

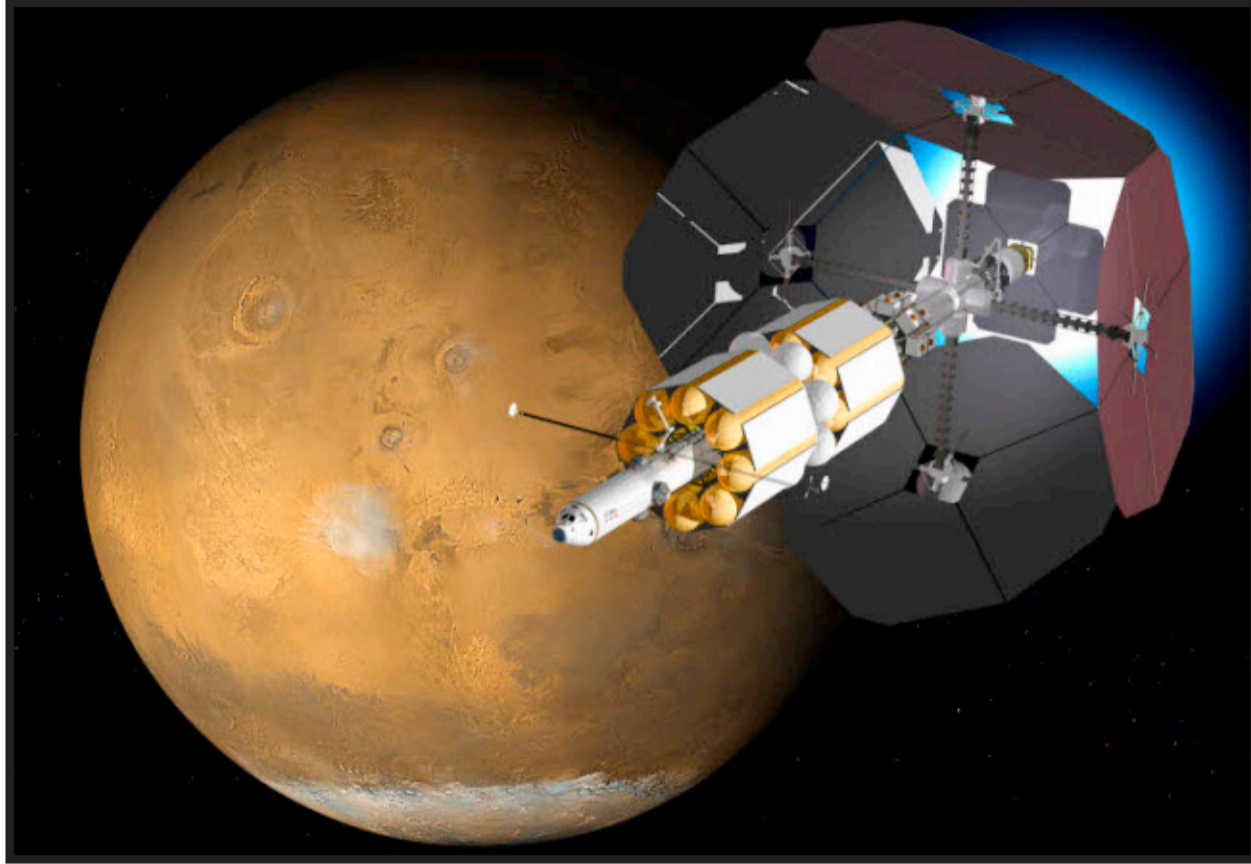
# Raketen unter Strom

Ionentriebwerken gehört die Zukunft im All: Sie brauchen wenig Treibstoff und ermöglichen ein hohes Tempo / Von Michael Heilemann

**R**aketenstarts haben die Qualität eines Naturereignisses: Das Raumschiff steigt auf in einem Feuerball und unter infernalischem Lärm, die Erde zittert noch in weiter Entfernung von der Abschussrampe. Es braucht eine gewaltige Energie, um die Schwerkraft der Erde zu überwinden – eine Energie, wie sie nur bei der explosionsartigen Verbrennung chemischer Treibstoffe (Wasserstoff etwa) frei wird.

Doch sobald das Raumschiff den freien Raum erreicht hat, sind andere Antriebe möglich: elektrische. Sie erzeugen zwar nur einen sanften Schub, verbrauchen aber „signifikant weniger Treibstoff“, so Georg Herdrich vom Institut für Raumfahrtssysteme (IRS) in Stuttgart. Und sie sind nachhaltiger. Während die Brenndauer herkömmlicher Raketen im Bereich von Minuten liegt, können elektrische bis zu 20 000 Stunden und mehr laufen.

Wie chemische Triebwerke funktionieren sie ebenfalls nach dem Rückstoßprinzip – nur dass der Antriebsstrahl nicht durch Verbrennung des Treibstoffes entsteht. Vielmehr handelt es sich dabei um einen Strom geladener Teilchen, um sogenannte Ionen. Sie werden durch ein elektrisches oder magnetisches Feld (siehe Beitrag unten) auf eine sehr hohe Geschwindigkeit beschleunigt und erzeugen



Rakete mit elektrischem Antrieb vor dem Mars (Modell) FOTO: USED UNDER LICENSE WITH AD ASTRA ROCKET COMPANY

## Elektrisch zum Mars

Die Zeichen der Zeit stehen auf Elektromobilität – auch in der Raumfahrt. Sogenannte Ionentriebwerke, die ihre Energie aus (Sonnen)strom ziehen, manövrieren eine neue Generation von Satelliten in der Erdumlaufbahn. Die Technik ist vorhanden, der kommerzielle Durchbruch steht bevor. Auch zu fernen Planeten könnte die Reise elektrisch gehen. Erstes Ziel: ein bemannter Flug zum Mars.

dadurch den Vortrieb. Bei dem Stoff, der ionisiert und ausgestoßen wird, handelt es sich heutzutage meist um das Edelgas Xenon, früher kamen auch Quecksilber oder das radioaktive Cäsium zum Einsatz. Die Energie stammt aus Solarmodulen beziehungsweise in sonnenfernen Regionen des Weltalls aus einer Atombatterie.

Nun ist es nicht so, dass „Electric Propulsion“ (EP) die neueste Erfindung in der

Raketentechnik wäre. Das Prinzip des Ionentriebwerks hat der deutsche Raketenpionier Hermann Oberth bereits in den 1920er-Jahren entdeckt. Die Amerikaner testeten 1964 erstmals ein Ionentriebwerk im All. Seitdem waren schon einige wissenschaftliche Raumsonden mit einem „Ionenmotor“ unterwegs, am bekanntesten sind die europäische Smart 1 zum Mond (2003) oder die amerikanische Deep Space 1 (1998) zu einem Asteroiden. Sie alle wurden mit konventionellen Raketen ins All befördert, bevor sie „auf elektrisch“ umschalteten. Für 2016 plant die Europäische Raumfahrtagentur ESA zusammen mit Japan die zum Teil elektrisch angetriebene Sonde „Bepi-Colombo“, die zum Merkur fliegen soll.

Im Bereich der kommerziellen Raumfahrt ist der EP-Antrieb noch rar, was mit den hohen Kosten dieser Technologie zusammenhängt. Momentan fliegen in der Erdumlaufbahn nur rund 190 Satelliten (von insgesamt etwa 1000 aktiven), die wenigstens zum Teil elektrisch angetrieben werden. Dabei kann die Technologie gerade in diesem Bereich ihre Stärken aus-

spielen. Weil Ionentriebwerke weniger Treibstoff brauchen, sinkt das Startgewicht der Raketen. Mit anderen Worten: Die Nutzlast kann größer werden – was sich für die Betreiber finanziell auszahlt.

Führend sind die Amerikaner. Sie hätten die Zeichen der Zeit früher erkannt als die Europäer, beklagt Horst Neumann von der Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt. Vor allem Boeing ist sehr aktiv. Der US-Konzern baut derzeit einen Satelliten, der, einmal im All ausgesetzt, seine endgültige Position rein elektrisch ansteuert. All electric propulsion nennt sich das. Aber die Europäer holen auf. Airbus stellt den Satelliten Eutelsat 172B her, den nach eigenen Angaben ersten europäischen Satelliten, der seine Höhe elektrisch korrigieren kann.

Darum geht es: Kommunikationssatelliten – sie fliegen in einer geostationären Umlaufbahn in rund 36 000 Kilometern Höhe – müssen exakt positioniert sein. Aber sie unterliegen einer Drift, deshalb muss ihre Lage permanent justiert werden, sonst decken sie nicht mehr das richtige Areal auf der Erde ab. Ionenmotoren können das am besten. Feinabstimmung ist auch wichtig bei wissenschaftlichen Experimenten im All, wenn etwa Laser und Spiegel über Tausende Kilometer exakt zueinander positioniert werden müssen. Zur Entsorgung von Weltraummüll sind Ionentriebwerke ebenfalls sinnvoll. Damit betriebene Abschleppsatelliten könnten Trümmer in den Orkus befördern – also Richtung Erdatmosphäre, wo sie dann verglühen.

Wie leistungsfähig EP ist, zeigte die Rettung des Satelliten Artemis im Jahr 2001, der von einer Ariane-Rakete zu niedrig ausgesetzt worden war, aber zum Glück auch über einen Ionenmotor verfügt. Es gelang, Artemis die letzten 5000 Kilome-

ter elektrisch in seine korrekte Position zu manövrieren. Freilich dauerte dies mehrere Monate. Wenn es indes schnell gehen muss, ist der chemische Antrieb eindeutig überlegen. „Der Transfer eines Satelliten in seine Position muss binnen sechs Monaten gelaufen sein“, so Herdrich.

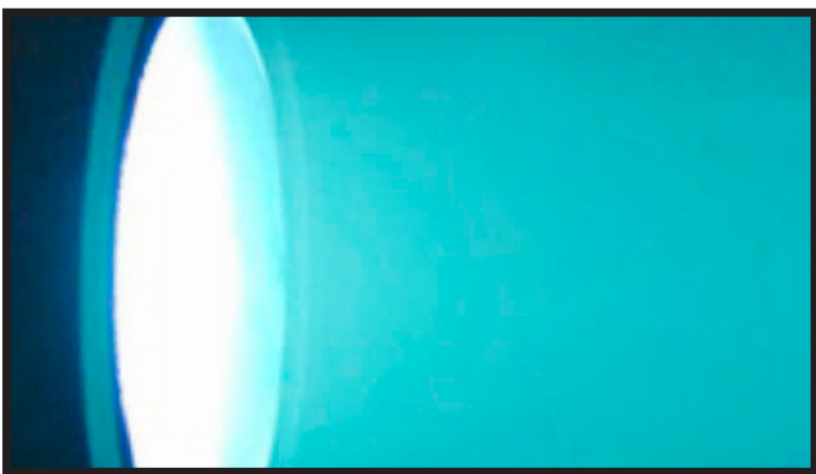
Ionentriebwerke produzieren eben nur einen sehr geringen Schub (wegen des geringen Gewichts der Ionen), sie brauchen also sehr lange, bis sie im All eine Rakete auf Tempo bringen. Das aber ist unschlagbar hoch. „Das hängt mit der Austrittsgeschwindigkeit der Partikel aus dem Triebwerk zusammen“, erklärt Hans Leiter, bei Airbus in Lampoldshausen für EP verantwortlich. „Während sie bei Verbrennungsgasen bei 1,5 bis 3 Kilometern pro Sekunde liegt, erreichen Ionen 30 bis 50. Und dieses Tempo kann die Rakete maximal erreichen.“

Das eröffnet der Raumfahrt ganz neue Möglichkeiten – Missionen in die Tiefe des Raums, auch bemannte. An erster Stelle stünde ein Flug zum Mars. „Die Russen wollen mehrere elektrische Einheiten in einem Cluster zusammenschalten, dadurch erhöht sich der Schub“, so Horst Neumann. Gestartet werden müsste freilich aus der Erdumlaufbahn, was die Mission technisch sehr anspruchsvoll macht. Und ganz ohne fossilen Brennstoff käme man dabei auch nicht aus. Denn der Rückstart vom Mars müsste ja ebenfalls chemisch erfolgen.

Aber die Mission wäre weitestgehend unabhängig von Zeitfenstern und Planetenkonstellationen, die bisher Starts nur alle zwei Jahre möglich machen. Und man wäre, wegen des hohen Tempos der elektrischen Raketen, relativ rasch dort: in fünfzehn Wochen, wie amerikanische Experten ausgerechnet haben.

Noch ist das Science-Fiction, aber die Stippvisite auf den Mars, sie rückt näher.

In nur  
fünfzehn  
Wochen  
zum Roten  
Planeten?



Sparsam und äußerst effektiv: ein Ionentriebwerk

FOTO: NASA

## HINTERGRUND

### Triebwerke in der Raumfahrt

Neben dem konventionellen chemischen Triebwerk, das festen oder flüssigen Treibstoff verbrennt, werden in der Raumfahrt elektrische Triebwerke immer wichtiger. Fachleute wie Georg Herdrich vom Institut für Raumfahrtssysteme in Stuttgart unterscheiden drei

Gattungen. Beim **elektrostatischen Triebwerk**, auch Ionentriebwerk genannt, wird ein vollständig ionisiertes Plasma durch ein elektrisches Feld beschleunigt. So entsteht der Vortrieb. Beim Treibstoff handelt es sich meist um das Edelgas Xenon. Die europäische Mondsonde Smart 1 nutzte ein solches Triebwerk. **Elektromagnetische Triebwerke** arbeiten ebenfalls mit ionisiertem Plasma, nur dass die Beschleunigung der geladenen Teilchen durch ein Magnetfeld erfolgt. Sie liefern höhere Schübe als die Ionentriebwerke. Prominentester Vertreter dieser Klasse ist das Magneto-Plasma-Dynamische Triebwerk (MPD). Schließlich gibt es die **elektrothermischen Antriebe**. Sie sind den chemischen Triebwerken am nächsten, weil sie ebenfalls über eine Düse Gase ausstoßen. Dabei wird der Treibstoff elektrisch auf sehr hohe Tem-

peraturen aufgeheizt. Am bekanntesten ist das Thermische Lichtbogentriebwerk (englisch: arcjet), in dem Gas durch einen Lichtbogen geleitet wird. Am ausgereiftesten, was die Flugfertigkeit anbetrifft, sind Herdrich zufolge die Ionentriebwerke und die Arcjets. Triebwerke, die einen höheren Schub liefern, benötigen auch eine höhere elektrische Leistung. Eine bemannte Marsmission wäre nur mit einem Atomreaktor möglich. **hei**

peraturen aufgeheizt. Am bekanntesten ist das Thermische Lichtbogentriebwerk (englisch: arcjet), in dem Gas durch einen Lichtbogen geleitet wird. Am ausgereiftesten, was die Flugfertigkeit anbetrifft, sind Herdrich zufolge die Ionentriebwerke und die Arcjets. Triebwerke, die einen höheren Schub liefern, benötigen auch eine höhere elektrische Leistung. Eine bemannte Marsmission wäre nur mit einem Atomreaktor möglich. **hei**

## FRAGEN SIE NUR!

### Erfolgsprinzip kalte Füße

Warum frieren nasse Entenfüße nicht auf dem zugefrorenen See fest?

„Die Vögel haben im Fuß ein spezielles System des Wärmeaustausches entwickelt“, erklärt Stefan Leitner vom Max-Planck-Institut für Ornithologie in Seewiesen. Aufbau und Lage der

Blutgefäße in den Entenbeinen sorgen dafür, dass Enten immer kalte Füße haben – das sogenannte Gegenstromprinzip: „Im körpernahen Teil der Beine sind die zum Fuß laufenden Arterien und die zum Körper laufenden Venen stark verzweigt und liegen nahe beieinander“, präzisiert Leitner.

„Dort gibt das abwärts laufende Blut Wärme an das aufwärts laufende Blut ab.“ So kann die Temperatur in den Füßen einer Ente je nach Umgebung auf annähernd null Grad Celsius sinken. Das spart der Ente viel Energie, da keine Wärme an die Umgebung abgegeben wird. Zudem kann sie problemlos auf einem zugefrorenen See stehen bleiben, weil das Eis nicht durch ihre Körperwärme schmilzt. Einem Menschen erginge das barfuß anders, weil das Tauwasser bei Nullgraden samt seiner Füße schnell wieder festfrieren würde. **val**

Noch Fragen? Fragen Sie nur! Per Postkarte an die Badische Zeitung, Basler Straße 88, 79115 Freiburg oder per E-Mail an fragen@badische-zeitung.de

## Segeln mit der Kraft der Sonne

Raumsonde startet im Mai

„Lightsail“, Lichtsegel: So heißt eine amerikanische Raumsonde, die im Mai einen Testflug absolvieren soll. Der Name ist Programm, denn angetrieben wird dieses Raumschiff allein durch den Strahlungsdruck der Sonne. Wie bei den elektrischen Antrieben ist auch hier der Schub äußerst gering. Seinen Vorteil spielt dieses System also nur bei sehr langen Missionen aus, da die Geschwindigkeit sukzessive ansteigt. Außerdem kommt es darauf an, dass das Sonnensegel bei möglichst geringer Masse eine sehr große Fläche besitzt. Wenn „Lightsail“ an Bord einer Atlas-5-Rakete ins All geschossen wird, hat die Sonde ungefähr die Größe eines Brotlaibs. Im All entfaltet sie vier dreieckige Segel aus dem Polyester Mylar, dem derzeit leichtesten Gewebe bei höchster Festigkeit. Die zusätzlich mit Aluminium beschichteten Segel sind nur rund fünf Tausendstel Millimeter dick und formen zusammen ein etwa 32 Quadratmeter großes Rechteck.

„Lightsail“ wurde von der privaten „Planetary Society“ in den USA finanziert. Das Raumschiff fliegt von Cape Canaveral aus als Beiladung einer Militärarakete ins All, weshalb unbekannt ist, in welcher Höhe es ausgesetzt wird. Die Mai-Mission dient der Organisation zufolge lediglich als Technologietest. Man rechnet damit, dass das Raumschiff nicht in eine Erdumlaufbahn eintritt, sondern innerhalb weniger Tage verbrennt. Eine weitere Mission ist für das kommende Jahr geplant, dann soll der Start mit einer zivilen Trägerrakete erfolgen. „Lightsail 2“ soll dann tatsächlich fliegen. Auch Europa und Japan arbeiten an der Technologie. Die amerikanische Nasa hatte in den 1970er-Jahren damit geliebäugelt, ein Raumschiff mit Sonnensegel in Richtung des Halleyschen Kometen zu schicken, die Pläne aber nicht weiter verfolgt, weil die Sonnensegel gigantische Ausmaße angenommen hätten. **hei**