

Mars Climate Orbiter und Mars Polar Lander (Raumfahrt)

Christian Glass

04.August 2003



Institut für Computer Visualistik
Universität Koblenz-Landau
Universitätsstraße 1, 56070 Koblenz
cglass@uni-koblenz.de

<http://www.uni-koblenz.de/~cglass>

Rover “Sojourner“ (Pathfinder-Mission)





Mars- der rote Planet, unser felsiger Nachbar.





- ❑ 4. Planet des Sonnensystems
- ❑ 2 Monde (Phobos und Deimos)
- ❑ Masse \approx 10% der Erdenmasse
- ❑ Äußerer Druck 100 Mal schwächer
- ❑ Durchmesser \approx 6800km
- ❑ Atmosphäre: CO₂, Spuren von O₂, Ar und H₂O



- ❑ Bahngeschwindigkeit ≈ 24 km/s
- ❑ 1 Marsjahr ≈ 687 Erdentage
- ❑ Umdrehungszeit ≈ 24 Stunden, 37 min
- ❑ Temperatur $+20^\circ$ C bis -120° C
- ❑ Abstand zur Erde: 55 bis 400 mill. km

“kleiner Bruder der Erde“



❑ Mars Climate Orbiter (MCO)



❑ Mars Polar Lander (MPL)



Mars Climate Orbiter (MCO)





Auftrag:

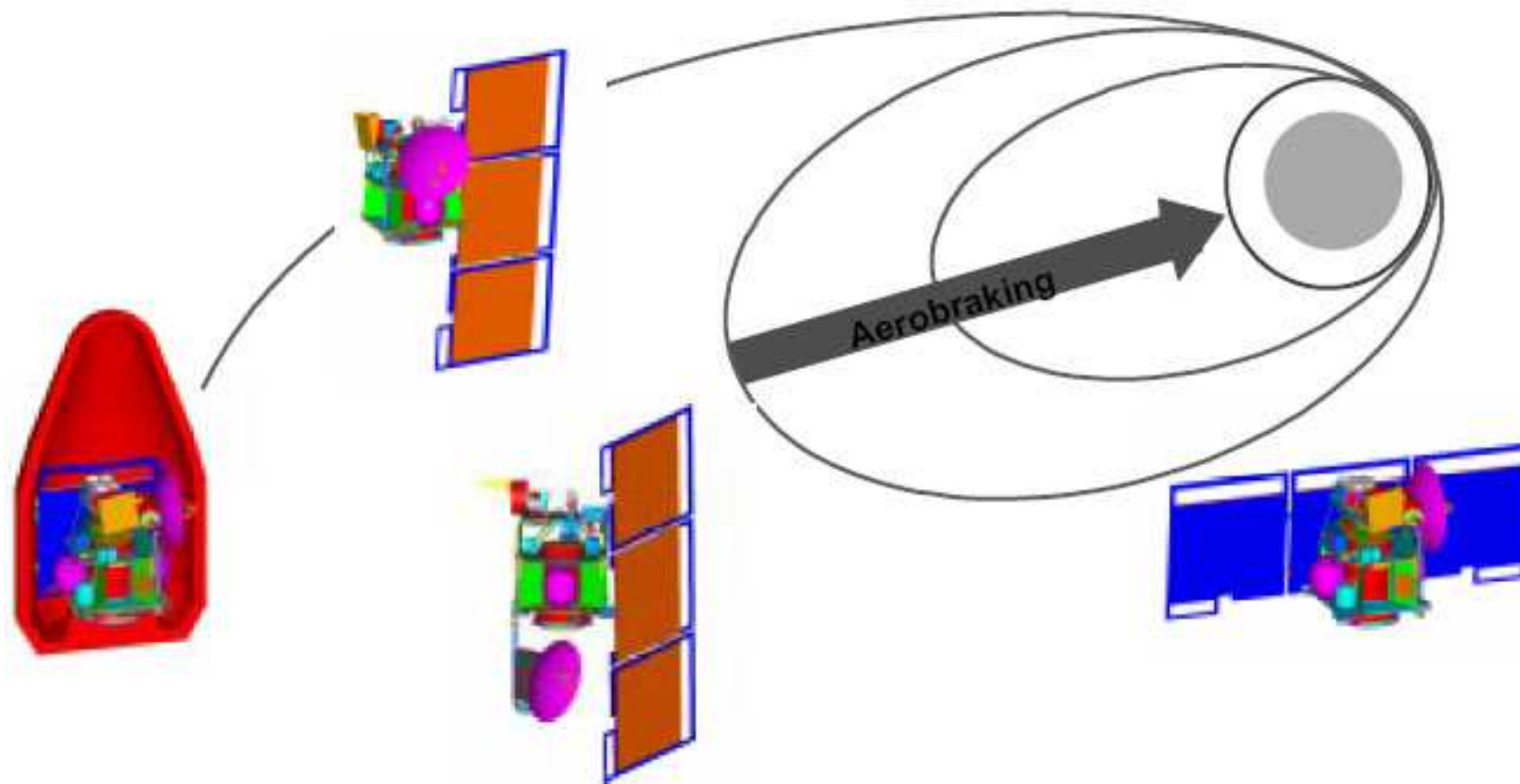
Begleitraumschiff und Relaistation für den MPL, Klimaforschung.

Zeitplan:

- 11.12.1998 Start
- 23.09.1999 Eintritt in die Marsumlaufbahn
- 03.12.1999 Beginn der Funktion als Relaistation für MPL
- ab Feb. 2000 Beginn der wiss. Mission

(Routinebeobachtungen der Atmosphäre, Oberfläche und den Polkap-
pen über ein komplettes Marsjahr.)

Mars Climate Orbiter (MCO)





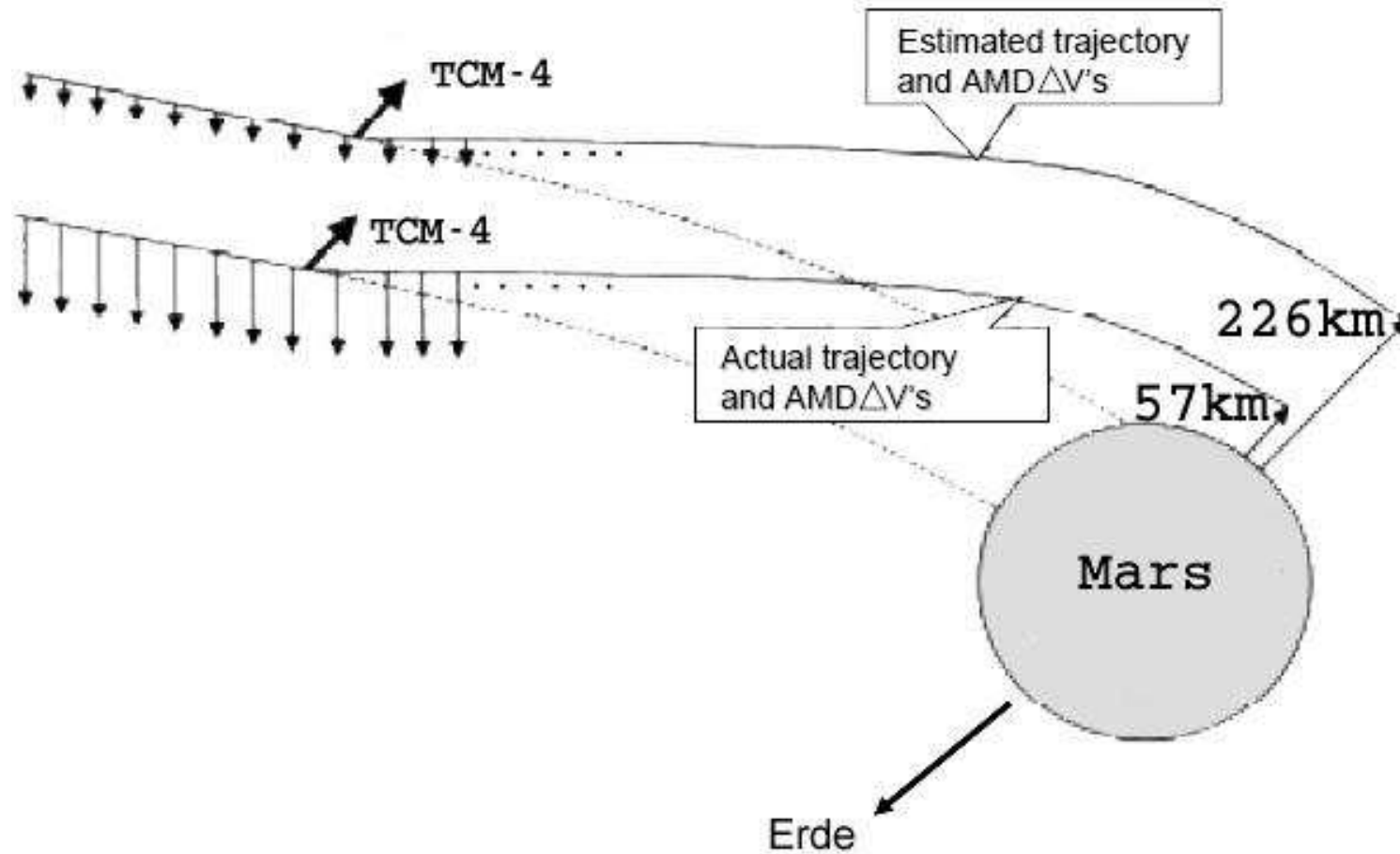
Schlüsselfehler:

Verwechslung zwischen metrischen und englischen Maßeinheiten
(1 Newton \approx 0,225 pound force; Unterschied = Faktor 4,45!)

Weitere Fehler:

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

Mars Climate Orbiter (MCO)





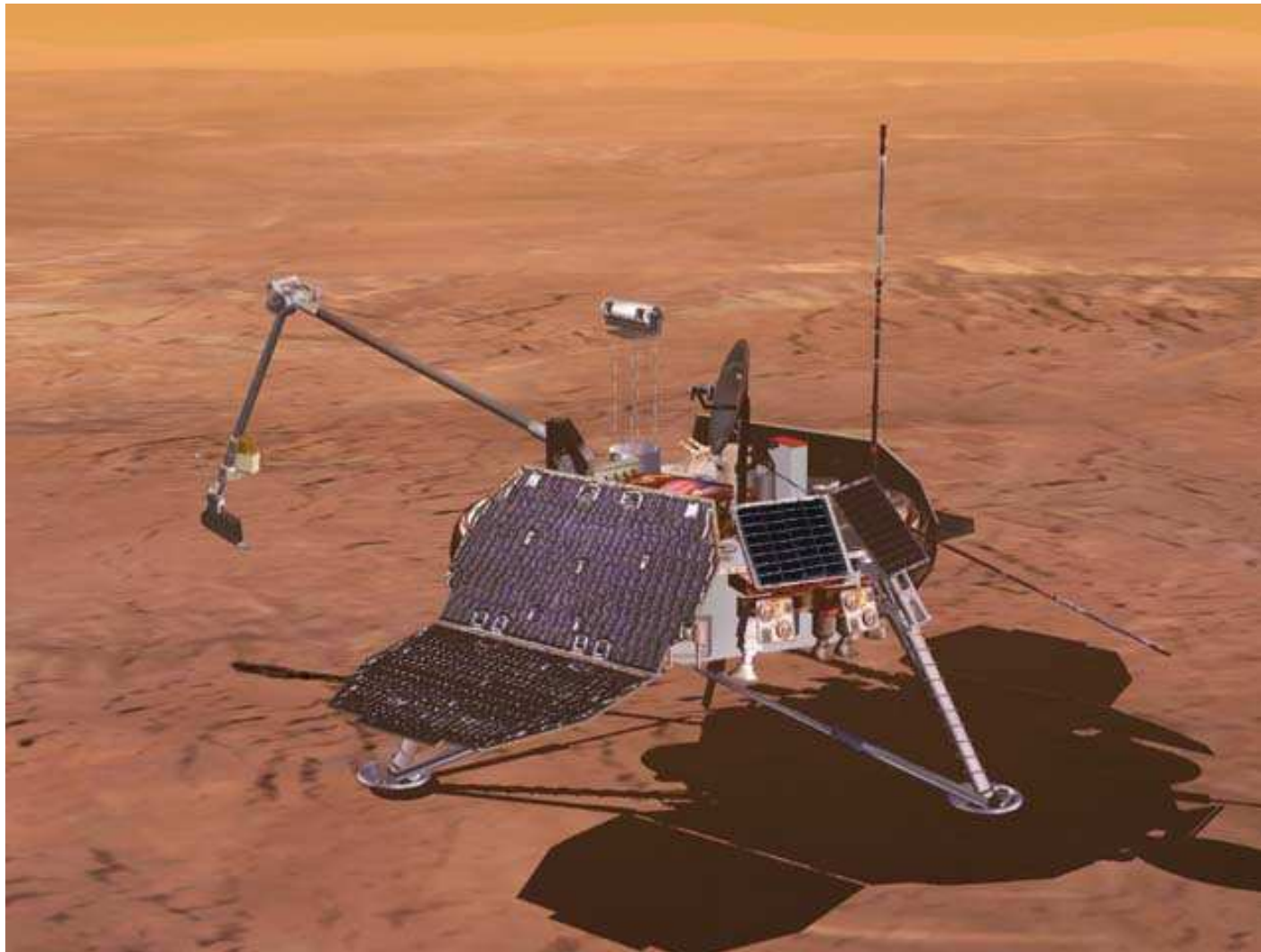
Wie hätte die Katastrophe verhindert werden können?

- konsistenter Einsatz metrischer Maßeinheiten
- verbesserte Teamkommunikation

“Schuldige“:

- “Flight Operation Team“ bei Lockheed Martin
- Navigationsteam bei “Jet Propulsion Laboratory“ (JPL)

Mars Polar Lander (MPL)





Auftrag:

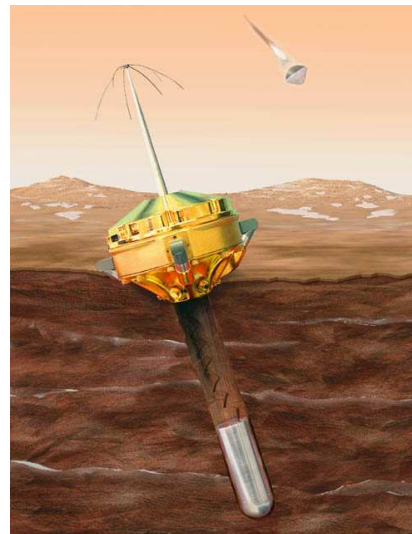
Suche nach Wasser auf dem Mars, Klimaforschung.

Wissenschaftliche Geräte:

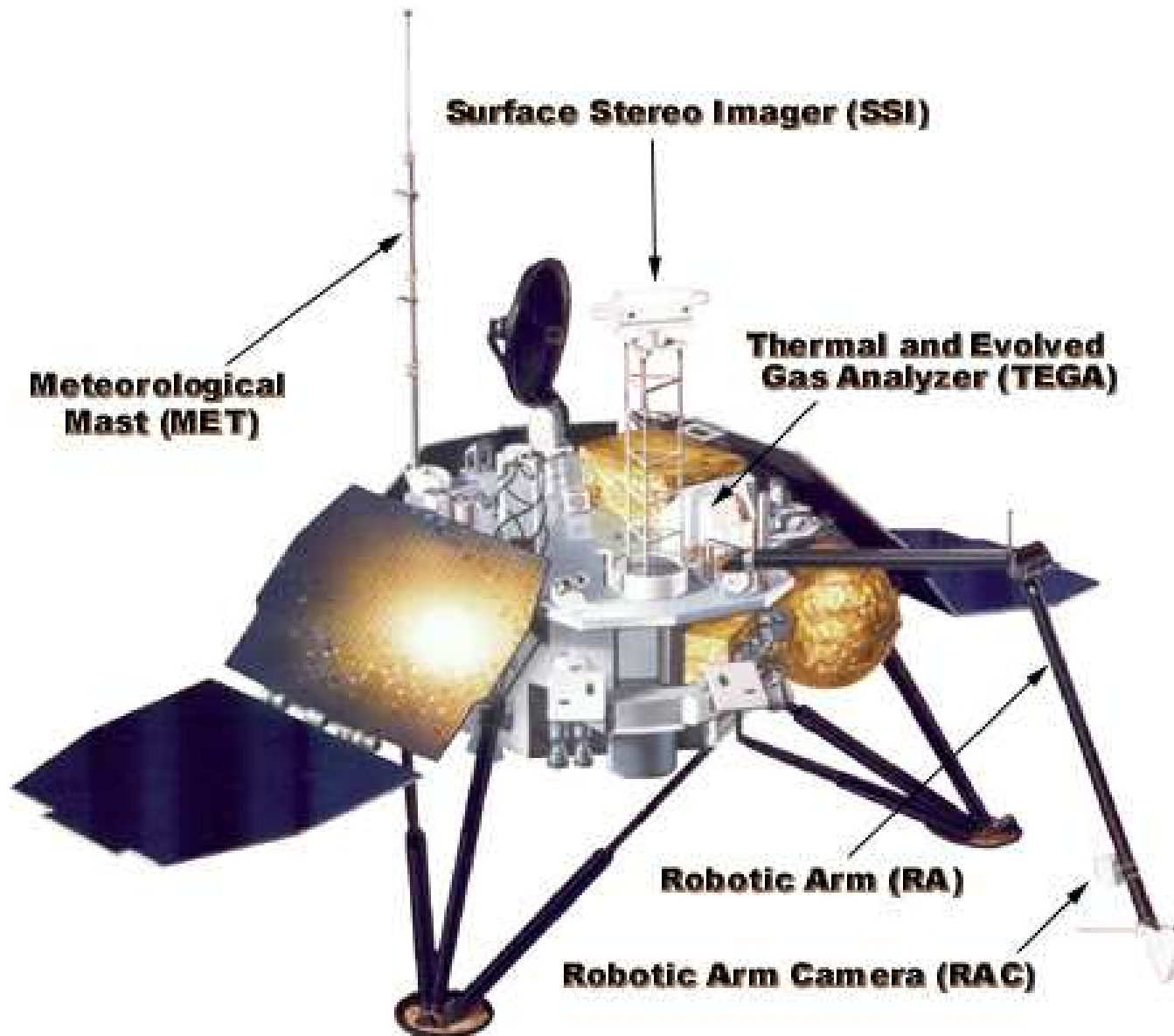
- ❑ Mars Volatiles and Climate Surveyor (MVACS)
 - surface stereo imager (SSI)
 - robotic arm + camera (RA+C)
 - meteorology package (MET)
 - thermal and evolved gas analyzer (TEGA)
- ❑ Mars Descent Imager (MARDI)
- ❑ Light Detection and Ranging (LIDAR)



- ❑ Mars Microphone
- ❑ Basisstation
- ❑ 2 Mikrosonden (Deep Space 2, “Amundsen“ + “Scott“)



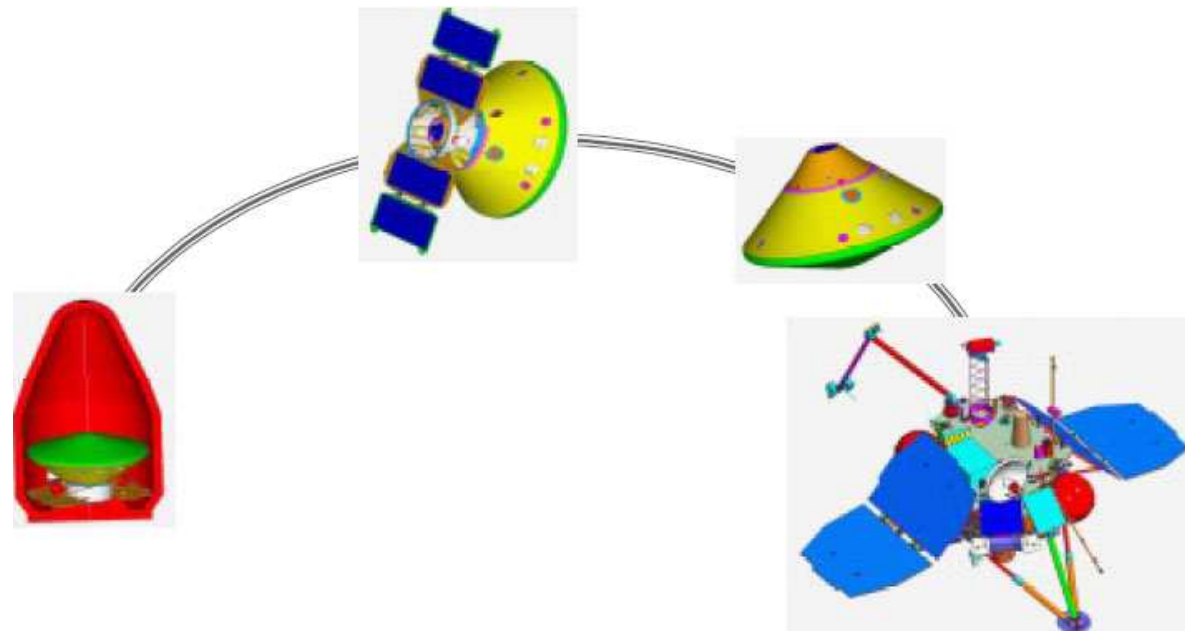
Mars Polar Lander (MPL)





Zeitplan:

03.01.1999	Start
03.12.1999	Landung auf dem Mars
Februar 2000	Ende der Oberflächenmission



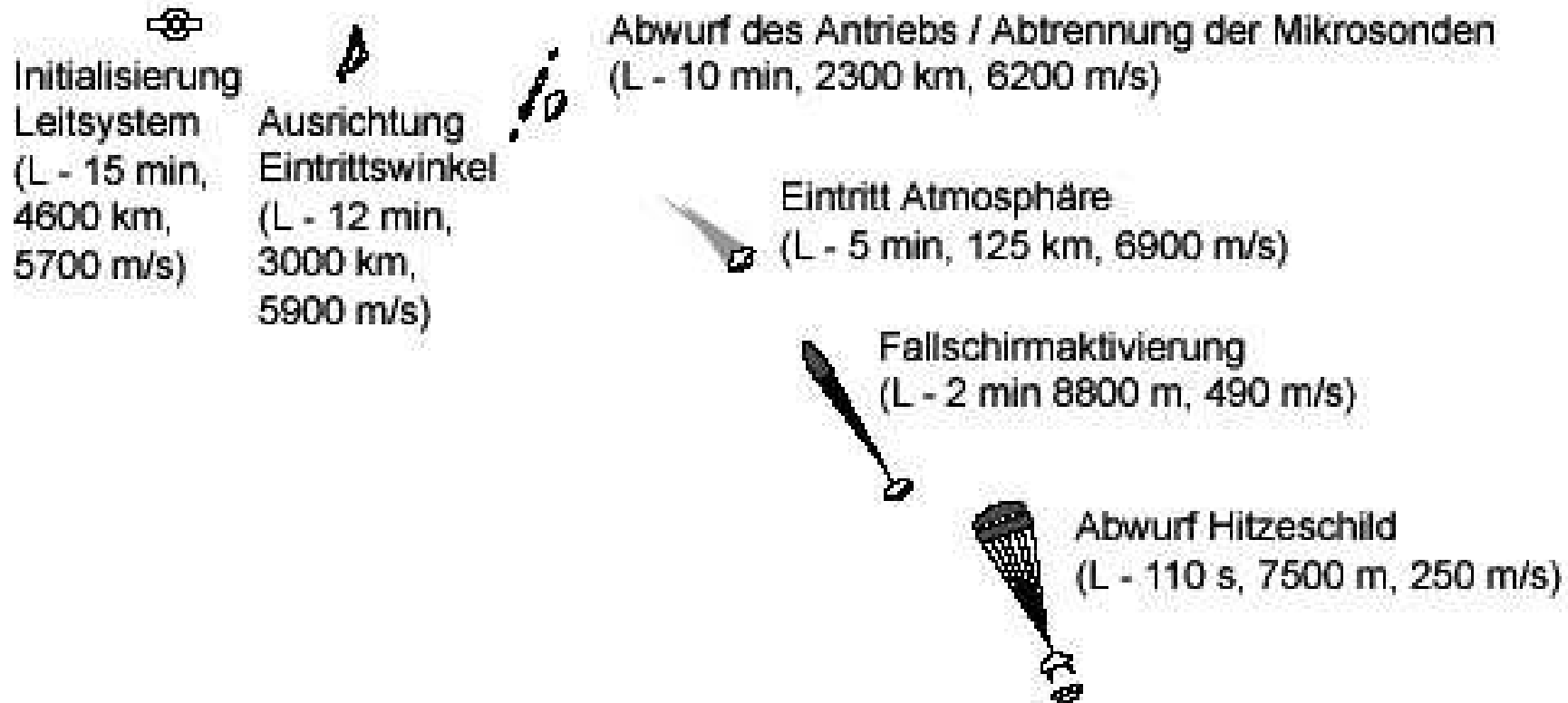


Primärfehler:

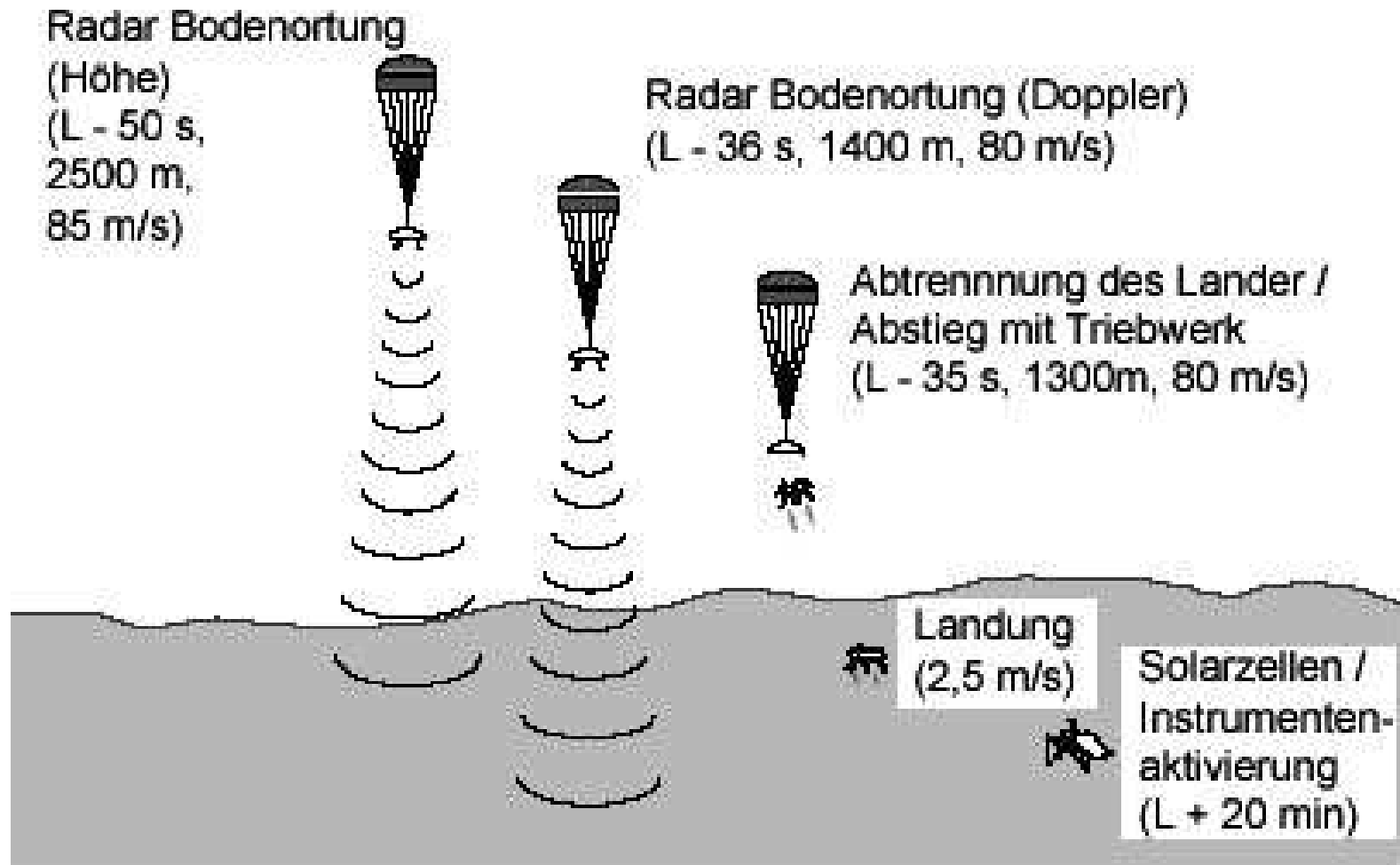
Verfrühtes Abschalten der Bremsdüsen beim Landeanflug.

Weitere Fehler:

- ❑ mangelhaftes Training
- ❑ ungenügende Tests
- ❑ Mangel an Mitarbeitern
⇒ Überarbeitete Mitarbeiter
- ❑ Mangel an Geld
⇒ fehlende Geräte



Mars Polar Lander (MPL)





Wie hätte die Katastrophe verhindert werden können?

- Vermutlich durch 1 Zeile Code
- Intensivere Test vor dem Start

Welche Maßnahmen wurden in der Folge getroffen?

Der Untersuchungsbericht listet 22 Empfehlungen auf, z.B.:

- 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. Unter anderem waren dies:

- Verbesserte Kommunikationseinrichtungen
- besserer Antrieb
- bessere thermische Systeme
- bessere Software
- stabilere Konstruktion



Die NASA arbeitet seit Bekanntgabe der Untersuchungsergebnisse daran,

- ❑ die Kommunikation
- ❑ das Training
- ❑ die Überwachung ihrer Programme

zu verbessern.

Zusätzlich: Bereithaltung von Finanzmittelreserven

Beibehaltung des Konzepts “faster, better, cheaper“
Fokus allerdings nun auf “besser“!



Auch andere Nationen (z.B. Russland) versuchten, den Mars zu besuchen.

Kalter Krieg, Sputnikschock, Wettlauf zum Mond

- UDSSR war den USA oft eine Nasenlänge voraus
- Wettlauf provozierte Fehler
- vergleichsweise viele Finanzmittel

Versagerstatistik:

3% aller Raumfahrtmissionen scheitern,
aber $\approx 2/3$ aller Marsmissionen!



Fehlschläge:

- 1991: Galileo (High-Gain-Antenne)
- 1993: Mars Observer (Einschuss in Marsumlaufbahn)

Weitere Faktoren:

- ausbleibende Finanzmittel (kein kalter Krieg mehr)
- Wirtschaftslage (wirtschaftliche Gesichtspunkte)
- Verlust teurer Missionen
- Lange Wartezeiten



Folge:

1993: Neustrukturierung der Vorgehensweise bei der Erkundung des Weltraums.

- kürzere Abstände (**faster**)
- einfachere Missionen (**better**)
- weniger Kosten (**cheaper**)



erfolgreich: Pathfinder-Projekt (“nur“ 270 Mill. US\$)

z.Vergleich:

Sonden Galileo (Jupiter) und Cassini (Saturn) je >1 Milliarde US\$

Fazit (im Jahr 2001):

- 5 Mal mehr Starts
- Reduktion der Planungsdauer von 8 auf 5 Jahre
- 20 Mrd.-US\$-Budget, Verluste nur i.H.v. 500 Mill. US\$
- Rate der Fehlschläge stieg an
- kritische Stimmen wurden laut



“cheap“ in Amerika eher “minderwertig“ als “preiswert“
Kritiker: “Cheaper- Faster, Better?“

Konzeptionsfehler bei FBC-Missionen:

- ❑ Alte Denkmuster noch in den Köpfen vorhanden
- ❑ Komplexität nicht an neues Finanzniveau angepasst
- ❑ Ungeeignete oder unzureichende Management-Hilfsmittel
- ❑ benötigter Grad des Teamworks nicht erreicht



Anforderungen an Computersysteme in der Raumfahrt:

Robustheit gegenüber

- harte Strahlung
- extreme Temperaturen
- Vakuum(?)

Durchaus auch irdischer Anspruch: geringer Stromverbrauch



Phobos 1

Start am 07.07.1988

Fehler am 02.09.1989

Ursache: Senden eines falschen Steuersignals.

Folge: Sonde drehte sich von der Sonne weg und bekam keinen Strom mehr.

⇒ **Totalverlust**



Phobos 2

Start am 12.07.1988

Fehler am 27.03.1989

Ursache: Computerausfall durch elektrische Aufladung

tiefere Ursachen:

- mangelnde Autonomie der Sonde
- fehlende Trennung von Instrumenten und Flugeinheit
- kleine Computerkapazität \Rightarrow kein "Safe Mode"

Folge: Sonde meldete sich nach einer Orbitaufnahme nicht mehr.

\Rightarrow **Totalverlust**



Ariane 5

Start am 04.06.1996

Fehler am 04.06.1996

Ursache: Übernahme von Software aus Ariane 4 ohne weitreichende Tests und Anpassungen.

Folge: Rakete geriet kurz nach dem Start ausser Kontrolle und musste gesprengt werden.

⇒ **Totalverlust**



In weiter Zukunft: bemannte Raumfahrtmissionen zu Planeten (z.B. Mars)

Zuvor nötig:

- ⇒ Software- und Planungsfehler abstellen
- ⇒ Starke Verbilligung der Frachtkosten ins All
- ⇒ Etablierung neuer Technologien (z.B. elektrischer Ionenantrieb)



Alle Abbildungen sind ©ihrer Urheber!

Das Kopieren und die Weiterverwendung sind nicht gestattet!

Bildquellen: NASA, www.nasa.gov (einige leicht modifiziert)

Literatur

- [Dav13] Leonard David. Nasa report: Too many failures with faster, better, cheaper. 13.
- [McC01] Howard E. McCurdy. *Faster, Better, Cheaper*. The John Hopkins University Press, 2001.
- [www10] www.nasa.gov. *Mars Climate Orbiter Mishap Investigation Board Phase I Report*. NASA, 10.