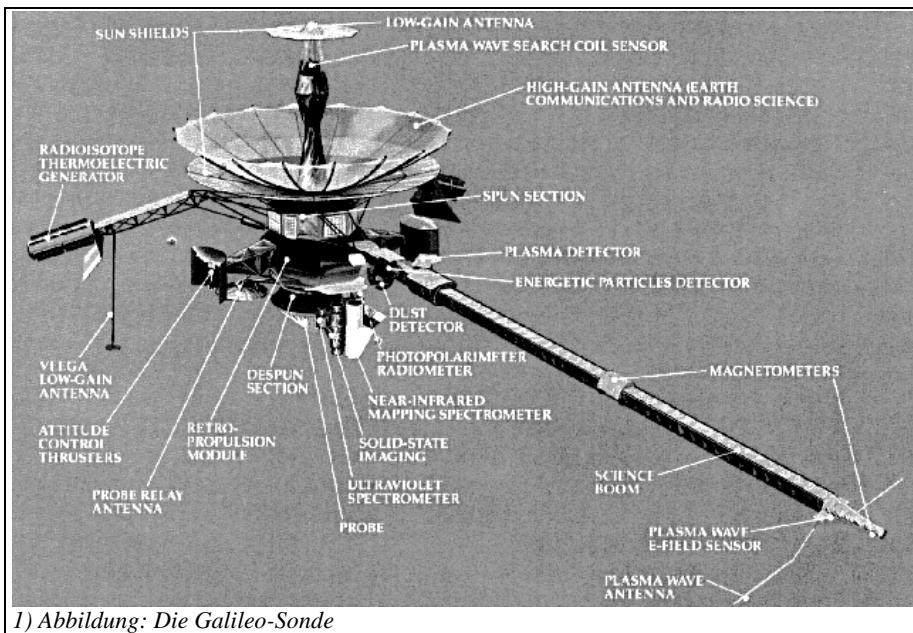


## Einleitung:

Die Mission von Galileo war sehr revolutionär, da nicht nur eine Sonde, sondern auch eine Atmosphärensonde (die sogenannte Probe) mitflog, die den Planeten Jupiter von innen her erforschte. Diese Probe wird lange vor ihrem Einsatz abgetrennt und stürzte in die Gasatmosphäre des grössten Planeten. Wegen dem Umfang der Mission sind die Kosten sehr hoch: 1.3 Mrd. \$, wobei ein grosser Teil auf die Benützung der Radaranlagen auf der Erde fällt.

## Beschreibung der Sonde und Vergleich mit der Voyager-Sonde:



1) Abbildung: Die Galileo-Sonde

Vergleicht man diese Sonde mit der Voyager-Sonde, so erkennt man, dass sie einander ähnlich sind. Doch bei genauerer Betrachtung erkennt man Unterschiede: Sternscanner, feste Kamera (Die Sonde muss geschwenkt werden, um den richtigen Bildausschnitt zu fotografieren.) und eine Vielzahl diverser Detektoren, die Daten über das Jupiterumfeld

aufzeichnen um dann online zur Erde zu senden. Die Sonde verfügt natürlich auch über einen leistungsfähigeren Computer mit mehr Speicher und einem Bandrecorder, der einem Videorecorder ähnelt. Die Qualität der Bilder ist einiges besser als zu Zeiten der Voyager-Sonden.

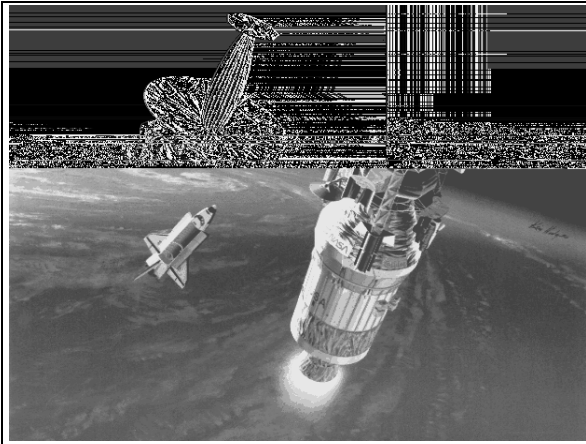
Hinzu kommt noch die Probe, die mit eigenen Geräten bestückt ist. Die Daten der Probe werden direkt zur Galileo-Sonde gefunkt und dort vorerst zwischengespeichert im RAM (~4MB) und auf dem Bandrecorder (~100MB). Anschliessend werden diese Daten aus Sicherheitsgründen achtmal zur Erde gefunkt. Eine direkte Weiterleitung zur Erde ist nicht möglich, da die Sonde zugleich auf die Probe und auf die Erde gerichtet sein müsste. Dazu kommt noch, dass die langsame Rundumantenne eine kleinere Übertragungsrate besitzt, verglichen mit dem Datenstrom von der Probe.

## Flugverlauf der Mission Galileo



2) Abbildung: Ida mit Mond

Etwa zur Zeit des Startes der Voyager-Sonden war der offizielle Beginn des Galileo-Projektes, inklusive der Probe-Mission. Der planmässige Start der Sonde war auf Januar 1982 gesetzt, doch der Startplan des Space Shuttles war so überfüllt, dass der Start auf Mai 1986 verschoben werden musste. Doch 1986 war das schwärzeste Jahr der NASA, Stichwort Chalanger-Explosion. Schlussendlich wurde die Galileo-Sonde am 18. Oktober 1989 mit der Atlantis auf ihre hoffnungsvolle Reise geschickt.



3) Abbildung: Freisetzen der Sonde

Von 1990 bis 1994 flog die Sonde zur Venus, zweimal zur Erde, zu den Astroiden Gaspra und Ida mit Mond. Die Flugbahn wurde so gewählt, dass die Schlussgeschwindigkeit der Sonde hoch wird, um schnell zu Jupiter zu gelangen, da Jupiter und Erde nicht mehr auf einer optimalen Bahn liegen. In der Fachsprache spricht man von einem Swing-By Manöver. Einem Himmelskörper wird bei einem Vorbeiflug ganz wenig Energie gestohlen. Diese Energie geht aber nicht verloren, dafür wird die Sonde schneller.

Zu dieser Zeit merkte man, dass die Hauptantenne der Galileo-Sonde sich nicht

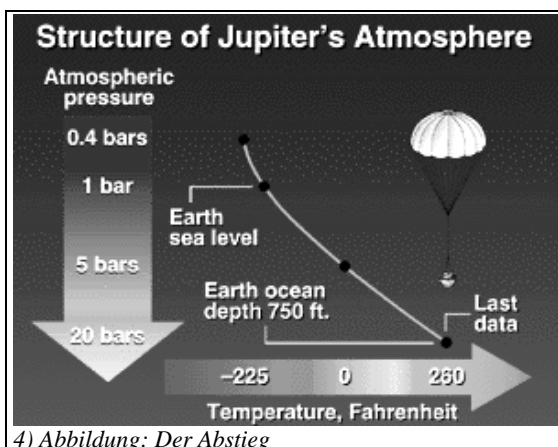
öffnen liess. Grund war ein in Vergessenheit geratenes Klebband, das bei einem Transport die Antenne zusammenhalten sollte. Leider ist dies immer noch der Fall. Sogar ausgefallene Ideen wurden ausprobiert, doch das Klebband war zu stark und liess sich nicht lösen. Also musste auf die schwache Rundumantenne zurückgegriffen werden, deren Übertragungsrate nur 10Bps betrug (10 Bit pro Sekunden). Deshalb wurden Lösungen gesucht, um dennoch Bilder zur Erde zu schicken. Stichworte sind Datenkomprimierung und eine gute Planung der Antennenbenützung. Ein weiteres Problem war das Band im Recorder: Der Tonkopf drehte sich während etwa 9 Stunden an der gleichen Stelle. Somit wurde befürchtet, dass das Band irgendwann einmal reißen könnte. Deswegen sind nur noch 2/3 des Bandes brauchbar.

Die Geräte wurden geprüft und kallibriert, Fotos geschossen und die Handhabung der gesamten Sonde erprobt. Als Beispiel: Während Langzeitbelichtungen durfte nichts Bewegliches benützt werden, weil sich das Gegendrehmoment negativ auf das Bild auswirken würde. So wurde auch die Software des Computers öfters upgedated. Einmal hatte die Sonde Probleme mit ihren Gyros (Kreisel), deshalb verlor die Sonde für eine gewisse Zeit ihre Orientierung.

Zu beachten war, dass die Programmierung der Sonde im voraus geschehen musste, denn die Radiosignale benötigen eine gewisse Zeit (bis ca. 65 Minuten), bis sie beim Ziel ankommen.

Am 7. Dezember 1995 fand der Höhepunkt der Mission statt: Die Probe trat in die Atmosphäre des Jupiters ein. Zugleich schwenkte die Galileo-Sonde in eine Jupiterumlaufbahn ein. Die erste Begegnung der Sonde mit Jupiter fand am 27 Juni 1996 statt, was fast live über Internet mitverfolgt werden konnte.

## Probe:



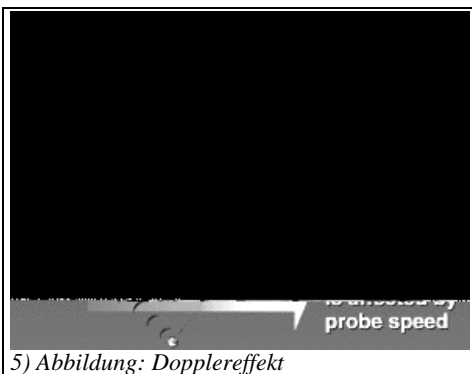
4) Abbildung: Der Abstieg

Im Juli 1995 trennte sich die Probe von Galileo und zu diesem Zeitpunkt schloß die Probe noch. Pünktlich am 7.12.1995 um 17:04 MEZ schaltete sich die Probe ein. Nun wurde die Probe mit ihren 339 kg Masse aktiviert, die Masse des Hitzeschildes betrug 152kg. Das Hitzeschild wurde um etwa 30-44% überdimensioniert, damit es ganz sicher zuverlässig arbeiten würde.

Eine andere Möglichkeit für einen Abstieg wären Bremsraketen, doch diese sind für diesen Zweck zu schwer und die Gefahr von haftenden Restgasen ist vorhanden (Diese Restgase könnten die Messungen in der Atmosphäre beeinflussen).

Nun konnte der Abstieg (Descent) beginnen, und die Instrumente sollten Echtzeitmessungen liefern. Doch der Anfang war für die Wissenschaft unspektakulär. Beim Eintritt musste die Geschwindigkeit von 47000m/s auf 120m/s gesenkt werden und dies in relativ kurzer Zeit (100 Sekunden). Somit waren hohe Beschleunigungen (ca. 47g) im Spiel. ( $\Delta v = a \cdot t$ ,  $\Delta v = 46880 \text{ m/s}$ ,  $t = 100 \text{ s} \Rightarrow a = 468.8 \text{ m/s}^2$ ). Die Geräte mussten also sehr robust gebaut sein, zugleich aber auch möglichst klein und leicht. Zudem durften sie nur wenig Strom verbrauchen. Die Geräte überstanden diese Tortur gut. Später wurde das nur noch 65kg schwere Hitzeschild abgetrennt und Fallschirme bremsten die Probe weiter ab. Jetzt kam die interessante Phase für die Wissenschaft: Alle Geräte wurden eingeschaltet und falls nötig kalibriert. Nun konnten sie während etwa 60 Minuten Daten aus der Jupiteratmosphäre liefern. Nachher verdampfte die Sonde in der Atmosphäre.

### Messungen der Probe:



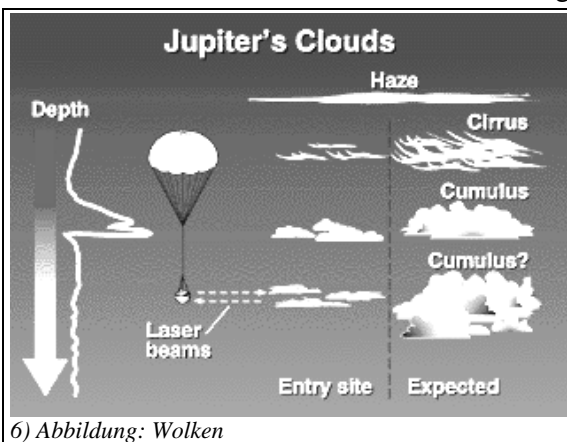
Erforscht wurde, welche Gase Jupiter im Inneren besitzt (Neutral Mass Spectrometer), und wie die Atmosphäre aufgebaut ist (Druck, Temperatur). Hier stellte sich auch die Frage nach dem Aufbau der Wolken (Nephelometer, Reflexion von Laserblitzen wird analysiert). Weiter wurde gemessen: Strahlungsbilanz (Radioaktivität, Gewitter, Magnetosphäre und Winde). Zur Erforschung der Winde sandt die 2. Sendestufe mit einer sehr genauen Frequenz. Somit konnten die Frequenzabweichungen sehr genau analysiert werden. Die Frequenzänderung kam durch Entfernungsänderungen zustande (Dopplereffekt).

Die Messdaten wurden direkt an die Relaisstation Galileo gesendet, dort auf Band und im RAM gespeichert. Die Signale der Probe wurden auch auf der Erde empfangen, doch ist der Signalabstand zum Rauschen zu gering, um zuverlässige Daten zu empfangen, denn die Probe hatte eine sehr schwache Sendeleistung.

### Resultate der gesamten Mission:

#### Probe:

In Jupiters Magnetfeld wurde ein weiterer Strahlungsgürtel entdeckt, der sehr intensive strahlende Helium-Ionen enthält, die eine hohe Energie besitzen. Als Frage bleibt noch, von wo dieses



6) Abbildung: Wolken

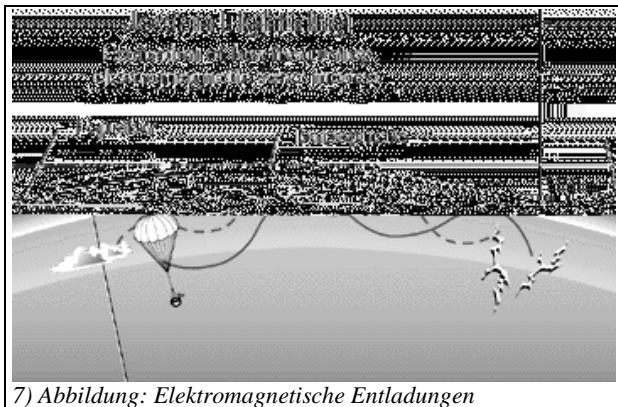
Helium kommt.

Dichte und Temperatur waren in der oberen Atmosphäre höher als erwartet. Folge: eine weitere Wärmequelle muss neben der Sonne existieren. Als Möglichkeit kommt nur noch abgestrahlte Energie aus dem Kern in Frage.

Die Eintrittsstelle der Probe erwies sich als ziemlich wolkenlos, nur eine einzige, deutliche Schicht wurde gesichtet. Man erwartete 3 Schichten. Unter dieser Schicht ging das Licht schlagartig zurück. Diese Schicht wird auf der Erde als Oberfläche gesehen und besteht aus Ammoniak-Kristallen. Folge: die anderen

Schichten sind sehr lückenhaft. Ziemlich sicher kann eine Schicht aus Wasser(eis) ausgeschlossen werden.

Die Schicht von 90 bis 140 km unter den sichtbaren Wolken entpuppte sich als trockene, sehr turbulente Schicht mit vielen Auf- und Abwinden. Die Winde in der Tiefe nehmen nicht ab sondern bleiben konstant bei 540km/h. Die Thermik des Planeten muss deshalb überarbeitet werden.



7) Abbildung: Elektromagnetische Entladungen

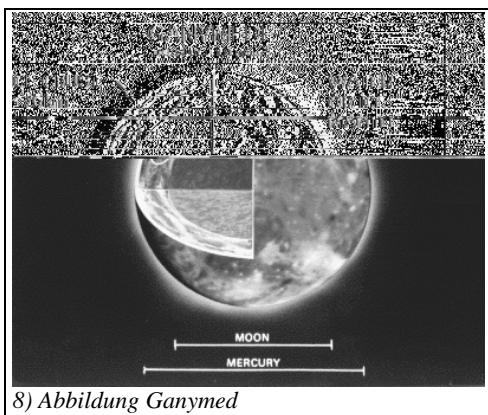
Es wurden keine Blitze in der Nähe gesichtet, Radiosignale zeigen aber eine gewisse Blitzaktivität (rund 10 mal weniger Entladungen, dafür aber stärkere als auf der Erde).

Bei den Gasen erwies sich, dass allgemein weniger da war als angenommen, ausser beim Wasserstoff. Auch vom Helium gab es weniger als auf der Sonne. Das meiste Helium befindet sich höchstwahrscheinlich im Zentrum. Eine Theorie sagt, dass das Helium im Laufe der Zeit zum Kern absank. Möglicherweise ist

dieses Helium Grund für die Temperaturänderungen.

Zusammengefasst: Diese Probemission war sehr erfolgreich, doch es wird noch eine Zeit dauern bis der Aufbau des Jupiters wieder in Ordnung gebracht wird, denn die Realität war zum Teil anders als angenommen. Dazu kommt noch, dass auf dem Jupiter nur ein kleiner Teil ausgemessen wurde und nicht der ganze Planet.

### Galileo:

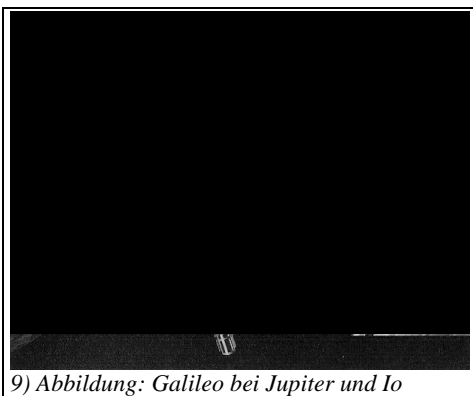


8) Abbildung Ganymed

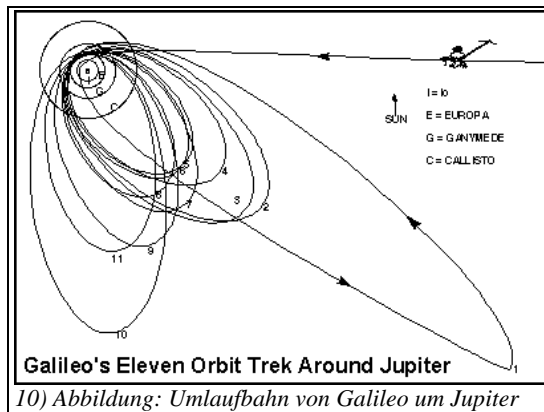
Die erste Io Passage war sowohl für die Wissenschaft, wie auch für die Technik interessant. Es war eine Belastungsprobe für die Elektronik. Es gab keine Power-on resets (Neustart des Computers) wie dazumal bei den Voyager Missionen. Grund dafür sind starke elektromagnetische Felder.

Interessant ist, dass Ganymed anscheinend aus sehr viel Wasser besteht, das von einem Eismantel an der Oberfläche umgeben ist.

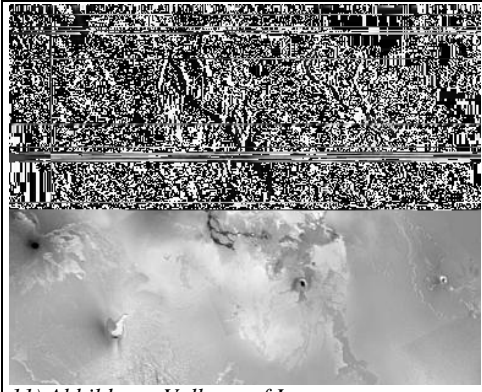
### Momentanes Ziel der Galileo-Sonde (1997):



9) Abbildung: Galileo bei Jupiter und Io



10) Abbildung: Umlaufbahn von Galileo um Jupiter



11) Abbildung: Vulkan auf Io

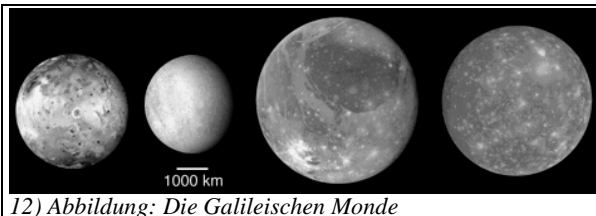
Sie hat nun zum Ziel die Monde und das Jupiterumfeld weiter zu erforschen. Hauptattraktion ist der Vulkanismus auf Io und der Aufbau von Europa; eine sehr interessante Angelegenheit für Geologen.

Die Galileo-Sonde wird solange um Jupiter kreisen, bis man den Wissensdurst einigermaßen gelöscht hat oder das Geld der NASA ausgeht oder bis die Sonde den Geist aufgibt. Das grösste Problem ist aber schon das Geld, da die Empfangsanlagen auf der Erde teuer sind und das Raumfahrtbudget der NASA nicht gut aussieht.

Als Hauptinteresse gilt die genauen Kenntnisse dieses Systems (Jupiter - Galileische Monde). Am Anfang

erwartete man eine Flut an Bildern, doch dies ist nicht der Fall, wegen der defekten Hauptantenne. Es ist keine schnelle Übertragung möglich, somit gibt es etwa pro Tag nur ein Bild.

Die aktuellsten Daten dieses Fluges zum Jupiter sind im Internet veröffentlicht. Von dort kann



12) Abbildung: Die Galileischen Monde

man auch die neusten Bilder und Theorien herunterladen. Schon von Anfang an wurde der ganze Flug so konzipiert, dass die Daten für jedermann sofort auf dem Internet verfügbar sind. Bei der NASA haben sie auch an das interessierte Publikum aus nicht wissenschaftlichen Kreisen gedacht.

## Literatur und Informationen:

- Sterne und Weltraum 4/96
- Sky & Telescope April 1996
- Sky & Telescope November 1996

### Internet-Pages:

- <http://www.jpl.nasa.gov/galileo> Ereignisse aus dem Jupiter-Orbit
- [http://ccf.arc.nasa.gov/galileo\\_probe/](http://ccf.arc.nasa.gov/galileo_probe/) Daten der Probe
- <http://quest.arc.nasa.gov/jupiter.html> „Online from Jupiter“-Projekt

Diese Arbeit wurde anlässlich einer Wahlkurses an der Kantonsschule Zürcher Unterland (<http://www.kzu.ch/>) am 5.12.1996 von Thomas Knoblauch ([t.knoblauch@gmx.net](mailto:t.knoblauch@gmx.net)) geschrieben und auch den Jungmitgliedern der Astronomischen Gesellschaft Zürcher Unterland (<http://agzu.astronomie.ch/>) als Skript abgegeben.