

Phoenix Sols 21-29

Nachdem die erste Bodenprobe aus dem Graben namens "Dodo" nach einigen Anlaufschwierigkeiten in den Pyrolyseofen (TEGA) des Landers hatte eingebracht werden können, begann die thermische Analyse dieser Probe. Diese geschah an mehreren Tagen hintereinander in drei Schritten. Die Bodenprobe wurde zunächst an Sol 18 auf 35°C erhitzt und die entstehenden Gase im TEGA mittels Massenspektrometer und Gaschromatograph auf ihre Zusammensetzung hin analysiert. Im zweiten Schritt wurde an Sol 19 und Sol 20 bei einer Temperatur von 175°C gemessen, und schließlich im dritten Schritt ab Sol 22 die Probe bei 1000°C thermisch zersetzt und die entstehenden Produkte analysiert.

Im Folgenden sind nochmal einige Bilder der Entnahmestelle "Dodo" der ersten Probe gezeigt, die möglicherweise darauf hindeuten könnten, dass wirklich Wassereis in den TEGA hineingebracht worden war. Allerdings war nach ersten Aussagen kurz nach dem Start der Analyse bis dahin kein Wasser entdeckt worden. Dies deckte sich mit der Theorie, dass durch die tagelange Vorbereitung der Probe und den Problemen mit dem Einfüllen diese solange der Sonne ausgesetzt war, dass bis zum Eintrag in den TEGA alles ursprünglichemöglicherweise vorhandene Wassereis in der Zwischenzeit bereits verdampft war.

Abb. 1: Der erste Graben namens "Dodo". Nach entnahme der Bodenprobe wurde er auf mögliche Veränderungen durch Verdunstung von Teilen des Eises hin untersucht.

Abb. 2: "Dodo" in etwas anderer Farbskalierung. Das etwa 5 cm unter der Oberfläche liegende weiße Material sieht wirklich wie Wassereis aus !

Abb. 3: Überblendungsaufnahme von Dodo zwischen Sol 21 und Sol 24. Das weiße Material ist also doch Eis, das bei den vorherrschenden tiefen Temperaturen langsam an der offenen Luft verdunstet ! Trockeneis (festes CO₂) kann es nicht sein, denn die aktuellen Temperaturen zwischen -30°C und -80°C sind zu hoch für das Auftreten von freiem Trockeneis. Man beachte besonders die kleinen, durch die Grabung losgelösten Eisbrocken links

Abb. 4: Die "Abraumhalde" neben Dodo mit dem Auswurfmaterial, die innerhalb von 3 Tagen komplett verschwunden sind.

Während die Analyse der ersten Bodenprobe noch lief, begann Phoenix mit der Erstellung eines neuen Grabens namens "Wonderland". Dieser wurde ganz rechts im Arbeitsbereich des Landers direkt neben seiner rechten Seite im partiellen Schatten des Landers angelegt, in der Hoffnung, die Sublimation von möglicherweise auch hier vorhandenem Wassereis so lange hinauszögern zu können, um eine substantielle Menge davon in den TEGA einbringen zu können:

Abb. 5: Der zweite Graben namens "Wonderland".

Hier wurden zunächst die oberen 3 cm "Abraum" abgetragen. Man hoffte, danach beim tieferen Graben wieder auf Eis zu stoßen.

An Sol 23, dem 18. Juni 2008, gab es ein Speicherproblem mit den Prioritäten der einzelnen Message-Queues bei Phoenix, wodurch einige Daten dieses Tages verloren gingen. Die während des Tages anfallenden Daten wurden beim abendlichen Odyssey-Überflug zum Orbiter und von dort zur Erde übertragen. Wenn mehr Daten angefallen waren, als bei dieser Gelegenheit gesendet werden konnten, wurde vor dem abendlichen Herunterschalten in den Nachtmodus die überzähligen Daten vom DRAM automatisch in den nichtflüchtigen Flashspeicher kopiert, um dann am nächsten Tag während der nächsten Übertragungsphase von dort gesendet werden zu können. An Sol 23 wurden jedoch während der Tagaktivitäten aus unbekanntem Gründen eine derart große Menge an High Priority Statusinformationen erzeugt (> 45 MByte !), so dass sie während des abendlichen Orbiterüberfluges nicht alle übertragen werden konnten. Vor dem abendlichen Abschalten wurden die übrig gebliebenen Daten wie vorgesehen im Flashspeicher des Landers abgelegt. Durch die unerwartet große Menge an High Priority Statusdaten blieb

nicht genügend freier Flashspeicher übrig, um alle während des Tages aufgenommenen Low Priority-Wissenschaftsdaten auch noch dort unterbringen zu können. Dadurch wurden sie im flüchtigen DRAM liegend durch das Herunterfahren in den Nachtstatus gelöscht. Die Ursache für das Anfallen einer derart großen Menge von Statusinformationen war zunächst unbekannt und erforderte genauere Analysen. Für die folgenden Tage wurden die Datenübertragungsfenster zu den überfliegenden Orbitern vergrößert, um die wissenschaftlichen Tagesdaten vor dem abendlichen Herunterfahren zur Erde alle übertragen zu können. Dieses Verfahren führte zu einer außergewöhnlich hohen Datenmenge von Sol 24.

Ein weiteres Problem kam an Sol 25, dem 20. Juni 2008, hinzu: der Versuch, den TEGA-Ofen 6 neben dem schon belegten Ofen 5 für den Eintrag einer weiteren Probe zu öffnen, schlug fehl, wie auch schon bei Öffnen des ersten Ofens 5 an Sol 8, siehe nächste Bilder:

Abb. 6: Der TEGA-Ofen 6 neben dem bereits belegten Ofen 5 ganz rechts öffnete sich an Sol 25 nur einen kleinen Spalt.

Abb. 7: Animation des Öffnungsvorganges von Ofen 6.

Zum Öffnen der TEGA-Türen gab es einen Federmechanismus: per Kommando wurde die Verriegelung für eine Feder entfernt, die angeblich stark genug war, auch bei durch Beladung des Nachbarofens aufliegendem Bodenmaterial die Klappen hochheben zu können. Es war nicht möglich, per Kommando direkt auf die Türen einzuwirken, die Entspannung der Feder sollte die Türklappen öffnen. Es würde also ohne mechanisches Nachhelfen, z.B. durch den Probenarm, oder durch Schütteln des Einfüllsiebes, nicht gehen. Offenbar war bei den vorherrschenden Umweltbedingungen auf der Marsoberfläche, z.B. geringere Schwerkraft als auf der Erde und sehr kalte Temperaturen, die Öffnungsfeder effektiv weitaus weniger stark als gedacht und auf der Erde getestet. Dieses Mal öffneten sich im Unterschied zu Ofen 5 beim Ofen 6 gleich alle beiden Türen nicht richtig !

Im folgenden zwei Bilder vom Graben "Dodo" und dem neuen Graben "Wonderland" von Sol 25:

Abb. 8: "Dodo" an Sol 25 mit dem freiliegenden Eis an der Grabungsstelle.

Abb. 9: "Wonderland" an Sol 25. Auch hier scheint es unter der Oberflächenschicht deutlich helleres Material zu geben, besonders im rechten Bereich des Grabens.

Alle Anzeichen deuteten darauf hin, daß Phoenix in einer Gegend des Mars gelandet war, die etwa 5 cm unter der pulverförmigen, sandigen Oberfläche aus massivem Wassereis bestand. Schon bei der Landung hatte das Raumschiff mit seinen Landedüsen die unter dem Lander liegenden Staubschichten weggeblasen und [massives Wassereis freigelegt](#). Hier zum Vergleich das Phasendiagramm für Wasser und Kohlendioxid, siehe auch [hier](#):

Abb. 10: Phasendiagramme von Wasser und Kohlendioxid.

Es zeigt, dass bei den vorherrschenden Bedingungen an der Marsoberfläche (eine Temperatur von -30°C tagsüber und -80°C nachts bei 8 mbar Atmosphärendruck) Wasser nur fest vorkommen kann und CO_2 ein Gas ist. Der Tripelpunkt von Wasser, d.h. der Gleichgewichtszustand von flüssiger, gasförmiger und fester Phase, liegt bei etwa 6 mbar und 0°C . Für CO_2 sind die entsprechenden Werte 5.1 bar und -56.5°C . Die Diagramme zeigen sehr schön: zu dieser Jahreszeit an dieser Stelle auf dem Mars ist Wasser fest und Kohlendioxid gasförmig ! Das feste Wassereis verdunstet bei den herrschenden tiefen Temperaturen deshalb, weil der thermodynamische Gleichgewichtszustand des Phasensystems von Wasser bei einem Partialdruck von 6 mbar gilt, d.h. 6 mbar Wasserdampfdruck. Da aber der Partialdruck von Wasserdampf in der 8 mbar-Marsatmosphäre nur sehr gering ist und viel kleiner als 6 mbar, strebt das Eis/Wasser/Wasserdampf-System dem thermodynamischen Gleichgewichtszustand entgegen, d.h. festes Wassereis verdampft und wird gasförmig. Bei Bedeckung mit Erde kann der Wasser-Partialdruck direkt an der Oberfläche sehr viel höher sein und damit der

Gleichgewichtszustand erreicht sein. Deshalb verdunstet unter der Oberfläche liegendes Wassereis auf dem Mars nicht !

Da für CO_2 der Atmosphären-Gesamtdruck auf dem Mars (wie auch auf der Erde) sehr viel kleiner als der Partialdruck beim Tripelpunkt ist, ist Kohlendioxid dort ein Gas, außer, wenn es sehr tiefe Temperaturen unterhalb von etwa -150°C gibt. Wegen des hohen notwendigen Tripelpunkt-Dampfdrucks von CO_2 und der niedrigen Temperatur kann es auf der Erde bei 1 bar Atmosphärendruck niemals fest sein, wohingegen es auf dem Mars wegen der extrem niedrigen Temperaturen im Winter durchaus der Normalzustand ist.

Übrigens: da auf der Erde der Wasserdampfpartialdruck meist höher als 6 mbar ist und außerdem die Temperaturen meist $> 0^\circ\text{C}$ sind, ist Wasser auf der Erde eine Flüssigkeit, außer in sehr trockenen Gegenden (Wüsten, etc.), wo in diesem Fall Wasser nur gasförmig vorkommen kann, und bei Temperaturen unterhalb von 0°C , bei denen Wasser in fester Phase auftritt: als Eis.

