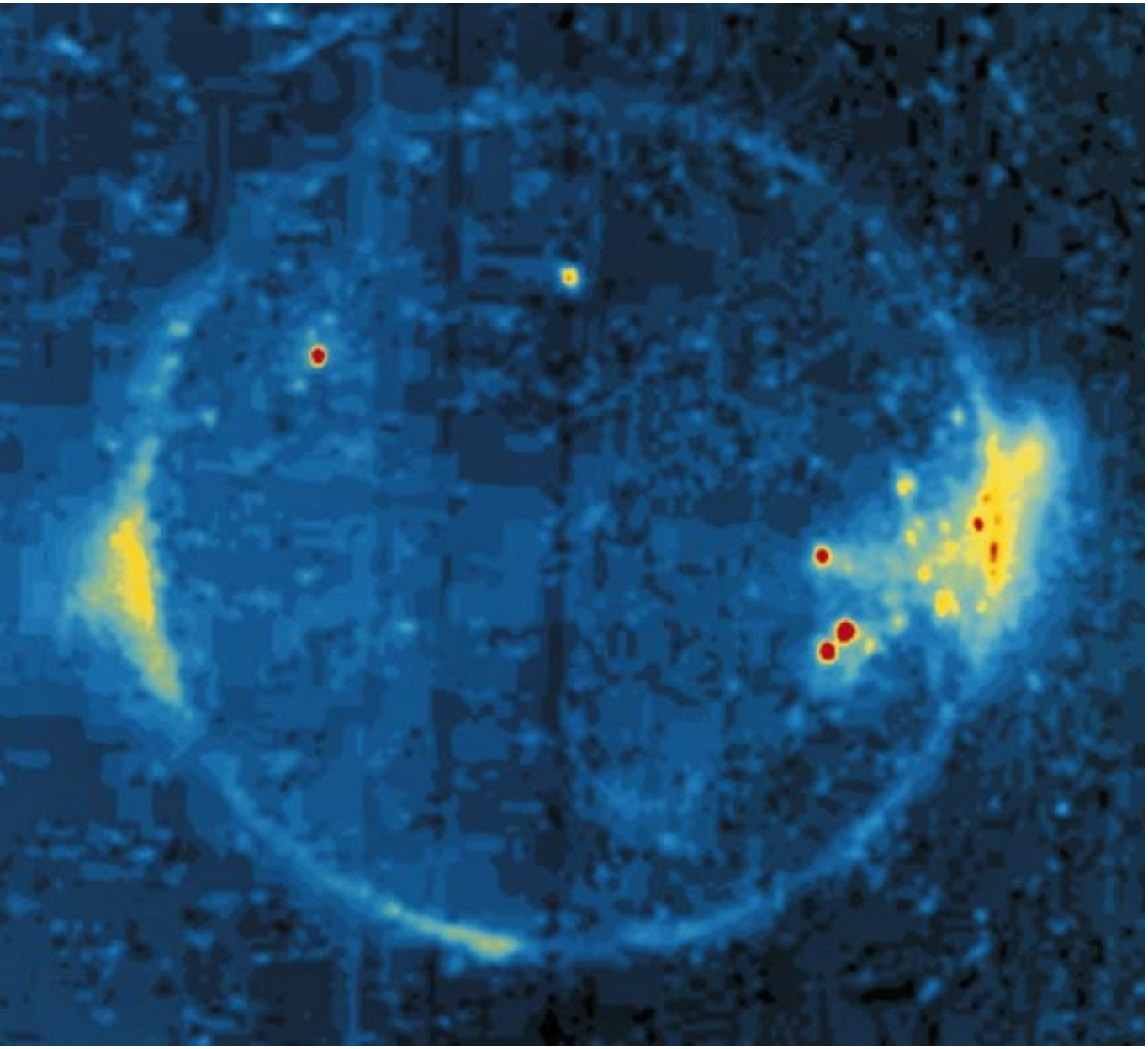
88

Mitteilungen des
Deutschen Zentrums für
Luft- und Raumfahrt

Februar 1998 / G 12625

DLR NACHRICHTEN



■ In dieser Ausgabe **Bundesminister Rüttgers:** Luft- und Raumfahrt – eine Herausforderung für deutsche Forschungs- und Technologiepolitik ■ Interview mit **NASA-Chef Daniel Goldin** ■ Thema **Pathfinder und Galileo** – zwei „Forschungs-Krimis“ von H. Wänke und G. Neukum

Dr. Jürgen Rüttgers, Bundesminister für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie

Luft- und Raumfahrt – eine Herausforderung für deutsche Forschungs- und Technologiepolitik

Die Raumfahrt steht jetzt an der Schwelle, an der sie neben dem vorwiegend technikorientierten und außenpolitischen Faktor auch ihr kommerzielles Gewicht entwickeln muß. So war allein 1996 bei einem Auftragsvolumen der europäischen Raumfahrtindustrie von rund fünf Milliarden US-Dollar bereits mehr als ein Drittel der Aufträge kommerzieller Natur. Aber die europäische Raumfahrt muß ihre Marktposition weiter ausbauen. Hierfür stehen exemplarisch insbesondere die Markterwartungen in der Telekommunikation, Navigation, Erdbeobachtung und im Trägergeschäft in den nächsten zehn Jahren. Dies ist zugleich sowohl Ursache als auch Folge des tiefgreifenden Wandels in den Unternehmensstrukturen in den USA, aber auch in Europa. Diese Entwicklung macht nicht Halt bei den Unternehmen, sondern fordert auch nachhaltige Konsequenzen im Handeln der Staaten und der Raumfahrtagenturen in Europa und weltweit. Diese Entwicklungen zu erkennen und bewußt im Rahmen von „public-private Partnership“ mit Realitätssinn zu gestalten, ist die Aufgabe, vor der wir alle gemeinsam stehen.

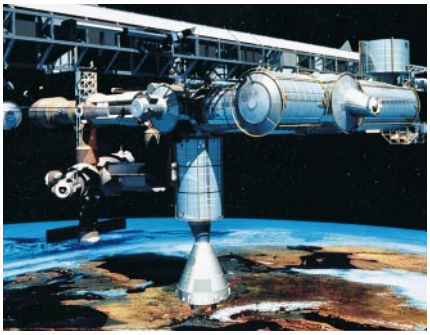
Langfristige Orientierung

In intensiver Abstimmung mit der Wirtschaft und der Wissenschaft sind die Veränderungen in der Raumfahrt analysiert und die notwendigen Schlüsse für die deutsche Raumfahrtpolitik gezogen worden: inhaltlich durch eine strategische Neuausrichtung und organisatorisch durch Neustrukturierung des nationalen Raumfahrtmanagements.

Das von mir dem Bundeskabinett vorgelegte Konzept „Raumfahrt: Perspektiven in Forschung und Anwendung“ ist im Juli 1997 verabschiedet worden. Unser übergreifendes Ziel ist es, die deutsche und europäische Raumfahrt in Qualität und Kosteneffizienz voll wettbewerbsfähig zu machen. Alle durch technischen Fortschritt gegebenen Chancen, Raumfahrtvorhaben kleiner und billiger zu machen, sind konsequent wahrzunehmen. Nur so kann Deutschland auch weiterhin eine treibende Kraft der europäischen Raumfahrt bleiben. Der finanzielle Handlungsrahmen ist dabei klar gesetzt. Er ist eng, er darf uns aber nicht hindern, darüber nachzudenken, wie wir mehr Raumfahrt mit den verfügbaren Mitteln machen können. Ich bin davon überzeugt, daß im Wettbewerb um die knappen Ressourcen neue, kreative Ansätze entstehen und ausgetretene Pfade der Planung und Implementierung von Raumfahrtprojekten verlassen werden. Es ist nun Aufgabe des neugegründeten „Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt“, auf dieser Grundlage eine detaillierte Planung für ein deutsches Raumfahrtprogramm zu erarbeiten und dem Umbruch Gestalt zu geben.

Wir brauchen in der Raumfahrt:

- Stärkere Konzentration auf Kernfelder mit Betonung der Internationalen Raumstation (ISS) und konkrete Anwendungen: Die ISS wird deshalb in den



nächsten Jahren das zentrale Aktionsfeld der deutschen Raumfahrt zum Nutzen der Wissenschaft, der angewandten Forschung und der Industrie darstellen. Gleichzeitig wollen wir den Einsatz staatlicher FuE-Mittel auch auf solche Bereiche konzentrieren, die erkennbare kommerzielle und öffentliche Anwendungsperspektiven besitzen. Dies sind in erster Linie die Satellitennavigation, die Satellitenkommunikation und die Erdbeobachtung.

- Abgestimmte staatliche Förderaktivitäten und private Engagements: Gerade auf den anwendungsorientierten Feldern sind gemeinsame Anstrengungen im Sinne einer „public-private Partnership“ erforderlich. Die deutsche Industrie – gegebenenfalls in Allianzen mit europäischen oder internationalen Partnern – muß ihre Chance nutzen, an einem vom Markt getragenen Wachstum teilzunehmen. Dazu braucht es von industrieller Seite her überzeugende Ansätze und Konzepte, die eine unternehmerische Perspektive aufzeigen.

- Ein konsequentes Selbstverständnis als Dienstleister: Stärkere Orientierung am öffentlichen und privaten Bedarf und deutliche Eigenbeteiligung der öffentlichen und privaten Nutzer sind zwei Seiten einer Medaille. Die Raumfahrt muß deutlich machen, wie sie auf die Anforderungen der Wissensgesellschaft reagiert, mit welchen Lösungen sie zu Fragen in der Sicherheits-, Umwelt-

und Entwicklungspolitik beiträgt. Die Nutzer, seien es öffentliche Stellen oder private, müssen frühzeitig in die Entscheidungen eingebunden werden und auch Verantwortung übernehmen. Ein wesentlicher Gesichtspunkt ist dabei, daß sie sich – schrittweise – an den Betriebs- und Nutzungskosten wissenschaftlicher Instrumente beteiligen.

- Kontinuität bei der Nutzung der Raumfahrt als Instrument erkenntnisorientierter Forschung: Die von Deutschland erreichte Spitzenstellung im Bereich der Weltraumwissenschaften soll auch in Zukunft gehalten werden. Häufigere wissenschaftliche Kleinmissionen mit speziell auf das jeweilige Ziel zugeschnittenen Instrumenten oder operationelle Systeme mit überschaubaren Betriebskosten bieten die Möglichkeit, den Einsatz innovativer Technologien als selbstverständliches und wirtschaftliches Mittel für wissenschaftliche, gesellschaftliche und kommerzielle Anwendungen zu integrieren. Schon bei der Planung neuer wissenschaftlicher Vorhaben soll verstärkt darauf geachtet werden, wie Anwendungs- und Technologietransferpotentiale auch außerhalb der Raumfahrt konsequent genutzt werden können.

- Strenge Kosten- und Finanzdisziplin durch konsequentes „Design-to-Budget“: Ein Design-to-Budget setzt einen nachhaltigen Impuls für die Forcierung des Prinzips „schneller, billiger, besser“.

- Klare Position auf dem Trägersektor: Es geht um die langfristige Sicherung der mit der ARIANE aufgebauten Markt-

position. Ziel ist das Vorantreiben von Vorentwicklungen auf Schlüsselgebieten wie leistungsstärkeren Antrieben und wiederverwendbaren Strukturen für künftige Träger. Bei kommerziellen Startdiensten mit kleinen Trägern (bis 1,5 Tonnen) ist das Portfolio der von ARIANESPACE angebotenen Startdienste sinnvoll abzurunden.

- Einbettung in die europäische und internationale Zusammenarbeit: Die europäische Zusammenarbeit – insbesondere mit den ESA-Partnern – ist der Kern deutscher Raumfahrtaktivitäten. Ziele und Interessen der deutschen Raumfahrt sind untrennbar mit europäischen Aktivitäten verbunden. Wir reden nicht nur darüber, sondern investieren gut drei Viertel unseres Raumfahrtbudgets über die ESA. Darüber hinaus behält die Zusammenarbeit mit den USA, Rußland, Japan und anderen Ländern ihren hohen Stellenwert.

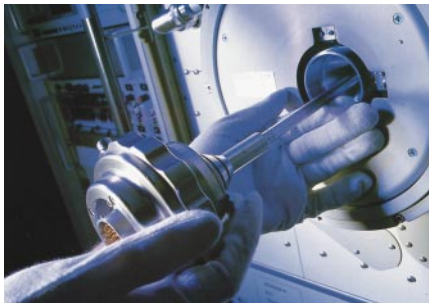
- Reform der Europäischen Weltraumagentur ESA: Die ESA muß ihre Rolle im Kontext der fortschreitenden europäischen Einigung, der Globalisierung der Raumfahrtmärkte und der zunehmenden Bedeutung industriellen und kommerziellen Engagements in der Raumfahrt neu definieren. Sie muß ihre Effizienz bei der Verwaltung, der Entscheidungsfindung und beim Projektmanagement steigern. Es muß zu einer besseren Abstimmung mit den national vorhandenen Kapazitäten kommen. Die ESA muß klären, wo ihr Beitrag liegt, die Leistungsfähigkeit der europäischen Industrie zu steigern. Dies wird unsere gemeinsame Arbeit in den kommenden Monaten ganz wesentlich bestimmen.

DLR: Großforschungseinrichtung und Raumfahrtagentur

Die mit Wirkung vom 1. Oktober 1997 vollzogene Fusion von DLR und DARA zum „Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt“ ist ein zentrales Element der Umsetzung des Konzeptes Raumfahrt. Ich bin überzeugt, daß wirksame Raumfahrtpolitik zusammenführen muß, was sachlich zwingend im Raumfahrtgeschäft zusammengehört: Forschung und Technologieentwicklung, strategische Raumfahrtplanung, Management des nationalen Raumfahrtprogramms und der für die Raumfahrt erforderlichen Betriebsanlagen sowie wirksame Vertretung deutscher Interessen auf der internationalen Bühne. Ich bin zuversichtlich, daß das DLR das deutliche „Mehr“ an Verantwortung in ein deutliches „Mehr“ an Nutzen für die deutsche Raumfahrt auf nationaler und internationaler Bühne umsetzen wird.

Die Fusion hat darüber hinaus eine beträchtliche politische Dimension. Sie erwächst nicht zuletzt daraus, daß sich in der weiteren Perspektive tiefgreifende Veränderungen in der Aufgabenteilung von Staat und seiner Agentur einerseits und der Industrie andererseits abzeichnen. Wir müssen für die Raumfahrt Strategien entwickeln, wie zum Beispiel bestimmte Betriebsaufgaben in Eigenverantwortung der Industrie übergehen können. Antworten allein nur im nationalen Rahmen werden da nicht mehr ausreichen. Hierzu erwarte ich einen wichtigen konzeptionellen Beitrag des neuen DLR.

Ein Hochtechnologieland wie Deutschland muß eigene Kompetenz in der Raumfahrt besitzen. Der hohe Mittelbedarf muß intelligent gesteuert, finanzielle Obergrenzen müssen strikt eingehalten werden. Dann ist Raumfahrt auch in Deutschland auf Dauer konsensfähig. Dann wird Raumfahrt, ohne an Faszination für die Menschen einzubüßen, noch stärker zu einem Produktivitätsfaktor.



Luftfahrtforschung

Die deutsche Luft- und Raumfahrtindustrie hat im zurückliegenden Jahr nach einer längeren Phase der Konsolidierung beträchtlich an Dynamik zulegen können. Vor allem getragen von dem Aufschwung auf dem Markt für Verkehrsflugzeuge, aber auch von erheblichen Zuwächsen bei Militärflugzeugen, Satelliten und der Raumfahrtinfrastruktur wurden 1997 zweistellige Wachstumsraten erzielt. Beispielsweise haben radikale Kostensenkungsprogramme einen beträchtlichen Produktivitätsschub ausgelöst. Das Ziel, starker Partner und ernsthafter Wettbewerber zu sein, erfordert Konzentration der Kräfte, national und in Europa. Das Luftfahrtforschungsprogramm des BMBF und seine Leitkonzepte haben hier einen wesentlichen Beitrag geleistet.

Wenn man in Europa über Luftfahrt spricht, muß man über AIRBUS sprechen. Das Projekt AIRBUS war und ist neben der ARIANE einer der großen technologischen und wirtschaftlichen Erfolge Europas. Es ist eine Erfolgsgeschichte dank überlegener Technik, der Weitsicht früherer Entscheidungen und des Mutes zu langfristigen Engagements.

Der Konkurrenzdruck aus den USA hat sich dennoch infolge der Fusionswelle – zuletzt bei Boeing – in einem für AIRBUS alarmierenden Maße verschärft. Im Wettbewerb mit diesem Riesen kann die europäische Luftfahrtindustrie in ihrer jetzigen Fragmentierung nicht bestehen. Der Zusammenschluß des AIRBUS-Konsortiums zu einer „single corporate entity“ ist für AIRBUS lebensnotwendig geworden. Die Verhandlungen zur Zusammenführung müssen mit höchstem Druck geführt werden. Die Konsortien müssen ihre Aktivitäten möglichst vollständig einbringen. Das Ergebnis – die gemeinsame Gesellschaft – muß 1999 geschaffen und lebensfähig sein. Ich habe den Eindruck, daß dies inzwischen – anders als noch vor wenigen Monaten – in allen Partnerländern so gesehen wird, und bin deshalb zuversichtlich, daß das Ziel erreicht werden kann.

Daneben sind Innovationen, technologische Entwicklungen und neue Produkte wie der Megaliner die bestimmenden Ziele der europäischen Luftfahrt in den nächsten Jahren. Die Partner sind sich einig, daß AIRBUS in den Bereich der Großraumflugzeuge vordringen muß. Seriöse Schätzungen gehen davon aus, daß in den nächsten 20 Jahren voraussichtlich annähernd die Hälfte des insgesamt erwarteten Auftragsvolumens für größere Verkehrsflugzeuge auf die Klasse oberhalb von 330 Sitzplätzen entfallen wird.

Angesichts der großen Herausforderungen, die hier gestellt sind, ist der Staat grundsätzlich bereit, den Weg zu einem Megaliner mitzugehen. Die Ini-

tiative und die primäre Verantwortung für ein solches Projekt muß aber bei der Industrie liegen. Die künftige Förderung der Luftfahrtforschung wäre dann auch auf dieses Ziel zu fokussieren. Allen muß die Reichweite dieses Projekts klar sein: Wir prägen damit sowohl die technischen Strukturen als auch die Unternehmensstrukturen der europäischen Luftfahrtindustrie in der Zukunft. Ich bin deshalb zuversichtlich, daß der neugefundene Schwung bei den Verhandlungen zur Restrukturierung von AIRBUS auch die Lösung der planerischen und technischen Fragen weitertreiben und uns gemeinsam mit Industrie und Forschung dabei helfen wird, die an Europa gestellten Herausforderungen zu meistern.

Der Luftfahrt die ihr gebührende Aufmerksamkeit zu schenken, schließt auch ein, die Wirkungen des Weltluftverkehrs auf Umwelt und Klima genau zu verfolgen und zu bewerten. Es ist deshalb Ziel der vom BMBF geförderten Forschungsarbeiten, das Wachstum von Verkehrsaufkommen einerseits sowie Kohlendioxid und Stickoxiden andererseits zu entkoppeln und ihren Ausstoß gegenüber dem heutigen Stand deutlich abzusenken.

Seit 1992 fördert deshalb das BMBF ein interdisziplinäres Programm der Atmosphären- und Triebwerksforschung. Die Bilanz der Ergebnisse kann sich sehen lassen. Unter Federführung des DLR arbeiten hieran 24 Partner aus Hochschulen, Industrie, Max-Planck- und Fraunhofer-Instituten. Die Ergebnisse dieser Arbeiten sind weltweit anerkannt. Sie sollen allein durch weitere Forschung an Triebwerken bis 2010 zu einer Reduzierung der Stickoxidemissionen um 85 Prozent und der Kohlendioxidemissionen um 25 Prozent in Relation zum Technologiestand von 1995 führen.

Aufbauend auf der guten Einbindung in Industrie- und Verbundprojekte des Luftfahrtforschungsprogramms sind jedoch noch die Aktivitäten des DLR zu verstärken, die auf anwendungsnahe Forschung und schnelle Überführung der Forschungsergebnisse in die industrielle Praxis zielen. Dabei wird einerseits die Mittlerrolle zwischen Industrie und Wissenschaft und andererseits die direkte Einbindung zum Beispiel in Forschungsarbeiten der DASA an Stellenwert gewinnen. Auf internationaler Ebene erwachsen dem DLR parallel zum Entstehen einer europäischen AIRBUS-Kapitalgesellschaft neue Aufgaben bei der Zusammenarbeit der nationalen Großforschungszentren mit dem Ziel der stärkeren Harmonisierung ihrer Forschungsaktivitäten sowie ihrer Versuchstechnik und Großgeräte.

Die Bundesregierung unternimmt große finanzielle Anstrengungen zur Förderung der Luft- und Raumfahrt. Sie schafft damit die Voraussetzungen zum Betreten von wissenschaftlichem und technischem Neuland. Allein im Haushalt des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie werden jährlich fast zwei Milliarden DM für die europäische Raumfahrtagentur, die nationalen Programme für Luft- und Raumfahrtforschung und für das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt aufgewendet. Hinzu kommen die erheblichen Mittel für die Entwicklung von Rüstungsgütern in der Luftfahrt beim Bundesminister der Verteidigung.

Industriestaaten wie Deutschland brauchen moderne Technologien. Deshalb werden von der öffentlichen Hand auch in Zeiten knapper Budgets erhebliche Mittel investiert. Diese Investitionen in die Luft- und Raumfahrt sind langfristige Investitionen in Arbeitsplätze und damit in die Zukunft des Wirtschaftsstandorts Deutschland und Europa.

ZWISCHEN

Sonnenwind

UND

Polarlichtern

Der deutsche Kleinsatellit EQUATOR-S erforscht die Magnetosphäre der Erde

Im Rahmen des Inter-Agency Solar-Terrestrial Physics Program (IASTP) haben die Raumfahrtagenturen Europas, Japans, Rußlands und der USA eine Reihe von Satelliten gestartet, nämlich GEOTAIL (Japan/USA), AKEBONO und YOHKOH (beide Japan), WIND, POLAR, FAST und ACE (alle USA), SOHO (Europa/USA) sowie INTERBALL (Rußland).

Diese Satellitenflotte ermöglicht es erstmals, die Sonne selbst, ihren Plasmawind und die Vorgänge in der Erdmagnetosphäre gleichzeitig zu untersuchen. Allerdings fehlte bislang ein Satellit, der die Erde in Äquatornähe umkreist und dort den Teil der Magnetosphäre erforscht, der die meisten Teilchen enthält und die größte Energie speichert. Diese Rolle erfüllt nun EQUATOR-S. Der deutsche Kleinsatellit, der am 2. Dezember 1997 (MEZ) von Französisch-Guyana aus mit einer Ariane-4-Rakete ins All startete, wurde vom Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik (MPE) entwickelt und gebaut.

EQUATOR-S bewegt sich auf einer langgestreckten Bahn, auf der er sich von unserem Planeten um maximal 67.000 Kilometer entfernt. Dies ermöglicht es, auf der Tagseite die Magnetosphäre bis an deren äußeren Rand, die Magnetopause, zu untersuchen. Die Magnetopause trennt das Gebiet des Erdmagnetfeldes von dem Bereich des Sonnenwindes.

Auf der Nachtseite untersucht EQUATOR-S den erdnahen Rand des Magnetschweifs. Dieser ist von besonderem Interesse, weil sich hier äußerst dynamische Prozesse abspielen, die beispielsweise zu den Polarlichtern führen. Dort setzen sogenannte Substürme ein, bei denen Teilchen schubweise in Richtung Erde schießen und entweder in die Atmosphäre eindringen oder, wie in einem magnetischen Käfig gefangen, entlang von Magnetfeldlinien um die Erde herumlaufen (Ringstrom und Strahlungsgürtel).

Für die komplizierten Messungen befinden sich insgesamt sechs Meßinstrumente und ein Datenspeicher an Bord. Sie ermöglichen es, die Geschwindigkeit und andere Eigenschaften der elektrisch geladenen Teilchen zu bestimmen. Außerdem kann die Stärke des umgebenden elektromagnetischen Feldes gemessen werden. Zeitliche Variationen bis herunter zu einer fünfzigstel Sekunde lassen sich noch registrieren.

Ungewöhnlich an EQUATOR-S ist seine schnelle Rotation. Vierzigmal pro Minute dreht er sich um seine eigene Achse. Das ermöglicht den Wissenschaftlern, mit ihren Meßinstrumenten alle

Raumrichtungen innerhalb von 1,5 Sekunden abzutasten. Hierin unterscheidet sich EQUATOR-S von allen anderen Satelliten des IASTP-Programms. Die hohe Rotationsrate (Spinrate) ebenso wie die Ausrichtung des Satelliten in die endgültige Lage (senkrecht zur Ekliptik) werden mit Hilfe von Magnetspulen und den Kräften, die das Magnetfeld auf sie ausübt, hergestellt.

Neuartig ist die Methode, mit der das elektrische Feld, das für die globale Dynamik des Plasmas in der Magnetosphäre verantwortlich ist, gemessen wird. Man benutzt die kleine Versetzung, die ein Elektron bei seiner – Gyration genannten – Kreisbewegung im elektrischen Feld senkrecht zum Magnetfeld erfährt. Zwei schnell in beliebige Richtungen steuerbare Elektronenstrahlen werden nach einer Gyrationsperiode von zwei entsprechenden Detektoren registriert und dabei wird diese Versetzung, die zwischen einigen Zentimetern und vielen hundert Metern betragen kann, ermittelt.

Neben der wissenschaftlichen Nutzlast führt EQUATOR-S drei technologische Experimente mit, deren Ergebnisse auch für die kommerzielle Raumfahrt von Bedeutung sind. So werden mit einem GPS-Empfänger an Bord von EQUATOR-S zum ersten Mal die Empfangsbedingungen und die Güte der Positionsbestimmung in Entfernungen von 1.000 bis 64.000 Kilometern von der Erde untersucht. EQUATOR-S konnte dabei bereits wenige Wochen nach Start einen „Weltrekord“ aufstellen und GPS-Signale in rund 34.000 Kilometer Höhe empfangen. Das vom DLR geförderte Experiment wurde entwickelt vom Institut für Erdmessung und Navigation der Universität der Bundeswehr München, dem DLR-Raumfahrtkontrollzentrum sowie der Münchner Firma Kayser-Threde.

Die äquatoriale Bahn führt EQUATOR-S zweimal pro Umlauf (etwa 22 Stunden) durch das Zentrum der Strahlungsgürtel. Eine gute Abschirmung der hochempfindlichen elektronischen Komponenten gegenüber den energiereichen Teilchen von mehr als einem MeV war darum ein Design-Kriterium des Satelliten. Zusätzlich trägt er aber auch zwei Experimente, die aus der Not eine Tugend machen und sowohl die Strahlung durch szintillierende Fasern als auch die Schädigungen in speziellen hauchdünnen Solarzellen messen.

EQUATOR-S bietet insgesamt eine einzigartige Kombination von extraterrestrischer und technologischer Forschung bei kleinstmöglichem Entwicklungsaufwand. Die Missionsdauer ist zunächst auf zwei Jahre ausgelegt. Eine Europarakete Ariane 4 brachte den Forschungssatelliten EQUATOR-S in eine Erdumlaufbahn. Zunächst wurde er in einem sogenannten Transfer-Orbit „geparkt“, auf dem sein Abstand zur Erde zwischen 200 und 36.000 Kilometern schwankte. Etwa 25 Minuten nach dem Start übernahm das DLR-Raumfahrt-Kontrollzentrum die Steuerung des Satelliten.

In den ersten Tagen unterstützten Empfangsanlagen der NASA in Australien, Kalifornien und Spanien das Deutsche Raumfahrt-Kontrollzentrum. Zu den ersten Aufgaben gehörte u.a. die Erhöhung der Rotation und das Aufrichten der Satellitendrehachse. Sechs Tage nach dem Start wurde dann der satelliteneigene Feststoff-Raketenmotor gezündet; er beförderte EQUATOR-S in seine endgültige Umlaufbahn. In der Äquatorebene fliegend variiert sein Abstand zur Erde nun zwischen 500 und 67.000 Kilometern.

Um Kosten zu sparen, wurde der Satellit so gebaut, daß er täglich nicht mehr als drei Stunden überwacht werden muß. Möglich ist dies, weil der Bordcomputer bis zu 1.000 Kommandos speichern kann, die er erst zu einem späteren Zeitpunkt selbständig ausführt. Alle drei bis vier Tage wird eine Folge von Kommandos zum Satelliten mit den Befehlen für die folgenden Tage gesendet. Hierfür stehen dem Deutschen Raumfahrt-Kontrollzentrum zwei 15-Meter-Antennen der DLR-Bodenstation in Weilheim zur Verfügung. Zum Empfang der Daten werden wechselweise eine 15-Meter- oder eine 30-Meter-Antenne eingesetzt. Die größere Antenne ermöglicht es, die an Bord aufgezeichneten Daten auch bei großen Entfernungen mit einer hohen Übertragungsrate von 262 kbit/s am Boden zu empfangen.

Die wissenschaftlichen Daten werden zur Auswertung von Oberpfaffenhofen zum Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik nach Garching weitergeleitet. Neben MPE sind 20 Institute aus 10 Ländern an der wissenschaftlichen Interpretation beteiligt.

INTERVIEW

Daniel Goldin

steht seit 1992 an der Spitze der US-Weltraumbehörde NASA. Sein Motto „faster, cheaper, better“ prägt die Politik der NASA und brachte der Raumfahrt neue Sympathien ein. Im Interview mit Christiane Knoll, Wissenschaftsredakteurin im Deutschlandfunk, äußert sich Goldin zur Internationalen Raumstation, zum Mars-Programm der NASA – und zum visionären Charakter der Raumfahrt.

„WEIL WIR VISI

Frage: Die goldenen Jahre sind für die NASA schon lange vorbei, richtig dramatisch wurde es dagegen erst in den 90ern. Sie sind dabei, über 3.000 Stellen und Beträge in Milliardenhöhe einzusparen. Die Faszination an der Sache selbst scheint Ihnen trotzdem nicht abhanden gekommen zu sein.

Goldin: Nein, absolut nicht. Man kann die Dollar, die man ausgeben kann, nicht mit den wissenschaftlichen Errungenschaften in Beziehung setzen. Ich denke sogar, unsere Visionen sind jetzt, wo wir weniger Geld haben, noch größer und umfassender. Wir versuchen zu verstehen, ob Leben nur auf unserem eigenen Planeten existiert. Wir suchen nach Leben auf anderen Himmelskörpern, nach Einzellern oder höheren Organismen, kohlenstoffbasiert oder nicht. In einem Umkreis von 100 Lichtjahren versuchen wir zu erkennen, ob um andere Sterne erdähnliche Planeten kreisen. Wir überprüfen, ob es möglich ist, einen Astronauten zum Mars zu schicken bei niedrigen Kosten. Wir tun es jetzt nicht, aber wir versuchen zu verstehen, ob es zu einem ausgesprochen günstigen Tarif möglich ist. Wir untersuchen, ob es sicher ist, Menschen für Jahre in den Weltraum zu schicken. Und wir möchten verstehen, wie Leben entstand und sich entwickelte. Es sind fantastische Dinge. Wir versuchen auch zu verstehen, ob wir Modelle für verläßliche Wettervorhersagen entwickeln können. Nicht nur für fünf Tage, wie es heute üblich ist, sondern für die ganze Saison, für ein Jahr und irgendwann für Jahrzehnte. Wir möchten wissen, ob wir Flugzeuge bauen können, die noch sicherer sind, und wir wollen Überschall- und Hyperschall-Flugzeuge bauen. Das sind die Ziele. Wir müssen sie mit etlichen tausend Mitarbeitern weniger angehen, und auch mit weniger Geld, aber es sind fundamentale wissenschaftliche Fragen.

ONEN HABEN...“

Frage: Wobei man über den Weg zur Beantwortung dieser Fragen durchaus unterschiedlicher Ansicht sein kann. Brauchen Sie dafür unbedingt Menschen im All?

Goldin: Wir sprechen nicht über Menschen im All, nur um uns gut zu fühlen. Wir suchen nach der optimalen Mischung aus Robotern und Menschen. Wenn wir hier auf der Erde geologische Forschung betreiben, dann schicken wir keine Roboter ins Feld, sondern Paläontologen, Geochemiker oder Geophysiker. Aber man schickt sie erst, wenn alles vorbei ist. Dasselbe gilt im All: Wir schicken Sonden zu anderen Himmelskörpern, um zu klären, ob es einen Grund gibt, Menschen dorthin zu entsenden. Wenn dieser Grund existiert, dann – und nur dann – folgen Menschen.

Frage: Einerseits sind da Ihre Visionen, andererseits die Risiken. Lassen Sie uns über die russische Raumstation MIR sprechen. Glauben Sie wirklich, daß die MIR für die amerikanischen Astronauten, für die Sie ja verantwortlich sind, sicher ist?

Goldin: Sicherheit hat bei der NASA allererste Priorität. Wenn Sie kosmisches Neuland erschließen, können Sie hundertprozentige Sicherheit nie garantieren. Wir bemühen uns für die Astronauten um Sicherheitsstandards, die weit höher liegen als die auf der Erde. Wenn Bungee-Springer von der Brücke stürzen, dann nützt das noch nicht einmal jemanden und trotzdem schert sich keiner darum. Wenn wir Astronauten schicken, um den offenen Weltraum zu erschließen, dann taucht da plötzlich eine enorme Sorge um ihre Sicherheit auf. Aber das ist ein Teil des Lebens. Wir machen es so sicher wie möglich. Und der Nutzen überwiegt die Risiken bei weitem.

David Wolf – er ist der junge Mann, den wir jüngst auf der MIR hatten – hat gerade einen Bioreaktor erfunden, mit dem man erstmals menschliches Gewebe außerhalb des Körpers in drei Dimensionen aufbauen kann. Vorarbeiten, die es uns erlauben, menschliches Brustkrebsgewebe zu züchten, mit dem wir verstehen können, wie sich normale Zellen in Krebszellen verwandeln. Lohnt das Risiko? Ich denke schon.

Frage: Solche Experimente im Orbit mögen sich lohnen, es stellt sich die Frage, ob sie unbedingt auf der altersschwachen MIR stattfinden müssen. Im nächsten Jahr soll ja mit dem Bau der Internationalen Raumstation begonnen werden. Es ist anzunehmen, daß es sich dort sicherer lebt, warum warten Sie nicht ab?

Goldin: Wenn die Russen den Amerikanern nicht freundlicherweise erlaubt hätten, auf der MIR Experimente durchzuführen, wären wir überhaupt nicht in der Lage, die Internationale Raumstation zu bauen. Die Russen haben seit fast zehn Jahren Leute auf der MIR. Sie wissen so viel mehr als wir, daß es eine Schande gewesen wäre, wenn wir auf der MIR nicht experimentiert hätten. Im Gegensatz zur gängigen Meinung hatte Amerika die Erfahrung auf der MIR nötig. Und die Russen waren so nett, sie uns zu bieten. Mit David Wolf haben wir weitergemacht, weil wir noch nicht alle Informationen beisammen haben. Wir wollen eine produktive und sichere Internationale Raumstation. Und auf der MIR zu arbeiten, hilft uns dabei. Wir müssen zur MIR fliegen. Wir können die Internationale Raumstation ohne dieses Wissen nicht bauen.

Frage: Wie sich die Mannschaften der Internationalen Raumstation zusammensetzen werden, ist entschieden: Russen und Amerikaner werden den Kommandeursposten nach der ersten Mission im Wechsel besitzen. Alles andere dagegen ist noch offen. Die rechtlichen Fragen, etwa. Oder wie man sich verständigen wird. Wann wird hier Klarheit geschaffen?

Goldin: Die Hauptsprache wird Englisch sein, das ist, glaube ich entschieden. Sie können nicht Leute aus 16 verschiedenen Ländern da oben haben mit 16 verschiedenen Sprachen. Sich im Weltraum Neuland zu erschließen, ist unheimlich kompliziert. Stellen Sie sich die 16 Nationen vor, die an der Internationalen Raumstation beteiligt sind, die auf eine Linie einzuschwören, ist ein enormes Vorhaben. Das wird Jahre dauern. Aber wir werden eine neue Welt betreten. Als die Mauer in Berlin fiel, war das ein monumentales Signal für das Ende des Kalten Krieges. Ein Jahrhundert der Konflikte ist – hoffentlich – zu Ende. Ich denke, daß, wenn wir mit dem Aufbau der Internationalen Raumstation beginnen, dem größten technologischen Projekt der Weltgeschichte, dies das zweite Symbol für den Start eines neuen Jahrhunderts sein wird – ein neues Jahrtausend, in dem Technologie der Gesellschaft nützen wird, anstatt sie in die Luft zu jagen. Das wird Jahre dauern, aber schlußendlich wird es das Leben auf der Erde bereichern. Und die Welt für unsere Kinder im 21. Jahrhundert verändern, indem wir zusammenarbeiten. Es wird anstrengend. Es gibt immer Fragen nationaler Priorität und nationalen Stolzes. Aber wir müssen lernen, sie zur Seite zu schieben. Ich bin optimistisch.

Frage: Auch die europäische Raumfahrt muß sparen, und das Budget ist deutlich kleiner als das der NASA. Welche Rolle spielt Europa für Amerika?

Goldin: Europa ist einer unserer wichtigsten Partner. Ich verbringe einen beachtlichen Teil meiner Zeit in Europa. Ich habe fast eine Woche in Italien verbracht, fast eine Woche in Frankreich, eine Woche in Deutschland. Als NASA-Administrator würde ich das nicht tun, wenn ich die Brillanz der europäischen Wissenschaftler und Ingenieure und ihren Anteil am Raumfahrtprogramm nicht anerkennen würde. Es gibt eine starke Verbindung zwischen Amerika und Europa. Und wir freuen uns auf die gemeinsame Arbeit, das wissenschaftliche Neuland im Weltraum zusammen mit Europa zu erschließen.

Frage: Werden Sie versuchen, Europa mehr in das Mars-Programm der NASA zu integrieren?

Goldin: Die NASA ist nicht die entscheidende Instanz. Es ist nicht unsere Sache, Europa eine Mars-Mission zu genehmigen. Wir wollen ein guter Partner für Europa

sein. In Frankreich und auch in Deutschland haben wir deutlich gemacht, daß Amerika darauf vorbereitet ist, mit Europa Kooperationen einzugehen. Wir freuen uns darauf, weil sich uns dadurch neue Informationen erschließen. Es hilft uns zu verstehen, ob das Leben ursprünglich auf dem Mars entstanden ist. Gibt es im Untergrund Wasser oder Rohstoffe, die es Menschen ermöglichen würden, vom Land zu leben. Durch eine Kooperation kämen wir schneller und mit geringerem Kostenaufwand an die Informationen.

Frage: Geringere Kosten ist das Stichwort: Es ist Ihnen gelungen, die Kosten für das Mars-Programm deutlich zu drücken. Wenn Sie allerdings tatsächlich Menschen zum Roten Planeten schikken wollen, dann wird es teuer. Sollte ein solches Programm tatsächlich stattfinden?

Goldin: Danke für diese Frage, sie gibt mir die Möglichkeit, Fehlinformationen zu korrigieren. Es gibt derzeit keine Pläne, Menschen zum Mars zu schicken.

Frage: Aber Sie denken darüber nach.

Goldin: Gedanken kosten nichts. Bevor wir zum Mars fliegen, müssen erst einmal vier Punkte geklärt werden. Erstens: Können Menschen mehrere Jahre lang im Weltraum sicher leben. Wenn nicht, wäre es unverantwortlich, Leute loszuschikken. Genau deshalb bauen wir die Internationale Raumstation: um zu sehen, wie sich einige der wirklich ernsten Probleme bei der Zusammenarbeit von Menschen und Robotern im All lösen lassen. Zweitens: Sie brauchen einen wissenschaftlichen Kontext. Gibt es etwas zu gewinnen? Bevor Sie etwas riskieren, wollen Sie wissen, ob es sich auszahlt. Genau deshalb hat die NASA beschlossen, in den nächsten zehn Jahren zehn Sonden zum Mars zu schikken, und wir hoffen, daß Europa noch ein paar weitere schickt. Drittens: In Zeiten knapper Kassen müssen Sie in der Lage sein, es mit einer vernünftigen Summe hinzubekommen. Derzeit ist nicht einmal daran zu denken, dem Präsidenten der Vereinigten Staaten eine solche Mission zu empfehlen. Wir haben es geschafft, Roboter-Sonden schneller, besser und billiger zu bauen. Jetzt arbeiten wir daran, auch für die bemannte Raumfahrt die Kosten zu senken. Wir haben eine Reihe gemeinsamer Projekte mit Europa, wo es darum geht, entsprechende Raumtransporter für einige 100 Millionen Dollar zu bauen anstatt für Milliarden Dollar. Und schließlich: Wenn wir Menschen zum Mars schicken, dann wahrscheinlich auf Basis einer internationalen Kooperation – selbst, wenn es furchtbar schwierig werden sollte, wenn die Nationen anfangen, überall auf dem Mars ihre Flaggen aufzustellen. Dann haben wir den wahren Krieg der Sterne. Aber dafür haben wir die Internationale Raumstation. Es ist ein schwieriges Unternehmen, aber hier lernen wir, miteinander zu arbeiten; wir entwickeln Respekt; wir verstehen, wie verschiedene Leute ein Projekt angehen können. Es muß nicht jeder eine Aufgabe in gleicher Weise angehen. Solange all das also nicht gelöst ist, werden wir auch niemanden zum Mars schicken. Aber ich bin zuversichtlich.

Frage: Wie kommt es, daß die Amerikaner im Vergleich zu den Europäern so viel offener sind für visionäre Projekte. Wahrscheinlich würde man in den USA sehr viel mehr Unterstützung für eine bemannte Mars-Mission finden als in Europa.

Goldin: Ich bin mir gar nicht sicher, ob das so stimmt. Wenn die Europäer keine Visionen gehabt hätten, würde Amerika nicht existieren. Wer hat den Atlantik überquert?

Frage: Das ist allerdings einige hundert Jahre her...

Goldin: Ich meine auch die Gegenwart. Ich habe mit Mitgliedern der französischen Akademie der Wissenschaften über Raumfahrt-Visionen gesprochen. Ich habe dort wahre Träumer gefunden. Ich hatte wundervolle Treffen in Deutschland – das Träumen ist nicht die Domaine irgendeiner Nation. Träume und Hoffnungen gehören den Kindern. Und wir müssen unseren Kindern erlauben zu träumen, indem wir Visionen entwickeln. Kühne Visionen erzeugen wissenschaftlichen Fortschritt und der wissenschaftliche Fortschritt gibt uns das Instrumentarium für die Zukunft an die Hand. Ich glaube, wie jede andere Gesellschaft auf diesem Planeten haben auch die Europäer ihre Visionen, und ich denke, daß Europa und auch die anderen Länder – Rußland, Kanada, Japan – zusammen an der Verwirklichung arbeiten, auch wenn es anfangs völlig unmöglich erscheint. Wir werden es schaffen. Wir werden das Leben im 21. Jahrhundert verändern. Weil wir Visionen haben, weil wir träumen. Wenn wir uns mittelmäßige Ziele setzen, bekommen wir eine mittelmäßige Gesellschaft. Wenn wir die Ziele nicht höher stecken, sagen wir damit unseren Kindern, riskiert nichts und setzt euch zur Ruhe. Aber genau das wird nicht passieren. Ich glaube, wir haben Träumer auf beiden Seiten des Ozeans.

„Wettbewerbsvorteile durch Luft- und Raumfahrt“

Schröder im DLR-Standort Braunschweig

Die wirtschaftliche Bedeutung von Luft- und Raumfahrt unterstrich Niedersachsens Ministerpräsident Gerhard Schröder anläßlich der DLR-Jahreshauptversammlung in Braunschweig. Schröder betonte in seiner Ansprache vor 300 Gästen aus Industrie, Forschung und Politik, insbesondere die vom DLR und seinen Partnern praktizierte schnelle Umsetzung von Forschungsergebnissen in neue Produkte und Verfahrensweisen trage dazu bei, die Wirtschaftskraft in Deutschland zu steigern. Als Beispiele, daß dies nicht nur dem Luft- und Raumfahrtstandort Deutschland diene, sondern im Zuge des Technologie-Transfers auch ganz anderen Branchen nutze, führte Schröder die Zusammenarbeit des DLR mit der Automobilindustrie an. Technologische Innovationen aus dem DLR-Standort Braunschweig hätten hier „zu einem erheblichen Teil zu Qualitätsverbesserungen und damit zu Wettbewerbsvorteilen“ geführt.

Fahndung nach Antimaterie

Der amerikanische Physik-Nobelpreisträger Prof. Samuel Ting (MIT Boston) hat am 16. Dezember 1997 im DLR-Standort Bonn-Oberkassel einen Vortrag zum Thema „Antimatter, Dark Matter and Cosmic Rays“ gehalten. Ende Mai 1998 soll erstmals im Rahmen einer Shuttle-Mission mittels eines drei Tonnen schweren Magnetspektrometers nach Antimaterie und Dunkler Materie im Universum „gefahndet“ werden. Später soll das Instrument auf der Internationalen Raumstation zum Einsatz kommen.

An der AMS-Mission ist Prof. Klaus Lübelsmeyer vom I. Physikalischen Institut der RWTH Aachen beteiligt, der zusammen mit der für den Flug nominierten NASA-Crew an der Veranstaltung teilnahm.

MIRKA – die coole Kapsel

Eine 154 Kilogrammm schwere Kapsel namens MIRKA hat deutschen Ingenieuren und Wissenschaftlern aus Industrie und Forschung wichtige Erkenntnisse für die Entwicklung und den Bau wiederverwendbarer Raumfahrzeuge gebracht. Eine russische Trägerrakete brachte MIRKA am 9. Oktober 1997 – zusammen mit einem 2,5 Tonnen schweren Satelliten – vom Weltraumbahnhof Plesetzk (600 Kilometer nordöstlich von Sankt Petersburg) auf eine erdnahe Umlaufbahn. 14 Tage später landete die Kapsel im Norden Kasachstans. Während des kontrollierten Wiedereintritts in die Atmosphäre wurden verschiedene Parameter gemessen: Temperaturverteilung und Wärmefluß am Hitzeschild sowie der an verschiedenen Punkten auftretende aerodynamische und aerostatische Druck.

Durchgeführt wurde der Flug der ersten vollständig in Deutschland entwickelten Wiedereintrittskapsel im Auftrag des DLR. Realisiert haben ihn das Institut für Raumfahrtsysteme der Universität Stuttgart, die Firmen Jena Optronik (Jena) und Kayser-Threde (München) sowie die HTG-Hyperschall-Technologie (Göttingen). Von der zum Daimler-Benz Aerospace Konzern gehörenden Dornier Satellitensysteme GmbH in Friedrichshafen stammt die als Hitzeschild ausgebildete, selbsttragende Außenstruktur der Kapsel, die gegenüber herkömmlichen Hitzeschutz-Konstruktionen eine Gewichtseinsparung von 40 Prozent erzielt.

Planungshilfe für Mobilfunk

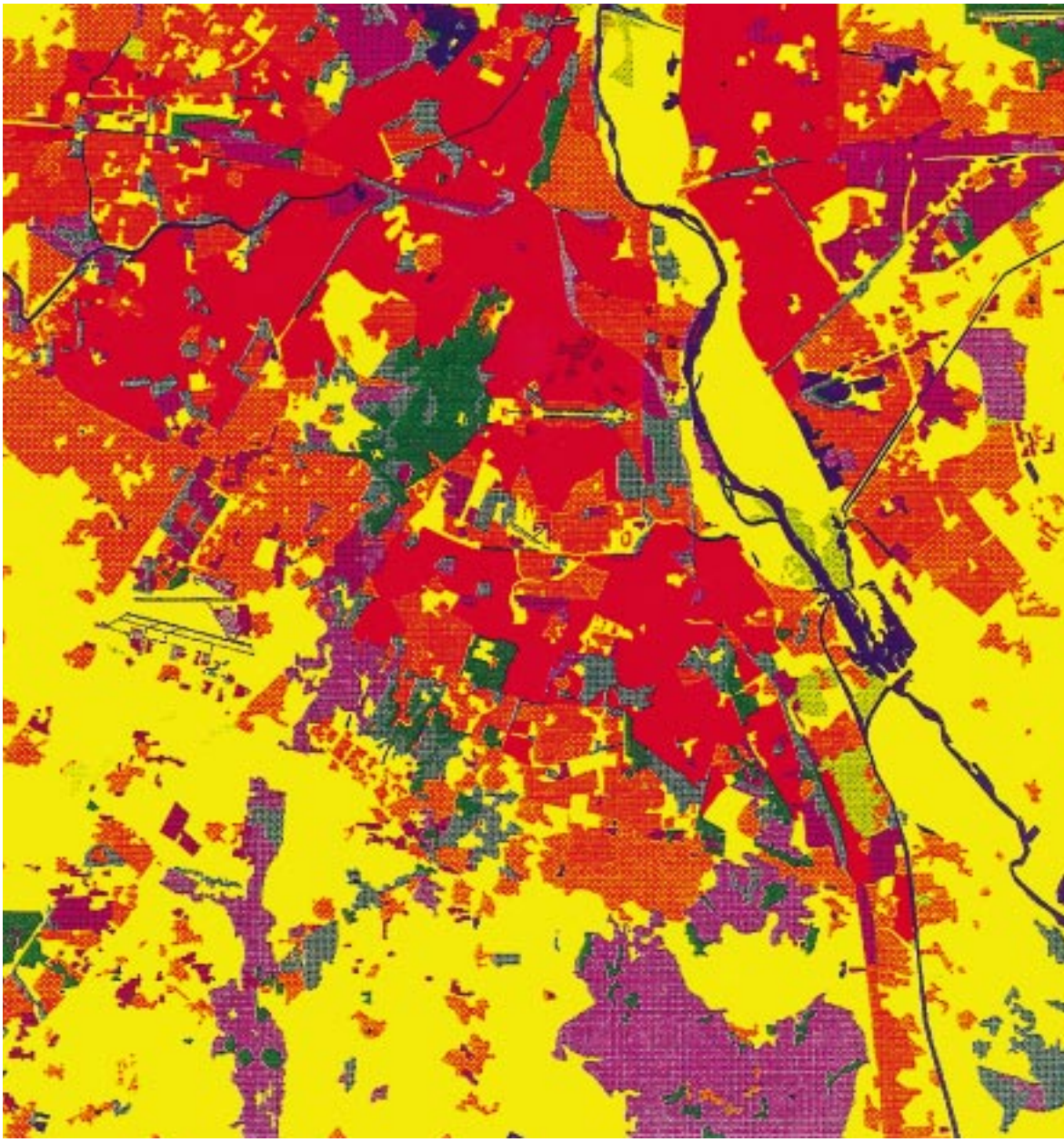
Im Zuge der Anwendungsorientierung der Raumfahrt hat auch die Deutsche Telekom MobilNet vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) Daten der hochauflösenden deutschen Erdbeobachtungskamera MOMS erhalten. Dieser Sensor (Modularer Optoelektronischer Multispektraler Stereoabtaster) hat während der D-2 Mission 1993 und im Verlaufe der Priroda-Mission seit 1996 die Erde aus ca. 350 Kilometern mit einer Auflösung bis zu fünf Meter aufgenommen.

Die Deutsche Telekom MobilNet bietet auf nationaler und internationaler Ebene Leistungen rund um den Mobilfunk an. In der Planung und beim Aufbau von Mobilfunknetzen sowie beim Marketing und beim Vertrieb der Services sind raumbezogene Daten ein wesentlicher Grundbaustein. Da diese Daten oftmals nicht verfügbar sind, werden sie aus Satellitenbildern neu generiert. Neben den klassischen Programmen fand hier die vom DLR entwickelte und von Dornier Satellitensysteme GmbH gebaute Weltraumkamera MOMS-02 besonderes Interesse, da sie eine hohe räumliche Bildauflösung bietet – mit der Option, Informationen über Landnutzung, Höhenverläufe und Straßenvektoren aus einem Sensor zu generieren. Die globale Verfügbarkeit solcher Daten ist für die internationalen Aktivitäten der Deutschen Telekom MobilNet von großem Interesse.

Das Bild zeigt die Interpretation der Landnutzung und die erzeugten Straßenvektoren für das Gebiet von Delhi in Indien. Dabei sind die dicht bebauten Stadtgebiete rot eingefärbt, landwirtschaftlich genutzte Flächen gelb, Wälder grün und Gewässer sowie Feuchtgebiete violett dargestellt. Bemerkenswert ist, daß hier MOMS-02 die schnelle Interpretation der gewünschten Landnutzungsklassen und Vektoren ermöglichte, obwohl kaum Zusatzinformationen wie aktuelles Kartenmaterial, Stadtpläne oder Ortsbegehungen vorlagen.

Das Interpretationsergebnis entstand innerhalb weniger Tage einschließlich der Datenbeschaffung.

Vor Ort lagen nur wesentlich gröbere Daten aus anderen Quellen vor. In der Kürze der Zeit war es nicht möglich, vergleichbares Material verfügbar zu machen. Damit konnte die weltraumgestützte Fernerkundung zur schnellen Generierung von dringend benötigten raumbezogenen Datenbanken erfolgreich eingesetzt werden.



BILDDATENRECHTE: DLR · GRAPHIK: DEUTSCHE TELEKOM MOBILNET GMBH.

BARNACLE BILL'S

Ergebnisse der Staub- und Gesteinsanalysen der Pathfinder-Mission · *Von Heinrich Wänke*

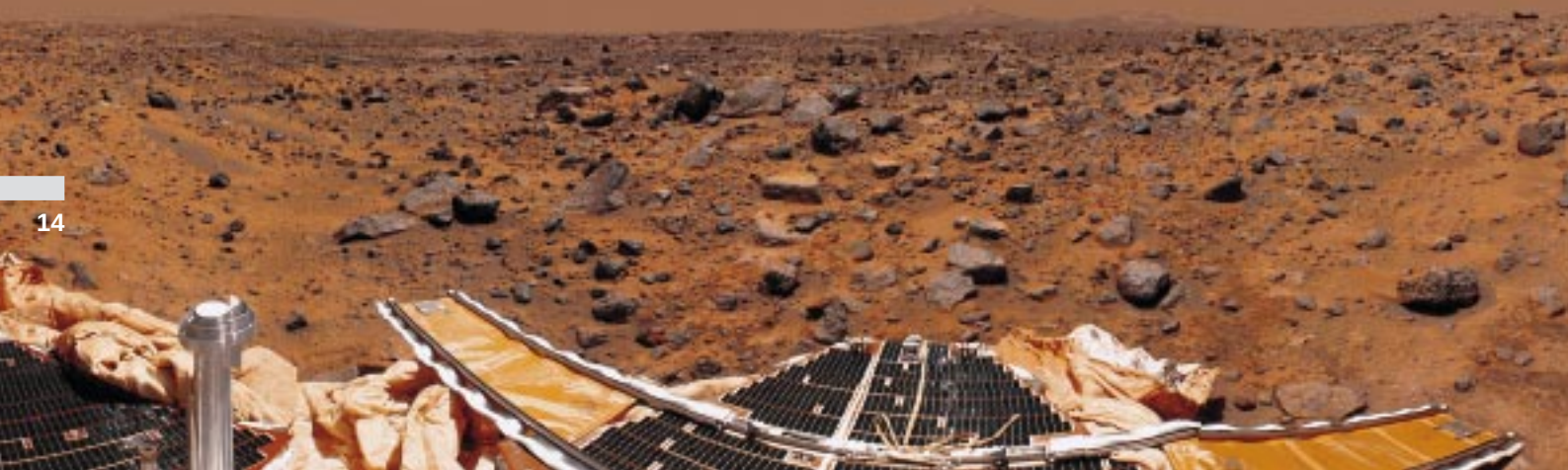
Am 4. Juli 1997, nach einer Flugdauer von sieben Monaten, landete die NASA-Sonde Mars-Pathfinder im Ares Vallis auf unserem Nachbarplaneten. Das neben den Kameras wesentliche wissenschaftliche Instrument, das Alpha-Proton-Röntgenspektrometer (APXS), wurde am Max-Planck-Institut für Chemie, Mainz, in der Abteilung Kosmochemie entwickelt und gebaut. Die Projektleitung für das APX-Spektrometer lag in den Händen von Herrn Dr. Rudolf Rieder. Neben Mainzer Wissenschaftlern und Technikern haben an diesem Projekt internationale Kollegen, vor allem aus den USA und Rußland, mitgearbeitet.

Das APX-Spektrometer für die chemische Analyse der Staubschicht und der darin bzw. darauf liegenden Gesteine war auf dem kleinen Mars-Rover „Sojourner“ montiert, der im Jet Propulsion Laboratory der NASA in Pasadena, Kalifornien, entwickelt worden war. Das Prinzip des Spektrometers beruht auf der Bestrahlung der zu untersuchenden Probe mit Alphateilchen aus dem Curium-Isotop 244. Drei verschiedene Wechselwirkungen der Alphateilchen mit der Probe werden benützt:

1.) Rückstreuung der Alphateilchen an den Atomkernen der Probe (Rutherford-Streuung). Die Energie der um etwa 180 Grad zurückgestreuten Alphateilchen ist ein direktes Maß für die Masse des Atomkerns, an dem die Streuung stattfindet. Sie wird mit einem Halbleiterdetektor gemessen. Dieser Alpha-Modus ist besonders nützlich für die Analyse der leichten Atome Kohlenstoff, Stickstoff und Sauerstoff.

2.) Die auf die Probe auftreffenden Alphateilchen können in selteneren Fällen auch in die Atomkerne eindringen und diese zur Aussendung von Protonen anregen. Diese Alpha-Protonen-Reaktionen werden für die Analyse von Natrium, Magnesium, Aluminium und Silizium mit herangezogen.

3.) In der Wechselwirkung der Alphateilchen mit den Atomhüllen der Atomkerne werden Elektronen aus den inneren Elektronenschalen herausgeschlagen. Beim Wiederauffüllen dieser Löcher entsteht charakteristische Röntgenstrahlung, die mit einem Röntgendetektor nachgewiesen und für die Analyse aller Elemente schwerer als Natrium verwendet wird.



ÜBERRASCHUNG

In Abbildung 1 ist der oben beschriebene Meßkopf (das APXS) schematisch dargestellt. Die Alphateilchen aus den Curiumquellen bestrahlen aus einem Abstand von etwa vier Zentimeter eine kreisförmige Probenfläche von fünf Zentimeter Durchmesser und analysieren die chemische Zusammensetzung einer sehr dünnen oberen Schicht dieser Fläche.

Während die Alpha- und Protonendetektoren praktisch bei jeder Temperatur unter 30 Grad Celsius arbeiten, hängt die Energieauflösung des Röntgendetektors stark von seiner Temperatur ab. Um kostbare elektrische Energie zu sparen, blieb ein eingebauter, kleiner Peltierkühler unverwendet. Deshalb konnten die Röntgenspektren nur in der Nacht aufgenommen werden, nachdem die Temperatur unter minus 30 Grad Celsius abgesunken war. Im APX-Meßkopf wurden an der Pathfinder-Landestelle um die Mittagszeit Temperatur-Höchstwerte von plus fünf Grad Celsius gemessen, während in der Nacht die Temperatur auf minus 80 Grad Celsius absank.

Ursprünglich war das Mainzer Spektrometer für die russische Mission Mars'96 gebaut worden. Es hatte eine Gesamtmasse von 570 Gramm und ermöglichte bei einem Energieverbrauch von 340 Milliwatt die Analyse aller Elemente außer Wasserstoff, sofern sie in einer Konzentration von mehr als 0,1 Prozent vorlagen. Als amerikanische Kollegen von den Spezifikationen des Spektrometers hörten, wurde von der Leitung des Pathfinderprojekts angefragt, ob das MPI Mainz ein solches Spektrometer auch für dieses Projekt zur Verfügung stellen würde. Die Zusage erfolgte prompt, insbesondere als wir wußten, daß das Spektrometer auf einem Rover montiert werden sollte und damit Mobilität garantiert war. Auf den russischen Sonden, den zwei „kleinen Stationen", waren nur Analysen des Staubs an den beiden Landepunkten vorgesehen, dafür aber auch Analysen in einigen Metern Tiefe mittels zweier Penetratoren. Mars'96 scheiterte bekanntlich schon kurz nach dem Start am 16./17. November 1996.

Anlaß für einen Freudenschrei

Die Mars-Pathfinder-Mission klappte in allen Einzelheiten hervorragend. Die ersten Resultate der APXS-Analysen sind eben in der Zeitschrift „Science" im Artikel von R. Rieder, T. Economou, H. Wänke, A. Turkevich, J. Crisp, J. Brückner, G. Dreibus, H. Y. McSween, Jr. „The Chemical Composition of Martian Soil and Rocks Returned by the Mobile Alpha Proton X-ray Spectrometer: Preliminary Results from the X-ray Mode" erschienen.

Als erstes hatte Sojourner den Meßkopf des APX-Spektrometers in die freie Marsatmosphäre gehalten. Das Ergebnis der Analyse war nicht überraschend – praktisch reines CO_2. Für uns aber, die dieses Spektrometer entwickelt und gebaut hatten, war es dennoch Anlaß für einen Freudenschrei: „Hurra, unser Ding hat Start, Flug und Landung überstanden." Als nächstes hat Sojourner dann seine „Spürnase" in den Sand gesteckt, also eine chemische Analyse des Marsstaubs vorgenommen. Auch hier keine große Überraschung: Der Staub an der Pathfinder-Landestelle in Ares Vallis ist in seiner Zusammensetzung sehr ähnlich dem Staub, den die Vikingsonde 1 vor 21 Jahren an der etwa 1.000 Kilometer weiter westlich gelegenen Landestelle Chryse gemessen hatte.

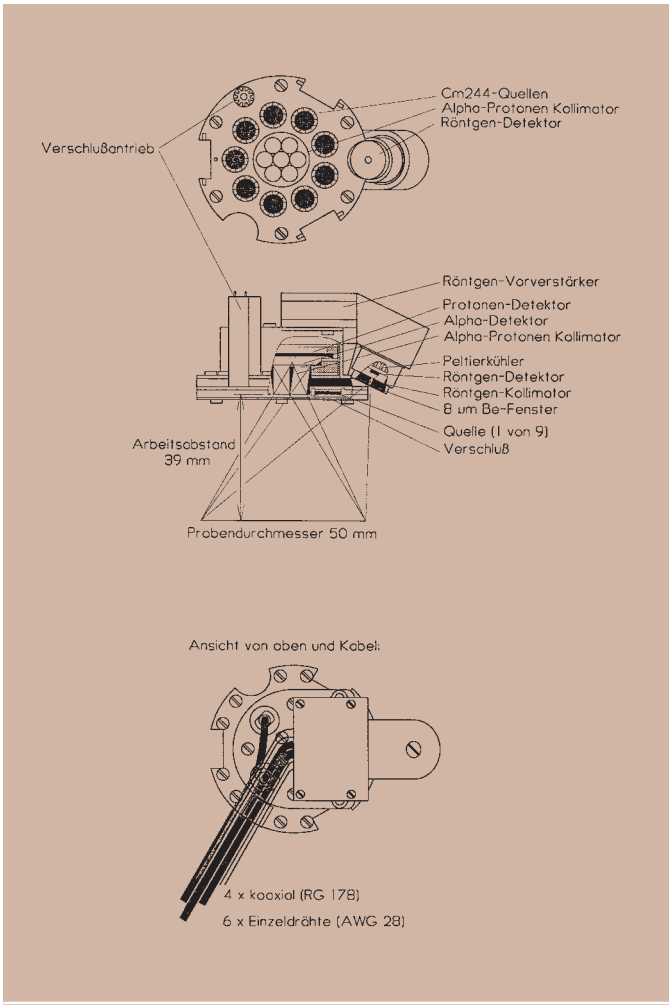


Abb. 1: APX-Meßkopf.

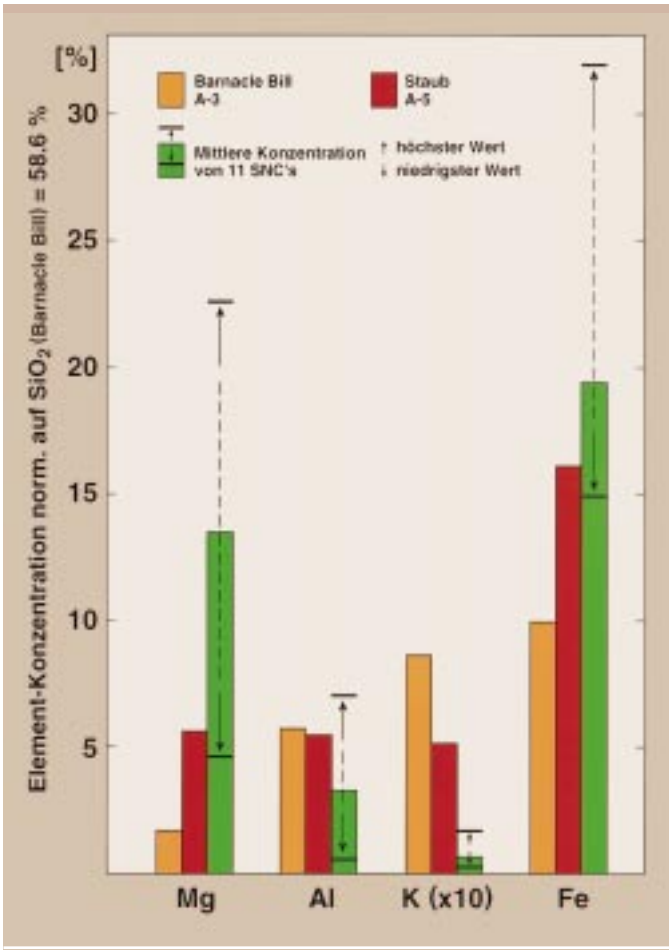


Abb. 2: Wie ersichtlich, läßt sich die Zusammensetzung der Staubproben nicht allein aus zerkleinerten oder verwitterten Steinen, wie sie in der Umgebung der Pathfinder-Landestelle gefunden wurden, erklären. Hierfür braucht man die Beimischung von Material, das reicher an Mg und Fe, aber viel ärmer an Kalium ist. Dieses Material muß aus ganz anderen, weiter entfernten geologischen Provinzen stammen und in zermahlener Form durch die Staubstürme zugemischt worden sein.

Die Landestellen von Viking 1 und Viking 2 lagen sogar 6.500 Kilometer voneinander entfernt. Das feine Material des Bodens hatte aber eine beinahe identische Zusammensetzung. Die heftigen, am Mars zu bestimmten Zeiten auftretenden Staubstürme sorgen offenkundig für eine weitgehende Durchmischung der Staubschicht, zumindest in mittleren Breiten. Der Staub enthält viel Eisen und Magnesium, aber auch Aluminium und Calcium, beträchtliche Mengen von Schwefel und Chlor, jedoch sehr wenig Kalium. Diese Zusammensetzung wurde als Verwitterungsprodukt von mafischen (magnesium- und eisenreichen) Gesteinen interpretiert. Einem Modell zufolge stammen Schwefel und Chlor aus der Wechselwirkung von vulkanischen Gasen mit den mafischen Gesteinen, die zur Bildung von Sulfaten und Chloriden führt. Die Staubproben der Vikingmission wurden mit einem Arm von den Sonden aus genommen, dessen Länge aber nicht ausreichte, um an Steine zu gelangen.

Mit dem Rover der Marsmission Pathfinder konnte nun erstmals an einen Stein herangefahren werden, um ihn zu untersuchen. „Barnacle Bill“ tauften die NASA-Wissenschaftler den ersten großen Stein, an den Sojourner seine Spürnase andrückte. Zur großen Überraschung aller mit dem Mars beschäftigten Wissenschaftler hatte dieser Stein eine Zusammensetzung, die kaum jemand vermutet hätte: Sehr viel SiO_2, viel Al_2O_3, reichlich K_2O aber nur sehr wenig MgO. Also, ein hochdifferenziertes, typisches Krustengestein, auf der Erde vergleichbar mit einem Andesit (vulkanisches Gestein, wie es insbeson-

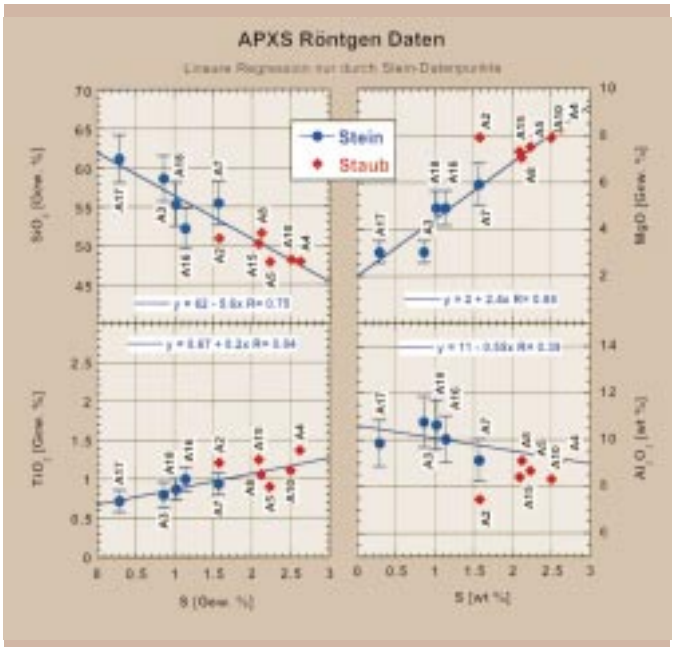


Abb. 3: Lineare Regressionsgeraden von SiO_2, TiO_2, MgO und Al_2O_3 gegen Schwefel. Zur Berechnung der Geraden wurden nur die Daten der Steine verwendet. Wie ersichtlich, fallen aber auch die Daten der Staubproben nahe zu den Regressionsgeraden. Eine Extrapolation gegen null Prozent Schwefel ergibt die chemische Zusammensetzung eines staubfreien Steines.

	Boden (Durchschnitt)	A-8	A-3 Stein	A-7 Stein	A-17 Stein	Stein (unkontaminiert)
Oxyde Gew.-%	A-4, A-5 A-10, A-15	Scooby Doo	Barnacle Bill	Yogi	Shark	
Na_2O	2.4	2.0	3.2	1.7	2.0	2.6
MgO	7.8	7.1	3.0	5.9	3.0	2.0
Al_2O_3	8.6	9.1	10.8	9.1	9.9	10.6
SiO_2	48.6	51.6	58.6	55.5	61.2	62.0
SO_3	5.9	5.3	2.2	3.9	0.7	0.0
Cl	0.6	0.7	0.5	0.6	0.3	0.2
K_2O	0.3	0.5	0.7	0.5	0.5	0.7
CaO	6.1	7.3	5.3	6.6	7.8	7.3
TiO_2	1.2	1.1	0.8	0.9	0.7	0.7
FeO	16.5	13.4	12.9	13.1	11.9	12.0

Tabelle: Zusammensetzung von Staub und Steinen an der Pathfinder-Landestelle.

dere an Subduktionszonen auftritt), nur mit einem wesentlich höheren Gehalt an FeO. Letzterer erklärt sich aus dem mehr als doppelt so hohen FeO-Gehalt des Marsmantels im Vergleich zum Erdmantel, wie wir schon vor 13 Jahren aufgrund von Untersuchungen an Marsmeteoriten gezeigt hatten. Es wird allgemein angenommen, daß Marsmeteorite beim Einschlag größerer Körper aus der Marsoberfläche herausgeschleudert, dem Schwerefeld des Mars entkamen und schließlich nach einigen Millionen Jahren als Meteorite auf die Erde fielen. Die Marsmeteorite (wir kennen insgesamt zwölf Vertreter) haben recht unterschiedliche Zusammensetzungen mit einem starken Überwiegen der mafischen bis ultramafischen Komponenten. Die Vikinganalysen, sowie die Zusammensetzung der Marsmeteorite, führten zur Ansicht, daß Mars ein wenig entwickelter Planet wäre, auf dessen Oberfläche mafische Gesteine vorherrschen.

In Wahrheit besitzt Mars also – wie die Erde – eine hochdifferenzierte Kruste mit viel Aluminium und Silizium. Wegen der im Vergleich zur Erde wesentlich geringeren Masse (1/10 der Erdmasse) hatte man eine so große Differenzierung am Mars nicht erwartet. „Barnacle Bill“ und vier weitere Steine, die Sojourner mit dem APX-Spektrometer aufsuchte, erwiesen sich in ihrer Zusammensetzung recht ähnlich, aber von der der Marsmeteorite völlig unterschiedlich. Sollten die vereinzelten Skeptiker der Theorie über den Marsursprung dieser, auch SNC-Meteorite genannten, Meteorite etwa doch Recht haben?

Ein Vergleich der Zusammensetzung der Steine in der Umgebung der Pathfinder-Landestelle mit der Zusammensetzung des Staubs, in dem bzw. auf dem die Steine liegen, liefert Aufschluß über diese Frage (siehe Tabelle 1 und Abb. 2). Der Staub kann auf keinen Fall allein aus dort liegenden Steinen entstanden sein. Selbst wenn man Verwitterung bzw. Reaktionen mit Vulkangasen wie SO_2 und HCl in Rechnung stellt, ist dies kaum möglich, da der Staub wesentlich mehr MgO und FeO enthält als die Steine. Hingegen enthalten die Steine mehr SiO_2 und Kalium als der Staub.

Es muß also auf der Marsoberfläche auch Gebiete geben, in denen Gesteine mit einer anderen Zusammensetzung vorherrschen, als die bisher an der Pathfinder-Landestelle gefundenen, vor allem Gesteine mit einem hohen Gehalt an MgO und FeO. Die Marsmeteorite erfüllen ihrer Zusammensetzung nach diese Kriterien in bester Weise (Abb. 2). Möglicherweise stammen die Mg-haltigen Basalte aus geologisch jüngeren Vulkangebieten wie z.B. aus der Tharsis-Region mit ihren mächtigen Schildvulkanen wie dem Olympus Mons, der mit etwa 500 Kilometern Durchmesser und einer Höhe von etwa 25 Kilometern die höchste Erhebung in unserem Sonnensystem darstellt (im Vergleich hierzu sind alle Berge auf der Erde ausgesprochene Zwerge). Im Gegensatz zu der relativ jungen, möglicherweise heute noch aktiven Tharsis-Region wird für die Gegend der Pathfinder-Landestelle ein Alter von mehr als drei Milliarden Jahren geschätzt.

Viel erdähnlicher als bisher angenommen

Die Steine an der Pathfinder-Landestelle waren alle mehr oder minder mit Staub bedeckt. Dies geht sowohl aus den Bildern, als auch aus den APXS-Analysen hervor. Insbesondere die Schwefelgehalte liegen um ein Vielfaches höher, als man für aus der Schmelze erstarrtes Gestein erwarten dürfte. Alle Analysendaten von den Marssteinen sind daher insofern verfälscht, als unser APX-Spektrometer naturgemäß den an der Gesteinsoberfläche haftenden Staub mitmißt. Diese Staubbelastung erreicht im Falle des Steines „Yogi“ über 50 Prozent. Trägt man die gemessene Elementkonzentration gegen die Schwefelkonzentration auf, wie in Abbildung 3 geschehen, so ergeben sich lineare Regressionen. Extrapoliert man auf einen Schwefelwert gleich Null, so erhält man die Zusammensetzung der „staubfreien“ Steine. Zur Berechnung der Regressionsgeraden in der Abbildung 3 wurden nur die Analysenwerte der untersuchten Steine herangezogen. Wie ersichtlich, fallen die Meßwerte der Staubproben an das schwefelreiche Ende der Korrelationsgeraden. Es wäre auch denkbar, daß es sich statt anhaftendem Staub um Verwitterungskrusten handelt, die dann aber fast exakt die Zusammensetzung des Staubes haben müßten.

Die Probe A8, „Scooby Doo“, hat einen sehr hohen Schwefel- und Chlorgehalt, fällt aber für alle anderen Elemente (ausgenommen Magnesium) in den Bereich der analysierten Steine. Die äußere Form und die feste Oberfläche von „Scooby Doo“ könnten auf ein Sedimentgestein hindeuten. Generell muß gesagt werden, daß die unter-

2,6 GIGABIT

Die Bildauswertung der Pathfinder-Daten

Die ersten Bilder der Pathfinder-Sonde von der Landestelle am nördlichen Ende des Trockentales Ares Vallis zeigen eine mit Steinbrocken übersäte Wüstenlandschaft und vermitteln einen Einblick in die komplexen Vorgänge, die diese Oberfläche gestaltet haben. Im Ares Vallis sind vor ungefähr drei Milliarden Jahren große Mengen von Material erodiert, transportiert und wieder sedimentiert worden. Bis zum letzten Funkkontakt am 6. Oktober 1997 hat Pathfinder 2,6 Gigabit neuer Daten vom Mars zur Erde gefunkt, wobei neben den Messungen der chemischen Zusammensetzung der Gesteine und Böden sowie physikalischer Atmosphärenparameter die Bilddaten spektakuläre Ergebnisse lieferten. Mehr als 16.000 Aufnahmen der Lander-Kamera IMP und 550 Bilder der Rover-Kamera ermöglichen es, erstmals seit der Landung der Viking-Sonden vor 20 Jahren wieder einen Blick aus der Nähe auf die Oberfläche des Roten Planeten zu werfen. Die Stereokamera Imager for Mars Pathfinder (IMP) ist eine Entwicklung der Universität von Arizona unter der Leitung von Peter Smith, wobei ein Wissenschaftlerteam des Max-Planck-Instituts für Aeronomie in Katlenburg-Lindau unter der Führung von Horst-Uwe Keller maßgeblich am Aufbau des CCD-Sensors und der Elektronik beteiligt war. Das am Pathfinder-IMP-Experiment wissenschaftlich beteiligte DLR konnte bei der Auswertung der Bilddaten erfolgreich auf Software zurückgreifen, die für die photogrammetrische Verarbeitung dreidimensionaler Aufnahmen im Rahmen der Mars ’96-Mission entwickelt worden war. Die Analyse der Stereobilder erlaubt die Bestimmung der Landestellenmorphologie und die genaue Erfassung der Größe von Felsbrocken, wodurch die Anteile von Steinen und Staub an der Gesamtoberfläche quantifiziert werden können. Diese Informationen liefern letztlich Antworten auf die Frage, welche geologischen Prozesse die Landschaft geformt haben. Am Horizont der Pathfinder-Bilder erscheinen die Silhouetten einiger markanter Erhebungen, die auch auf Bildern identifiziert werden können, die aus einer Umlaufbahn um den Mars aufgenommen wurden. Auf diese Weise war es möglich, die Landestelle exakt in den 20 Jahre alten Bildern der Viking-Orbiter-Mission aufzufinden und somit beide Datensätze miteinander zu korrelieren. So befindet sich etwa drei Kilometer südlich der Landesonde ein Einschlagskrater, dessen Durchmesser in Orbitbildern mit anderthalb Kilometern bestimmt werden konnte und dessen Auswurfmaterial auch an der Landestelle sichtbar ist. Einen Kilometer westlich liegen zwei circa 50 Meter hohe Erhebungen, die den einprägsamen Namen „Twin Peaks“ erhielten. Die Sonde kam nach ihrer Landung auf einem Ausläufer dieser Hügel zum Stillstand. Die Twin Peaks – der südliche stellt sich als kegelartige Erhebung mit steilen Flanken dar, während der nördliche flacher und langgezogener ist und Anzeichen von Terrassierung zeigt – entsprechen in den Satellitenbildern der Viking-Orbiter-Mission morphologisch einem umströmten Hindernis, das aus Resten der ursprünglich im Mündungsgebiet des Ares Vallis vorhandenen Ablagerungen besteht. In den Stereobildern der IMP-Kamera ist zu erkennen, daß die Ebene, in der Pathfinder landete, leicht gewellt ist, wobei längliche, etwa einen bis zwei Meter hohe Erhebungen von fünf bis zehn Meter breiten Senken getrennt werden. Erste photogrammetrische Analysen weisen darauf hin, daß die Orientierung der Längsachsen mit den Fließrichtungen übereinstimmt, die man in Bildern aus dem Orbit identifizierte. Damit werden Vermutungen gestützt, daß sich vor langer Zeit gewaltige Flutwellen

suchten Marssteine ihrer Zusammensetzung nach zwar in den Bereich der Andesite oder evtl. der Granite fallen, aber ein Schluß auf eine ähnliche Entstehungsgeschichte voreilig wäre. Es könnte sich ebensogut um Sedimentgesteine oder Impakt-Brekzien handeln.

Die APXS-Analysendaten sind noch immer mit Unsicherheiten von fünf bis zehn Prozent relativ behaftet. Wir werden in den nächsten Monaten durch weitere Eichungen versuchen, diese Unsicherheiten zu vermindern und auch die Konzentration von einigen selteneren Elementen, wie Chrom und Mangan, zu gewinnen. Erst dann wird es möglich sein abzuschätzen, ob sich der sehr hohe SiO_2-Gehalt in den berechneten staubfreien Gesteinen bestätigt und ob solche Steine bzw. die zugehörigen Magmen direkt aus dem Marsmantel stammen können oder ob eine weitere Fraktionierung in der Marskruste erforderlich ist, wie sie auf der Erde häufig anzutreffen ist.

Klare Erkenntnis aus der Pathfinder-Mission ist, daß Mars seiner geologischen Entwicklung nach viel komplexer, aber auch viel erdähnlicher ist als bisher angenommen wurde. Mobilität auf der Marsoberfläche ist damit eine Grundvoraussetzung für alle künftigen Marsmissionen mit geochemischer bzw. geologischer Zielsetzung.

Prof. Dr. Dr. h.c. Heinrich Wänke ist derzeit Präsident der European Geophysical Society und Chairman der International Mars Exploration Working Group. Er war bis 30. 9. 1996 Direktor der Abteilung Kosmochemie am Max-Planck-Institut für Chemie, Mainz.

ERKENNTNIS

Von Ralf Jaumann

aus Wasser und Schlamm aus dem Ares Vallis in dieser Richtung über die Ebene ergossen.

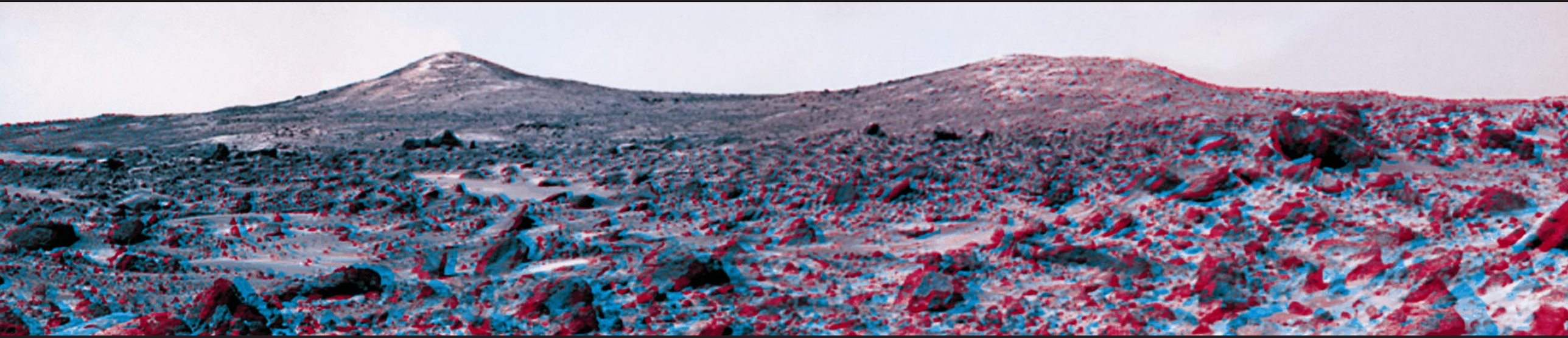
Die Ablagerungen der Landestelle zeigen eine komplexe und durch mehrere Prozesse bedingte Sedimentationsabfolge. Die Korngrößenverteilung des Materials reicht von feinen, wenige Mikrometer großen Partikeln, die sowohl Bereiche zwischen Gesteinen als auch die Gesteine selbst bedekken, über wenige Zentimeter große Fragmente bis hin zu Felsbrocken von sieben Metern Durchmesser. Diese Verteilung ist in alle Richtungen von der Landesonde aus zu beobachten, wobei es jedoch deutliche lokale Unterschiede bei der Bedekkung der Oberfläche mit größeren Felsen gibt. Im Mittel sind 16 Prozent der Oberfläche mit Gesteinen bedeckt; dieser Wert kann jedoch an manchen Stellen auch 30 Prozent erreichen. Die Gesteine selbst sind unterschiedlich gerundet und zum größten Teil in feineres Sediment eingebettet. Die Morphologie und die Materialverteilung unterstützen die derzeit gängigsten Interpretationen, wonach eines oder mehrere Flutereignisse in der Frühzeit der Marsgeschichte Steine und Schlamm im Mündungsgebiet von Ares Vallis ablagerten. Nachfolgend haben Einschläge von Meteoriten, Windverfrachtungen und Aerosolsedimentation der Landschaft ihr heutiges Erscheinungsbild gegeben.

Da Klima und Meteorologie wegen ihrer Parallelen zu irdischen Verhältnissen sowohl für Geowissenschaftler als auch für Atmosphärenphysiker interessant sind, war am Ende von einem der drei Solarpanel ein Instrumentenmast befestigt, der Pathfinder zur Wetterstation machte. Unter der Leitung von Tim Schofield vom Jet Propulsion Laboratory in Pasadena wurden mehr als 8,5 Milllionen Einzelmessungen zu Luftdruck und Temperatur sowie Windgeschwindigkeit vorgenommen. Die spektakulärste Entdeckung war die häufige Passage von kleinen Windhosen über die Landestelle, während derer sich Windgeschwindigkeit und Luftdruck kurzfristig stark änderten. Abgesehen von diesen Ereignissen weht nur ein „laues Windchen“ mit Geschwindigkeiten von durchschnittlich acht Metern in der Sekunde vornehmlich aus Westen.

Mit Hilfe der eingesetzten photogrammetrischen Verfahren ist es gelungen, das Mikrorelief von Windablagerungen und kleinsten Bodenerhebungen zu bestimmen. Von besonderem wissenschaftlichen Interesse ist eine „Mermaid Dune“ genannte Düne, die in circa sechs Meter Entfernung von der Landesonde in einer Senke gelegen ist. Eine Klassifikation der Helligkeitsunterschiede unterteilte diese Düne in drei dominierende Regionen, obwohl für das bloße Auge keine Inhomogenitäten feststellbar sind. Erst ein Vergleich mit dem digitalen Geländemodell zeigte, daß sich hier eine topographische Erhebung von etwa zwei bis sechs Zentimeter Höhe befindet, die diese Variationen der Helligkeit verursacht.

Diese Ergebnisse der Pathfinder-Bildauswertung bestätigen die Qualität der für die High Resolution Stereo Camera (HRSC) entwickelten Software zur Analyse dreidimensionaler Oberflächeninformation, die nach der ursprünglichen Planung (Mars ’96) zur gleichen Zeit wie Pathfinder Stereodaten aus dem Orbit hätte liefern sollen.

Dr. Ralf Jaumann leitet die Abteilung Planetengeologie am DLR-Institut für Planetenerkundung in Berlin-Adlershof und ist an der Mars-Pathfinder-Mission wissenschaftlich beteiligt.



Wenn Sie die beigefügte rot-blaue Stereobrille aufsetzen, können Sie in die einst von fließendem Wasser geprägte, nun längst ausgetrocknete Landschaft des Mündungsgebietes von Ares Vallis auf dem Mars eintauchen. Im Westen der Pathfinder-Landestelle erkennt man in etwa einem Kilometer Entfernung zwei markante, 50 Meter hohe Hügel, die in Anlehnung an den Titel einer populären amerikanischen Fernsehserie als „Twin Peaks" zu Berühmtheit gelangten.Möglich wurden diese Stereobilder durch den „Imager for Mars Pathfinder (IMP)", eine zweiäugige digitale Kamera, die mit einem horizontalen Abstand der Objektive von 15 Zentimetern die Sehweise eines menschlichen Augenpaares simuliert. Entwickelt wurde die IMP-Kamera von der University of Arizona in Kooperation mit dem Max-Planck-Institut für Aeronomie in Katlenburg/Lindau. Die Datenauswertung wurde durch die am DLR-Institut für Planetenerkundung in Berlin entwickelte Software zur dreidimensionalen Darstellung der Marsoberfläche unterstützt.

Das Stereopanorama wurde aus vielen Einzelbildern zusammengesetzt und erlaubt neben dem visuellen Erlebnis auch eine Reihe wissenschaftlicher Untersuchungen. Die Stereobilder zeigen eine von parallelen Rinnen überzogene Landschaft, und die statistische Verteilung der Felsbrocken konnte quantitativ erfaßt werden. Auf diese Weise gewinnt man ein besseres Verständnis der Prozesse, die vor Milliarden Jahren dieses heutige Trockental geformt haben. Nicht zuletzt diese Stereodaten ermöglichten es Millionen Menschen, über das Internet in die uns so fremde Marswelt einzutauchen. Der „Mars im Wohnzimmer" bescherte der Weltraumforschung eine Aufmerksamkeit wie seit den Tagen der Apollo-Missionen nicht mehr. (Bild: Dr. Tim Parker, NASA/JPL/RPIF/DLR)

In dieser Fotomontage sind die vier Jupiter-Monde Io, Europa, Ganymed und Callisto in korrekten Größenverhältnissen abgebildet. Der Große Rote Fleck in der Atmosphäre Jupiters (unten) ist ein gigantischer Sturmwirbel, dessen Durchmesser größer als die Erde ist.
(Bilder: NASA/JPL/RPIF/DLR; Montage: DLR)

FEUER UND EIS

Ergebnisse der Galileo-Mission zum Jupiter-System · *Von Gerhard Neukum*

Die seit 1989 andauernde NASA-Mission Galileo zu Jupiter, dem größten Planeten des Sonnensystems, und seinen Monden lieferte mit 17 Experimenten Daten von unschätzbarem wissenschaftlichen Wert. Bereits auf seiner sechsjährigen Reise durch das innere Sonnensystem konnte der Orbiter en passant wertvolle Daten sammeln. Aber vor allem seit dem 7. Dezember 1995, als Galileo und die zuvor auf eine ballistische Flugbahn gebrachte Atmosphären-Eintauchkapsel ihr Hauptziel erreichten, übermittelt der künstliche Jupitersatellit faszinierende Aufnahmen des vulkanisch aktiven Mondes Io und der eisigen Trabanten Europa, Ganymed und Callisto mit bis zu elf Meter Auflösung pro Bildpunkt. Zum Jahreswechsel 1997/98 endete die nominale Mission, die nun in eine zweijährige Verlängerung mündet.

Neben der 1997 gestarteten Mission Cassini/Huygens stellt Galileo das bisher vielseitigste, umfassendste und komplizierteste unbemannte Raumfahrtunternehmen dar. Galileo sollte über einen Zeitraum von zwei Jahren das Jupitersystem erforschen. Die Aufnahmesysteme SSI (Solid State Imaging-Experiment – eine hochauflösende Multispektralkamera für das sichtbare Licht und nahe Infrarot) – und NIMS (Near Infrared Mapping Spectrometer) widmeten sich vor allem Struktur und Dynamik der Jupiteratmosphäre, der Bestimmung von Oberflächenformen auf den Jupitersatelliten Io, Europa, Ganymed und Callisto – den nach ihrem Entdecker Galileo Galilei benannten „Galileischen Monden" – und deren geologischer Entwicklung. Die SSI-Kamera lieferte dabei eine wesentlich höhere, zum Teil über hundertmal bessere räumliche Auflösung als die Voyager-Sonden 1979. Durch Multispektral-Bilddaten sollten Erkenntnisse über die chemische Zusammensetzung der Jupiteratmosphäre und die Mineralogie des Oberflächenmaterials der Jupitermonde gewonnen werden.

Vier Milliarden Kilometer durch das innere Sonnensystem

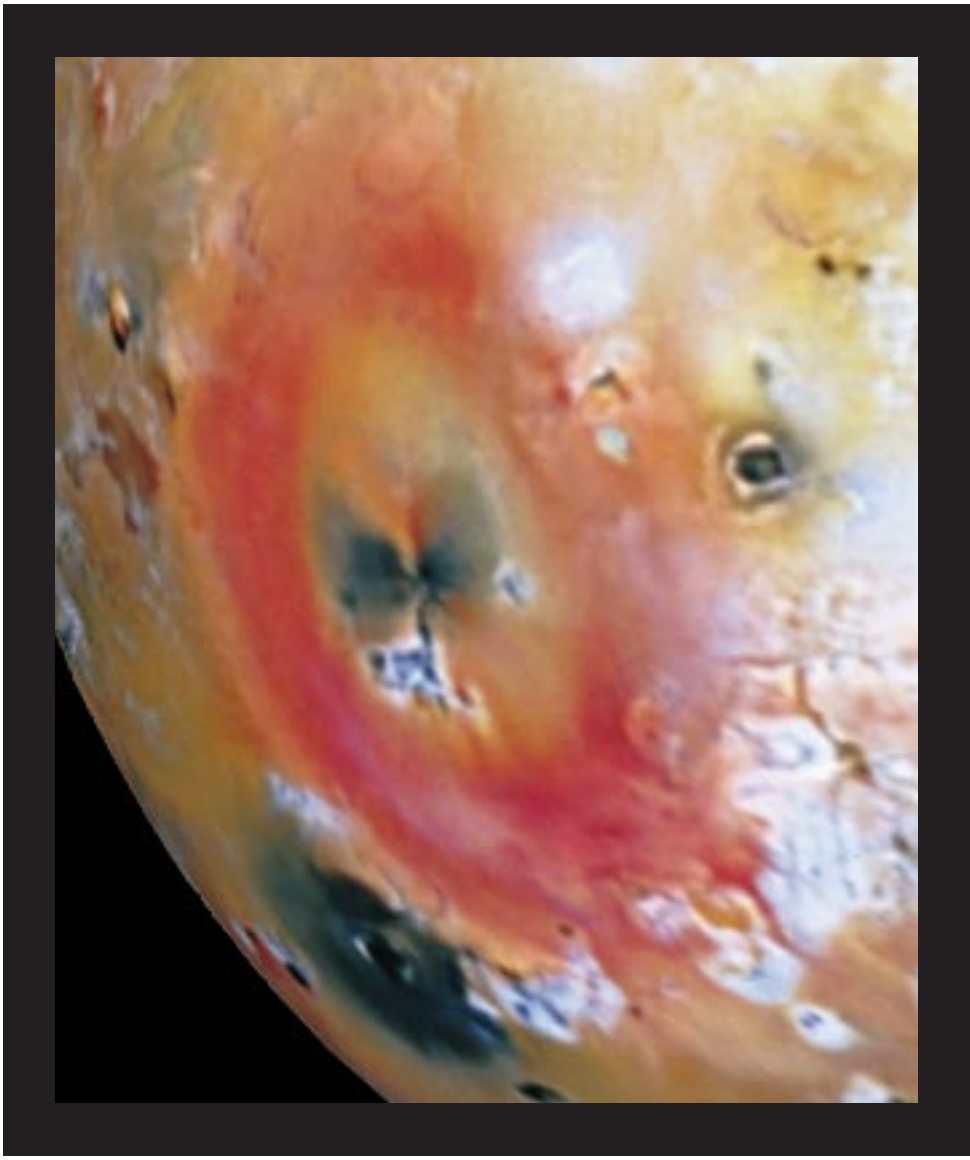
Wegen des Challenger-Unglücks 1986 verzögerte sich der Start der Galileo-Sonde um mehrere Jahre. Erst am 18. Oktober 1989 wurde Galileo durch das Shuttle Atlantis in eine Erdumlaufbahn gebracht. Das Jupitersystem konnte nun nur noch auf einer sehr viel längeren Flugbahn erreicht werden.

Ein Venus- und zwei Erde-Mond-Vorbeiflüge mußten der Sonde den nötigen Schwung verleihen. Durch diese verlängerte Flugbahn ergaben sich jedoch zusätzliche Möglichkeiten, eine Reihe wissenschaftlicher Experimente durchzuführen. So untersuchte die Kamera die vertikalen Strukturen und die Dynamik der oberen Venusatmosphäre; bei den beiden Erde-Mond-Vorbeiflügen konnte fast die gesamte Mondoberfläche erstmals in mehreren Farbfiltern aufgenommen werden. Ein „first" waren auch zwei Nahvorbeiflüge an Asteroiden: 1991 an »951 Gaspra« und 1993 an »243 Ida«. Auf den hochauflösenden Aufnahmen von Ida wurde überraschend erstmals ein kleiner Mond mit etwa 1,6 Kilometer Durchmesser entdeckt.

Ein weiterer Meilenstein war im Juli 1994 die direkte Beobachtung der Einschläge von Fragmenten des Kometen Shoemaker-Levy 9 in die Südhalbkugel Jupiters. Schließlich sprengte Galileo ein halbes Jahr vor der Ankunft eine Atmosphären-Eintauchkapsel ab, die auf einer ballistischen Bahn zum Jupiter flog und am 7. Dezember 1995 in dessen Wolkenhülle eintauchte, von wo sie für knapp 60 Minuten Daten übermittelte.

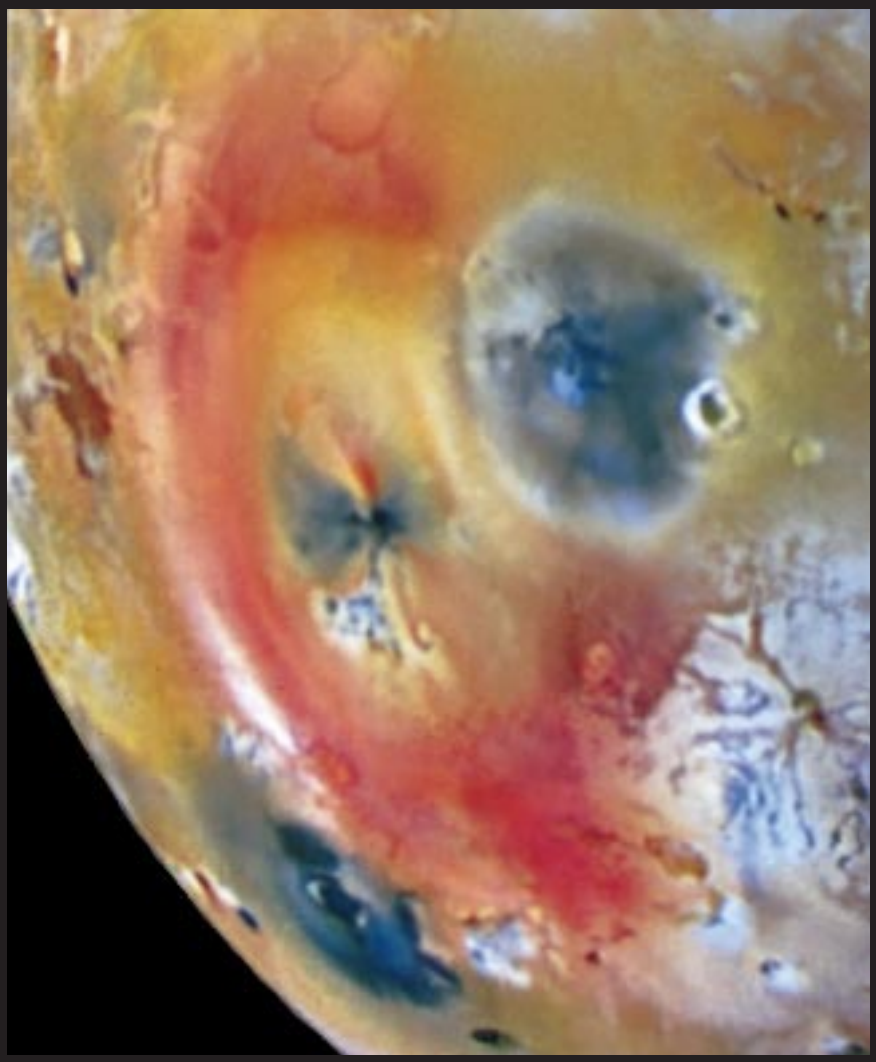
Leider traten trotz dieser Erfolge Schwierigkeiten auf, die den Missionsverlauf und die geplante Datenausbeute wesentlich beeinflussen sollten und eine Neuprogrammierung und Neugestaltung des Ablaufs des Kamera-Experimentes erforderlich machten. Die Hauptantenne hatte sich nicht wie geplant geöffnet. Dadurch blieb zur Datenübertragung lediglich die kleinere, wesentlich weniger leistungsfähige Antenne. Ferner arbeitete das Bandgerät zur Datenspeicherung an Bord der Sonde kurz vor der Ankunft am Jupiter fehlerhaft.

Seit dem 8. Dezember 1995 befindet sich Galileo auf einer exzentrischen



Bahn um Jupiter. Während insgesamt elf Umkreisungen wurde die Sonde gezielt viermal am größten Mond Ganymed sowie je dreimal an Europa und Callisto in geringer Entfernung vorbeigelenkt, wobei Bilddaten von bis zu elf Meter Auflösung pro Bildpunkt (Pixel) gewonnen wurden. Obwohl wegen der genannten technischen Schwierigkeiten bei weitem nicht die geplante Bildausbeute erzielt werden konnte, gelang es unter Ausnutzung aller Möglichkeiten der Aufnahmetechnik und der Datenkompression, wenigstens zwölf Prozent des geplanten Bilddatenumfangs zu erreichen.

Nach dem 6. November 1997 endete mit dem letzten Vorbeiflug an Europa die nominale Galileo-Mission. Noch vor dem Einschwenken der Sonde in die Jupiterbahn war jedoch bereits erkannt worden, daß durch die hohe Präzision der Bahnführung Treibstoff gespart werden konnte. Bald wurde eine Verlängerung der Mission um weitere zwei Jahre diskutiert – die mittlerweile begonnen hat. Der von Voyager und Galileo nicht ausreichend abgedeckte Mond Europa wird Hauptziel dieser „Galileo Europa Mission (GEM)“ genannten dritten Phase des Fluges sein. Acht Nahvorbeiflüge an Europa sollen die Bilddatenbasis dieses Mondes wesentlich erweitern. Daran schließen sich vier weitere gezielte Vorbeiflüge an Callisto an. Die letzten beiden Vorbeiflüge haben Io zum Ziel mit Bilddaten von wenigen Metern Auflösung pro Bildpunkt. Am 31. Januar 2000 wird die Galileo-Mission endgültig beendet sein.



Galileos Kamerasystem enthüllte bei zwei nur ein halbes Jahr auseinanderliegenden Vorbeiflügen dramatische Veränderungen an Ios Vulkan Pillan: Binnen dieser Zeit überdeckten Eruptionen eine Fläche größer als Bayern mit jungen vulkanischen Auswurfprodukten, zu erkennen an der großen schwarzen Fläche, die auf dem jüngeren Bild (rechts) am Nordostrand der größten Vulkanzone auf Io mit Namen Pele zu sehen ist. (Bild: NASA/JPL/RPIF/DLR)

Io – der Mond der Vulkane

Io, der innerste der Galileischen Monde, ist der vulkanisch aktivste Körper im gesamten Sonnensystem. Himmelskörper von der Größe Ios – vergleichbar mit unserem Erdmond – würden an anderer Position im Sonnensystem bereits in der Frühzeit ihrer Entwicklung auskühlen und vollkommen erstarren. Doch die enorme Schwerkraft Jupiters läßt in Io Gezeitenkräfte wirken, die den Mond in einem solchen Ausmaß verformen, daß sein Inneres durch die dabei entstehende Reibungswärme über Jahrmilliarden heiß und flüssig blieb.

Diese Gezeitenkräfte bewirken eine enorme Aufheizung im Innern des Körpers, was auch die Ursache der starken Differenzierung des verhältnismäßig kleinen Mondes ist. Denn Io weist einen recht großen metallischen Kern auf, der von einem flüssigen Mantel umgeben ist. Hieraus speist sich der permanente, aktive Vulkanismus von Io. Ähnlich wie bei einem Dynamo sind also die Voraussetzungen gegeben, ein eigenes, aktives Magnetfeld auszubilden – das erste, das bei einem Mond nachgewiesen wurde. Wahrscheinlich bewirkt eine Kombination aus Gezeitenkräften, schneller, gebundener Rotation und der „weichen“, leicht verformbaren Konsistenz des Mondes die gemessene starke Abweichung von der „idealen“ Kugelgestalt. In Richtung Jupiters ist die Halbachse dieses „Rotationsellipsoids“ etwa zehn Kilome-

ter länger als die in Richtung der Bahnbewegung weisende Achse, und sogar 15 Kilometer länger als die polaren Halbachsen.

Die beiden Voyager-Missionen nahmen bei ihrem Io-Vorbeiflug mehrere hundert Bilder auf, die in der Folgezeit als Basis für die Berechnung von Kontrollnetzen dienten. Diese Netze bestehen aus einer möglichst hohen Anzahl von markanten Punkten auf der Oberfläche, deren exakte Koordinaten (Länge, Breite und Höhe) durch photogrammetrische Methoden bestimmt werden. Kontrollnetze charakterisieren die globale Figur eines Planeten und werden daher als Referenz für die Absolutanbindung von Geländemodellen der Oberfläche sowie zur Herstellung genauer, maßstäblicher Karten gebraucht. Die nun verfügbaren Galileo SSI-Bilder stellen einen unabhängigen Datensatz dar und wurden im Rahmen einer Neuberechnung des Io-Kontrollnetzes mit den Voyager-Bilddaten kombiniert. Damit konnte die Zuverlässigkeit des bis dahin bestehenden Netzes erhöht werden. Maßgeblichen Einfluß auf die erreichte Punktgenauigkeit hatte die hohe geometrische Präzision der SSI-Kamera.

Die komplizierten Wechselwirkungen der Galileischen Monde untereinander führen im Zusammenspiel mit Jupiter dazu, daß die Bahn von Io Abweichungen von einer idealen gebundenen Rotation und der dazugehörigen Kreisbahn aufweist. Diese Tatsache verursacht eine zeitlich und örtlich variable Gezeitenwirkung. So entsteht erstens ein bis zu hundert Meter hoher „Gezeitenberg“, der – die oben beschriebene „Ausbeulung“ überlagernd – über die Oberfläche wandert. Zweitens führt dies zu einer örtlich unterschiedlichen Aufheizung der Kruste und des Mantels. In welcher Tiefe aber findet diese Aufheizung nun statt? Läuft dieser Mechanismus in großer Tiefe ab, so wird sich der Wärmefluß bis zur Oberfläche vermutlich global gleichmäßig verteilt haben. Anders ist es, wenn der größte Anteil der Gezeitenenergie in einer Schicht dicht an der Oberfläche „deponiert“ wird. Dann wird dort die feste Kruste dünner sein, da sie durch die entstehende Wärme von unten abgeschmolzen wird. Durch Dichteunterschiede zwischen dem flüssigen Mantel und der darauf schwimmenden festen Kruste äußern sich diese Zonen erhöhter Wärmeproduktion durch Höhenunterschiede an der Oberfläche. Eine exakte Bestimmung der Oberflächenform von Io stellt deshalb das empfindlichste Verfahren dar, den Mechanismus der Aufheizung und damit die grundlegende Ursache für einige Besonderheiten besser verstehen zu lernen.

Die Oberfläche von Io ist nahezu ausschließlich von vulkanischen Vorgängen geprägt, die mit der SSI-Kamera verfolgt wurden. So konnte die schwankende Zahl aktiver Vulkane genauso erfaßt werden wie die Zahl der Vulkane, die seit Voyager aktiviert wurden bzw. keine Tätigkeit mehr zeigen. Katalogisiert wurde auch die räumliche Verteilung der Vulkane – mit einer ersten Erkenntnis, daß sich die „Feuerberge“ vorwiegend in einem breiten Gürtel beiderseits des Äquators befinden. Die Vulkankegel haben gigantische Ausmaße von wohl einigen Kilometern Höhe. Die freigesetzte Energie reicht aus, vulkanische Gase und Auswurfmaterial mehrere hundert Kilometer hoch ins All zu schleudern. Das Treibgas dürfte dabei Schwefeldioxid sein; bei den Substanzen, die auf die Io-Oberfläche niederregnen, ist man dagegen noch nicht so sicher: Daß es sich um verschiedene Schwefelverbindungen handeln muß, scheint klar, aber welche dies sind, ist noch nicht gewiß. Schließlich sind die ausgeworfenen Massen so gewaltig, daß sie die Oberfläche los zwischen mehreren Millimetern und bis zu einem Zentimeter pro Jahr überdecken!

Die Monde in multispektralem Licht betrachtet

Auch die Untersuchung von Spektraldaten war Gegenstand zahlreicher Untersuchungen im DLR. Die SSI-Kamera an Bord von Galileo verfügt hierzu über sieben Farbfilter und ist zwischen 0,4 und 1,0 Mikrometer sensitiv. Io ist von den vier Galileischen Monden der mit Abstand farbenprächtigste; die gelben und roten Farben dürften von Schwefelverbindungen stammen. Da Schwefelspektren keine genügend guten diagnostischen Absorptionsbanden aufweisen, kann diese Vermutung allerdings mit fernerkundlichen Mitteln nicht völlig zweifelsfrei nachgewiesen werden. Die weißen Flächen, die sich insbesondere in der Äquatorebene konzentrieren, bestehen aus Schwefeldioxid-Eis. Ihre Entstehung verdanken sie dem Vulkanismus auf Io. Die dunklen, schwarz erscheinenden „Flecken“ schließlich sind Zentren aktiver oder zur Zeit ruhender Vulkane. Die hohe Temperatur von über 1.500 Grad Celsius läßt auf ultramafischen, also sehr basischen Vulkanismus schließen, etwa wie an Vulkanen der ozeanischen Kruste auf der Erde (abgesehen vom Schwefelgehalt). Die dunklen Flecken dürften vor allem aus magnesium- und eisenreichen Silikaten bestehen.

Auf Europa, Ganymed und Callisto wird die Oberfläche von Wassereis dominiert. Vor allem die Oberfläche Europas besteht aus fast purem Wassereis, das in zwei Gruppen eingeteilt werden kann: „Infrarot-helle“ und „Infrarot-dunkle“ Gebiete. Dieser Unterschied kann auf verschiedene Korngrößen des Eises oder auf eine geringe Beimengung von anderem – möglicherweise silikathaltigem – Material zurückgeführt werden.

Auf Ganymed sind viele, auf Callisto fast alle Gebiete von einem dunklen Material bedeckt, das offensichtlich auf der Wassereiskruste liegt. Die genaue Zusammensetzung dieses dunklen Materials, das möglicherweise im gesamten äußeren Sonnensystem eine Rolle spielt, ist noch nicht bekannt. Die im Institut für Planetenerkundung ausgewerteten Daten lassen vermuten, daß mindestens zwei Komponenten eine Rolle spielen. Kandidat für eine Komponente sind Phyllosilikate wie z.B. Serpentin, für die andere kommt organisches Material in Frage, das auf bestimmten Asteroiden zu finden ist. Bei beiden Materialien dürfte während der Entstehung auch Wasser eine wichtige Rolle gespielt haben. Denkbar ist auch, daß Schwefel die Spektren beeinflußt. Vor allem für Europa erscheint dies wahrscheinlich, spuckt doch der in der Nähe kreisende Mond Io permanent Schwefel in seine Jupiterumlaufbahn, das von Europa teilweise aufgesammelt werden kann. Ansonsten dürften auch auf Europa dieselben dunklen Materialkomponenten wie auf Ganymed und Callisto vorkommen, allerdings an den meisten Stellen weit weniger konzentriert.

Dieses Bild zeigt ein kleines Gebiet auf Europa mit einer dünnen zerbrochenen Eiskruste in der Conamara-Chaos-Region. Die weißen und blauen Farben kennzeichnen Gebiete, die von einer feinen Schicht von Eispartikeln bedeckt sind, die bei der Entstehung des rund 1000 Kilometer südlich gelegenen Meteoritenkraters Pwyll ausgeworfen wurden. Die unbedeckte Oberfläche hat einen bräunlich-rötlichen Farbton, der durch Mineralien verursacht wird. Die Farben in diesem Bild wurden zur besseren Erkennbarkeit etwas verstärkt. (Bild: NASA / JPL / RP/F / DLR)

Kontroverse Diskussionen um Europa

Europa ist mit nur 3.130 Kilometern Durchmesser der kleinste der vier Galileischen Monde. Die mit einer Albedo zwischen 0,6 und 0,8 sehr helle Oberfläche ist von fast reinem Wassereis bedeckt und zeigt nur wenige Einschlagskrater. Dafür sind einzelne und parallel verlaufende Bergrücken eine dominierende Oberflächenstruktur; die maximale Höhe dieser Erhebungen beträgt nur wenige hundert Meter. An vielen Stellen sind die Bergrücken durchbrochen, von Krustenverschiebungen zerrissen oder sogar völlig von hügeligem Gelände ausgelöscht, das zum Teil an auseinandergedriftete Eisschollen im irdischen Packeis erinnert. Die mittlere Dichte liegt bei 3 g/cm3 und ist damit höher als bei Ganymed und Callisto. Offensichtlich besitzt Europa einen schweren Gesteins- und/ oder Eisenkern, der von einem bis zu 200 Kilometer tiefen Wasserozean mit Eiskruste oder massivem Eis bedeckt ist.

Die besten Voyager-2-Aufnahmen vom Juli 1979 besitzen eine Auflösung von rund 2 km/pxl und zeigen bereits den offensichtlichen „Mangel“ an Kratern im Vergleich zu den älteren Oberflächen der Galileischen Monde Ganymed und Callisto. Außerdem ist ein regelrechtes „Netzwerk“ von dunklen Linien zu erkennen. Manche der Linien treten als „Doppellinie“ mit einem hellen Zwischenteil auf, daher nennt man diese Strukturen „Triple Bands“. Die Entdeckung von Vulkanismus auf Io in Kombination mit

der Theorie, daß diese starke endogene Aktivität auf Gezeitenreibung zurückzuführen ist, sowie der „Kratermangel“ führten zu der Hypothese, daß unter der Eiskruste von Europa eine Hydrosphäre, eine Art „unterirdischer Wasserozean“, verborgen sein könnte.

Die „Ozeanfrage“ rückte mit den ersten Galileo-Bilddaten wieder in den Mittelpunkt; die besten Bilder dreier gezielter naher und sechs „ungezielter“ Vorbeiflüge mit deutlich weiterem Abstand besitzen bis zu 20 Meter Bildauflösung und sind somit rund 100-mal schärfer als die Voyager-Aufnahmen.

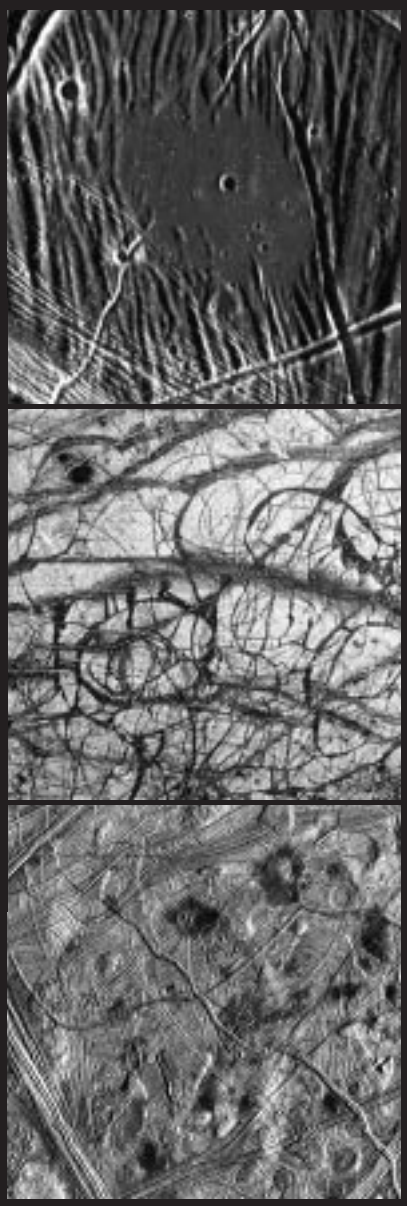
Die Galileo-Bilder liefern tatsächlich eindeutige Hinweise auf einen zumindest prähistorischen Ozean. Als Beispiele seien das Gebiet, das die „Packeisschollen“ zeigt, genannt, außerdem große dunkle Gebiete (sog. „Maculae“), die als Überreste von Einschlägen interpretiert werden, welche durch die Eiskruste durchgeschlagen haben müssen, sowie dunkle Flecken (sog. „Lenticulae“), die in den hochaufgelösten Bildern als aufgewölbte Strukturen identifiziert wurden und deren vermuteter Ursprung mit einem unterirdischen Ozean verträglich ist. Bis heute kontrovers wird aber die Frage diskutiert, ob der Ozean noch heute existiert, oder ob wir nur die Überreste vergangener geologischer Aktivität aus einer Zeit sehen, in der die letzten Bereiche eines ehemaligen Ozeans ausfroren und somit die meiste geologische Aktivität zum Erliegen kam.

Zwei Gruppierungen innerhalb des SSI-Teams liegen in ihren Abschätzungen zum Europa-Oberflächenalter weit auseinander. Die Gruppe um Clark Chapman vom Southwest Research Institute in Boulder, Colorado, glaubt, daß die Oberfläche noch heute starken Umwälzungen unterworfen ist und die Oberflächenstrukturen zum Teil nur wenige Millionen Jahre alt sein müssen – daß der Ozean also noch heute existiert. Im Gegensatz dazu ist der Autor der Auffassung, daß wir in den Bildern auf bis zu drei Milliarden Jahre alte Strukturen blicken. Dieses Resultat ergibt sich aus Zählungen der Einschlagskrater auf Europa, die mit einem so hohen Alter kompatibel sind.

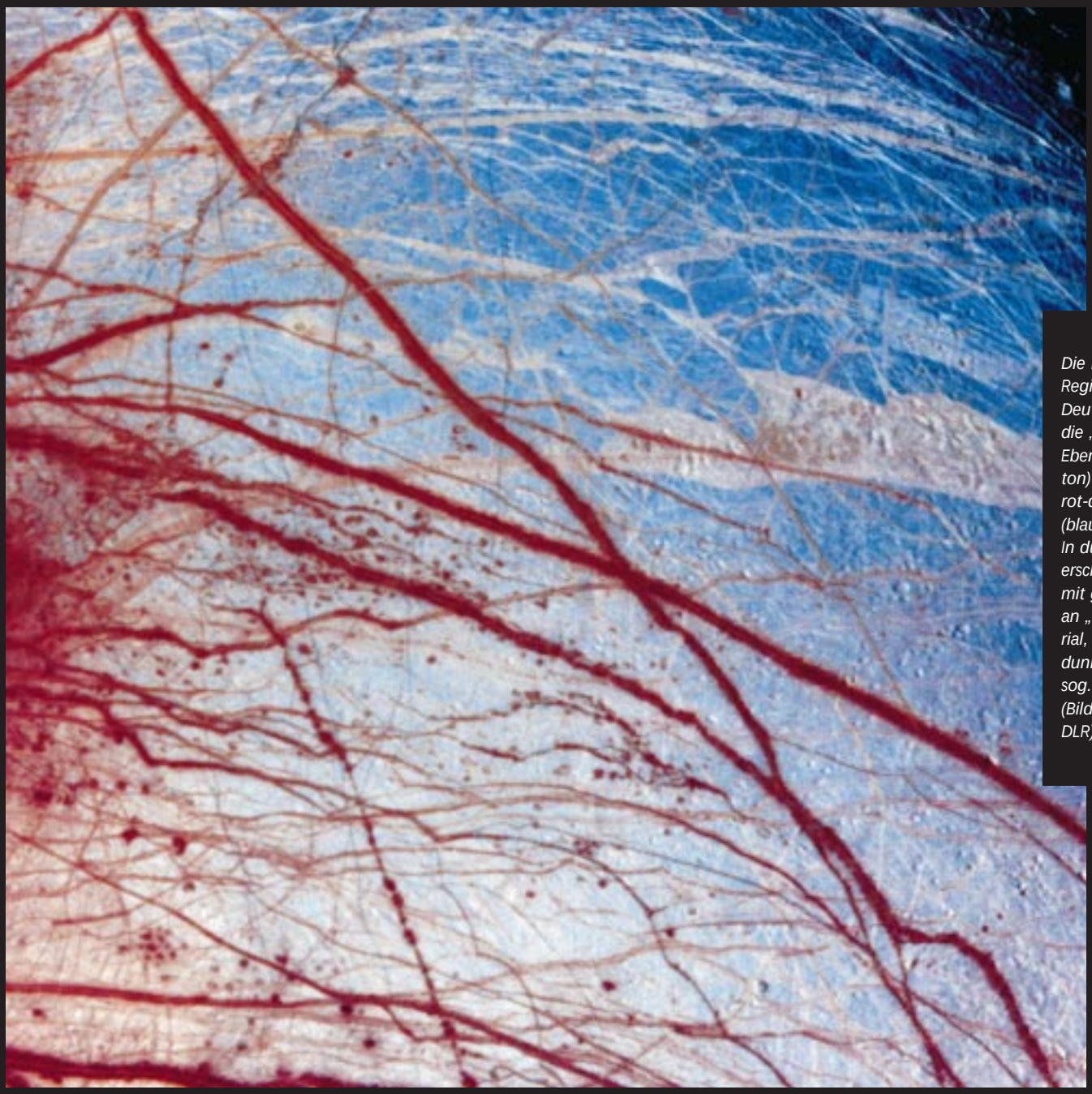
Wie alt ist Europa wirklich?

Im Zuge der Galileo-Mission konnte ein wichtiger Beitrag zur Altersstellung von Körpern des Sonnensystems mit fester Oberfläche geführt werden. So wurde durch Messungen von Kraterverteilungen auf Gaspra und Ida seitens der Galileo-Arbeitsgruppe des DLR der Beweis für die gleiche Projektilpopulation im inneren Sonnensystem und im Asteroidengürtel geführt. Für das äußere Sonnensystem und insbesondere die Galileischen Monde hingegen war die theoretische Situation bis vor kurzem deutlich anders. Man nahm aus durchaus plausiblen Gründen an, daß die meisten Einschläge auf den Jupitermonden durch kurzperiodische Kometen verursacht werden, die Jupiters starker Gravitation „zum Opfer gefallen“ waren. Wie groß diese Kometenpopulation und die subsequente Zahl der Einschläge heute ist – darüber besteht Uneinigkeit.

Ein von einer Gruppe amerikanischer Wissenschaftler im Galileo-Imaging Team verfochtenes Modell geht von einer auch in jüngerer Vergangenheit noch relativ hohen Zahl von Kometen aus, was für die Jupitermonde – insbesondere Europa – recht „junge Alter“ zur Folge hätte. Auch die Oberflächen Callistos und Ganymeds wären zum größten Teil weniger als drei Milliarden Jahre alt, die Kruste Europas sogar nur wenige Millionen Jahre (Io ist wegen des aktiven Vulkanismus ein Sonderfall). Doch hat dieses Modell nach Ansicht des Autors Schwächen, denn es beinhaltet einen Widerspruch: Von Callisto, dem äußersten der vier großen Monde Jupiters, weiß man aufgrund physikalischer Modelle, daß es sich um einen sog. „undifferenzierten“ Körper handeln muß; im Gegensatz zu seinen inneren Nachbarn erstarrte Callisto schon früh zu einem durch und durch gefrorenen Mond, dessen Bestandteile aus dem solaren Urnebel sich nicht in einen Kern aus schweren Komponenten und in einen Mantel mit darüberliegender Kruste aus leichteren Bestandteilen trennen konnten. Also müßte auch die früh erstarrte Oberfläche die Bedingungen des „Bombardements“ aus dieser Frühzeit widerspiegeln – was sie



Die Oberfläche des Eismondes Europa offenbart sich auf den Galileo-Aufnahmen in unglaublicher Vielfalt. Abb. oben: Im Gebiet „Puddle“ sind Bergrükken durch Eisvulkanismus überprägt worden. Abb. mitte: Spuren wie von einer Eiskunstläuferin ins Eis geritzt. Abb. unten: Spuren intensivster Eistektonik – für die Wissenschaft rätselhaft und faszinierend zugleich. (Bilder: NASA/JPL/RPIF/DLR)



Die Minos Linea-Region auf Europa. Deutlich lassen sich die „Infrarot-hellen“ Ebenen (weißer Farbton) von den „Infrarot-dunklen“ Ebenen (blau) unterscheiden. In dunklem Braun erscheinen Gebiete mit größerem Anteil an „Nicht-Eis“-Material, wie z. B. die dunklen Flanken der sog. „Triple Bands“. (Bild: NASA/JPL/RPIF/DLR)

auch tut. Nach dem Modell des Autors ist die Oberfläche Callistos zirka vier Milliarden Jahre alt.

Vermutlich geht das „amerikanische“ Modell von einer um zwei bis drei Größenordnungen zu hohen aktuellen Kometenpopulation im Jupiterraum aus. Der Realität näher scheint das DLR-Modell zu kommen, dem die Annahme zugrundeliegt, daß es nach dem heftigen, hauptsächlich aus dem Asteroidengürtel „gespeisten“ Meteoritenbombardement in der Frühzeit des Sonnensystems (vor 4,5 bis ca. 3,8 Milliarden Jahren) zu einem dramatischen Rückgang der Einschlagsrate kam. Das aufgrund der vielen Krater errechnete hohe Alter von Callisto und Ganymed (> 3,8 Milliarden Jahre) steht also nicht im Widerspruch zu einem ebenfalls relativ hohen Alter der Europaoberfläche von ca. 3 Milliarden Jahren – trotz einer geringeren „Kraterdichte“ auf diesem Mond. Bei diesem Alter der Europakruste wäre die heutige Existenz eines Ozeans aus geschmolzenem Wassereis jedoch nahezu ausgeschlossen.

Die „Europa-Ozean-Frage“ ist eine der spannendsten der Planetenforschung. Deshalb wird die Verlängerung der Galileo-Mission speziell dem Mond Europa gewidmet sein. Zwischen Dezember 1997 und Februar 1999 sollen acht nahe Europa-Vorbeiflüge stattfinden und die Datenbasis für mittel- und hochaufgelöste Aufnahmen vervierfachen. Ein Bild soll sogar nur noch sechs Meter große Details zeigen – im Vergleich zu Voyager ein Faktor 300 an Schärfe! Die Chancen stehen gut, daß dann eindeutigere Hinweise darauf gefunden werden können, ob der Ozean noch heute existiert oder seit langer Zeit zugefroren ist.

Ganymed: Eisriese mit bewegter Vergangenheit

Würde Ganymed, der größte Mond des Sonnensystems, nicht um Jupiter kreisen, sondern um die Sonne – man würde ihn leicht in das System der Planeten einreihen können. Größe (der Durchmesser beträgt 5262 Kilometer) und Masse (1,48 x 10^{26} Gramm) verleihen dem Eisriesen die Eigenschaften eines eher terrestrischen Planeten. Eine mittlere Dichte von 1,94 g/cm^3 ließ vermuten, Ganymed bestünde aus einem mehr oder weniger gut differenzierten Gemisch aus Silikaten und Eisverbindungen. Mehr als ein Drittel des einfallenden Sonnenlichts werden ins All zurückgestrahlt – viermal so viel wie beim Erdmond. Interessant für die Geowissenschaftler ist Ganymed vor allem wegen seiner „bewegten“ Vergangenheit, wovon die stark überprägte Oberfläche Zeugnis ablegt.

Etwas mehr als 40 Prozent der Oberfläche Ganymeds wird von dunklen Gebieten eingenommen. Diese bilden kreisrunde oder polygonartige Flächen mit Durchmessern von teilweise über tausend Kilometern. Man weiß, daß die dunklen Gebiete sehr alt sein müssen, an die vier Milliarden Jahre. Sie sind von zahlreichen Furchen überzogen, die Längen von 50 bis zu mehreren hundert Kilometern aufweisen können und sich im Mittel lateral in einem Abstand von etwa 50 km wiederholen. Außerdem finden sich vor allem in den dunklen Gebieten kreisrunde, glatte Flecken, deren Durchmesser mehrere hundert Kilometer betragen und teilweise von ringartigen Strukturen umgeben sind. Diese Strukturen wurden mit den Impakten großer Asteroiden oder Kometen in Verbindung gebracht und in Anlehnung an ein griechisches Wort für überprägtes Pergamentpapier „Palimpsest“ genannt.

Ganz anders geartet sind die hellen Gebiete, die etwas mehr als die Hälfte der Oberfläche Ganymeds ausmachen – stark zerklüftetes Terrain, das sich vermutlich auf Kosten der dunklen Gebiete gebildet hat. Erst Galileo zeigte, daß der Altersunterschied zwischen hellen und dunklen Gebieten weit kleiner ist als bislang angenommen. Die gesamte geologisch-tektonische Entwicklung der Oberfläche Ganymeds war also schon vor mindestens 3,5 Milliarden Jahren beendet, eher sogar noch früher. Dieses am Berliner DLR-Institut für Planetenerkundung durch Kraterhäufigkeitsmessungen erbrachte Ergebnis hat vor allem für die kontrovers diskutierte Interpretation von Altersdaten des benachbarten inneren Jupitermondes Europa weitreichende Konsequenzen. Bevor diese Entwicklung auf Ganymed jedoch abgeschlossen war, ereigneten sich tektonische Umwälzungen gigantischen Ausmaßes. Hiervon zeugen Rillensysteme in den hellen Gebieten, die über mehrere hundert Kilometer parallel verlaufen und ein völlig durcheinandergeratenes Streifenmuster ausbilden. Heute vermutet

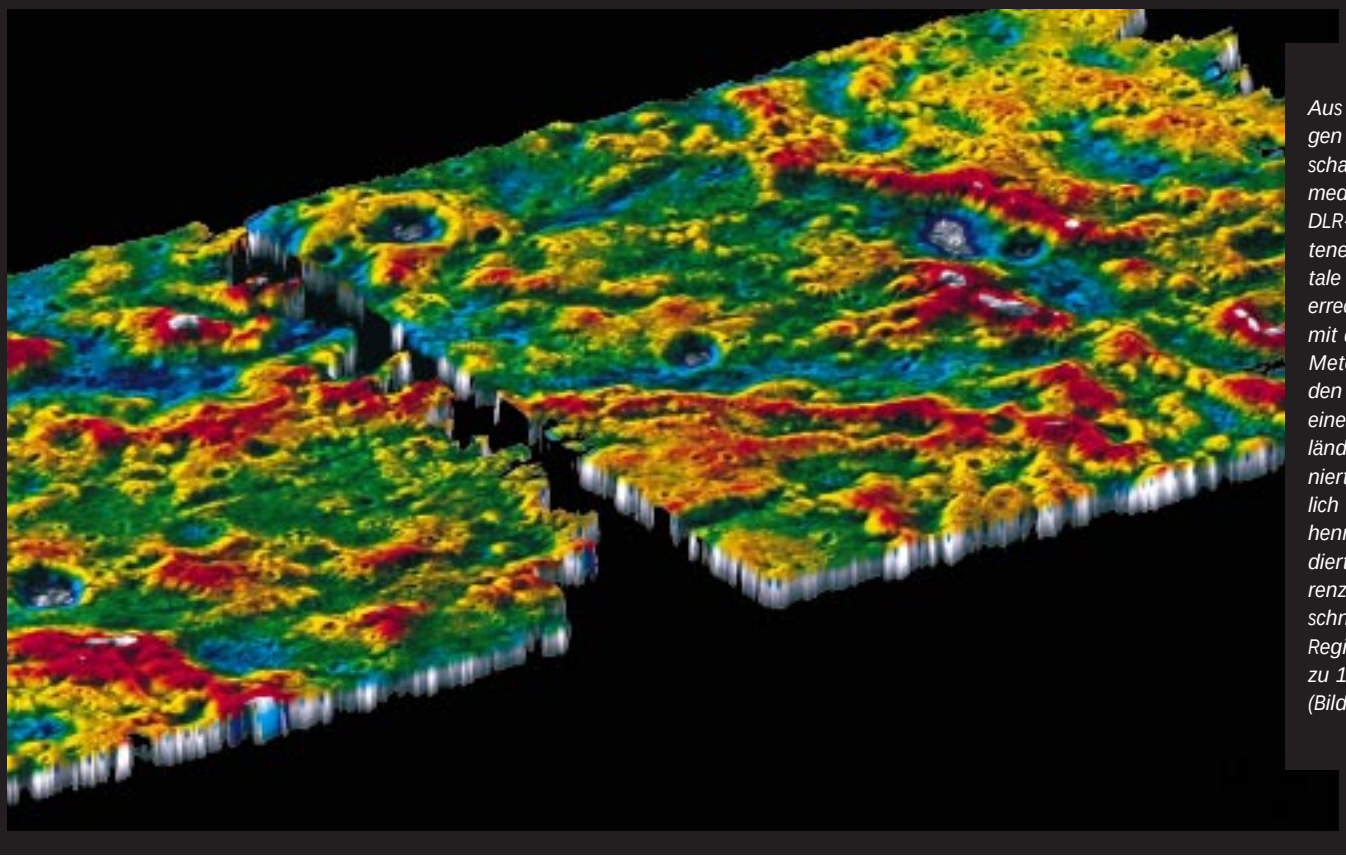
Krater – die Jahresringe der Monde

Wie die Ringe im Stamm eines Baumes gibt die Anzahl der Einschlagskrater Hinweise auf das Alter eines Himmelskörpers. Vereinfacht gesagt: Je mehr Krater sich auf einer Oberfläche über die Jahrmillionen und -milliarden angesammelt haben, desto älter muß sie sein.

Allerdings wird diese Gleichung durch eine Reihe von „Unbekannten“ erschwert. Eine entscheidende Frage: Wie viele Einschläge pro Zeitraum legt man der Altersermittlung zugrunde? Es leuchtet ein: Wer einen regelrechten „Hagel“ von Kometen oder Meteoriten annimmt, kommt auch bei einer hohen Anzahl von Kratern auf ein „junges“ Alter, wer nur von sporadischen Einschlägen ausgeht, muß eventuell auf Milliarden von Jahren hochrechnen, um eine große Kraterhäufigkeit zu erklären. Außerdem ist die Einschlagsrate stark größenabhängig: Kleine Körper sind um ein Vielfaches häufiger als große.

Die „Einschlagsrate“ und damit die Asteroiden- oder Kometenhäufigkeit sind also planetologische Schlüsselfragen – über die in der Fachwelt keine Einigkeit besteht. Zumal es sich nicht um eine Konstante handelt: Von Schwankungen abgesehen, blieb im Laufe von Milliarden Jahren zwar die Zahl der ins Sonnensystem eindringenden Kometen wahrscheinlich konstant; die Zahl der Asteroiden hat jedoch stark abgenommen – umstritten ist allerdings, wie schnell, wie abrupt dies geschah. Auch ist davon auszugehen, daß die Dichte des „Bombardements“ regional verschieden, also nicht überall im Sonnensystem gleich war und ist.

Berücksichtigt man zudem, daß geologische Prozesse wie aktiver Vulkanismus die Spuren auf der Oberfläche verwischen und ältere Krater z.B. von Lavaströmen überdeckt werden, so ahnt auch der Laie, daß die Altersbestimmung von Himmelskörpern anhand der Kraterhäufigkeit um einiges komplizierter ist als das einfache Abzählen von Jahresringen. Und dennoch handelt es sich hier um ein faszinierendes Kapitel der Planetenforschung, das auch bei der Interpretation der Galileo-Daten vom Jupitersystem eine große Rolle spielt.



Aus Stereoabdeckungen markanter Landschaften auf Ganymed konnten am DLR-Institut für Planetenerkundung digitale Geländemodelle errechnet werden und mit den bis zu 43 Meter/Pixel auflösenden Bilddaten zu einer räumlichen Geländeansicht kombiniert werden; zusätzlich wurden die Höhenniveaus farbkodiert. Die Höhendifferenzen dieses Ausschnitts aus Galileo Regio betragen bis zu 1,5 Kilometer. (Bild: DLR)

man, daß die Rillenzüge durch aufeinanderfolgende Dehnungsperioden an Nahtstellen der dunklen Gebiete entstanden sind. Dabei kippten oder rutschten ganze Geländeblöcke in die entstehenden Zwischenräume nach – ehe die neu entstandenen Flächenelemente gegeneinander rotiert und verschoben wurden.

Ganymed könnte länger als sein äußerer Nachbar Callisto ein geschmolzenes Inneres, einen flüssigen, „beweglichen“ Mantel gehabt haben, der durch die Resonanzverhältnisse der Umlaufzeiten mit Europa und Io – sowie sicher auch Jupiter selbst – Gezeitenkräften ausgesetzt war. Noch nicht beantwortet werden konnte die Frage, wie sich die in einem hellen Gebiet mit Namen Uruk Sulcus anhand der digitalen Geländemodelle des DLR beobachteten unterschiedlichen „Wellenlängen“ der Rillensysteme erklären lassen: Die im größten Voyager-Maßstab gemessene Abfolge von Tälern und Bergrücken wird in den hochauflösenden Galileo-Bildern von einer engeren Berg- und Tal-Periode überlagert.

Ganymed hochauflösend und in Stereo

Die Bildausbeute der beiden ersten nahen Vorbeiflüge an Ganymed – „G1“ und „G2“ – betrug über 70 zumeist monochrome Aufnahmen. Erste Schwerpunkte waren das helle Gebiet Uruk Sulcus und das dunkle Gebiet Galileo Regio. Bei den Auswertungen ergab sich im Galileo Imaging Team eine besonders fruchtbare Zusammenarbeit zwischen dem DLR-Institut für Planetenerkundung in Berlin und der amerikanischen Brown University (Providence/Rhode Island). Das DLR lieferte vor allem auf Kraterhäufigkeitsverteilungen basierende Altersmessungen. Außerdem wurden digitale Geländemodelle errechnet, die aus G1/G2-Stereoabdeckungen mit hochauflösenden (43-86 m/Pxl) Bilddaten höchster geometrischer Präzision und günstiger Beleuchtungsgeometrie abgeleitet werden konnten. Reliefbestimmungen aus digitalen Geländemodellen Galileos zeigen, daß die Höhenunterschiede in den Rillen mehrere hundert Meter betragen. Neben den im Englischen „grooved terrains“ bezeichneten Berg- und Tal-Landschaften finden sich in den hellen Gebieten auch einige wenige etwas glatter geartete Flächen. Bei diesen Ebenen könnte es sich um vulkanische Ausflußregionen von geschmolzenem Eis („Kryovulkanismus“) handeln. Zum Beispiel offenbarten die Stereoansichten an einem kleineren Krater namens Ea einen gegenüber dem Kraterrand um mehrere hundert Meter erhöhten, aufgewölbten Kraterboden, den man sich mit Kryovulkanismus erklären könnte.

Wurde in den dunklen Gebieten, wie zum Beispiel in Galileo Regio, zuvor eine relativ dunkle homogene Oberfläche angenommen, konnte nun viel detaillierter zwischen unterschiedlich beschaffenen und auch verschieden alten geologischen Einheiten getrennt werden. Zur Genese werden derzeit drei Modelle diskutiert. Zum einen könnte man annehmen, die Kruste sei durch und durch dunkler Natur, mithin der Anteil an Silikaten auch in der Kruste höher als bislang angenommen.

Weiterhin in Erwägung gezogen wird die Ablagerung einer Schicht dunklen vulkanischen oder exogenen Materials über einer eher hellen Kruste. Dem steht eine dritte Theorie entgegen, die von gleichmäßig niedriger Konzentration der in der Kruste Ganymeds verteilten dunklen Gemengteile (im wesentlichen wohl Silikaten) ausgeht, die durch verschiedene geologische Prozesse an der Oberfläche konzentriert wurden. Denkbar sind hier Hangrutschungen, Sublimation des die Silikate anfangs einbettenden Eises, tektonische Vorgänge sowie die Überprägungen der Oberfläche durch Einschläge von Meteoriten, Asteroiden und Kometen.

Neben den hier exemplarisch vorgestellten Untersuchungen lieferte das Kameraexperiment für den Eismond zahlreiche weitere ausgezeichnete Bilddaten mit wertvollem wissenschaftlichen Inhalt. So zum Beispiel Aufnahmen von Rauhreif-Phänomenen in den nördlichen Breiten oder hochauflösende Sequenzen aus einer Sekundärkraterkette. Desweiteren existieren (wenige) Multispektralaufnahmen, und schließlich die mit elf Metern pro Bildpunkt bislang höchstauflösende Aufnahme der gesamten achtjährigen Reise Galileos.

Doch freuten sich die Planetenwissenschaftler auch über zwei eher unerwartete Entdeckungen Galileos. Zum einen schälte sich aus Telemetrie- und Bahndaten der Raumsonde der Befund heraus, daß Ganymed differenziert sein muß: Wahrscheinlich ist der Kern Ganymeds sogar metallischer Natur, umgeben von einem (inneren) Mantel aus silikatischen Gesteinen und einem (äußeren, fast 1.000 km mächtigen) Mantel aus durchgefrorenem Wassereis. Schließlich bildet eine Eiskruste, dem Silikate in unterschiedlichen Proportionen beigemengt sind, die äußerste Hülle. Damit nicht genug, stellte eine Forschergruppe um Gerald Schubert an der University of California fest, daß dem Kern Ganymeds ein aktives Magnetfeld innewohnt. Aus dieser Entdeckung ergab sich der Befund, daß das Magnetfeld Ganymeds quasi eine „Blase“ im viel weiter ins All hinausreichenden gewaltigen Magnetfeld Jupiters darstellt.

Callisto – über vier Milliarden Jahre alt

Callisto ist der äußerste der vier Galileischen Monde und weist die niedrigste Albedo auf, ist aber immer noch zweimal so hell wie der Erdmond. Mit einem Durchmesser von ca. 4.810 Kilometer ist er fast genau so groß wie der Planet Merkur. Wie auf Ganymed und Europa wurde bei spektroskopischen Messungen Wassereis auf seiner Oberfläche entdeckt. Die Voyager-Kameras sahen eine fast einheitlich dunkle kraterübersäte Oberfläche ohne spektakuläre tektonische Formen, ganz anders als etwa die Oberflächen Ganymeds oder Europas.

Hauptmerkmale Callistos sind mehrere große Multiringbecken mit einer Vielzahl konzentrischer Ringe, ähnlich den Ringbecken auf den ältesten Oberflächen der erdähnlichen Planeten (z.B. Mars oder Merkur), aber auch deutlich von diesen unterschieden durch die große Zahl der Ringe. Weiter fand man auf den Voyager-Aufnahmen Kraterformen ähnlich wie auf Ganymed: helle, kreisrunde oder irreguläre Flekken, vermutlich ehemalige Krater wie die Palimpsests auf Ganymed, oder Krater mit aufgewölbtem Inneren, sogenannte Domkrater.

Die Galileo-Kamera wurde beim ersten gezielten Vorbeiflug an Callisto auf das mit 4.000 Kilometer Durchmesser größte Multiringbecken Valhalla ausgerichtet. Dabei kam es zu einem überraschenden Ergebnis. Man hatte aus der Analyse der Voyager-Daten eine auch bei kleineren Durchmessern kraterübersäte Oberfläche erwartet. Stattdessen fand man erstaunlich wenig Krater mit Durchmessern von weniger als einem Kilometer. Die ganze Oberfläche erscheint auf den räumlich hochaufgelösten Bilddaten von einem Mantel eines dunklen Materials überzogen zu sein, dessen Natur (Zusammensetzung, Korngröße) noch nicht geklärt ist. Zudem sind höher gelegene, hellere Gebiete mit rauher Textur zu finden. Offenbar kam es zu Erosionserscheinungen, entweder bedingt durch Sublimation des Eises unter der Einstrahlung der Sonne oder durch die abrasive Wirkung der die Oberfläche bombardierenden Partikel. Möglicherweise ist Sublimation der dominierende Faktor, da diese Erosionserscheinungen verstärkt in den zur Sonne hin ausgerichteten Kraterwänden auftreten. Weitere Beobachtungen der Callisto-Oberfläche von Gebieten außerhalb des großen Ringbeckens Valhalla beweisen, daß dieses dunkle, leicht wellige und möglicherweise sehr feinkörnige Material nicht auf das Valhallabecken beschränkt, sondern auf der gesamten Callisto-Oberfläche verteilt ist und eine große Zahl älterer Krater teilweise oder ganz überdeckt. Das abbildende Spektrometer (NIMS) an Bord von Galileo ermittelte die Zusammensetzung dieses Materials, was Kohlenstoffverbindungen als mögliche Komponente ergab.

Messungen der Kraterhäufigkeit ergaben folgendes Bild: Zum einen fallen bei den größten Kratern die Messungen mit den auf Voyager-Bildern des gleichen Gebietes durchgeführten Messungen zusammen. Andererseits nimmt bei Durchmessern von unter etwa ein bis zwei Kilometern die Kraterhäufigkeit stark ab, die Verteilung wird zunehmends flacher. Die Ursache dafür liegt entweder in der Erosion und Sedimentation des dunklen, vermutlich feinkörnigen Materials oder in einer geringeren Anzahl kleinerer Projektile, die die Körper im Jupitersystem bombardierten, möglicherweise auch in einer Kombination beider Effekte.

Legt man ein mondähnliches Bombardement mit einem exponentiellen Abfall in der Kraterbildungsrate und eine Entstehung der jüngsten Becken vor etwa 3,8 Milliarden Jahre zugrunde, so ergeben sich Alterswerte von mindestens 4,1 bis 4,2 Milliarden Jahren. Die Callisto-Oberfläche gehört damit zu den ältesten im gesamten Sonnensystem. Auch die größten Einschläge, bei denen die Multiringbecken entstanden, konnten durch Kraterhäufigkeitsmessungen datiert werden. Das größte Becken Valhalla entstand demnach vor etwa 3,9 Milliarden Jahren. Asgard, mit 1.700 km Durchmesser, ist dagegen wesentlich älter, etwa 4,25 Milliarden Jahre. Der überwiegende Teil der Callisto-Oberfläche entstand somit in der Zeit, die zwischen der Bildung dieser beiden Becken liegt.

Nahaufnahme einer Abbruchkante an einem der konzentrischen Ringe im Valhalla-Multiringbecken auf Callisto. Der Schattenwurf der tiefstehenden Sonne deutet an, daß das Gelände an dieser Stelle eine vielleicht hundert Meter hohe Stufe bildet. (Bild: NASA/JPL/RPIF/DLR)

Neuer Schwung für die Planetenforschung

Die Galileo-Mission wird seit nunmehr fast einem Jahrzehnt von der Öffentlichkeit mit großem Interesse verfolgt. Trotz der anfangs aufgetretenen Probleme überwogen bei weitem die positiven Schlagzeilen, die der wertvollen wissenschaftlichen Ausbeute, aber auch der hohen technischen Zuverlässigkeit der sehr umfangreichen Instrumentierung auf dem Raumflugkörper galten. Nach Jahren, in denen es in der unbemannten Raumfahrt etwas ruhig geworden war, verlieh Galileo der Planetenforschung neuen Elan. Gespannt erhofft sich die „scientific community“ von den zwei GEM-Jahren mit Galileo und ab 2004 von den Daten der Cassini-/Huygens-Mission zu Saturn und seinen Trabanten weitere fundamentale Erkenntnisse über die Gasriesen und ihre Monde.

Dr. Gerhard Neukum, Direktor des DLR-Instituts für Planetenerkundung in Berlin-Adlershof und Professor für Planetologie an der Freien Universität Berlin, ist Mitglied des Galileo Imaging Team · Co-Autoren sind Tilmann Denk, Dr. Bernd Giese, Ulrich Köhler, Dr. Jürgen Oberst, Dr. Thomas Roatsch, Björn Schreiner, Peter Schuster, Roland Wagner, Ursula Wolf und Wolfgang Zeitler.

KEINE CHANCE DEM VERSCHLEISS

Neue Lasertechnologien für die Industrie · *Von Robert Volz*

Innovative Lasertechnologie in die Industrie bringen – das ist das Ziel der Entwicklungsarbeit am Institut für Technische Physik des DLR in Stuttgart. Besonders bei der Entwicklung von Oberflächen- und Fügetechnik gibt es große Fortschritte zu verzeichnen; hier besonders bei den Leichtbauwerkstoffen.

Zur Zeit findet ein gezielter Technologietransfer in die Automobilindustrie statt. Dabei geht es zum einem darum, durch Beschichtungen die Verschleißfestigkeit von Motorkomponenten zu steigern, die aus Alu oder Magnesium gefertigt sind – etwa Kurbelgehäuse und Kolben. Zum anderen wurde eine Schweißtechnik entwickelt, die auch für Karosserieteile aus Aluminium und hochfestem Stahl eingesetzt werden kann.

Sparsam verpulvern

Bei der neu entwickelten Laser-Pulver-Technologie wird der Zusatzwerkstoff als Pulver an die Bearbeitungsstelle gebracht. Ein Pulverfördersystem sorgt dafür, daß die Pulverzufuhr auch über lange Distanz homo-

Abb. oben: Förderschnecke. Laserstereoschichten ermöglichen den lokalen Schichtauftrag in übereinanderliegenden Beschichtungslagen. [Mehrlagige Kobaltbasislegierungsbeschichtung (Härte 750 HVO.2) als Kammaufbau an den Stegen (Reparaturbeschichtung). Laserleistung (CO_2) = 4 kW].

Geräteausstattung im Laseranwendungslabor	
Laseraggregat:	3-kW-Nd:YAG-Laser, 2,5-kW-CO_2-Slablaser; 4-kW-CO_2-Laser, 20-kW-CO_2-Laser
Pulver-fördersystem:	Metco MFP 1; Metco MFP 2; Plasmatechnik, Twin 10-C
Beschichtungs-/ Fügemodul:	Beschichtungs- und Schweißdüsen mit Zyklontechnik und Innenbeschichtungssystemen (Eigenentwicklungen DLR)
Handling-systeme:	Portalanlagen (2x4 Achsen; 1x6 Achsen) Knickarmroboter (1x7 Achsen)

gen bleibt und daß die richtige Menge zur richtigen Zeit am richtigen Ort ankommt. Der ideale, sparsame Einsatz verspricht neben technischen auch finanzielle Vorteile, denn die Kosten der Zusatzwerkstoffe sind keinesfalls zu vernachlässigen. Aus dem Pulverfördersystem gelangt dieser Zusatzwerkstoff mit einem Trägergasstrom in das Beschichtungs- oder das Fügemodul. In manchen Fällen darf dieser Strom nicht auf das Werkstück treffen, weil er das Bearbeitungsergebnis beeinträchtigen würde. In diesen Fällen wird eine Vorrichtung eingesetzt, die die Zentrifugalkraft ausnutzt, ein sogenannter Zyklon. Ein solcher wurde speziell für diesen Zweck entwickelt und optimiert.

Die Pulverdüsensysteme sind modular aufgebaut und eignen sich damit für unterschiedlichste Anwendungen der Laser-Pulver-Technologie in der Industrie – ob Oberflächen zu veredeln oder Komponenten zusammenzufügen sind. Außenliegende Konturen sind mit dem flexiblen Modulsystem sehr gut zugänglich, für innenliegende Konturen wurde ein spezieller Innenbeschichtungskopf entwickelt. Damit lassen sich Bohrungsdurchmesser bis minimal 60 Millimeter Durchmesser bei einer Lauflänge von 400 Millimeter beschichten. Es gibt bereits gute Erfahrungen mit einer Innenbeschichtungslanze, die an einem Roboter adaptiert ist und in jeder Fertigungslinie integriert werden kann.

Vorteilhaft veredeln

Die Laserstrahlbeschichtung schützt die Bauteile vor Verschleiß und Korrosion und bietet gegenüber den klassischen Verfahren wie Auftragsschweißen und Thermisches Spritzen einige Vorteile:

- Sie verbindet Substrat- und Zusatzwerkstoffe schmelzmetallurgisch;
- sie erwärmt das Bauteil nur wenig;
- sie vermindert den Nacharbeitsaufwand;
- sie bietet eine große Vielfalt am Markt erhältlicher Beschichtungswerkstoffe.

Sind diese Beschichtungswerkstoffe nicht hart genug, können sie mit Hartstoffen wie Titankarbid, Wolframkarbid und Siliziumkarbid angereichert werden. Erfahrungen mit der Beschichtung der Grundwerkstoffe Stahl, Gußeisen, Aluminium und Magnesium liegen vor. Das Institut bemüht sich auch um eine werkstofftechnische Weiterentwicklung, dazu stehen alle erforderlichen Geräte und Bearbeitungsmodule zur Verfügung.

Neue Verfahren für neue Werkstoffe

Wo neuere Konstruktionswerkstoffe wie Aluminium oder hochfeste Stähle zum Einsatz kommen, stoßen konventionelle Fügeverfahren häufig an ihre Grenze. Aus der Forderung, für diese Leichtbaustrukturen neue Fügetechnologien zu entwickeln, sind das Elektronenstrahlschweißen unter Atmosphärendruck und Weiterentwicklungen des MIG- und WIG-Schweißens entstanden. Und auch das Laserschweißen bietet hier ein großes Potential und entscheidende Vorteile:

- Es erwärmt das Bauteil nur wenig, das sich entsprechend wenig verzieht;
- es ist gut automatisierbar und ist flexibel;
- die Schweißgeschwindigkeit ist ausgesprochen hoch.

Dem stehen zwei Nachteile gegenüber: hohe Investitionskosten und hohe Anforderungen an die Genauigkeit. Und genau an diesem Punkt macht sich nun die Präzision der Verfahren mit pulverförmigen Zusatzwerkstoffen verdient. Eng an das Verfahren der Laserstrahlbeschichtung angelehnt, entwickelt und optimiert das Institut für Technische Physik das Pulverstrahlschweißen. Mit dieser Methode können verschiedenste Nahtgeometrien realisiert werden, wie etwa die Stumpfstoßnaht, Überlappnaht oder Kehlnaht. Die typische Laserleistung beträgt etwa drei Kilowatt (Nd:YAG-Laser), die Vorschubgeschwindigkeit zwischen drei und 15 Meter pro Minute.

Oben strömt das Pulver ohne Schutzgas aus der Pulverdüse, unten fokussiert das Schutzgas das Pulver. Mit dieser exakten Fokussierung läßt sich eine Pulverausnutzung von mehr als 90 Prozent erreichen.

Neben den Einsätzen dieser Technologie in der Autoindustrie zeichnet sich nun auch reges Interesse in der Luftfahrtindustrie ab. Diese Ansätze zu stärken ist Aufgabe des Technologietransfers.

Robert Volz, DLR-Institut für Technische Physik, Stuttgart · Co-Autoren sind Dr. J. Arnold, K. Battling, G. Friedrich, P. Moritz, U. Reichelt, G. Roth und Dr. W. Wittwer.

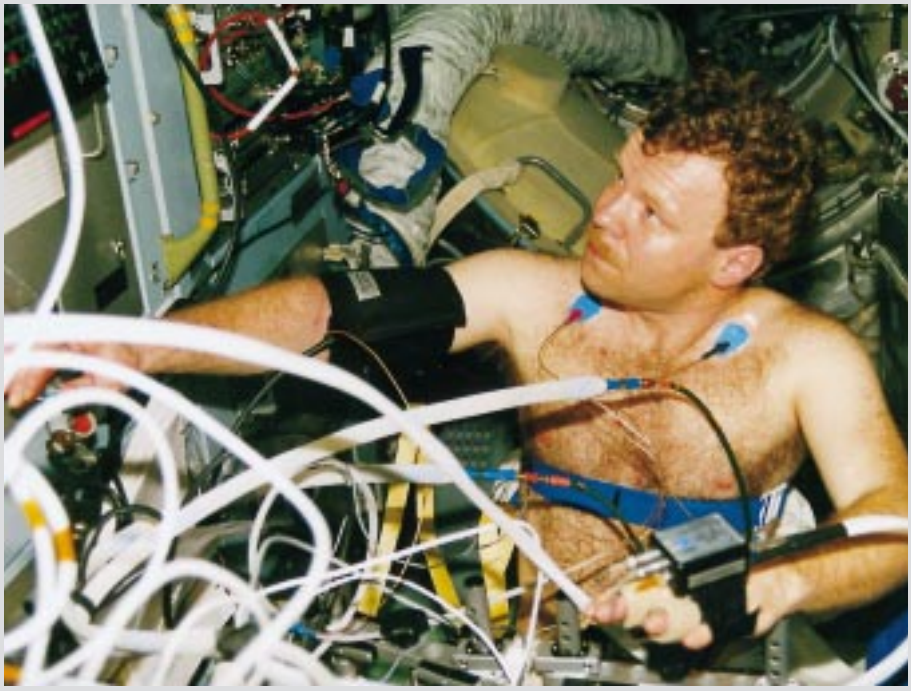
Wissenschaftspreis für Mitarbeiter

Alljährlich vergibt das DLR an Mitarbeiter, die herausragende wissenschaftliche oder technische Leistungen erbracht haben, den Wissenschaftspreis. Für das abgelaufene Kalenderjahr zeichnete der Vorstand – auf der Grundlage von Gutachterempfehlungen – vier Wissenschaftler aus: Dr.-Ing. Ch. Leyens vom Institut für Werkstoff-Forschung, Dr.-Ing. M. Sinapius vom Institut für Aeroelastik, Dr. H. J. Kramer vom Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum und Dipl.-Ing. G. Jacobs vom Institut für Raumsimulation.

Ch. Leyens hat einen wichtigen Beitrag zur Lösung des Problems der Sauerstoff-Versprödung von Titanlegierungen beim Einsatz im Kompressorbereich von Flugturbinen geleistet. Ein neues, richtungsweisendes Verfahren zur Fluglastsimulation und dynamischen Qualifikation elastischer Strukturen von Luft- und Raumfahrzeugen hat M. Sinapius erarbeitet. H. J. Kramer hat ein international beachtetes Referenzwerk auf dem Gebiet der Fernerkundung herausgebracht. Umfangreich dokumentiert es das Thema Raumfahrtmissionen, Satellitentechnik und Sensorik. In seiner Arbeit beschäftigt sich G. Jacobs mit der Messung der Oberflächenspannung geschmolzener Metalle auch im unterkühlten Bereich – ein Thema, das für die Materialforschung von großem Interesse ist.

Ausgezeichnet: Ewald und MIR'97-Team

DLR-Astronaut erhielt Bundesverdienstkreuz



Für seinen besonderen Einsatz bei der deutsch-russischen Mission MIR'97 wurde DLR-Astronaut Dr. Reinhold Ewald mit dem Bundesverdienstkreuz Erster Klasse ausgezeichnet. Vom 10. Februar bis zum 2. März 1997 war er zusammen mit seinen russischen Mannschaftskollegen Wassilij Zibliew, Kommandant, und Alexander Lasutkin, Waleri Korsun und Alexander Kaleri sowie dem NASA-Astronauten Jerry Linenger im All. Äußerst erfolgreich führte Ewald an Bord der MIR-Raumstation zahlreiche Experimente durch. Forscherteams aus ganz Deutschland hatten ihm insgesamt 27 Untersuchungen aus den Bereichen Lebens- und Materialwissenschaften sowie Technologie- und Betriebstechnik-Erprobung mit auf den Weg gegeben. Souverän meisterte die Crew auch die gefährliche Situation, als am 23. Februar ein Brand an Bord der Station ausbrach.

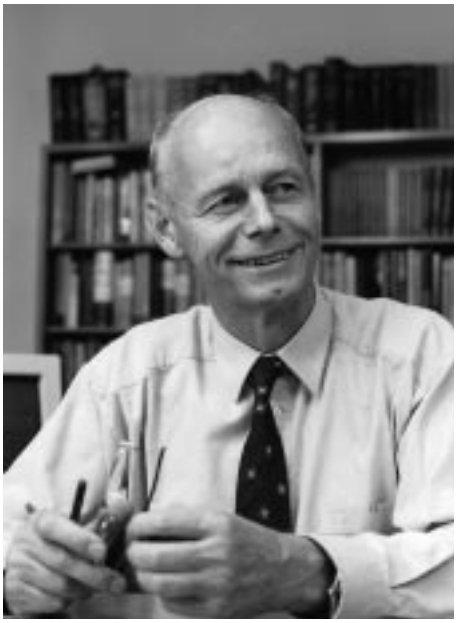
Auch die Arbeit des deutschen Bodenteams erhielt eine nachträgliche Würdigung: Das Projektmanagement der Mission MIR'97 wurde bei dem erstmals ausgelobten „Deutschen Projektmanagement Preis 1997" Finalist. Der erste Platz unter den vier Endteilnehmern wurde einem Verkabelungsprojekt der DeTeSystem (Deutsche Telekom Systemlösungen) in Frankfurt zuerkannt.

Der Wettbewerb um den Award wurde von der Deutschen Gesellschaft für Projektmanagement (GPM) ins Leben gerufen. Er orientiert sich am Modell der „European Foundation for Quality Management".

Abb.: DLR-Astronaut Reinhold Ewald während der Mission MIR'97.

Detlev Ganten neuer HGF-Vorsitzender

Professor Dr. Detlev Ganten ist neuer Vorsitzender der Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren, die das größte geschlossene Forschungspotential in der Bundesrepublik Deutschland repräsentiert und zu der auch das DLR gehört. Der 56 Jahre alte Mediziner und Vorstandsvorsitzende des Max-Delbrück-Centrums für Molekulare Medizin (MDC) in Berlin-Buch ist Nachfolger von Professor Dr. Joachim Treusch (Vorstandsvorsitzender des Forschungszentrums Jülich), der den HGF-Vorsitz vier Jahre inne hatte.



Professor Ganten wurde auf der Jahrestagung der HGF am 20. November 1997 in Karlsruhe in sein Amt eingeführt. Seine Amtsperiode beträgt zwei Jahre. Berufen hatte ihn der HGF-Senat auf Vorschlag der HGF-Mitgliederversammlung. Mit Professor Ganten steht erstmals ein Vertreter eines Helmholtz-Forschungszentrums aus den neuen Bundesländern an der Spitze der HGF.

In der Helmholtz-Gemeinschaft sind 16 Forschungszentren mit rund 22.500 Mitarbeitern zusammengeschlossen. Drei dieser Einrichtungen befinden sich in den neuen Bundesländern. Die HGF-Zentren werden zu 90 Prozent vom Bundesforschungsministerium und zu zehn Prozent von den Ländern, in denen sie ihren Sitz haben, finanziert.

25 Jahre Freundesgesellschaft

Die Gesellschaft von Freunden des DLR feierte 1997 ihr 25jähriges Bestehen. Aus diesem Anlaß hat sie im Rahmen der DLR-Jahreshauptversammlung in Braunschweig die Mitarbeiterveranstaltung ausgerichtet. Sie hat damit für ihr Jubiläum den seinerzeitigen Gründungsort gewählt. Im Rahmen der Festveranstaltung wurden dieses Mal gemeinsam durch die Herren Prof. Kröll und Dr. Ulke die DLR-Preise sowie die von der Freundesgesellschaft gestifteten Preise verliehen.

Das traditionelle Otto-Lilienthal-Forschungssemester ging in diesem Jahr an Dr. Georg Eitelberg aus dem Institut für Strömungsmechanik, der hiermit einen Forschungsaufenthalt am GALCIT (Graduate Aeronautical Laboratories of the California Institute of Technology) bestreiten wird.

Als jüngster Doktorand mit einer ausgezeichneten Promotion der Luft- und Raumfahrt wurde im Rahmen des Hugo-Denkmeier-Preises Dr. Stefan Woppowa vom Institut für Strömungsmechanik ausgezeichnet.

In Kooperation mit der Walther-Blohm-Stiftung wurde zum zweiten Mal der Walther-Blohm-Industriepreis für eine vorbildliche Kooperation zwischen DLR und Industrie vergeben. Ausgezeichnet wurden Dipl.-Ing. Frank Kocian vom Institut für Bauweisen- und Konstruktionsforschung, Dipl.-Ing. Andreas Scholz, Fa. BMW Rolls Royce, und Ing. Eisenhardt, Fa. Ensinger, für das Kooperationsvorhaben „Entwicklung eines Faserverbund-Hybridringes zur Verstellung von Laufschaufeln in einem Turboluftstrahltriebwerk“.

Die Freundesgesellschaft verlieh darüber hinaus die Innovationspreise für herausragende Einzelleistungen im Rahmen von Industriekooperationsprojekten an Dr. Hermann Bischl, Institut für Nachrichtentechnik (COBUCO-Projekt: Cordless Business Communication System) sowie Dipl.-Ing. Peter Hecker und Dr. Hans-Ullrich Döhler, Institut für Flugführung (Projekt „Enhanced Vision auf der Basis eines abbildenden Radars“).

Schließlich wurde im administrativen Bereich die Projektgruppe „Zertifizierung des Prozesses Auftragsmanagement nach DIN 9001“ mit dem Teampreis 1997 ausgezeichnet. Namentlich handelt es sich um Imke Wöckel und Ursula Ehl sowie Michael Klose, Udo Unkelbach, Sven-Eric Hornig und Dominik Schwarzer.

NACHWUCHS INITIATIVE DES DLR

Patenschaftsprogramme mit der Wirtschaft

Von Stefan Sauerland

Die Forschung des DLR ist gemäß seinem Leitbild auf Anwendung und Nutzung seiner Erkenntnisse gerichtet. Dies kann besonders dann gelingen, wenn sich Nachwuchswissenschaftler durch die gleichzeitige Einbindung in wissenschaftliche Forschung sowie in industrierelevante Projekte besonders qualifizieren und damit später die enge Verbindung von Forschung und Wirtschaft fördern.

Auf der Grundlage dieses Konzeptes hat das DLR ein Programm entwickelt, bei dem Wirtschaftsunternehmen Patenschaften für Jungwissenschaftler und Doktoranden des DLR übernehmen. Grundgedanke ist jeweils eine hälftige Finanzierung durch das DLR und das jeweilige Patenunternehmen. Diese Konstruktion hat für alle beteiligten Partner Vorteile:

- Das DLR und das jeweilige Patenunternehmen sichern sich frühzeitig den Zugang zu hervorragenden Mitarbeitern in strategischen Zukunftsfeldern;
- durch die Integration in industrierelevante Projekte erhalten die Wissenschaftler eine gerade für die Patenunternehmen attraktive Zusatzqualifikation;
- der Finanzierungsanteil der Patenschaftsunternehmen ermöglicht dem DLR, trotz sinkender Grundfinanzierung sein Angebot an Stellen für Nachwuchswissenschaftler weiter auszudehnen.

Exzellente Nachwuchswissenschaftler erhalten durch die nachuniversitäre praxisnahe Ausbildung einen Einblick in die Tätigkeitsfelder der Luft- und Raumfahrtforschung und Industrie sowie hervorragende Kontakte zur Erringung eines attraktiven Arbeitsplatzes.

1996 haben das DLR und die Daimler-Benz Aerospace AG eine Initiative beschlossen, in einer gemeinsamen, besonderen Anstrengung wissenschaftlich-technischen Nachwuchs für die Luft- und Raumfahrt zu sichern und hervorragenden jungen Leuten eine berufliche Perspektive in diesem Bereich zu bieten.

Sie haben deshalb auf den Forschungs- und Technologiegebieten, auf denen sie in Leitprojekten, Verbundvorhaben, Joint-Teams oder nationalen Programmen eng zusammenarbeiten, 50 neue Stellen für Doktoranden und Jungwissenschaftler geschaffen. Bisher haben 26 Jungwissenschaftler ihre Arbeit aufgenommen.

Die Mitarbeiter sollen auf besonders zukunftsträchtigen, für Forschung und Technologie gleichermaßen bedeutsamen Gebieten arbeiten und werden im Einvernehmen der Partner ausgewählt. Zur Auswahl der Themen und der Kandidaten wurden für alle Beteiligte transparente Auswahlprozeduren etabliert.

Die Nachwuchswissenschaftler werden beim DLR für einen Zeitraum von drei bis vier Jahren eingestellt und sollen einen Teil ihrer Zeit in der Industrie arbeiten. Die Einstellung erfolgt auf Jungwissenschaftler- und Doktorandenverträge beim DLR. Die Finanzierung erfolgt im Rahmen von Industriepatenschaftsverträgen jeweils hälftig durch die Partner.

Als Bestandteil des Programms wird ein Besuchsprogramm eingerichtet, bei dem die Kandidaten die Gelegenheit bekommen, die Partnereinrichtungen kennenzulernen. Gezielt sollen Geschäftsbereiche und Forschungseinrichtungen besucht werden, die über den rein technologischen Bereich hinaus einen Einblick in übergreifende F&E-Abläufe geben.

Parallel dazu wird ein Nachwuchskolloquium eingerichtet, bei dem die Kandidaten zweimal im Jahr über die Fortschritte ihrer Arbeit berichten und den wissenschaftlichen und menschlichen Erfahrungsaustausch pflegen sollen.

DLR und Dasa sind überzeugt, daß dieses Programm entscheidend zur beschleunigten Umsetzung des im DLR entwickelten Knowhows in die industrielle Praxis beitragen kann und erhoffen sich eine Signalwirkung für die gesamte Forschungslandschaft.

Dr. Stefan Sauerland, Strategie und Außenbeziehungen, DLR

BUCHTIP

Schon Otto Lilienthal wie auch die Wright-Brüder haben es gewußt: Zur Erlangung der Fliegekunst sind zunächst einmal genaueste Kenntnisse des Vogelflugs erforderlich. Und in der Tat haben im Verlauf der nächsten Jahrzehnte menschliche Neugier und die Anwendung und Übertragung wissenschaftlicher Kenntnisse und Beobachtungen die Luftfahrt in einem unvorstellbaren Maß nutzbar und populär gemacht.

Henk Tennekes, Flugzeugingenieur und Professor an der Freien Universität Amsterdam, beleuchtet in seinem unlängst erschienenen Buch Zusammenhänge zwischen biomechanischen Funktionen und Abläufen während des Vogelflugs und elementaren physikalischen Grundvoraussetzungen für den Flug von Luftfahrzeugen. In leicht verständlichem Stil erläutert der Autor so zum Beispiel die Voraussetzungen für den Auftrieb, Zusammenhänge zwischen Flügelfläche, Gewicht und Geschwindigkeit.

Das Reizvolle an diesen Schilderungen ist die Gegenüberstellung von Vogel und Flugzeug. Benötigt so zum Beispiel ein startender Jumbo mit seinem Gewicht von 350 Tonnen die vergleichbare Energie von neun Hochleistungs-Elektrolokomotiven (zu je 7.600 PS / 5,6 MW), so benötigt ein federleichter Wellensittich für seinen Steigflug lediglich 1 Watt. Ein anderes Beispiel: bei Maximalgeschwindigkeit (kurzfristig ca. 100 km/h) legt ein Mauersegler etwa 48 Flügelspannweiten pro Sekunde zurück, ein Jumbo schafft im Reiseflug mal gerade vier Flügelspannweiten pro Sekunde.

Darüber hinaus untersucht und vergleicht der Autor auch Segel- und Schwebzustände, erläutert Gleitdiagramme und beschreibt ebenso informativ wie amüsant die hohe Kunst gekonnter Ziellandungen, wobei zum Beispiel Albatrosse nicht eben immer vorteilhaft abschneiden.

Keineswegs verzichtet der Autor auf ein Minimum an Formeln und physikalischen Kernsätzen, wohl aber wohltuend auf den oberlehrerhaften Zeigefinger, er läßt die Abhandlungen auch für Nichtwissenschaftler stets verständlich bleiben. Den Abschluß dieses unterhaltsamen Fachbuchs bildet eine Tabelle mit Flugleistungsdaten von knapp 200 ausgewählten Vogelarten. Kurzum ein spannendes Buch für alle, die sich eine Portion Begeisterung und Neugier fürs Fliegen bewahrt haben.

Henk Tennekes
Kolibris und Jumbo-Jets – Die simple Kunst des Fliegens
Birkhäuser Verlag, 164 Seiten, zahlreiche s/w-Abbildungen und Diagramme, 39,80 DM

Impressum

DLR-Nachrichten
Das Magazin
des Deutschen Zentrums
für Luft- und Raumfahrt
Herausgeber:
Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
(DLR)

Redaktion:
Peter Bütfering
(Autoren Societät Bonn),
Dr. Volker Kratzenberg-Annies
(ViSdP),
Christian Quiring

Redaktionsassistenz:
Helga Zimmermann

Bildrecherche:
Anja Gugler

(Presse- und
Öffentlichkeitsarbeit
des DLR)
Tel. 0 22 03 / 6 01-21 16
Fax 0 22 03 / 6 01-32 49
E-Mail: pressestelle@dlr.de

Hausanschrift:
Porz-Wahnheide
Linder Höhe
D-51147 Köln

Das DLR ist Mitglied
der Hermann von Helmholtz-
Gemeinschaft Deutscher
Forschungszentren (HGF)

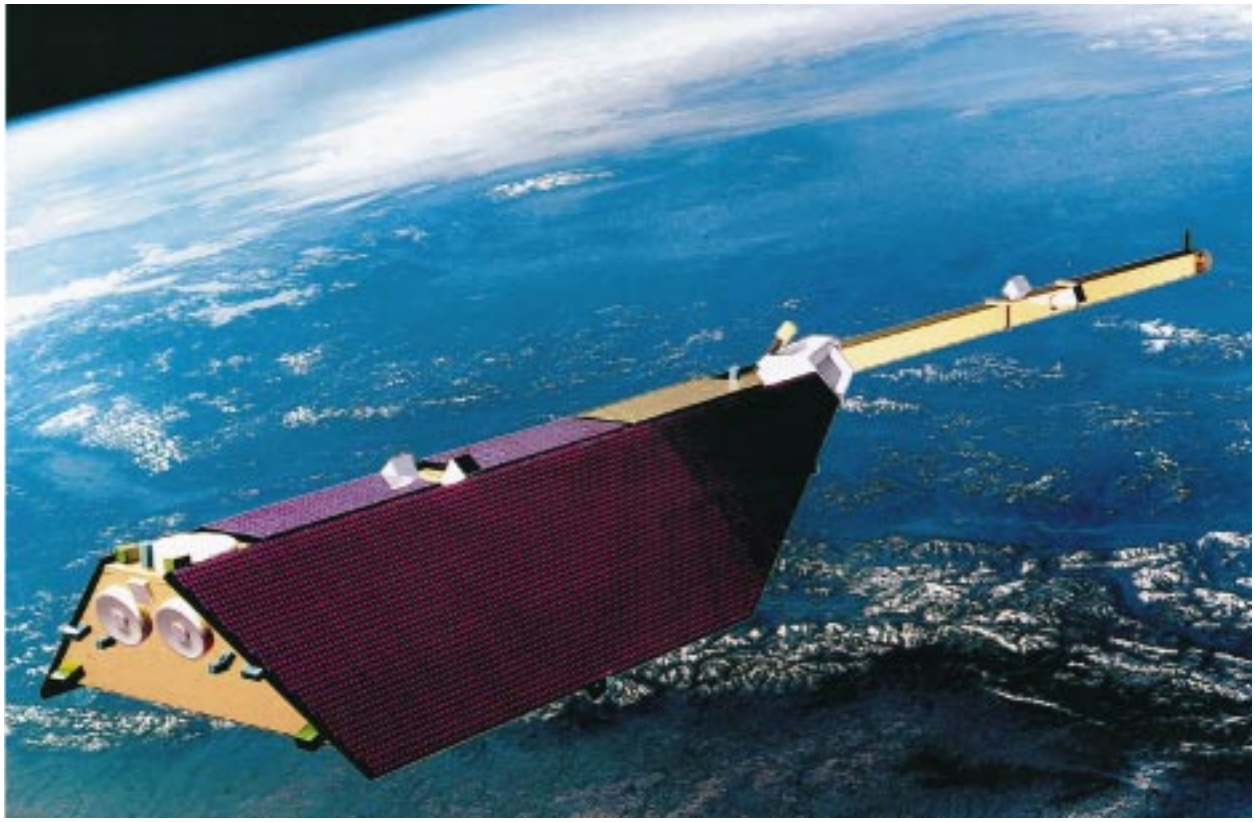
Druck:
Druckerei Thierbach
D-45478 Mülheim/Ruhr

Gestaltung:
Graphicteam Köln

ISSN 0937-0420
Nachdruck nur mit
Zustimmung des
Herausgebers und
Quellenangabe.
Hinweis gemäß § 33
Bundesdatenschutzgesetz:
Die Anschriften der
Postbezieher der
DLR-Nachrichten sind in
einer Adreßdatei
gespeichert, die mit Hilfe
der automatischen
Datenverarbeitung
geführt wird.

Gedruckt auf umwelt-
freundlichem, chlorfrei
gebleichtem Papier.

SPOTLIGHT



In dieser Rubrik stellt das DLR Partnerorganisationen und deren Projekte im Bild vor. In dieser Ausgabe: **das GeoForschungsZentrum Potsdam (GFZ).**

Das GFZ wurde am 1. Januar 1992 als Zentrum für multidisziplinäre Geoforschung auf dem traditionsreichen Potsdamer Telegrafenberg gegründet und ist Mitglied der Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren. Es hat heute ca. 550 Mitarbeiter.

Forschungsgegenstand des GFZ ist das „System Erde", d.h. der Planet, auf dem wir leben, mit den in seinem Innern und an der Oberfläche ablaufenden geodynamischen, physikalischen und chemischen Prozessen sowie den komplexen Wechselbeziehungen zwischen den Subsystemen Geo-, Hydro-, Bio- und Atmosphäre.

Ziel ist es, über das Prozeßverständnis zu einem effizienten Geo- und Umweltmanagement zu gelangen und zur Lösung hochaktueller Probleme von globaler Bedeutung beizutragen.

DLR und GFZ arbeiten seit GFZ-Gründung zusammen. Hervorzuheben sind der gemeinsame Betrieb der Deutschen Prozessierungs- und Archivierungseinrichtung für ERS-1/2 (D-PAF) und die gemeinsamen Entwicklungsarbeiten zu geowissenschaftlichen Kleinsatelliten. Das Bild zeigt den Satelliten CHAMP, mit dem ab Mitte 1999 Magnet- und Schwerefeld hochgenau ausgemessen und Neutralatmosphäre und Ionensphäre detailliert mit GPS-Signalen sondiert werden sollen.