

# Mars Climate Orbiter und Mars Polar Lander (Raumfahrt)

Berühmt-berüchtigte Software-Fehler

Christian Glass

26.September 2003

Sommersemester 2003



Institut für Computer Visualistik  
Universität Koblenz-Landau  
Universitätsstraße 1, 56070 Koblenz  
cglass@uni-koblenz.de  
<http://www.uni-koblenz.de/~cglass>

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>3</b>
1.1	Warum ausgerechnet der Mars? . . . . .	3
1.2	Geschichte der Marsraumfahrt . . . . .	4
1.3	Computer in der Raumfahrt . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Softwarefehler bei Marsmissionen</b>	<b>7</b>
2.1	Mars Climate Orbiter . . . . .	7
2.2	Mars Polar Lander . . . . .	8
<b>3</b>	<b>"Faster, better, cheaper!"</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>Weitere Raumfahrtbugs</b>	<b>12</b>
4.1	Mariner 1 . . . . .	12
4.2	Phobos 1 . . . . .	13
4.3	Phobos 2 . . . . .	13
4.4	Mars Sojourner . . . . .	13
<b>5</b>	<b>Was bringt die Zukunft?</b>	<b>14</b>
<b>6</b>	<b>Bildquellen</b>	<b>15</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>16</b>

### Zusammenfassung

Diese Arbeit entstand im Sommersemester 2003 an der Universität Koblenz-Landau im Rahmen des Seminars "Berühmt-berüchtigte Software-Fehler" unter der Leitung von Bernhard Beckert.

Softwarefehler und ihre Vermeidung spielen eine große Rolle bei der Programmentwicklung. An Hand von "klassischen" Beispielen wurden in diesem Seminar gravierende Softwarefehler aus den verschiedensten Bereichen vorgestellt und analysiert. Insbesondere wurden hierbei jeweils die aufgetretenen Fehler und die Ursachen ihrer Entstehung beleuchtet. Darüber hinaus konnte man aber oft auch aufzeigen, durch welche Maßnahmen die Fehler hätten verhindert werden können und welche Rückschlüsse für die Zukunft gezogen werden können. Jede Seminararbeit identifizierte einige weitere Softwarefehler aus ihrem Themengebiet.

Die vorliegende Arbeit trägt den Titel "Mars Climate Orbiter und Mars Polar Lander" und beschreibt die beiden genannten Missionen, sowie die aufgetretenen Fehler. Aus dem Themenbereich "Raumfahrt" werden zudem weitere Beispiele für Softwarefehler angeführt.

## 1 Einführung

### 1.1 Warum ausgerechnet der Mars?



Abbildung 1: Der Mars

Der Mars ist der vierte Planet des Sonnensystems und damit unser felsiger Nachbar. Er besitzt zwei Monde, 'Phobos' und 'Deimos'. Seine Oberfläche besteht nahezu komplett aus rötlichem Sand und Felsen. Die rote Farbe beruht auf der Präsenz von Eisenoxid. An den Polen bilden sich je nach Sonneneinstrahlung

Eiskappen aus Trockeneis<sup>1</sup>. Seine Masse beträgt zirka 10% der Erdenmasse, der äußere Druck ist 100 mal schwächer als der Luftdruck auf der Erdoberfläche. Der Mars misst ungefähr 6800 km im Durchmesser. Die Atmosphäre besteht fast ausschließlich aus menschenfeindlichem Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>). Es sind Spuren von Sauerstoff (O<sub>2</sub>), Argon (Ar) und Wasserdampf (H<sub>2</sub>O) vorhanden. Die Temperaturen erreichen bei optimaler Sonneneinstrahlung gerade Mal +20° Celsius, im Schatten werden bis zu -120° C gemessen. Schon diese unwirtlichen Daten lassen erahnen, dass eine Marsmission besondere Anforderungen an die Technik stellt. Ein Aspekt also, den man schon bei der Projektierung berücksichtigen muss. Ein Marsjahr entspricht mit ca. 687 Tagen weniger als 2 Erdenjahren. Manchmal ist im Bezug auf den Mars auch von unserem "kleinen Bruder" die Rede. Dies liegt darin begründet, dass sich einige Ähnlichkeiten zwischen Erde und Mars beobachten lassen. Am deutlichsten wird das sicherlich bei der Betrachtung der Umdrehungszeit des Mars von etwa 24 Stunden und 37 Minuten (zum Vergleich die Erdumdrehungszeit: 23 Stunden, 56 Minuten und 4,1 Sekunden).

Der Abstand zur Erde schwankt zwischen 55 und 400 Millionen km. Der sinnvolle Zeitpunkt zum Start einer Marsexpedition bietet sich nur alle 2 Jahre (kurz bevor Mars und Erde in Konjunktion<sup>2</sup> stehen). Das "Marsjahr" 2003 ist eine astronomische Besonderheit, da der Mars der Erde so nahe wie seit 2000 Jahren nicht mehr kommt. Dies hat zur Folge, dass für das Jahr 2003 eine Reihe von Missionen zum Mars geplant sind. Schon mit einem einfachen Teleskop lässt sich bei diesen Entfernungen der Mars in unseren Breiten tief am Nachthimmel beobachten.

## 1.2 Geschichte der Marsraumfahrt

Kein anderer Planet fasziniert die Forscher so sehr wie der Mars. So ist es auch nicht weiter verwunderlich, dass, gemessen an der Anzahl, die meisten Planetenmissionen zum Mars gehen. Dabei kommt den Planeten die Bahn des Mars zu Hilfe. Der Mars ist, nach der Venus, der am schnellsten und mit geringem Energieaufwand zu erreichende Planet. Dennoch gehen -gerade auch in neuerer Zeiterstaunlich viele Missionen zum Mars schief, und das, obwohl bei anderen Planeten kaum noch Fehlschläge zu verzeichnen sind. Die erste Nation, die den roten Planeten mittels Sonden zu erforschen versuchte, war die UdSSR. Über die gescheiterten Missionen der Sowjetunion ist auch heute noch wenig bekannt. Diese Missionen wurden oft totgeschwiegen oder -wenn Sie wenigstens einen Erdborbit erreichten- als "Sputnik" oder "Kosmos" klassifiziert. Eine Namensgebung der gescheiterten sowjetischen Sonden fehlt aus historischen Gründen (kalter Krieg).

<sup>1</sup>gefrorenes Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)

<sup>2</sup>Die Konjunktion ist der Zeitpunkt, wenn zwei oder mehr Gestirne bezüglich einer Referenzebene (meist die Erdbahnebene) für den Beobachter scheinbar genau übereinander stehen.

Seit 1960 fanden bis heute (2003) insgesamt 35 Missionen zum Mars statt, 15 amerikanische, 18 russische, eine japanische und eine europäische<sup>3</sup>. Von diesen waren bisher nur die Missionen von Mariner 4, 6, 7, 9, Viking 1, Viking 2, Mars Global Surveyor, Mars Pathfinder und Mars Odyssee 2001 erfolgreich. Das ist nur ein Viertel aller durchgeführten Missionen. Von der größeren Zahl an russischen Missionen war keine einzige erfolgreich.

Doch auch die Amerikaner können mit ihrer Bilanz nicht zufrieden sein. Der letzte Verlust einer Planetensonde vor Erreichen des Planeten - außerhalb des Mars Programmes - war der Fehlstart von Mariner 1, der ersten (!) Planetensonde überhaupt. Statistisch gesehen scheiterten zwar 3/4 aller Marsmissionen, aber insgesamt nur 3% **aller** Raumfahrtmissionen.

### 1.3 Computer in der Raumfahrt

Elektronik im Allgemeinen -und Computer im Speziellen- unterliegen in der Raumfahrt besonderen Anforderungen. Sie müssen robust gegenüber harter Strahlung, extremen Temperaturschwankungen und dem Vakuum sein. Ein durchaus auch irdischer Anspruch ist, dass sie über einen geringen Stromverbrauch verfügen müssen. Diese Anforderungen lassen sich insbesondere mit modernern Hochleistungsrechnern oft nicht für Raumfahrtmissionen vereinbaren, sodass meist etwas leistungsärmere Computer eingesetzt werden. In fast allen Fällen ist die reduzierte Rechenleistung aber immer noch ausreichend, sodass die Missionsaufgaben bewältigt werden können. Dennoch führte bei der Marssonde 'Phobos 2' (s. Abschnitt 4.3) -unter anderem- eine zu geringe Rechenkapazität zum Totalverlust der Sonde.

---

<sup>3</sup>Für eine Übersicht s. Tabelle 1

Tabelle 1: Übersicht der Marsmissionen:

<b>Start</b>	<b>Missionstitel</b>	<b>Nation</b>	<b>Status</b>
10.10.1960	Mars A	UdSSR	Fehlschlag
14.10.1960	Mars B	UdSSR	Fehlschlag
24.10.1962	Mars C (Sputnik 22)	UdSSR	Fehlschlag
01.11.1962	Mars 1	UdSSR	Fehlschlag
04.11.1962	Mars D (Sputnik 24)	UdSSR	Fehlschlag
05.11.1964	Mariner 3	USA	Fehlschlag
28.11.1964	Mariner 4	USA	Erfolg
30.11.1964	Sond 2	USA	Fehlschlag
24.02.1969	Mariner 6	USA	Erfolg
27.02.1969	Mars E	UdSSR	Fehlschlag
03.03.1969	Mars F	UdSSR	Fehlschlag
27.03.1969	Mariner 7	USA	Erfolg
08.05.1971	Mariner 8	USA	Fehlschlag
10.05.1971	Mars G	UdSSR	Fehlschlag
19.05.1971	Mars 2	UdSSR	Fehlschlag
28.05.1971	Mars 3	UdSSR	Fehlschlag
30.05.1971	Mariner 9	USA	Erfolg
21.07.1973	Mars 4	UdSSR	Fehlschlag
25.07.1973	Mars 5	UdSSR	Fehlschlag
05.08.1973	Mars 6	UdSSR	Fehlschlag
09.08.1974	Mars 7	UdSSR	Fehlschlag
20.08.1975	Viking 1	USA	Erfolg
09.09.1975	Viking 2	USA	Erfolg
07.07.1988	Phobos 1	UdSSR	Fehlschlag
12.07.1988	Phobos 2	UdSSR	Fehlschlag
25.09.1992	Mars Observer	USA	Fehlschlag
04.11.1996	Mars Global Surveyor (MGS)	USA	Erfolg
16.11.1996	Mars 96	GUS	Fehlschlag
04.12.1996	Mars Pathfinder	USA	Erfolg
06.07.1998	Nozumi	Japan	Ankunft Jan. 2004
11.12.1998	Mars Climate Orbiter (MCO)	USA	Fehlschlag
03.01.1999	Mars Polar Lander (MPL)	USA	Fehlschlag
07.04.2001	Mars Odyssee 2001	USA	Erfolg
02.06.2003	Mars Express	Europa	Ankunft Dez. 2003
08.06.2003	Mars Exploration Rovers	USA	Ankunft Jan. 2004

Quelle: [Leia] und [Leib]

## 2 Softwarefehler bei Marsmissionen

### 2.1 Mars Climate Orbiter

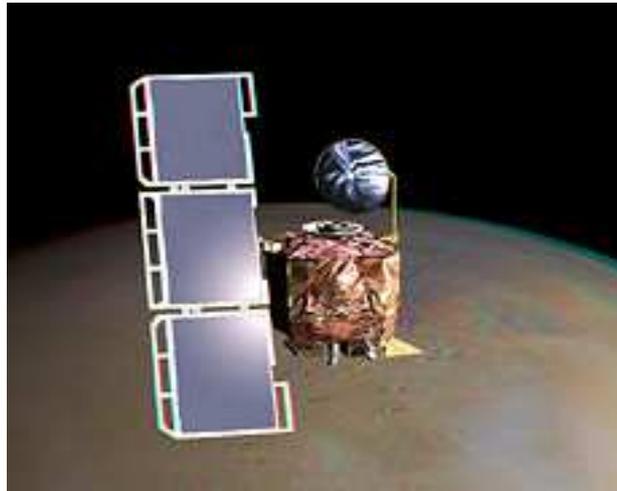


Abbildung 2: Mars Climate Orbiter

Der Mars Climate Orbiter (MCO) wurde als erster Teil einer Tandem-Marsmission dem Mars Polar Lander (MPL) vorausgeschickt. Sein Auftrag war, als Relaisstation für den Funkkontakt des Mars Polar Lander und weiterer Mars-Bodensonden mit der Erde zu dienen. Des Weiteren sollte er der erste interplanetare Wettersatellit werden.

Gemäß Missionsplan erfolgte am 11.12.1998 der Start von Cape Canaveral (Florida, USA). Der Eintritt in die Marsumlaufbahn erfolgte am 23.09.1999. Am 03.12.1999 sollte MCO die Funktion als Relaisstation für den MPL aufnehmen. Ab Februar 2000 war die wissenschaftliche Mission geplant, die Routinebeobachtungen der Atmosphäre, der Oberfläche und der Polkappen über ein komplettes Marsjahr umfassen sollte. Die Mission scheiterte beim Eintritt in die Marsumlaufbahn und war ein Totalverlust für die NASA. Die Kosten für den Orbiter beliefen sich auf 125 Millionen US-Dollar.

Die Katastrophe wurde vom hierfür eigens eingerichteten "Mars Climate Orbiter Mission Failure Board" unter der Leitung von Arthur Stephenson untersucht. Als Schlüsselfehler stellte der Ausschuss eine Verwechslung zwischen metrischen und englischen Maßeinheiten fest. Die Herstellerfirma Lockheed Martin ging bei der Konstruktion von englischen Maßeinheiten aus, sodass der Orbiter Eingaben in 'pound force' erwartete. Das Navigationsteam übermittelte Steuerbefehle jedoch in der, in der Wissenschaft international üblichen Einheit 'Newton'. Hieraus er-

gab sich eine Diskrepanz<sup>4</sup> zwischen den angenommenen Steuerbefehlen und den tatsächlich erfolgten Manövern um den Faktor 4,45. Sicherlich wären die falschen Einheiten aufgefallen, wenn man in der Eingabemaske Einheiten mit angegeben hätte- oder diese zwingend hätte angeben müssen. Insofern offenbarte sich hier auch ein softwareergonomischer Mangel. Die Navigationsfehler hielten sich die ganze Reise zum Mars über in Grenzen, sodass dieser Fehler bis zuletzt nicht bemerkt oder korrigiert wurde. Durch einen 170 km tiefer als geplanten Eintritt in den Marsorbit zerlegte sich der MCO, oder er verglühte in der Marsatmosphäre. Der Untersuchungsbericht nennt sieben weitere Gründe, die entweder direkt oder indirekt zum Scheitern der Mission beitrugen.

Zum Beispiel:

- unzureichende Kontrolle der gesamten Mission
- Inkonsistenzen bei Kommunikation und Training innerhalb des Projektes
- Fehlende Prüfung der Software und der Computermodelle auf Korrektheit

Die Schuldfrage hätte anhand des Schlüsselfehlers geklärt werden können. Somit wären das "Flight Operation Team" bei Lockheed Martin und das Navigationsteam des "Jet Propulsion Laboratory" (JPL) die Schuldigen. Doch macht man es sich damit sicherlich zu einfach! Es mangelte im Gesamtprojekt an ausreichender Kommunikation. Ein umfassenderes und vor allem an die neuen Anforderungen angepasstes Missionsmanagement hätte diese Katastrophe verhindern können.

## 2.2 Mars Polar Lander

Der Mars Polar Lander sollte den zweiten Teil des Marsprojektes bilden. Sein Auftrag war, mit Hilfe von fünf verschiedenen Instrumenten an Bord auf dem Mars nach Wasser zu suchen und Klimaforschung zu betreiben. Wissenschaftliche Geräte an Bord des MPL:

- Mars Volatiles and Climate Surveyor (MVACS)
  - Surface Stereo Imager (SSI)
  - Robotic Arm + Camera (RA+C)
  - Meteorology Package (MET)
  - Thermal and Evolved Gas Analyzer (TEGA)
- Mars Descent Imager (MARDI)

---

<sup>4</sup>1 Newton  $\approx$  0,225 pound force

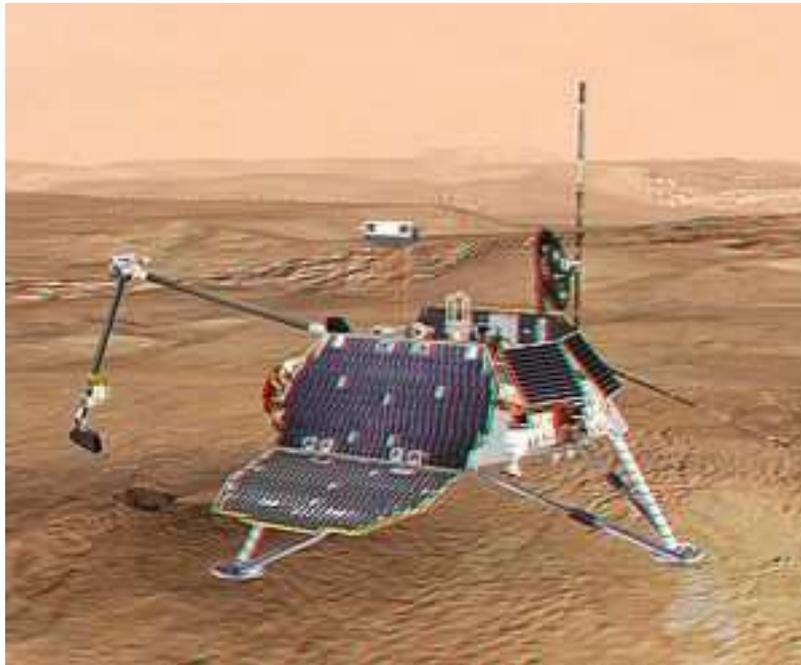


Abbildung 3: Mars Polar Lander

- Light Detection and Ranging (LIDAR)
- Mars Microphone

Er sollte gleichzeitig auch als Basisstation für die beiden mitgeführten "Deep Space 2" Mikrosonden "Amundsen" und "Scott" dienen. Nach dem erfolgreichen Start von Cape Canaveral am 03.01.1999 ging MPL auf seine Reise zum Mars. Die Ankunft auf dem roten Planeten war für den 03.12.1999 vorgesehen. Die Oberflächenmission hätte bis ca. Februar 2000 dauern können- falls MPL den widrigen Umständen auf dem Mars hätte stand halten können. Tatsächlich ging der 165 Millionen Dollar teure Mars Polar Lander jedoch bei der Landung verloren.

Beim Landemanöver meldeten Sensoren aufgrund fehlerhafter Software während des Ausfahrens des Landegestells fälschlicherweise Bodenkontakt, woraufhin die Bremsdüsen abgeschaltet wurden.

Dies geschah jedoch in 40 Metern Höhe, sodass der MPL mit ca. 80 km/h ungebremst auf die Marsoberfläche aufschlug. Diese Geschwindigkeit war 5 mal höher als beabsichtigt, und so gilt es als recht wahrscheinlich, dass der MPL bei dieser unsanften Landung starke Schäden davon getragen hatte, die ihn gänzlich ausser Funktion setzten.

Dieses "Shutdown-Szenario" konnte nicht verifiziert werden, da ein entsprechendes Kommunikationsgerät, das die Telemetriedaten während des Abstiegs hätte zur Erde senden können, aus Kostengründen nicht vorgesehen wurde. Dennoch wurde dieser Fehler aus sieben theoretisch möglichen Fehlerursachen als wahrscheinlichste Ursache heraus gestellt.

Der 154 Seiten starke Untersuchungsbericht nennt darüberhinaus weitere Gründe für das Misslingen der Mission. Es wurde mangelhaftes Training, ungenügende Tests, minimale Projektaufsicht, sowie ein Mangel an Mitarbeitern und vor allem Geld festgestellt. Die Mission war zu etwa einem Drittel unterfinanziert. Das zehnköpfige Polar-Lander-Team beim JPL war überarbeitet und stand unter extremem Druck, die Kostenbeschränkungen und den Zeitplan einhalten zu müssen. Die Mitarbeiter hatten eine 60-Stunden-Woche, einige arbeiteten sogar 80 Stunden pro Woche.

Vermutlich hätte es eine einzelne Zeile Code getan, die -rechtzeitig an den MPL gesendet- das frühzeitige Abschalten des Antriebs verhindert hätte. Der Untersuchungsbericht listet nicht weniger als 22 Empfehlungen auf, die aufgrund der Ergebnisse der Untersuchungen umzusetzen wären.

Die Liste umfasst unter anderem:

- stärkere Kontrollen bei den Vertragsfirmen
- mehr Tests der Flugkomponenten vor dem Start und
- weniger Überstunden der Projektmitarbeiter.

Für künftige Mars-Landeaktionen wurden 23 Empfehlungen ausgesprochen. Beispielsweise:

- Verbesserte Kommunikationseinrichtungen (Um einen "Informations-blackout" wie ihn die Navigatoren des MPL hatten, zu verhindern.)
- besserer Antrieb
- bessere thermische Systeme.
- bessere Software
- stabilere Konstruktion

Die NASA arbeitet seit der Bekanntgabe der Untersuchungsergebnisse daran, die Kommunikation, das Training und die Überwachung ihrer Programme zu verbessern. Es werden nun Finanzmittel in Reserve gehalten, um die Vorbereitung künftiger Projekte in ausreichendem Umfang sicher zu stellen.

Das Konzept "faster, better, cheaper" wird beibehalten, aber man wird sich nun deutlich stärker darauf konzentrieren, die Missionen *besser* zu machen.

### 3 "Faster, better, cheaper!"

Anfang der 90er Jahre strukturierte die NASA ihre Organisation zur Erkundung des Weltraums neu. Die Ingenieure und Wissenschaftler sollten nun in kürzeren Abständen kostengünstigere und dafür weniger umfangreiche Missionen umsetzen.

Ein erfolgreiches Sparprogramm war das Pathfinder-Projekt mit 270 Millionen US-Dollar. Wenn man sich die Kosten für frühere Projekte zu Gemüte führt, ist dies vergleichsweise preiswert. Die Sonden Galileo (Jupiter) und Cassini (Saturn) kosteten jeweils alleine mehr als 1 Milliarde US-Dollar! Bei heutigen Missionen geht man von der sog. 80/50-Regel aus. Man kann durch nur 80% der Kapazitäten einer Mission 50% der Kosten einsparen<sup>5</sup>. Dies liegt darin begründet, dass mit wachsender Komplexität die Kosten exponentiell ansteigen.

Im Jahr 2001 konnte man 5 Mal mehr Starts und eine Reduktion der Planungs-dauer von 8 auf 5 Jahre registrieren. Vom 20-Milliarden-US-Dollar-Budget ging "nur" Hardware im Wert von 500 Millionen US-Dollar verloren- eine Erfolgsquote von 95%. Dennoch stieg die Zahl der Fehlschläge während des "Faster, better, cheaper"- Konzeptes an, weshalb auch kritische Stimmen laut wurden. Die NASA stieß hier auf Probleme, die symptomatisch waren für die generelle Lage der Luft- und Raumfahrtindustrie. Insgesamt führt die Entwicklung zu einer immer stärker kommerziellen Orientierung. Man möchte weniger wirtschaftliche Risiken eingehen. Durch die billigen Missionen nimmt man gerne in Kauf, ein paar Missionen zu verlieren- sie kosten ja nicht mehr so viel.

Einige Experten waren der Meinung, dass das Konzept an sich ein Erfolg sei, es müsse nur etwas modifiziert werden. Außerdem müssten die Mitarbeiter die Untersuchungsberichte auch lesen und Möglichkeiten der Umsetzung der Empfehlungen diskutieren. Schätzungen zufolge hätten 60-70% der Empfehlungen direkt umgesetzt werden können. Es wurde eine Datenbank angelegt, um das gesammelte Wissen vergangener Raumfahrtmissionen auch auf künftige Missionen anwenden zu können. Dieses "NASA Lessons Learned Information System (LLIS)" [NAS] genannte System soll der Wiederholung vergangener Fehlschläge und Katastrophen vorbeugen und der NASA den früheren Ruf als Inbegriff für Sicherheit, Verlässlichkeit und Qualität bei der Planung von Hard-, Software, Einrichtungen und Prozeduren zurückbringen.

Übersicht über die ersten "Faster, Better, Cheaper"-Projekte [McC01]:

- Discovery Program
  - Near Earth Asteroid Rendezvous (NEAR), ab 1996

---

<sup>5</sup>Genaue Zahlen können variieren.

- Mars Pathfinder, ab 1996
- Lunar Prospector, ab 1998
- Stardust, ab 1999
- New Millenium Program
  - Deep Space 1, ab 1998
  - Deep Space 2, ab 1999
- Mars Surveyor Program
  - Mars Global Surveyor, ab 1996
  - Mars Climate Orbiter, ab 1998
  - Mars Polar Lander, ab 1999
- Small Explorer Program (SMEX)
  - Solar, Anomalous and Magnetospheric Particle Explorer (SAMPLEX), ab 1992
  - Fast Auroral Snapshot Explorer (FAST), ab 1996
  - Submillimeter Wave Astronomy Satellite (SWAS), ab 1998
  - Transition Region and Coronal Explorer (TRACE), ab 1998
  - Wide Field Infrared Explorer (WIRE), ab 1999
- Small Satellite Technology Initiative
  - Lewis, ab 1997
  - Clark Earth Observing Satellite, ab 1998

## 4 Weitere Raumfahrtbugs

### 4.1 Mariner 1

Die Venussonde Mariner 1 wurde am 28.07.1962 von Cape Canaveral gestartet und sollte Radaraufnahmen von der Venus durch deren dicke Wolkenschichten hindurch aufnehmen. Vier Minuten nach dem Start wendete die Sonde jedoch und versank im Atlantischen Ozean. Die Rakete hatte kurz nach dem Start durch einen Antennenfehler den Kontakt mit dem Leitsystem verloren. Anschließend übernahm die Notfall-Raketensteuerung, die jedoch einen kleinen Softwarefehler

enthielt. Gerüchten zufolge soll der Programmierer ein Komma statt eines Punktes in einer Schleife verwendet haben. Diese Erklärung ist unter Experten allerdings umstritten. Wahrscheinlicher ist, dass eine Glättungsfunktion einen Fehler enthielt. So sollten kleine, unkritische Geschwindigkeitsunterschiede der Rakete als kritisch eingestuft worden sein. Die Raketenbooster hätten auf diese Weise falsche Steuerbefehle bekommen.

## 4.2 Phobos 1

Die russische Sonde wurde am 07.07.1988 gestartet und hatte zur Aufgabe, die Sonne und vor allem den Mars näher zu erforschen. Der zum Totalverlust führende Fehler trat am 02.09.1989 auf. Ursache war das Senden eines falschen Steuerungssignals. Dies hatte zur Folge, dass die Sonde sich von der Sonne weg drehte und keine Energie mehr bekam. Somit war die Sonde nicht mehr steuerbar und die Mission gescheitert.

## 4.3 Phobos 2

Der Start der Schwestersonde von Phobos 1 erfolgte am 12.07.1988. Der Fehler, der schließlich zum Verlust der Sonde führte, trat am 27.03.1989 auf. Als Auslöser eines Computerausfalls wird eine elektrische Aufladung in der Nähe der Sonde angenommen. Zu den tieferen Ursachen zählen aber zweifelsohne die mangelnde Autonomie der Sonde<sup>6</sup>, die fehlende Trennung von Instrumenten und Flugeinheit und die zu kleine installierte Computerkapazität. Letztere hatte nämlich dafür gesorgt, dass bei der Planung kein "Safe Mode" vorgesehen wurde, der die Sonde hätte retten können. Phobos 2 meldete sich nach einer Orbitaufnahme nie mehr.

## 4.4 Mars Sojourner

Der Sojourner wurde an Bord des Mars Pathfinder am 04.12.1996 ins All geschossen und erreichte am 04.07.1997 den Mars. Er ist der Microrover<sup>7</sup> der Mars Pathfinder-Mission. Er hatte ein Stereo-Kamerasystem, ein Röntgenstrahlen-Spektrometer und Analysegeräte für Bodenproben an Bord. Im Wesentlichen arbeitete der Sojourner hervorragend und lieferte sehr gute Missionsdaten. Der Rover hatte jedoch einen kleinen Computerfehler, der dazu führte, dass er hin und wieder abstürzte und bis dahin noch nicht gespeicherte Daten verloren gingen.

Ursache dieses Fehlverhaltens war die Prioritätsumkehr bei mehreren Anforderungen verschiedener Priorität [Huc99]:

---

<sup>6</sup>Analogie in der ST: Trennung von Oberfläche und Funktion

<sup>7</sup>kleines Bodenfahrzeug



Abbildung 4: Rover Sojourner

Im Bordcomputer des Sojourner steht ein Informationsbus als Shared-Memory-Bereich zur Datenübertragung zwischen verschiedenen Komponenten zur Verfügung. Hierbei sei:

- (H) der Bus-Management-Task zum Datentransport.  
Er hat die höchste Priorität und kommt häufig vor.
- (M) der Kommunikations-Task mit mittlerer Priorität und langer Dauer.  
(M) bekommt stets Vorzug vor (N), da er eine höhere Priorität besitzt.
- (N) der Eintrag von meteorologischen Daten.  
Er hat eine niedrigere Priorität, tritt selten auf und wenn, dann nur kurz. Die Ausführung von (N) blockiert die Ausführung von (H).

Es kam zu einer Prioritätsumkehr in folgender Situation:

- (N) wird ausgeführt.
- (H) will arbeiten, wartet aber auf Ende von (N).
- (M) tritt auf, unterbricht (N), (H) ist weiter blockiert.

Ein 'watchdog' bemerkte nach einiger Zeit, dass (H) nicht ausgeführt wird, und befiehlt den Neustart des Systems.

## 5 Was bringt die Zukunft?

In ferner Zukunft stehen sicher auch bemannte Raumfahrtmissionen zu Planeten wie dem Mars an. Bis dahin ist es jedoch unabdingbar, Software- und Planungsfehler in den Griff zu bekommen, um das Leben der Astronauten zu schützen.



Abbildung 5: SciFi: Marskolonie

Softwarefehler lassen sich durch verbesserte Testverfahren oder Verifikation erkennen und beheben. Die Bereitschaft, aus den Fehlern der Vergangenheit zu lernen und offen zu sein für neue Vorgehensweisen und Mentalitäten ist hilfreich zum Abstellen von Planungsfehlern bei der Eroberung des Weltraums. Sonden - besonders die zu weit entfernten Zielen- sind bisher stets vernachlässigbar klein und leicht gewesen im Vergleich zu der Ausrüstung, die bemannte Weltraummissionen benötigen. Für solche Missionen ist also eine extreme Verbilligung der Frachtkosten für den Transport ins All erforderlich. Nicht zu vergessen ist die Notwendigkeit der Etablierung neuer Technologien, wie z.B. dem elektrischen Ionenantrieb.

Neue Technologien bedürfen aber -eher noch als die Etablierten- besonders ausgiebigen Test vor dem praktischen Einsatz. Neuerungen in der Technik sind in der Geschichte immer ein Motor für das Erreichen neuer Ziele gewesen- es bleibt zu hoffen, dass in Zukunft Software und Technik immer Zuverlässiger wird und dass Folgen schadbedingter Ausfälle minimiert werden können.

## 6 Bildquellen

Abbildung 1 (modifiziert):

<http://www.gsfc.nasa.gov/gsfsc/spacesci/pictures/20020806ngst/mars.jpg>

Abbildung 2: <http://mars.jpl.nasa.gov/3D/images/mars-mco-2sm.jpg>

Abbildung 3: <http://mars.jpl.nasa.gov/3D/images/mpl-site2-sm.JPG>

Abbildung 4: <http://mars.jpl.nasa.gov/MPF/rovercom/images/sojrov4.jpg>

Abbildung 5: [http://www.nuclearspace.com/images/articles/mars\\_colony.jpg](http://www.nuclearspace.com/images/articles/mars_colony.jpg)

**Alle Abbildungen sind © ihrer Urheber!**

Das Kopieren und die Weiterverwendung sind ohne das Einverständnis ihrer Ur-

heber nicht gestattet!

## Literatur

- [Cow01] Keith Cowing. Retooling nasa's "faster-better-cheaper" approach to space exploration. <http://www.spaceref.com>, 15.01.2001.
- [Dav00] Leonard David. Nasa report: Too many failures with faster, better, cheaper. <http://www.space.com>, 13.03.2000.
- [Hov00] Paul Hovertsen. Engine cutoff doomed polar lander. <http://www.space.com>, 28.03.2000.
- [Huc99] Thomas Huckle. Kleine bugs, große gaus. <http://atzenger18.informatik.tu-muenchen.de/persons/huckle/>, 02.12.1999.
- [Leia] Bernd Leitenberger. Missionen zum mars teil 1 (homepage). <http://www.bernd-leitenberger.de>.
- [Leib] Bernd Leitenberger. Missionen zum mars teil 2 (homepage). <http://www.bernd-leitenberger.de>.
- [McC01] Howard E. McCurdy. *Faster, Better, Cheaper*. The John Hopkins University Press, 2001.
- [NAS] NASA. Nasa lessons learned information system. <http://llis.nasa.gov>.
- [NAS99] NASA. Mars climate orbiter mishap investigation board phase i report. <ftp://ftp.hq.nasa.gov>, 10.11.1999.