Hydrazintank (Bauteil **B3**) geklebt werden soll. Markieren Sie die Rückseite dieser Seitenwand mit einem kleinen Kreuz, damit Sie sie zu gegebener Zeit wieder erkennen. Die dem Zehneck zugewandten Klebelaschen müssen entlang eben dieses Zehnecks geklebt werden, die fünf unregelmäßig geformten Mikrometeoritenschilde sollen überstehen. Die fünf dem Zehneck abgewandten Laschen zwischen den Tragpfosten werden nur senkrecht umgeknickt, aber nicht verklebt. Nun kommen wir zu Bauteil **B2**. Hier werden zunächst die fünf mit Kreuzen markierten Innenbereiche (ein Rechteck, vier Dreiecke) ausgeschnitten, die Figur selbst dann an der Außenkante. Dann wird Teil **B2** an die markierte Stelle auf der zehneckigen Unterseite von Teil **B1** geklebt. Nun kommen wir zu Bauteil **B3**. Mit etwas Geduld sollte dieses Teil ein kugelähnliches Gebilde ergeben, das in der Realität den Hydrazintank darstellt. Mit einer der quadratischen Flächen soll dieses Bauteil an der zuvor von Ihnen selbst markierten Stelle auf der entsprechenden Innenseite des zehneckigen Versorgungsringes befestigt werden. Schließlich wird noch die Abdeckplatte der Botschaft an mögliche Außerirdische **B4** an der kreisförmig markierten Stelle angebracht. Damit ist die Baugruppe B fertig, die entstandene Elektronikbucht kann nun mit den fünf schmalen Klebelaschen oberhalb der Tragpfosten von innen am Teil **A4** der Hochleistungsantenne von Baugruppe A befestigt werden.

Die Baugruppe C beginnt mit dem zylinderförmig zu rollenden und verklebenden Bauteil **C1**. Dieses wird an den Enden, jeweils mittig, mit den Teilen **C2** bzw. **C3** abgeschlossen. Achten Sie darauf, dass die quadratische Markierung von Bauteil **C3** nach außen zeigt. An dieser Markierung wird der Zylinder aus **C1/C2/C3** an dem Bauteil **C4** befestigt. An diesem Bauteil ist zu beachten, dass die Verbindung zwischen den Klebelaschen am Ausleger an den mit Scheren markierten Stellen eingeschnitten werden müssen. Danach ist die Baugruppe C abgeschlossen. Der entstandene Baum mit den thermonuklearen Generatoren wird nun an der bezeichneten Stelle an das Bauteil **B1** der Elektronikbucht der Baugruppe B befestigt.

In Baugruppe D wird zunächst der beidseitig abgeschlossene Zylinder des Bauteils **D1** hergestellt. Aus Bauteil **D2** wird dann zunächst der mit einem Kreuz markierte kleine Kreis ausgeschnitten. Danach wird der halbseitig geöffnete, flache Zylinder dieses Bauteils geformt. Teil **D1** wird bis zur Markierung in die Öffnung von Teil **D2** eingeführt, so dass die größere

Seite nach hinten aus der Wandung von **D1** herausragt. Teil **D2** wird mit der Zylinderseite (vorzugsweise an der Klebenaht) an Teil **D3** geklebt und mit diesem Bauteil an den Baum **D4**. Danach ist diese Baugruppe abgeschlossen. Der entstandene Instrumentenbaum kann nun am Basisring der Hochleistungsantenne, also an Bauteil **A4**, befestigt werden. **Achtung:** Hierfür gibt es aus technischen Gründen aber keine eingezeichnete Stelle. Achten Sie bitte darauf, dass die beiden Ausleger aus Baugruppe C (Baum mit den thermonuklearen Generatoren) und Baugruppe D (Baum mit der Instrumentierung) auf genau gegenüberliegenden Seiten des Ringes der Elektronikbucht angebracht werden, wobei der Baum aus Baugruppe C am Ring der Elektronikbucht selbst, der Baum aus Baugruppe D etwas höher an Bauteil **A4** geklebt wird.

Nach Abschluss dieser Arbeiten ist das Modell fertig.



7. Lernziele

Die Schülerinnen und Schüler sollen...

- Planeten und Monde unseres Sonnensystems kennen lernen.
- Raumsonden als die wichtigen technischen Instrumente zur Untersuchung der Planeten und Monde kennen lernen.
- (fiktive) Flugrouten für Raumsonden zeichnen.
- ein Modell der Voyager-Sonde basteln.

8. Literatur

[Sa96] Carl Sagan: *Blauer Punkt im All*, München 1996

[HM83] Garry Hunt, Patrick Moore: *Saturn*, Freiburg 1983