



# NEWSLETTER

AUSGABE 14 JANUAR 2007

**Kommentieren Sie die Beiträge des Newsletters!! Kommentare an**  
[Juergen.Herholz@marsociety.de](mailto:Juergen.Herholz@marsociety.de)



## Liebe Mitglieder und Freunde der Mars Society Deutschland,

Ein ereignisreiches Jahr neigt sich dem Ende zu, und ein neues, nicht minder spannendes steht vor der Tür: Seit unserem überwältigend erfolgreichen Logowettbewerb präsentiert sich die Mars Society Deutschland e.V. nun in ihrem neuen Gewand, der Umstieg auf einen neuen, leistungsstärkeren Internet Server wurde erfolgreich abgeschlossen, ein neuer Kassenwart wurde gewählt und die beiden Flugversuche MIRIAM und RAPHAELA schreiten mit großen Schritten voran zu ihrem planmäßigen Start im Frühjahr 2008. Umso mehr freut es mich, dass wir Ihnen nach langer Pause nun endlich wieder unseren beliebten Newsletter präsentieren können - von unserem neuem Redaktions-Team mit Jürgen Herholz an der Spitze und noch dazu pünktlich zum Weihnachtsfest. Nach dem Ausscheiden des so hervorragenden Redaktionsteams Jacqueline Myrrhe und Heike

Wierzchowski ist es sehr schwer, die gesetzten Qualitätsstandards zu erreichen, aber ich finde, das Ergebnis hat unsere Erwartungen doch weit übertroffen. Lesen Sie also nun geruhsam alles über unseren Weg zum Mars mit der Raumsonde ARCHIMEDES und warum die im Rahmen unseres Forschungs- und Flug Versuchsprogramms CLEOPATRA durchgeführten Flüge MIRIAM und RAPHAELA dabei jeweils eine ganz neue Technologie erproben, bei der die Mars Society Deutschland e.V. noch echte Weltraum-Pionierleistung "Made-in-Germany" erbringt. Hier finden Sie auch Informationen darüber, wie Sie die Chance haben, persönlich den Raketenstart von MIRIAM mitzuerleben. Lesen Sie aber auch darüber, wie Sie alle zu diesem ehrgeizigen Projekt beitragen bzw. beigetragen haben - sei es durch Ihre großzügigen Sach- und Geldspenden, Ihre Arbeitsleistung, Ihr Know-How

oder ganz einfach nur durch Ihren Mitgliedsbeitrag. Denn wir alle sind Teil dieses spannenden Projekts, und nur durch uns als Gemeinschaft kann dieses Projekt auf Erfolg hoffen.

Natürlich wäre unser Newsletter sehr einseitig, würden wir nur über dieses eine Projekt berichten. Der erste Teil einer spannenden Analyse zu einem möglichen bemannten Mars-Flug zeigt, dass Mitglieder unseres Vereins an vorderster Front auf dem aktuellen Stand der Wissenschaft und Technik mitreden können. Und Sie, lieber Leser, sind herzlich eingeladen, mit uns darüber zu diskutieren.

Alles will ich Ihnen aus dem Inhalt unseres neuen Newsletters aber nicht verraten. Daher wünsche ich Ihnen nun im Namen des gesamten Vorstands ein frohes Weihnachtsfest und ein glückliches, gesundes und vor allem erfolgreiches Jahr 2008.

**Hannes Griebel**  
MSD Präsident

Verantwortlicher Chefredakteur : Jürgen Herholz, [Juergen.Herholz@marsociety.de](mailto:Juergen.Herholz@marsociety.de)

Namentlich gekennzeichnete Artikel und Beiträge spiegeln nicht die Meinung der Mars Society Deutschland wider.

MSD Vorstand: Hannes Griebel (Präsident), Christian Ziach (stellv.Vorsitzender), Klaus Bayler, Mattias Piecarczyk, Jürgen Herholz), [www.marsociety.de](http://www.marsociety.de)

Webmaster: Peter Jansen, Bilder : Mars Society, ESA, NASA

Alle Marken gehören den jeweiligen Inhabern. Vervielfältigung und Veröffentlichung außer für private Belange nur mit Genehmigung der Mars Society Deutschland.

### Ein Wort des Chefredakteurs

#### Liebe Newsletter Leser!

Zum ersten Mal nach über einem Jahr präsentiert Ihnen die Mars Society Deutschland wieder einen Newsletter mit interessanten Beiträgen. Für die lange Unterbrechung gibt es zwei Gründe: unsere beiden wichtigsten Mentoren für die Erstellung des Newsletters, Heike Wierzchowski und Jacqueline Myrhhe, konnten aus persönlichen und beruflichen Gründen ihre –natürlich freiwillige und unbezahlte- Mitarbeit am Newsletter nicht mehr fortsetzen. Diese Lücke neu auszufüllen, war nicht einfach.

Und zweitens brachte das Jahr 2007 für unsere Mars-Ballonsonde ARCHIMEDES große Fortschritte, aber damit verbunden auch viel Arbeit, die die ganze Arbeitskraft der freiwilligen Mitarbeiter des Projekts beanspruchte.

Aber jetzt haben wir doch endlich unseren nächsten Newsletter zustande gebracht mit, wie ich meine, sehr interessanten Beiträgen von Mitgliedern der Mars Society Deutschland zu unterschiedlichen Themenbereichen der Marserkundung:

- Zu ARCHIMEDES und dem für das Frühjahr 2008 geplanten Raketenversuch REXUS 4-MIRIAM finden Sie einen ausführlichen Beitrag in dieser Ausgabe.

- Zu diesem von uns mit Spannung erwarteten Start einer Rakete mit einer verkleinerten Version von ARCHIMEDES an Bord werden in einem Beitrag Mitglieder der MSD zur Teilnahme angeregt.

- Daneben beginnt in dieser Ausgabe eine sehr interessante Artikelserie über die Astrobiologie, die sich mit dem Themenkreis von Leben im Weltraum außerhalb der Erde befasst. Ein Kernthema der Marsforschung.

- Hervorzuheben ist aber besonders auch ein sehr fundiert belegter Vorschlag für eine ganz andere Transportmöglichkeit zum und vom Mars in Verbindung mit der Einrichtung und Versorgung bemannter Marsstationen. Ziel dieses Vorschlags ist die Reduzierung von Transportkosten, verglichen mit dem derzeit ins Auge gefassten Transport mit „Wegwerfraketen“. Das Konzept beruht auf dem sog. „Paternoster-Prinzip“, bei dem dieselben Raumschiffe zwischen der Erde und dem Mars ständig hin- und herpendeln und im Vorbeiflug neu be- und entladen werden können, ohne dass jedes Mal neue Starts von der Erde aus erforderlich wären.

Das Jahr 2007 brachte im Übrigen einige Fortschritte für die Aussichten der zukünftigen europäischen unbemannten und bemannten Marsforschung. Es sieht zur Zeit jedenfalls so aus, als wenn man sich in den USA wie auch in Europa auf weitergehende bemannte Missionen einstellte, wobei in den Plänen der NASA und Europas bemannte Missionen zum Mars zwar erst in einem weiter entfernten Horizont um 2030-2030 vorkommen, aber immerhin als nächster Schritt nach bemannten Mondmissionen anvisiert werden. Das ESA Programm Aurora, das einen Ausblick über die Ziele der europäischen Weltraumforschung der nächsten Jahrzehnte enthält, dient auch der Vorbereitung bemannter

Marsmissionen. Die Zeit wird zeigen, was davon übrig bleibt. Aber immerhin sieht die Zukunft einer europäischen Beteiligung an zukünftigen bemannten Marsmissionen heute rosiger aus als vor einem Jahr.

Es bleibt allerdings abzuwarten, ob ein Wechsel der Präsidentschaft in den USA nicht womöglich wieder einen Rückschlag bringt.

Die 7. europäische Marskonferenz EMC7 in Delft in Holland, die diesmal von unseren Mars Society Kollegen aus Holland sehr kompetent ausgerichtet wurde, war ein großer Erfolg. Wir berichteten in unseren News ausführlich darüber und kommentierten auch mehrere der insgesamt sehr interessanten Vorträge. Am Rand der EMC7 wurden zwischen den Mars Society Sektionen Deutschlands, Hollands und des Vereinigten Königreichs unter Beteiligung der australischen Sektion Erfahrungen ausgetauscht und die Möglichkeiten einer engeren Zusammenarbeit der verschiedenen europäischen Mars Society Sektionen in Bereichen gemeinsamen Interesses konkretisiert. Das betrifft sowohl gemeinsame Projekte wie die Mars Simulationsstation EuroMars als auch eine eventuelle gemeinsame Präsentation der verschiedenen Sektionen in englischer Sprache oder gemeinsame Initiativen zur Promotion der bemannten Marsforschung in der Öffentlichkeit. Es wurde beschlossen, von jetzt an jährlich im Rahmen der EMC eine regelmäßige Konsultation einzurichten. Natürlich stehen diese Konsultationen allen europäischen Mars Society Sektionen offen.

### Was bringt der nächste Newsletter?

Der nächste Newsletter wird eine Fortsetzung der Artikel über ARCHIMEDES, die Astrobiologie und den Mars-Paternoster bringen. Außerdem wird der Bericht einer Praktikantin darüber Auskunft geben, was ein Schüler alles während eines Praktikums an der Universität der Bundeswehr und bei Besuchen an anderen Forschungseinrichtungen im Raum München so alles über ARCHIMEDES und die Weltraumforschung im Allgemeinen erfahren kann. Weitere interessante Artikel sind nicht ausgeschlossen!

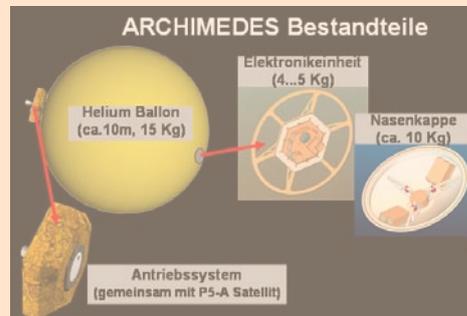
# Inhalt

## Stand des ARCHIMEDES Projekts und geplanter MIRIAM Raketentest



**Jürgen Herholz**, MSD Vorstandsmitglied und Mitglied des ARCHIMEDES Projekt Teams, beschreibt die Fortschritte im ARCHIMEDES Projekt, die das Jahr 2007 brachte. ARCHIMEDES ist ein gemeinsames Projekt der Mars Society Deutschland, der AMSAT und der Universität der Bundeswehr (UniBW) in Neubiberg unter Beteiligung vieler weiterer Sponsoren.

Ausführlich wird auf die verschiedenen Flugtests eingegangen und die für das Frühjahr 2008 geplante REXUS 4-MIRIAM Mission mit einer REXUS 4 Höhenforschungsrakete in Kiruna in Schweden beschrieben. Zu dieser Mission ist auch als Sonderaktion eine Mitgliederreise geplant (siehe folgenden Artikel)



## Mitgliederreise zum ARCHIMEDES- Weltraumtest MIRIAM im März 2008

**Christian Ziach**, MSD Vorstandsmitglied, lädt zur Teilnahme an dem bevorstehenden Raketentest MIRIAM im Frühjahr 2008 in Nordschweden ein. Im Rahmen des ARCHIMEDES- Projekts ist nämlich bereits der zweite Weltraumtest geplant, bei dem für die Mars Society Mitglieder diesmal die exklusive Möglichkeit bestehen wird, Zeugen dieses einmaligen Ereignisses zu werden.

Die Mars Society Deutschland e.V. wird zum MIRIAM Weltraumtest eine Mitgliederreise ins nordschwedische Kiruna anbieten, von wo aus die Rakete gestartet wird.

Lassen Sie sich diese einmalige Chance nicht entgehen, und erfahren Sie mehr zur Reise und zu MIRIAM im aktuellen Newsletter!

Und wenn Sie noch nicht Mitglied in der Mars Society Deutschland e.V. sind, erhefen

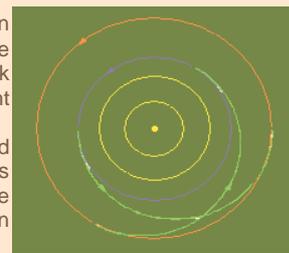


## Paternoster zum Mars



**Dr. Ing. Georg Bechtold**, MSD Mitglied seit August 2007, entwickelt ein physikalisch solide belegtes faszinierendes Szenario für bemannte Marsmissionen mit Hilfe von kontinuierlich von der Erde zum Mars und zurück pendelnden Transport-Raumschiffen (Paternoster-Prinzip). Es werden also nicht mehr für jede Mission neue „Wegwerf-Raumschiffe“ benötigt.

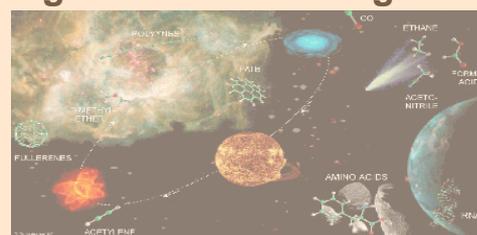
In diesem 1. Teil des Berichts werden die Prinzipien des Paternoster Konzepts und die vorgeschlagene Konfiguration eines entsprechenden Transportsystems vorgestellt, in den beiden nächsten Ausgaben des Newsletters die himmelsmechanischen Grundlagen (Teil 2) bzw. Einzelheiten der technischen Umsetzung des Konzepts (Teil 3).



## Suche nach Leben auf dem Mars, Teil I: Einführung in die Astrobiologie



**Thomas Böttcher**, Astrobiologe und MSD Mitglied, beginnt mit dieser Ausgabe des Newsletters eine Serie, die einen Einblick in die Ziele der astrobiologischen Erforschung des Mars geben soll. Die hier vorgestellte allgemein gehaltene Einführung in die Astrobiologie ist der erste Teil, dem in den nächsten Ausgaben weitere und fachspezifischere Kapitel folgen werden.



# Stand des ARCHIMEDES Projekts und geplanter MIRIAM Raketentest

(Jürgen Herholz, MSD und ARCHIMEDES Team Mitglied)

Das Jahr 2007 brachte wichtige Fortschritte im Projekt der Mars-Ballon Sonde ARCHIMEDES. ARCHIMEDES ist ein gemeinsames Projekt der Mars Society Deutschland, der AMSAT und der Universität der Bundeswehr (UniBW) in Neubiberg. Zahlreiche weitere Organisationen und Firmen unterstützen das Projekt maßgeblich. Unter anderem unterstützt die IABG in Ottobrunn Tests und die Entwicklung des Ballons, und die DLR-MORABA stellt ihre Raketen REXUS und ihre Startmöglichkeit in Kiruna für die Tests REXUS 3-Regina und REXUS 4-MIRIAM zur Verfügung.

### Konzept der ARCHIMEDES Marsballon Sonde

Ausgangspunkt des ARCHIMEDES Konzepts ist der Wunsch von Wissenschaftlern, Daten aus mittleren und niedrigen Höhen über der Marsoberfläche über die Marsatmosphäre, das Marswetter und den sehr schwachen Restmagnetismus zu erhalten. Solche Daten können mit den bisher verwendeten Marssondenkonzepten nicht oder nicht umfassend genug gewonnen werden, da entweder die erreichten Umlaufbahnen noch zu hoch sind, die Verweildauer der Sonden in interessanten Höhenbereichen zu kurz oder die Eintrittstemperaturen zu hoch sind und damit sinnvolle Messungen erschwert oder unmöglich werden.

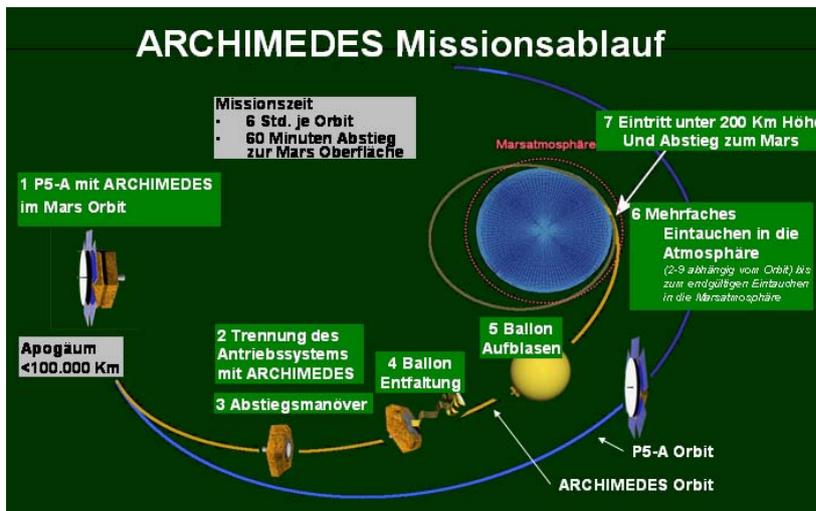
Das Konzept der Mars-Ballon Sonde ARCHIMEDES bietet den Wissenschaftlern die erwünschte Möglichkeit, da hier eine an einem Ballon befestigte Messplattform zum Einsatz kommt, wobei der Ballon als Eintrittskörper dient. Die Abbildung illustriert dieses Konzept und die Größen- und Massenverhältnisse.

Aufgrund der Größe des Ballons im Verhältnis zu dem relativ geringen Gewicht von Ballon und Messplattform bleibt deren Erwärmung beim Eintritt in die Marsatmosphäre begrenzt auf unter 200 ° C, und es wird eine Abstiegszeit zur Marsoberfläche von bis zu einer Stunde erreicht. Zum Vergleich: derzeitige Abstiegssonden erreichen Temperaturen bis zu 1500 ° C und Abstiegszeiten von wenigen Minuten. Dabei verhindert das durch die hohen Temperaturen entstehende Plasma zeitweise die Kommunikation mit der Sonde.

geleitet. Der Satellite P5-A stellt die Übertragung der Daten zu und von der Sonde sicher.

### ARCHIMEDES Missionsszenario

ARCHIMEDES wird an Bord des AMSAT Satelliten P5-A 2011 zum Mars befördert und dort in einer stark exzentrischen Umlaufbahn mit einer maximalen Höhe von ca. 100.000 Km zusammen mit der Antriebseinheit des P5-A ausgesetzt. ARCHIMEDES ist in die Antriebseinheit des P5-A integriert, die auch die Tanks und Mechanismen zum Aufblasen des Ballons



### ARCHIMEDES System

Zu dem ARCHIMEDES System gehören außer der Sonde das gesamte für die ARCHIMEDES Mission erforderliche Bodensegment und die Software für den Betrieb der Sonde und den Datenaustausch während der gesamten Mission von Start in Kourou bis zum Ende der Marsmission. Über das Bodensegment wird die Sonde überwacht und gesteuert sowie alle wissenschaftlichen Daten empfangen und an die Wissenschaftler weiter

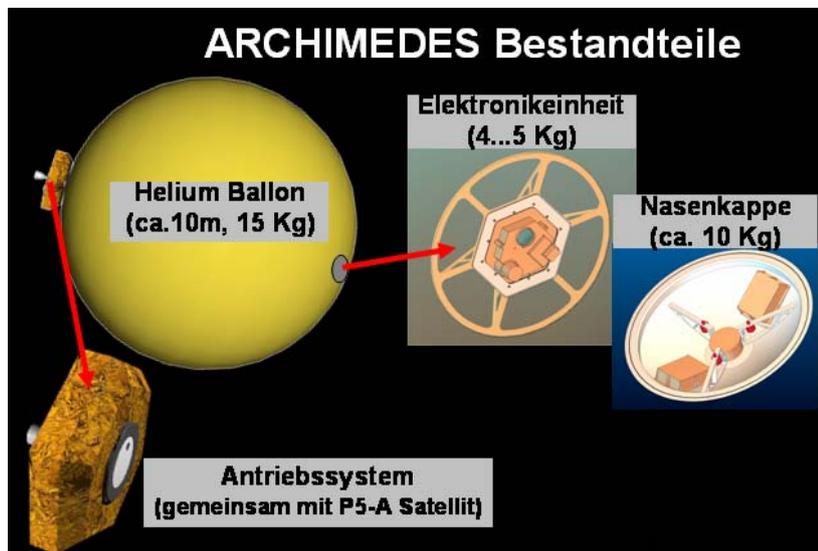
beherbergt.

Mithilfe der P5-A Antriebseinheit wird ARCHIMEDES in eine niedrige exzentrische Mars-Umlaufbahn hinein abgebremst, der Ballon mit der daran befestigten Instrumentenplattform aufgeblasen und nach dem Aufblasen ausgesetzt. Die dann erreichte Umlaufbahn des Ballons ist so ausgewählt, dass er den Mars mehrfach umkreist und durch mehrmaliges Eintauchen in die obere Marsatmosphäre soweit abbremst, dass der Ballon schließlich endgültig in die Marsatmosphäre eintaucht und zur Marsoberfläche absinkt. Dieses Missionsszenario wird deshalb auch mit „Go-Around-To-Ground“ bezeichnet.

Die Marssonde P5-A setzt nach dem Aussetzen ihres Antriebsmoduls mit ARCHIMEDES ihre Mission fort und dient dann als Relaisstation zur Übertragung der wissenschaftlichen Daten zur Erde.

Während der gesamten Missionsphase nach Aufblasen des Ballons werden wissenschaftliche Messungen gemacht.

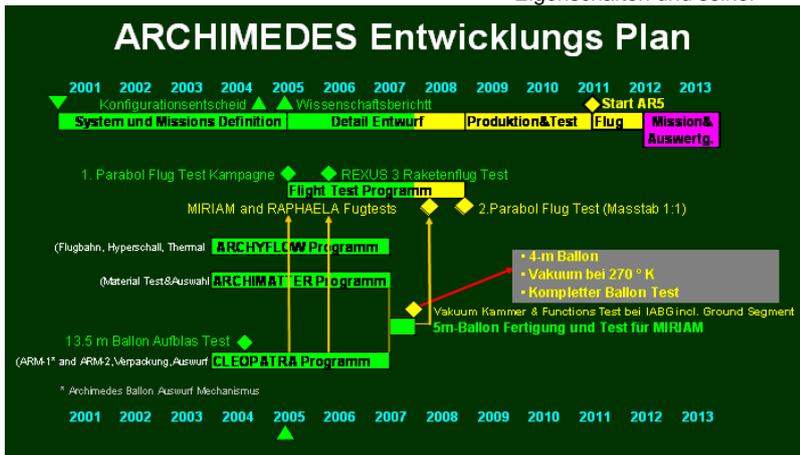
Die Abbildung stellt die verschiedenen Schritte dieses Missionsszenarios dar.



ARCHIMEDES Entwicklungsplan

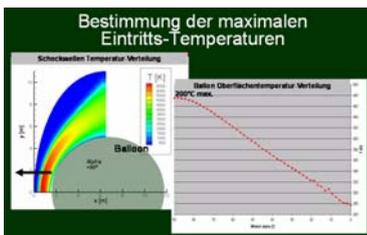
gewünschten mechanischen Eigenschaften und seiner

des verstaute Ballons dienenden „Blüte“ zu sehen sowie der Ballon nach dem Ausstoß aus dem Behälter.



Die Abbildung zeigt den seit Mitte 2007 gültigen Entwicklungs-Zeitplan. Die grün gekennzeichneten Teile des Plans geben an, dass diese Anteile der Entwicklung weitgehend abgeschlossen sind (natürlich können aufgrund von Testergebnissen noch hier und da Änderungen notwendig werden). Die gelben Balken und Zeichen geben Aktivitäten an, die in Vorbereitung oder geplant sind.

Die Definition von ARCHIMEDES wurde Ende 2005 mit der Auswahl des Missionskonzepts und Entwurfs der Ballonsonde und seiner Hauptbestandteile abgeschlossen. Seit Ende 2003 wurden parallel hierzu drei verschiedene Entwicklungsprogramme zu für ARCHIMEDES ausschlaggebenden Technologien begonnen:



- Das ARCHYFLOW Programm zur Ermittlung von Flugbahn, Eintritts- und Abstiegsbedingungen der Ballonsonde. Hierbei kamen mathematische und aerothermodynamische Modelle zum Einsatz, zum Teil in für ARCHIMEDES angepasster Form, die auch für andere Bereiche der Luft- und Raumfahrt zur Anwendung kommen.

Dabei wurden die grundsätzliche Richtigkeit und Machbarkeit der Mission nachgewiesen.

- Das Programm ARCHIMATTER zur Bestimmung des Ballonmaterials aufgrund der

Hitzebeständigkeit. Dabei standen Tests von Materialeigenschaften im



- Mittelpunkt, begleitet von Analysen.
- Das CLEOPATRA Programm zur Entwicklung der für die Herstellung, Faltung, Verpackung und Entfaltung des Ballons erforderlichen Techniken und Mechanismen. Diesem Bereich kommt besondere Bedeutung zu, da noch nie eine Ballon dieser Größe für einen ähnlichen Zweck, eine ähnlich lange Missionsdauern von bis zu zwei Jahren und unter solchen Gewichts- und Platzeinschränkungen entwickelt und getestet wurde.

Das Photo zeigt eine Aufnahme während eines Parabellflugs unter Schwerelosigkeit im Juni 2005. Dabei wurde der Ballonbehälter mit dem darin verstaute Ballon getestet. Auf dem Photo ist gut der geöffnete Ballonbehälter mit seiner der Freigabe

Ballonentfaltung während eines Parabellflugs 2005



Flugtests

Eine Reihe von Flugtests wurden bereits ausgeführt oder sind in Vorbereitung. Ziel der Flugtests ist die Qualifikation des gesamten ARCHIMEDES Systems

- Nachweis der Funktion der zum Verstaue, Entfalten, Aufblasen und Freisetzen des Ballons erforderlichen Mechanismen unter Schwerelosigkeit
- Nachweis der mechanischen und thermischen Eigenschaften des Ballons
- Nachweis der Funktion des Ballons beim Eintritt in die Atmosphäre entsprechend den Berechnungen
- Test der Funktion des Gesamtsystems ARCHIMEDES einschließlich der Datenkommunikation zum Boden und der Funktion des Bodensegments

Hierzu wurden folgende Flugtests durchgeführt beziehungsweise sind in Vorbereitung:

Parabellflug Kampagne mit Airbus A-300 und REGINA

Im Juni 2005 wurden Parabellflüge unter kurzzeitiger Schwerelosigkeit in einem speziell für Parabellflüge ausgerüsteten Airbus A-300

REGINA Parabellflug Test auf Airbus A-300



durchgeführt. Damit wurden der Ballon Mechanismus zur Verstaueung, der Freisetzung und Vorentfaltung des Ballons (engl. ARM = ARCHIMEDES Release Mechanism) und ein verkleinertes Modell eines Ballons getestet. Hierfür wurde ein spezielles Testmodell REGINA entwickelt. Für diesen Test reichte die kurze Zeit der Schwerelosigkeit von etwa 1/2 Minute aus. Dabei wurde aus Gründen des für den Test verfügbaren Platzes ein 1:2 verkleinertes Modell benutzt.

Die Tests waren erfolgreich und zeigten die grundsätzliche Gültigkeit des Entwurfs.

REGINA Flugtest mit einer Höhenforschungsrakete REXUS 3

Der REXUS 3-REGINA Flugtest wurde mit einem 1:2.5 Modell von ARCHIMEDES als Nutzlast einer DLR-MORABA REXUS 3 Rakete durchgeführt. REXUS ist ein Studentenprogramm der DLR und bietet kostenlose Mitflugmöglichkeiten für ausgewählte Nutzlasten auf Höhenforschungsraketen der DLR-MORABA.

**REXUS Startplatz in Kiruna**  
(Darstellung: Swedish Space Corporation und DLR-MORABA)



Die REXUS Raketen werden von der Schwedischen Raumfahrtagentur SSC in Kiruna in Nordschweden gestartet mithilfe der DLR-MORABA. Die Abbildung zeigt das Startzentrum.

Im Gegensatz zu den Parabelflügen steht bei der Verwendung der Raketen eine längere Versuchszeit unter Schwerelosigkeit zur Verfügung von bis zu 3 Minuten für die REXUS 3 Rakete. Das reicht für ARCHIMEDES aus, um einen kompletten Zyklus Ballonfreisetzung - Vorentfaltung zu erreichen. Außerdem können bei diesem Versuch auch die Datenkommunikation mit dem Boden und das Bodensegment getestet werden. Das Flugmodell von REGINA für diesen Test war entsprechend ausgerüstet. Zur Verfolgung des Verhaltens von REGINA war ein gesondertes Kamera Modul vorgesehen, das die REGINA Mission nach dessen Abtrennung von dem Raketennutzlast Modul verfolgen sollte. Dazu waren 7 Kameras installiert mit unterschiedlichen Brennweiten und Gesichtsfeldern, deren Signale aufgezeichnet und später, nach Bergung des mit einem Fallschirm versehenen Raketennutzlast Moduls, ausgewertet werden sollten.

Der Start erfolgte im März 2006 und trug das ARCHIMEDES Modell bis in

eine Höhe von etwa 90 Km. Durch eine leichte Kollision des Kameramoduls mit REGINA nach der etwas zu früh erfolgten Trennung der Rakete von der Nutzlast konnte dieser Test trotzdem als Teilerfolg verbucht werden, da in einer Aufnahme zu sehen war (siehe Abbildung unten), dass der Ballon tatsächlich ausgestoßen und vorentfaltet worden war. Damit war die grundsätzliche Richtigkeit des Entwurfs für die Ballonverstaung und -Ausstoßung belegt.

REGINA selbst wurde, wie zu erwarten war, verloren gegeben, da REGINA nicht mit einem Fallschirm versehen war (das war aufgrund der Gewichts- und Volumenbeschränkungen nicht möglich), der Auftreffpunkt auf dem Erdboden kaum vorherzuberechnen ist, und mit der totalen Zerstörung durch die Erhitzung beim Eintritt in die Erdatmosphäre und Aufprall auf dem Boden zu rechnen war. Erstaunlicherweise wurde aber Monate später REGINA von einem Jäger aufgefunden, und die Beschädigungen stellten sich als weit geringer heraus als angenommen. Einige Komponenten wie der Bordcomputer waren sogar noch funktionsfähig. Die Inspektion bestätigte auch endgültig, dass der Ballon wie geplant

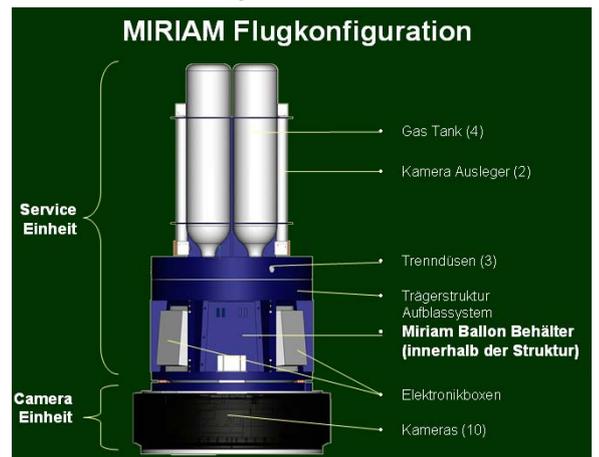


ausgestoßen worden war.

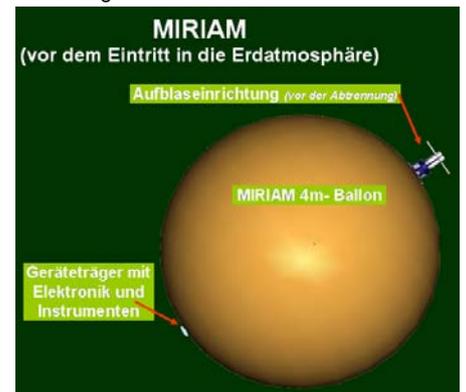
MIRIAM Flugtest mit einer Höhenforschungsrakete REXUS 4

Der nächste und für das ARCHIMEDES Projekt wichtigste Flugtest REXUS 4-MIRIAM ist für das Frühjahr 2008 geplant. Es handelt sich wiederum um einen Test auf einer Höhenforschungsrakete, aber diesmal REXUS 4 mit größerer Kapazität. Dadurch kann diesmal das im Maßstab 1:2.5 erstellte ARCHIMEDES Versuchsmodell MIRIAM auf eine größere Höhe von etwa 150 Km befördert werden. Das erlaubt einen kompletten Test aller wichtigen Funktionen des kompletten

ARCHIMEDES Systems mithilfe von MIRIAM, denn es ist aufgrund der längeren zur Verfügung stehenden Zeit unter Schwerelosigkeit möglich, einen vollen Funktionszyklus des Ballons bis zum vollen Aufblasen zu absolvieren. Außerdem befindet sich MIRIAM nach dem vollen Aufblasen des Ballons immer noch in einer Höhe von etwa 60 Km. Das erlaubt es, einen Eintritt in die Atmosphäre zu simulieren, dessen Messergebnisse auf die Verhältnisse am Mars mit seiner mehr als 100-fach geringeren Atmosphärendichte umgerechnet werden können. Die Konfiguration von MIRIAM ist also



wesentlich kompletter als für die vorhergehenden Flugtests, mit einem voll funktionsfähigen und weitgehend maßstabsgetreuen Elektronik- und Instrumenten Geräteträger (engl. Instrument POD), einem funktionell voll repräsentativen Aufblssystem, und einem repräsentativen Bodensegment.



Die Massen- und Schwerpunktsverhältnisse von MIRIAM entsprechen weitgehend denen von ARCHIMEDES, in 1:2.5 verkleinertem Maßstab. Da außerdem die kritischen Aufblasfunktionen und -Komponenten sowie das Bodensegment ebenfalls weitgehend identisch mit dem ARCHIMEDES Flugmodell sind, kann der REXUS 4-MIRIAM Flugtest schon als ein Verifikationstest für das komplette ARCHIMEDES System und seine Marsmission angesehen werden.

2te Parabelflug Kampagne

Trotzdem ist vorgesehen, Ende 2008 noch einen weiteren Parabelflugtest durchzuführen, diesmal mit einem 1:1 Modell des Ballonbehälters und – Ausstoßmechanismus, um eine endgültige Bestätigung der Richtigkeit des Entwurfs dieser kritischen Elemente zu erhalten.

Ballontest RAPHAELA

Im Rahmen der REXUS 4-MIRIAM Start Kampagne wird vor dem Flugtest die Test Kampagne RAPHAELA eines neu entwickelten und, bei erfolgreichem Test, auf ARCHIMEDES eingesetzten Radar – Höhenmessers durchgeführt. Der Höhenmesser wird in einen Geräteträger integriert, der dem von MIRIAM entspricht, zusammen mit einem Duplikat der MIRIAM Bordelektronik.. Der Geräteträger wird dann von einem Wetterballon der DLR-MORABA, wie er auch zur Vorbereitung des Raketenstarts benutzt wird, in eine Höhe um 20 Km getragen. Von dort aus wird der Radar Höhenmesser Messungen ausführen und zur MIRIAM Bodenstation senden.

Die Höhenmessungen des Radar Höhenmessers werden dann mit

anderen Messungen verglichen, die mittels Bahnverfolgung über Funk- und Sichtkontakt ermittelt werden.

Ein Radar-Höhenmesser an Bord von ARCHIMEDES würde zusätzliche Höheninformation während des Absinkens von ARCHIMEDES in der Marsatmosphäre liefern und damit die Ermittlung der genauen Flugbahn von ARCHIMEDES unterstützen.

Ballon Entwicklungstests

Neben den Flugtests wurden bisher zahlreiche Entwicklungstests durchgeführt. So wurden etwa seit 2004 verschieden Ballonmodelle gebaut, um die Fertigungstechnik in den Griff zu bekommen und zur Durchführung von Fall-, Schlepp- und Falltests mit einem Ballon. Die Auswahl des Ballonmaterials für das Flugmodell (Upilex 25S) und die Fertigung des MIRIAM 4m-Ballons bildeten den vorläufigen Abschluss der Ballon Entwicklungstests.

Für Januar 2008, also unmittelbar bevorstehend, ist ein Test des Ballons von MIRIAM in einer Vakuumkammer der IABG in Ottobrunn vorgesehen. Dabei wird der Ballon in der Vakuumkammer aufgeblasen mit Hilfe der ebenfalls für den MIRIAM Flug vorgesehenen Aufblasvorrichtung.

Während des Versuchs werden die Messdaten nach außerhalb der Kammer übertragen und dort ausgewertet mit den auch für den Flug vorgesehenen Bodeneinrichtungen. Damit stellt dieser Test nicht nur einen Nachweis der Ballonfunktion dar sondern auch einen Test der Bodeneinrichtung.

Weitere Entwicklungstests

Eine Vielzahl von Tests wurde während der Entwicklung mit verschiedenen Testmodellen und -Konfigurationen durchgeführt, um die Funktionsfähigkeit von ARCHIMEDES während der Mission nachzuweisen.

Qualifikationstest

Nach Abschluss aller Entwicklungs- und Flugtests wird das komplette ARCHIMEDES System auf Herz und Nieren auf alle für die Mission erforderlichen Funktionen getestet werden. Die Tests werden sowohl die ARCHIMEDES Sonde einschließen wie auch das Bodensystem mit seinen Datenfunktionen, die Antennensysteme und die gesamte Software.

**Die Serie wird fortgesetzt.**

**Mitgliederreise zum ARCHIMEDES- Weltraumtest MIRIAM im März 2008**  
(Christian Ziach, MSD)

Raumfahrt beginnt auf der Erde – und dies meist auf sehr spektakuläre Art und Weise in Form eines Raketenstarts. Dies ist und bleibt für die Mehrheit der Erdenbürger auch die einzige und kostengünstigste Möglichkeit, Raumfahrt live mitzuerleben, es sei denn man bringt ca. 20 Millionen Euro für einen Flug zur Internationalen Raumstation ISS auf. Auch die sehr ambitionierten Pläne von Virgin Galactic, in einigen Jahren Suborbitale Flüge für „jedermann“ zum Preis eines Reihenhauses anbieten zu können, lassen mittelfristig wenig Grund zur Hoffnung, Raumfahrt am eigenen Leib mitzubekommen.

Damit Sie nicht so lange sparen und/oder warten müssen, hält die Mars Society Deutschland e.V. eine exklusive Alternative für Sie bereit, um Raumfahrt hautnah mitzuerleben!

Im Rahmen des ARCHIMEDES-Projekts ist nämlich für Frühjahr 2008 ein weiterer Raketenstart und Weltraumtest geplant. Bei dem auf den Namen MIRIAM getauften Experiment, wird ein 1:2.5 ARCHIMEDES- Modell mit einer REXUS Höhenforschungsrakete in mindestens 150 km Höhe

geschossen. Im Weltraum angekommen wird der gesamte Missionsablauf von der Trennung von der Rakete, über den Aufblasvorgang des Ballons bis hin zum Wiedereintritt in die Erdatmosphäre erprobt. Gestartet wird die Rakete dabei vom ESRANGE- Testgelände in

Nordschweden, welches von der Swedish Space Corporation SSC und er Europäischen Raumfahrtagentur ESA betrieben wird!

Sind Sie jetzt schon neugierig auf dieses spannende Experiment geworden? Wenn ja, dann haben wir für Sie ein Angebot der ganz besonderen Art parat!

**REGINA Weltraumtest im Frühjahr 2008.**

Es besteht nämlich für bis zu maximal 20 Personen die Möglichkeit, das ARCHIMEDES Start Team im Frühjahr 2008 nach Kiruna zu begleiten und live beim Start dabei zu sein und dabei mitzuverfolgen, wie das ARCHIMEDES- Projekt einen weiteren wichtigen Meilenstein in Richtung Mars zurücklegt!

Dabei erwartet unsere Reiseteilnehmer ein abwechslungsreiches und sehr interessantes Programm. Zuerst erhalten die Teilnehmer während des so genannten Preflight Briefings alle relevanten Informationen zum bevorstehenden Test. An dieses Briefing schließt sich eine fachkundige Führung über das ESRANGE-



REGINA-REXUS Flug Test im März 2006

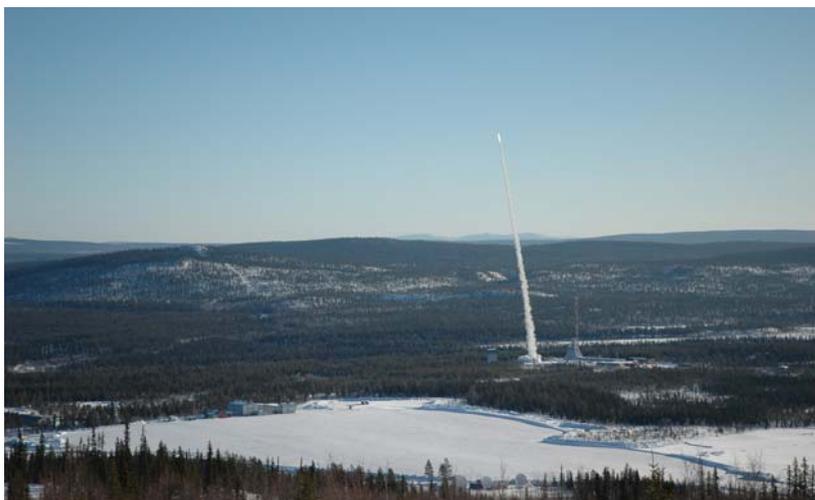
Testgelände mit all seinen Einrichtungen, darunter natürlich auch der Bodenstation, an. Die Beobachtung des Raketenstarts wird sicherlich den Höhepunkt der Reise für die meisten Teilnehmer darstellen, aber nicht den Schlusspunkt setzen. Dies bleibt nämlich dem Postflight Briefing vorbehalten, bei dem eine Bewertung des Tests stattfinden wird und erste Ergebnisse präsentiert werden können, sodass Sie gut informiert nach Hause fahren können!

Die Organisation der Reise wie Hin- und Rückflug, Unterkunft und Verpflegung, genauso wie die damit verbundenen Kosten, müssen zwar von Ihnen selber übernommen werden, allerdings haben Sie dadurch natürlich den Vorteil, dass Sie dieses exklusive Raumfahrtvent mit einem unvergesslichen Urlaub in Nordschweden kombinieren können! In Kiruna und Umgebung können Sie nämlich zahlreichen Wintersportarten wie z.B. Skilanglauf, Hundeschlitten- und Snowmobiliafahren nachgehen, aber auch einen Ausflug ins nahe gelegene Nordnorwegen unternehmen um hier Alpinski zu fahren! Wenn Sie es etwas behutsamer mögen, können Sie sich einen coolen Drink an der Bar des weltbekannten Eishotels gönnen oder auch auf historischen Spuren in der ehemaligen Bergbaumetropole Kiruna wandern.

Das Team der Mars Society wird Sie dabei vor Ort in Kiruna rund um das Raumfahrtvent betreuen und im Vorfeld Ihrer Reiseplanung mit allen relevanten Informationen versorgen. Wir werden es den Teilnehmern auch ermöglichen im selben Hotel wie das ARCHIMEDES- Spaceflight Operations Team untergebracht zu werden. Dies hat nicht nur den Vorteil, dass Sie noch näher am Geschehen sein können, nein Sie sind auch noch direkt auf dem ESRANGE- Gelände untergebracht und zahlen nur ca. 35€ pro Person und Übernachtung. Natürlich hängt ein Raketenstart immer von sehr vielen Faktoren ab, sodass wir zum gegenwärtigen Zeitpunkt (wenige Monate vor dem geplanten Starttermin!) das

voraussichtliche Startfenster noch nicht mit 100%iger Sicherheit nennen können. Aber sobald dieses näher bekannt sein wird, werden wir Sie hierzu in einem weiteren Schreiben informieren und Sie darüber hinaus mit weiteren wichtigen Informationen für Ihre Reiseplanung versorgen. Bis dahin können Sie sich schon mal auf den nachfolgenden Internetadressen über die ESRANGE und Kiruna informieren!

Wir wünschen Ihnen viel Spaß damit!  
<http://kiruna.se/>  
<http://www.ssc.se/>



Start einer REXUS 3 Rakete im Rahmen des REGINA Weltraumtests im April 2006.

## Paternoster zum Mars

Dr.-Ing. Georg Bechtold,  
 Bonn, im August 2007

### Teil 1: Überblick (Kurzfassung)

In diesem Artikel wird eine Möglichkeit für eine bemannte Marsmission vorgestellt, die –im Gegensatz zu allen bekannten Marsmissionsprofilen- kurze Flugzeiten und kurzzeitige Marsaufenthalte gestattet bei relativ geringem Gesamtenergieaufwand. Dazu wird nicht für jede neue bemannte Mission ein neues komplettes Raumschiff eingesetzt, sondern nur eine Mannschaftskapsel von der Erde aus zu einem vorbei fliegenden Raumschiff geschickt und daran angekoppelt, zum anschließenden Transport der Mannschaft zum Mars.

Bisherige Marsmissionsprofile basieren gewöhnlich auf einem Hohmann-Orbit, weil dieser den geringst möglichen Energieaufwand

für die Geschwindigkeitsänderungen beim Verlassen des Schwerefeldes der Erde und beim Einfangen vom Schwerefeld des Mars erfordert. Das Missionsprofil ist grob wie folgt beschreibbar:

- Hinflug zum Mars 258 Tage
  - Aufenthalt auf dem Mars 457 Tage
  - Rückflug vom Mars 258 Tage
- Die resultierende Gesamtflugzeit beträgt also 973 Tage, das entspricht mehr als 32 Monaten.

In dem hier vorgestellten Konzept wird von Niedrigenergie-Orbits abgesehen und stattdessen ein kurzer Aufenthalt auf dem Mars verbunden mit kurzen Flugzeiten erreicht. Das Missionsprofil sieht folgendermaßen aus:

- Hinflug zum Mars 243 Tage
  - Aufenthalt auf dem Mars 44 Tage
  - Rückflug vom Mars 187 Tage
- Hier ist die Gesamtflugzeit also nur 474 Tage, weniger als die Hälfte der konventionellen Lösung. Eine große

Herausforderung für die erforderlichen Rendezvous Manöver bei der vorgestellten Lösung sind die hohen Geschwindigkeitsänderungen bei den Abflügen sowohl von Erde als auch vom Mars und bei der Ankunft am Mars. Allerdings ist für jede neue Mission im Wesentlichen nur die Beschleunigung von kleinen Mannschaftskapseln notwendig, um ein Rendezvous mit den Transport Raumschiffen zu erreichen. Die Mannschaftskapseln haben damit nur die Funktion, die Astronauten zu den jeweiligen eigentlichen beiden Raumschiffen zu bringen.

Das entsprechende Missions Szenario sieht so aus:

- Eines der beiden zum Einsatz kommenden Raumschiffe pendelt, ein Mal auf die jeweilige Bahn gebracht und dann mit relativ geringem Aufwand von der Erde aus versorgt,

ununterbrochen zwischen Mars und Erde hin und her

- Das zweite Raumschiff fliegt auf einer freien Rückkehrbahn von der Erde zum Mars und von dort antriebslos wieder zur Erde zurück, wo es auf aerodynamischem Wege abgebremst und dann in einem niedrigen Erdorbit für weitere Missionen „geparkt“ wird.
- Das erste Raumschiff wird für den Hinflug zum Mars verwendet, das zweite Raumschiff ist für den Rückflug vorgesehen. Dies ermöglicht eine Nutzung bei folgenden Marsmissionen mit im Vergleich zu konventionellen Missionen verringertem Aufwand.
- Die Landungen auf dem Mars erfolgen mit zwei der Mondfähre des Apollo-Programms ähnlichen Landefahrzeugen an zwei völlig verschiedenen Stellen auf dem Mars. Als einziges Infrastruktur-Element ist eine kleine „Raumstation“ im Marsorbit notwendig, die den Astronauten als Aufenthaltsort und als Lager für den Treibstoff für den Rückflug sowie als „Parkplatz“ für die beiden Landefähren dient.

Für einen kompletten Missionszyklus werden zwei Raumschiffe und zwei Mannschaftskapseln, „Taxis“ genannt, benötigt. Die Raumschiffe sind von der Konfiguration einer herkömmlichen Raumstation ähnlich, pendeln allerdings zwischen Erde und Mars und werden deshalb „Paternoster“ genannt. Ein Raumschiff wird für den Flug von der Erde zum Mars verwendet und heißt „Obelix“. Das andere Raumschiff dient der Reise vom Mars zur Erde und wird „Asterix“ genannt. Die Station im Marsorbit erhält den Namen „Idelix“.

Im ersten Kapitel dieses Berichts, der in der nächsten Ausgabe des Newsletters erscheinen wird, wird ein konventionelles Hohmann-Missionsprofil beschrieben.

Im zweiten Kapitel werden dann weitergehende Details zur Mission genannt: das Missionsprofil, Einzelheiten zur Landung auf dem und Start vom Mars, Einzelheiten zur Konfiguration der Paternoster, Anforderungen an Trägerraketen usw.

Am jeweiligen Schluss der beiden Kapitel folgen Einzelheiten, die das genaue Nachvollziehen der durchgeführten Berechnungen ermöglichen, inklusive einer

Einführung in die verwendete Himmelsmechanik und Mathematik.

#### Schlussfolgerungen

In den beiden folgenden Artikeln wird gezeigt werden, dass das vorgestellte Szenario schlüssig ist und damit eine Alternative zu den bisher üblichen Niedrigenergie-Missionsprofilen für bemannte Missionen zum Mars darstellt.

Hauptprobleme dieses Konzepts sind die hohen Geschwindigkeitsdifferenzen beim Abflug von der Erde, bei Ankunft und Abflug beim Mars und bei der Ankunft an der Erde und der nahe Vorbeiflug an der Sonne, bei dem fast die Bahn des Merkur erreicht wird. Das erfordert die Lösung einiger technologischer Probleme. Speziell beim Abflug vom Mars ist das Fenster für ein Rendezvous mit der vom Mars startenden Kapsel sehr kurz, weil Asterix, das Raumschiff für den Rückflug zur Erde, von den Taxis mit den Astronauten sehr genau getroffen werden muss.

#### Fazit

Die Vorteile des vorgeschlagenen Missionskonzepts liegen klar auf der Hand:

- Obelix, das Raumschiff, das die Astronauten von der Erde zum Mars bringt, fliegt einfach am Mars und an der Erde vorbei, muss dort also weder verzögert noch beschleunigt werden.
- Asterix, das Raumschiff für den bemannten Rückflug zur Erde, wird lediglich aus dem Erdorbit heraus auf eine freie Rückkehrbahn gebracht, auf deren Weg die Bahn des Mars, nicht aber der Planet selber erreicht wird.
- Asterix fliegt nach der Passage des Mars ungebremst und antriebslos zur Erde weiter.
- Eine Abbremsung oder Beschleunigung am Mars ist nur für zwei kleine Taxis mit den Astronauten nötig. Sie springen sozusagen auf den fahrenden Zug auf, der auch für zukünftige Missionen genutzt werden kann.
- Durch den kurzen Aufenthalt auf dem Mars und durch mindestens zwei bemannte Landungen auf dem Mars bei jeder Mission sind die logistischen Anforderungen am Mars wesentlich geringer als für konventionelle Langzeitmissionen, ohne dass die wissenschaftliche Ausbeute zu stark verringert werden würde.

- Die kürzere Missionsdauer ist für die Astronauten weniger stark belastend.
- Der Ansatz kommt mit vorhandenen oder zumindest mittelfristig verfügbaren Technologien aus
- Es werden, aufgrund der kürzeren Missionsdauer, kein monatelanger Weltraumtransport von Kryogenen, keine Treibstoffgewinnung auf dem Mars, keine automatischen Gewächshäuser und keine weltraumtauglichen Kernreaktoren benötigt.

Auf der anderen Seite könnte mit diesem Missionsprofil aber auch in relativ kurzen Missionen die für spätere längere und damit komplexere Missionen erforderliche Infrastruktur aufgebaut werden. Die Tatsache, dass bei jeder Reise zwei Landungen auf dem Mars stattfinden, könnte beispielsweise so genutzt werden, dass die erste Landung wissenschaftlichen Erkundungen dient und die zweite zu Infrastrukturarbeiten auf dem Marsboden genutzt wird.

Es ist durchaus möglich, dass die genannten Nachteile des vorgeschlagenen Missionsprofils die Vorteile überwiegen. Der Paternoster-Gedanke sollte trotzdem auch für „konventionelle“ Missionen mit langen Aufenthalten auf dem Mars in Betracht gezogen werden. Die Hohmann-Bahn unterscheidet sich nicht sehr stark von der Bahn von Asterix. Durch einen geringfügig höheren (spezifischen) Energieaufwand als bei einer Niedrigenergie-Mission könnte man sozusagen mit Asterix 1 zum Mars und mit Asterix 2 zur Erde zurück fliegen und könnte die nächste Mission beim übernächsten Startfenster, das sind 51 Monate später, mit relativ geringem (absoluten) Energieaufwand durch Wiederverwendung der beiden Asterixe wiederholen. Bei einer projektierten Lebensdauer von 25 Jahren müssten die beiden Raumschiffe etwa sechs Langzeitmissionen durchführen können.

***In der nächsten Ausgabe des Newsletters werden im Teil 2 die himmelsmechanischen Grundlagen des vorgeschlagenen Konzepts vorgestellt und im darauf folgenden Teil 3 die Einzelheiten der technischen Umsetzung.***

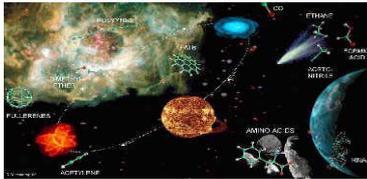
**Dank:** Gerhard Thiele war der erste „Fachmann“, den ich mit meinen Ideen konfrontiert habe und der mich ermutigt hat, weiter daran zu arbeiten. Walter Lachenmeier, Markus Landgraf, Jürgen Herholz und Hannes Griebel haben mich mit Literatur versorgt und erste Diskussionen mit mir geführt, die Spannendes erwarten lassen. Meine Familie findet es ganz normal, dass ich mit Büchern, Taschenrechner und Notizblock ausgestattet mit ihr zum Strand gehe, was ich wiederum bemerkenswert finde.

# Die Suche nach Leben auf dem Mars

## Teil I: Eine Einführung in die Astrobiologie

(Thomas Boettcher, MSD)

Die Astrobiologie ist ein höchst interdisziplinäres Fachgebiet, welches Methoden und Erkenntnisse aus allen naturwissenschaftlichen Disziplinen, insbesondere aus der Biologie, Chemie, Physik, Astronomie, Paläontologie und Geologie vereinigt, um Antworten auf einige der ältesten Menschheitsfragen zu suchen. Die vier großen Themengebiete mit denen sich die Astrobiologie beschäftigt sind:



Diversität von einfachen bis zu hoch komplexen organischen Molekülen im interstellaren Medium (ESA)

- 1) Wie ist das Leben entstanden?
- 2) Wie wirken sich kosmische Einflüsse auf das Leben aus?
- 3) Transfer von Leben im Weltraum
- 4) Gibt es Leben außerhalb der Erde?

In diesem ersten Kapitel möchte ich zunächst einen allgemeinen Einblick geben und werde daher auf den Mars nur nebensächlich eingehen. Da die Astrobiologie, wie schon aus ihren diversen Teildisziplinen ersichtlich, eines der umfassendsten Forschungsgebiete der Naturwissenschaften darstellt, könnte man mehrere Bücher alleine mit den Mars-relevanten Stoff füllen. Ich bitte daher nachzusehen, dass es mir in diesem Rahmen nicht möglich sein wird, einen vollständigen Überblick über die Astrobiologie zu geben. Ich werde mich jedoch bemühen mit den folgenden Kapiteln einen weiten Bogen zu spannen und zu den interessantesten Punkten weiterführende Literatur anzugeben. Doch wenden wir uns zunächst einmal der ersten Frage zu: „Wie ist Leben entstanden?“.

### Ursprung des Lebens

Die kürzeste und einfachste Antwort, könnte man so formulieren: „Es gibt zahlreiche plausible Szenarien und Ansätze, jedoch keinen experimentellen Nachweis, bei dem Leben unter Laborbedingungen erzeugt werden konnte.“ Das mag vielleicht auf den ersten Blick erschüttern oder verwundern, doch wird einem die Problematik klarer, wenn man von der Theorie zur

Methodik blickt. Zwar ist es mittlerweile möglich, ein einzelnes Moleküle unter hochreinen Laborbedingungen spektroskopisch zu betrachten, jedoch benötigt man für eine chemische Identifizierung und Charakterisierung einer Substanz aus einem unbekanntem Gemisch heraus mindestens  $10^{10}$  (10 Milliarden) Moleküle baugleicher Art. Selbst wenn also in einem Experiment mehrere Hunderte verschiedener primordialer selbstplazierender Zellen entstehen würden, wäre deren Nachweis mit heutigen analytischen Methoden höchst unwahrscheinlich. Die präbiotische Forschung – die sich mit der Entstehung des Lebens beschäftigt – muss daher auf idealisierte Systeme zurückgreifen, um wenigstens Teilprozesse untersuchen zu können.

Es ist daher kaum möglich eine realistische Umgebung für die Entstehung von Leben herzustellen, die es gleichzeitig noch ermöglicht die hierbei entstandenen chemischen Reaktionsprodukte nachzuweisen. Schon Stanley Miller hatte 1952 bei seinem berühmten Gasentladungsexperiment trotz des sehr einfachen Versuchssystems damit zu kämpfen, aus dem bräunlich-gelben, öligem Gemisch die Moleküle zu identifizieren, welche in den Reaktionen entstanden waren [Miller, 1953]. Er verwendete zur Simulation von Gewittern in der Uratmosphäre einen elektrischen Entladungsbogen zwischen zwei Wolframelektroden in einem Gemisch aus den Gasen Methan, Ammoniak und Wasserstoff sowie Wasserdampf (Heute ist man allerdings von der Annahme einer solchen stark reduzierenden Uratmosphäre abgekommen und nimmt statt dessen eine schwach reduzierende bis neutrale Uratmosphäre an). Miller ließ die Stoffe, welche aus den Gasmolekülen durch die elektrische Entladung entstanden waren kondensieren und fing sie in seinem simulierten „Urozean“ – einem Kolben mit Wasser auf. Er erhielt eine Vielfalt an organischen Säuren, darunter auch einige der häufigsten Aminosäuren, die in Lebewesen vorkommen [Miller, 1998]. Viele Verbindungen waren jedoch nur in Mengen nahe des Detektionslimits vorhanden und einen Großteil wird er niemals identifiziert haben.

So ist es leicht einzusehen, dass bei einem realistisch komplexen Aufbau mit der Simulation eines kleinen Teils der Urerde (und sei es nur ein Felsen in der Brandung eines Ozeans) eine Vielzahl an verschiedenen Stoffen in jeweils vorwiegend kleinsten Mengen entstehen, die sich einer Identifikation

entziehen, jedoch insgesamt eine Große Menge ausmachen können. Viele Theorien über den Ursprung des Lebens beziehen auch Mineraloberflächen mit ein, auf denen sich Sortierungsprozesse und chemische Reaktionen abspielen können, die zunächst zu einer oberflächenfixierten 2D Protozelle geführt haben könnten. Diese hätten sich dann im Lauf ihrer Evolution von ihren mineralischen Gefährten, die ihnen als Stützstrukturen, Katalysatoren, etc. dienten, getrennt und sich zu autonomen Organismen entwickelt. Dies ist zwar in der Theorie sehr plausibel, jedoch fehlt eine vollständige experimentelle Untermauerung. Diese wiederum ist extrem schwierig und mit den heutigen analytischen Methoden nahezu unmöglich. Auch wenn man bereits für Nukleobasen, deren Abfolge in unserer DNA, die Erbinformation codiert, die Anlagerung an Mineraloberflächen mittels Rastertunnelmikroskopie nachweisen und sogar sichtbar machen konnte [Heckl, 2002], so ist es noch ein weiter Weg, Tausende verschiedene Molekülarten in jeweils minimalen Konzentrationen und mehrfacher Molekülschichtung gleichzeitig untersuchen zu können. Die angewandte Forschung beschränkt sich daher auf idealisierte Systeme, die einzelne präbiotisch relevante Reaktionen herausgreifen (z.B. Wege der abiotischen Synthese von Aminosäuren, Zuckern, Nukleobasen, etc.) oder methodische Ansätze verfolgen. Bei letzteren handelt es sich um Grundfragen bei der Entstehung des Lebens, für deren Beantwortung chemische Modellsysteme herangezogen werden, die nicht unbedingt präbiotisch plausibel sein müssen. So konnte man bereits die Möglichkeit zur Selbstreplikation von einfachen organischen Molekülen anhand von Oligonukleotiden (kleine DNA-Abschnitte) sowie mit völlig artifiziellen Strukturen in verschiedenen Reaktion zeigen [Rebek, 1994]. Hierbei ließ sich neben der Selbstreplikation aus einfachen Vorläufermolekülen auch die Fähigkeit zur Mutation mit Auswirkungen auf den Replikationserfolg – die Grundlage von Evolution – nachweisen [Bag und von Kiedrowski, 1996]. Auf ähnliche methodische Weise wurden erstaunliche Aspekte der Selbstorganisation von einfachen Molekülen erkannt. So bilden sich aus organischen Säuren selbstständig Liposome (Sphären aus doppelschichtigen Membranen von Lipiden, vergleichbar mit der Zellmembran von Lebewesen), die

sich durch Abknospung selbstständig vermehren können [Hanczyc und Szostak, 2004]. Ähnliche Membranstrukturen wurden auch in wässrigen Extrakten aus Meteoriten und beim „auftauen“ kosmischer Eisanaloga erhalten [Dworkin et al., 2001].

Auch weitere organische Grundstoffe wie Nucleobasen, Lipide, Zucker und Aminosäuren wurden über Meteoriten und Kometen auf die frühe Erde gebracht [Cronin, 1998]. Aminosäuren ließen sich übrigens sogar im interstellaren Medium (ISM) nachweisen (Abb. 1). Doch Meteoriten und Kometen spielen nicht nur während der Phase des *Heavy Bombardments* vor 4,5 bis 4,0 Milliarden Jahren eine entscheidende Rolle bei der Grundausstattung der Erde für die Entstehung des Lebens sondern haben auch im Laufe der vergangenen 3,8 Milliarden Jahren die Evolution des Lebens auf der Erde nachhaltig beeinflusst.

### Kosmische Einflüsse auf das Leben

In dem Zeitraum von ca. 200 Millionen Jahren, der für die Entstehung von Leben bereitstand (vor 4,0 bis 3,8 Milliarden Jahren) waren kosmische Impakte um einiges häufiger als heute. Noch bis vor 4,0 Milliarden Jahren konnten sich daher vermutlich keine dauerhaften Ozeane ausbilden, da ständig durch die großen Einschläge diese verdampften und die Erde sterilisiert wurde (Abb. 2). Somit wurde vielleicht schon in der Anfangsphase das Leben mehrere Male ausgelöscht bis letztlich der Urahn all unseres heutigen Lebens entstand und dessen Entwicklungslinie bis heute bestehen blieb. Auch viele Große Aussterbeereignisse stehen in Zusammenhang mit kosmischen Einschlägen. Das berühmteste davon ist das Alvarez Ereignis mit einem Meteoriteneinschlag der vor ca. 65 Millionen Jahren die Dinosaurier ausgelöscht haben soll. Ein Favorit hierfür ist der Chicxulub Krater auf der heutigen Halbinsel Yucatan. Der direkte Zusammenhang mit dem Aussterben der Dinosaurier ist jedoch umstritten. Auch heute besteht die Gefahr durch Meteoriteneinschläge auf der Erde wie der geologisch junge, 24 Kilometer messende Einschlagskrater im Nördlinger Ries bezeugt. Doch bergen die kosmischen Bomben nicht nur eine Gefahr für das Leben auf der Erde, sie schaffen auch eine Möglichkeit für seine kosmische Verbreitung.

### Transfer von Leben im Weltraum

Arrhenius prägte gegen Anfang des 20. Jahrhunderts den Begriff der

Panspermie. Die Theorie geht davon aus, dass sich Leben über Meteoriten im Weltall verbreiten kann, indem auf einem belebten Planeten durch einen kosmischen Einschlag Stücke herausgesprengt werden und diese nach ihrer Reise im Weltraum einen bisher unbelebten Planeten mit Leben „animpfen“ können. Tatsächlich werden bei größeren Einschlägen Stücke aus einem Planeten über die Fluchtgeschwindigkeit beschleunigt und gehen auf anderen Planeten als Meteoriten zu Boden. So wurden bereits mehrere Meteoriten vom Mars auf der Erde gefunden. Vermutlich war der Transfer solcher Gesteinsbrocken zwischen Planeten in der Frühphase des Sonnensystems wesentlich häufiger als heute. Simulationen und Berechnungen zufolge können irdische Mikroorganismen sowohl die Schockwellen beim Herausprengen von Gesteinsbrocken aus der Erde durch einen kosmischen Impaktor, als auch den Wiedereintritt in die Atmosphäre eines Planeten überstehen. Die Überlebensrate hängt natürlich stark von den vorherrschenden Parametern wie der Größe und Masse des Gesteinsbrockens, Gesteinsart sowie Aus- und Wiedereintrittswinkel und damit verbundene Aufheizung des Objekts ab. Doch können Lebewesen überhaupt den widrigen Bedingungen des Weltalls während einer Reise zwischen zwei Planeten standhalten? Untersuchungen zeigten, dass bereits eine geringe Schichtdicke an Gesteinsstaub Bakterien vor zerstörerischer Strahlung schützen kann. Vakuum und Kälte stellen die geringsten Probleme für das Überleben von Mikroorganismen dar. Sogar Flechten und höhere Organismen wie Bärtierchen erwiesen sich als weltraumtauglich (Abb. 3). Da Meteoroiden jedoch ungerichtet im Sonnensystem umherfliegen, kann eine Reise zwischen Erde und Mars mehrere Hundert bis Millionen Jahre in Anspruch nehmen. Nach Berechnungen von Mileikowsky et al. könnte dennoch eine signifikante Anzahl an Bakterien eine 1 Millionen Jahre dauernde Reise von der Erde zum Mars oder umgekehrt überstehen [Mileikowsky et al., 2000]. Doch nicht nur Meteoroiden sind potentielle Transportvehikel für Leben. Auch unsere eigenen Raumsonden können Mikroorganismen mit sich tragen. Da hierbei eine Reise zum Mars nur ein paar Monate dauert, ist die Überlebenswahrscheinlichkeit bakterieller Sporen um ein Vielfaches höher. Es besteht damit nun die Gefahr einen Planeten künstlich mit irdischem Leben zu kontaminieren und fälschlich positive Resultate bei Lebensdetektions-Experimenten zu erhalten. Die Raumfahrt betreibenden Nationen haben sich daher verpflichtet unter den Auflagen der COSPAR die Kontaminationswahrscheinlichkeit

anderer Planeten und Monde zu minimieren. Diese Planetary Protection muss in Form strenger Sterilisationsprozesse für jede Sonde, Lander oder Rover je nach dessen Ziel-Planet oder Mond und den Experimenten die sich an Bord befinden durchgeführt werden [Debus und Viso, 2002].

### Extraterrestrisches Leben

Doch ist es überhaupt wahrscheinlich auf extraterrestrisches Leben zu treffen? Zunächst einmal muss man nach einer Möglichkeit für dessen Entstehung suchen. Hierfür ist es wesentlich zu wissen, ob Leben eine kosmische Zwangsläufigkeit ist und welche Bedingungen für dessen Entstehung nötig sind. Wie wir bereits gesehen haben, ist diese Frage zum heutigen Kenntnisstand noch nicht eindeutig zu beantworten. Es lässt sich jedoch aus dem offensichtlich ubiquitären Vorkommen der Grundstoffe von Leben vermuten, dass es sich nicht um ein einmaliges Zufallereignis handelt, sondern, dass die Entstehung von Leben in den Naturgesetzen verankert ist und so wie es einen bestimmten Druck- und Temperaturbereich gibt, in dem Wasser flüssig ist, sich auch Leben unter den geeigneten Bedingungen von selbst ergibt. Weiterhin gäbe es noch die Panspermie, über die Leben die Möglichkeit erhalten könnte auf potentiell alle Planeten und Monde zu kommen.



Impression des Einschlags eines Planetoiden auf der jungen Erde (NASA)

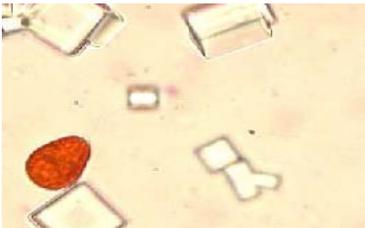
Können wir auch bisher keine Aussagen darüber treffen, ob und wie Leben auf einem anderen Planeten entstanden sein mag, so können wir doch über Vergleiche mit irdischem Leben versuchen, die Grenzen innerhalb derer Leben existieren kann zu ermitteln. Wenn wir wissen an welchen Orten sich Leben aufhalten kann, wird es uns leichter fallen, Ziele auf anderen Planeten zu definieren, deren Erkundung sich lohnen könnte. Doch auch das Leben an sich und die Ökosysteme unseres eigenen Planeten lassen sich durch die Erforschung der Extreme des Lebens besser verstehen. Und bei allem akademischen Interesse fällt gerade

auf diesem Gebiet auch ein unmittelbarer Nutzen ab: Viele der so genannten Extremophilen Mikroorganismen enthalten Enzyme, die an ihre jeweilige Umwelt (hohe Temperatur, extreme pH-Werte, Salzkonzentrationen, etc.) gut angepasst sind und sie daher für die industrielle Anwendung sehr interessant macht. Bereits genutzte



Im Biopan Set der ESA können Weltraumexperimente für biologische Proben durchgeführt werden (ESA)

Einsatzgebiete für Extremophile reichen von der Metallgewinnung und dem Bleichen von Papier bis hin zur Nahrungsmittelherstellung. Die Suche nach den Extrembedingungen des Lebens brachte hervor, dass das Leben sich in der Evolution an nahezu alle auch noch so harschen Bedingungen anpassen konnte (Abb. 4). Wir kennen heute Mikroorganismen die im über 100 °C heißen Wasser rauchender Tiefseeschlote, in konzentrierten Säuren oder Laugen und im inneren von Salzkristallen leben können [Rothschild und Mancinelli, 2001. Ist es also möglich, dass es auf unserem Nachbarplaneten Mars einst Leben gab oder vielleicht heute sogar noch gibt? Dieser Frage werden wir uns in den nächsten Ausgaben des Newsletters widmen.



Die Alge Dunaliella als Beispiel einer einfachen Lebensform, wie sie auch auf anderen Planeten existieren könnte

**Die Serie wird in den nächsten Ausgaben des Newsletters fortgesetzt.**

#### Literatur:

Bag, B. G., von Kiedrowski, G. (1996) Templates, autocatalysis and molecular replication. Pure & Appl. Chem. Vol. 68, No. 11: 2145-2152.

Cronin, J. R. (1998) Clues from the Origin of the Solar System. In The Molecular Origins of Life – Assembling Pieces of the Puzzle. Brack, A. (Ed.). Cambridge University Press.

Debus, A., Viso, M. (2002) Planetary Protection main requirements for planetary environment preservation and life detection experimentation. Acta Astronautica, Vol. 51, No. 1-9: 627-635.

Dworkin, J. P., Deamer, D. W., Sandford, S. A., Allamandola, L. J. (2001) Self-assembling amphiphilic molecules: Synthesis in simulated interstellar/precometary ices. PNAS, Vol. 98, No. 3: 815-819.

Hanczyc, M. M., Szostak, J. W. (2004) Replicating vesicles as models of primitive cell growth and division. Current Opinion in Chemical Biology 8: 660-664.

Heckl, W. M. (2002) Molecular Self-Assembly and the Origin of Life. In Astrobiology – The Quest for the Conditions of Life. Horneck, G., Baumstarck-Kahn, C. (Eds). Springer Verlag.

Mileikowsky, C., Cucinotta, F. A., Wilson, J. W., Gladman, B., Horneck, G., Lindgren, L., Melosh, J., Rickman, H., Valtonen, M., Zheng, J. Q. (2000) Natural Transfer of Viable Microbes in Space. 1. From Mars to Earth and Earth to Mars. Icarus 145: 391-427.

Miller, S. L. (1953) A Production of Amino Acids under Possible Primitive Earth Conditions. Science Vol. 117: 528-529.

Miller, S. L. (1998) The endogenous synthesis of organic compounds. In The Molecular Origins of Life – Assembling Pieces of the Puzzle. Brack, A. (Ed.). Cambridge University Press.  
Rebek, J. (1994) Künstliche Moleküle, die sich vermehren. Spektrum der Wissenschaft, September 1994: 66.

Rothschild, L. J., Mancinelli, R. L. (2001) Life in extreme environments. Nature, Vol. 409: 1092-1101.