

Low Power Modus

Seit der ausbleibenden Kommunikationssession mit dem überfliegenden Orbiter Mars Odyssey am 30. März 2010 wußte man, dass der Marsrover Spirit in den lange vorbereiteten Low Power Modus gefallen war. An seinem Sol 2218 auf der Marsoberfläche sank die Ausgangsspannung an allen seinen Batterieelementen auf unter 2.9 V und veranlaßte das Battery Control Board als übergeordnete Instanz zum Schutz der Batterien, sämtliche Stromverbraucher "hart" von der Batterie zu trennen. Dadurch crashten alle Systeme, wurden stromlos, einschliesslich der Batterieheizungen, und der Rover sank in einen Zustand, in dem nur noch die zentrale "Warm Box" im Roverkern durch die geringe Wärmeabgabe der dort installierten radioaktiven RTGs warm gehalten wurden. Die "warm box" enthielt das Battery Control Board (BCB), das Motherboard mit der batteriegepufferten Missionsuhr und die zentrale Elektronik des Rovers.

Abb. 1: Spirit westlich der Home Plate in seiner Sandfalle bei "Troja". Die Aufnahme stammt von Mars Reconnaissance Orbiter und wurde aus einer Höhe von etwa 320 km gemacht. (*Credits: Stuart Atkinson bei*

UMSE) Die RTGs sind sehr leistungsschwache und für den äußersten Notfall gedachte Heizelemente, die durch radioaktiven Zerfall geringfügig Wärme erzeugen und den Roverkern auf über -45°C halten (müssen), um die enorme Kälte der Marsnacht während des Marswinters von bis zu -110°C nicht auf die lebenswichtigsten Systeme einwirken zu lassen. Kurz vor dem Fall in den Low Power Modus wurden hier bereits -41.5°C gemessen, was die Hardware des Roverkerns schon nah an die Spezifikationsgrenzen brachte.

Die Verantwortlichen hofften, dass die Temperatur des Roverkerns so auf mindestens -55°C gehalten werden konnte, denn bei noch tieferen Temperaturen drohten Hardwareschäden. Sollten die Batterien oder die Missionsuhr bei den tiefen Temperaturen beschädigt werden, wäre es endgültig aus mit Spirit. Man erwartete allerdings nicht, dass die Missionuhr ausfiel. Sollte es einen sog. "Master Clock Fault" geben, würde es eng für Spirit werden.

Der Rover war somit abgenabelt von seinen Kommunikationseinrichtungen und konnte zum ersten Mal seit über sechs Jahren auf der Marsoberfläche nicht mehr von der Erde aus oder von seinen Orbitern erreicht werden. Dieser Zustand würde theoretisch ewig anhalten, solange die RTGs funktionsfähig blieben, die Kerntemperatur nicht längerfristig auf unter -55°C sank und wenigstens soviel Energie über die Solarpaneele erzeugt werden konnte, dass BCB und Missionsuhr mit Strom versorgt werden konnten.

Abb. 2: Spirit ist gefangen in der Sandfalle namens "Troja". Die drei Räder der linken Seite waren in einen verdeckt unter einer dünnen Deckschicht liegenden Krater namens "Scamander" eingesunken, der aufgefüllt war mit puderförmigen Staub, ähnlich wie Mehl, sodass alle drei Räder keine Traktion mehr hatten. Alle Versuche seit Juni 2009, ihn wieder daraus zu befreien, waren fehlgeschlagen. Ein entscheidender Grund für das Scheitern aller Befreiungsbemühungen lag darin, dass zwei der drei Räder der rechten Seite ausgefallen waren und nur noch das rechte Mittelrad einigermaßen Traktion auf einem weichen Untergrund hatte. Es gab nur einen Trigger für das Aufwachen: Sollte das BCB feststellen, dass über einen Zeitraum von mehr als 10 Minuten der Batterieladestrom der Solarzellen über 2 V angestiegen war und das mindestens 16 h nach einem vorherigen solchen Event, dann würde es die Batterien wieder mit dem zentralen Bus verbinden, daraufhin die CPU wieder mit Strom versorgt sein, und Spirit würde erwachen. Dadurch würden als erstes eine Reihe von Sekundärheizungen für die Wärmeerzeugung der wichtigsten Instrumente anlaufen und dafür wieder Strom über die Solarpaneele und aus der Batterie aufnehmen. Zweitens würde der Rover seinen X-Band Sender in Betrieb nehmen und die Erde zu erreichen versuchen. Dazu brauchte er seine Missionsuhr, denn sie konnte ihm sagen, wo zu diesem Zeitpunkt die Erde an Himmel stand. Diese Funkverbindung war sehr energiefressend (etwa 70-100 W) und bei nur geringem Ladestrom würden diese beiden Aktionen allein schon dafür sorgen, dass die Batterien sich wieder leerten. Ein erneuter Low Power Modus wäre die letztendliche Konsequenz in diesem Fall.

Daher auch das 16 h Intervall zwischen zwei aufeinanderfolgenden Weckvorgängen. Auf diese Weise wurde dafür gesorgt, dass die Batterien einen gewissen Ladestand hatten, bevor weitere Sekundäraktivitäten automatisch starteten. Die minimale Leistungsaufnahme, bei der ein Entladen der Batterien vermieden

werden konnte, war etwa 150 Wh/Sol. Kurz vor dem ersten Low Power Modus war die Leistungsaufnahme am 22. März gerade noch 133 Wh/Sol gewesen.

Sollte nach Ende des Low Power-Modus eine Woche vergangen, kein erneuter Low Power-Vorfall eingetreten, und die X-Band-Verbindung zur Erde erfolglos geblieben sein, so würde Spirit dies als einen Fehler in seinem X-Band Sender interpretieren und auf eine Backup UHF-Verbindung zu seinen Orbitern umschalten. Dieses Verhalten wurde gesteuert durch den sog. "Uploss"-Timer der Missionsuhr. Die UHF-Funkverbindung zu den Orbitern war weit weniger energieintensiv (etwa 45 W) als die X-Band-Verbindung direkt zur Erde, dafür mußte für eine erfolgreiche Verbindungsaufnahme jedoch mindestens einer der Orbiter über dem Horizont stehen. Spirit hatte als Vorbereitung für den Low Power-Modus eine Reihe von aktuellen Orbitaldaten der Orbiter übermittelt bekommen, so daß eine gewisse Wahrscheinlichkeit für eine erfolgreiche Verbindungsaufnahme bestehen würde.

Abb. 3: Sonnenuntergang über Gusev an Sol 2002, dem 21. August 2009.

Da die Verbindungsaufnahme durch Spirit unvorhergesehen geschehen konnte, begann gleich am Montag nach dem erstmaligen Fall in den Low Power Modus, das Deep Space Network auf Signale von Spirit zu horchen. Im Falle der Kommunikationsaufnahme würde Spirit weiter nur im Energiesparmodus der letzten Wochen vor dem Low Power-Modus arbeiten. Dabei liefen die Grundsysteme im Deep Sleep Modus (nicht zu verwechseln mit dem Low Power Modus !), der Rover wachte einmal pro Sol zur Messung des Staubgrades der Atmosphäre auf und versetzte sich gleich danach wieder in den Deep Sleep Modus. Einmal alle 7 Sols wurden die ermittelten Daten über einen UHF-Link zum überfliegenden Orbiter übertragen.

In der Praxis bedeuteten alle diese Vorgänge, dass Spirit sich irgendwann wieder melden würde, wenn folgende Voraussetzungen gegeben waren:

Die Temperatur im Roverkern fällt nicht für längere Zeit unter -55°C

Die tägliche aufgenommene Energiemenge reicht im Mittelwert aus, um das BCB und die Elektronik des Motherboards inklusive der Missionsuhr mit Strom zu versorgen

die essentiellen Systeme wie z.B. die Kommunikationseinrichtungen überstehen Temperaturen von bis zu -50°C , was am Rande der Spezifikationsgrenzen ist.

die nichtaufladbare Pufferbatterie der Missionsuhr übersteht die Kälte

Da es keine Verbindung zur Erde mehr gab, konnte vom Kontrollzentrum aus natürlich keinerlei Einfluß auf diese Parameter genommen werden. Es blieb zu hoffen, dass alle Vorbereitungen korrekt getroffen waren und die theoretischen Annahmen in der Realität auch alle eintreffen würden.

Spirit war ab jetzt auf sich allein gestellt.

