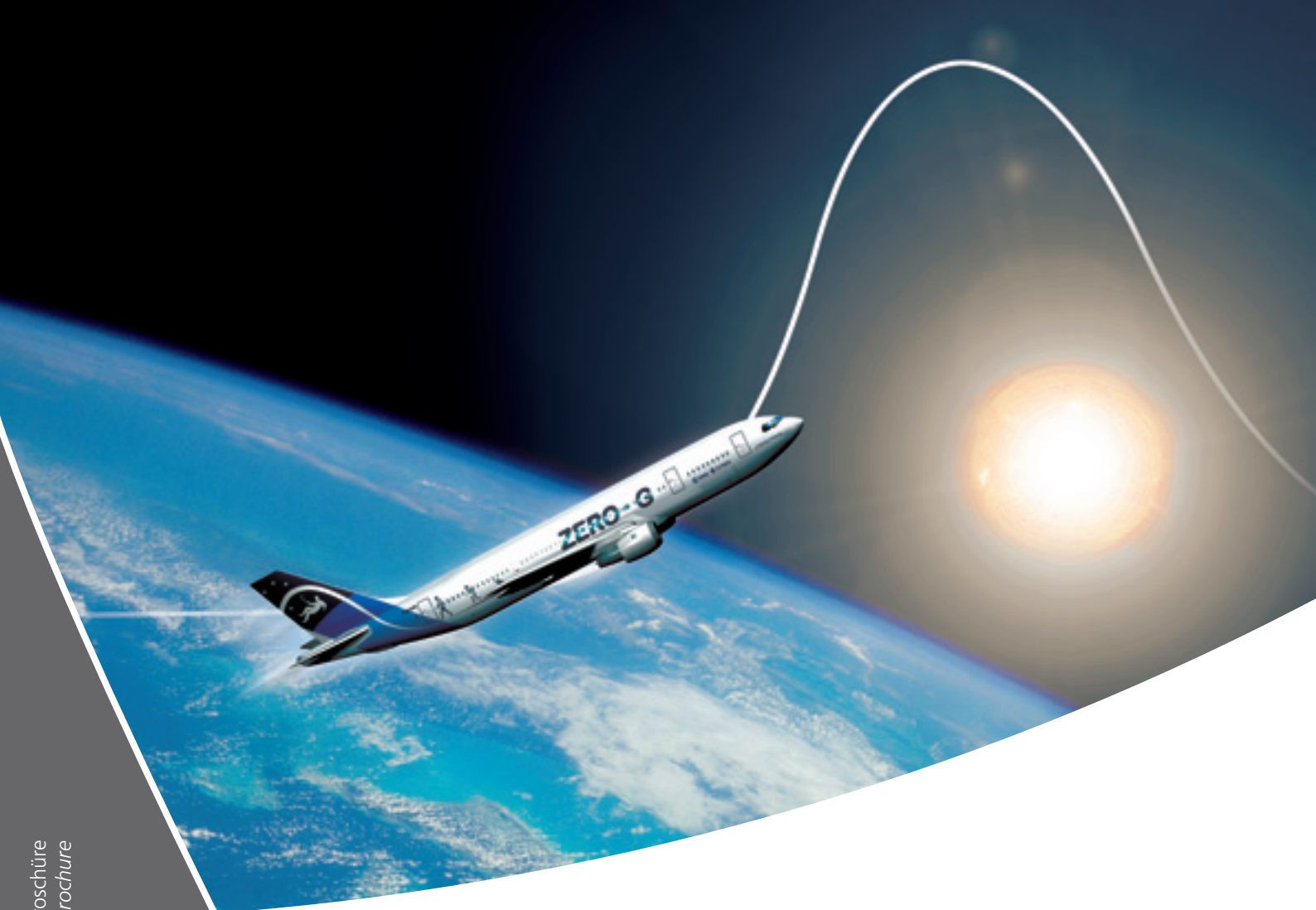




# Die DLR-Parabelflüge *The DLR Parabolic Flights*

Forschen in Schwerelosigkeit  
*Research in Weightlessness*





**Parabelflüge – Forschen in Schwerelosigkeit/  
Parabolic Flights – Research in Weightlessness**

Forschung unter Weltraumbedingungen  
*Research under Space Conditions* ..... 4

Das Programm der DLR Raumfahrt-Agentur  
*The DLR Space Agency Program* ..... 8

**Geschichte der Parabelflüge/  
The History of Parabolic Flights**

Die DLR-Parabelflüge mit dem Airbus A300 ZERO-G  
*The DLR Parabolic Flights with Airbus A300 ZERO-G* ..... 10

**Die Parabelflüge/Parabolic Flights**

Die Schwerelosigkeit auf Parabelflügen  
*Weightlessness on Parabolic Flights*..... 13

Das Experimentieren an Bord des A300 ZERO-G  
*Experimenting on Board the A300 ZERO-G* ..... 14

Der Airbus A300 ZERO-G  
*The Airbus A300 ZERO-G* ..... 15

Ablauf eines Flugtags  
*A Typical Flight Day* ..... 18

Parabelflug – eine ganz-körperliche Erfahrung  
*Parabolic Flight – a Total-body Experience* ..... 22

Von der Idee zur Schwerelosigkeit  
*From an Idea to Weightlessness* ..... 24

Zugang zu den Parabelflügen  
*Access to Parabolic Flights* ..... 25

Partner und beteiligte Organisationen  
*Partners and Participating Organizations* ..... 28

Im Gespräch mit Kapitän Gilles Le Barzic  
*Interview with Captain Gilles Le Barzic* ..... 30

**Forschung unter Schwerelosigkeit/Research in Weightlessness**

Biologie  
*Biology* ..... 35

Medizin und humanwissenschaftliche Forschung  
*Medical Science and Human Physiology Research*..... 41

Physik und materialwissenschaftliche Forschung  
*Physics and Materials Science Research* ..... 54

Industrielle Forschung auf den DLR-Parabelflügen  
*Industrial Research on DLR Parabolic Flights* ..... 62

Ausblick  
*Outlook* ..... 65

**Forschung für die Menschen auf der Erde/  
Research for the People on Earth**

Für die Zukunft gut gerüstet  
*Well Equipped for the Future* ..... 66

**Impressum/Imprint** ..... 67



# Parabelflüge – Forschen in Schwerelosigkeit

## *Parabolic Flights – Research in Weightlessness*



Alles auf der Erde unterliegt der Schwerkraft. Ihre Auswirkungen sind dabei höchst unterschiedlich. Zum Teil sind sie sehr schwach und bleiben vom Menschen unbemerkt, zum Teil sind sie sehr offensichtlich. Immer jedoch sind sie von grundsätzlicher Bedeutung. In der Wissenschaft stört die Schwerkraft bei einer Reihe von Untersuchungen, oder man möchte gerade wissen, was ohne den Faktor Schwerkraft passiert. In diesen Fällen müssen Forscher in einer Umgebung in Schwerelosigkeit experimentieren.

Für Kurzzeit-Untersuchungen in Schwerelosigkeit nutzen Forscher Parabelflüge. Dabei fliegt ein Flugzeug spezielle Manöver, die der Flugbahn eines geworfenen Objekts ähneln. Dabei erreicht man für etwa 22 Sekunden Schwerelosigkeit. Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) bietet regelmäßig Parabelflüge an und eröffnet Wissenschaftlern damit den Zugang zu innovativer Forschung.

*Everything on Earth is subject to the force of gravity. The effects of that force vary greatly: Sometimes they are very minor and go unnoticed by man, while at other times their impact is fundamental. In some scientific experiments, gravity may be a disturbing factor. In others, you exactly would like to know what happens without that factor. In these cases, researchers need a weightless environment to conduct their investigations.*

*For short-time investigations in weightlessness, researchers use parabolic flights in which an aircraft follows a specially designed flight maneuvers similar to the flight path of an object thrown into the air. During this maneuver, weightlessness is achieved for about 22 seconds. Conducting such parabolic flights on a regular basis, the German Aerospace Center (DLR) offers scientists access to innovative research.*

## Forschung unter Weltraumbedingungen

Die Schwerkraft oder Gravitation ist auf der Erde allgegenwärtig. Alle physikalischen, chemischen und biologischen Vorgänge laufen unter dieser Bedingung ab. Häufig spielt die Schwerkraft eine unübersehbare Rolle: Alles, was schwerer ist als Luft, fällt zu Boden, Wasser fließt ins Tal und Gasblasen im kochenden Wasser treiben nach oben. Bei vielen Vorgängen in Natur und Technik ist der Einfluss der Schwerkraft jedoch nicht unmittelbar zu erkennen.

Die Schwerkraft ist aber auch hier von grundsätzlicher Bedeutung. So hat die Gravitation als konstante Größe maßgeblich die Evolution der Lebewesen beeinflusst: Schwerkraft und Leben sind auf unserem Planeten seit dreieinhalb Milliarden Jahren untrennbar miteinander verbunden.

Vor diesem Hintergrund ergibt sich für wichtige Bereiche in der Medizin, der Biologie, der Physik und in den Materialwissenschaften die Notwendigkeit, unter Weltraumbedingungen, das heißt in annähernder Schwerelosigkeit oder auch Mikrogravitation, zu experimentieren.

Das Programm „Forschung unter Weltraumbedingungen“ als Teil des Deutschen Raumfahrtprogramms fördert Untersuchungen zum Einfluss veränderter Schwerkraftbedingungen. Hierdurch können neue Erkenntnisse in Wissenschaft und Technologie gewonnen und dann in innovative Anwendungen für die Menschen auf der Erde umgesetzt werden.

Das DLR verfolgt hierbei vier Ziele:

- Erforschung grundlegender Lebensfunktionen
- Entwicklung neuer Diagnostikmethoden und Therapien in der Medizin
- Erweiterung der Horizonte in der physikalischen Forschung
- innovative Materialforschung

## Research under Space Conditions

*Gravity is omnipresent on Earth. All physical, chemical, and biological processes on our planet are subject to this condition. In many ways, the effect of gravity is there for all to see: Things heavier than air fall to the ground and water flows downhill. Gas bubbles float upwards in boiling water. However, there are many natural and technical processes in which the influence of gravity is not immediately distinguishable, although it is as fundamental here as elsewhere.*

*As a constant, gravity has been a key factor in evolution: For four billion years, life on our planet has been inextricably interwoven with the force of gravity. For this reason, basic research needs to be conducted under space conditions, meaning approximate weightlessness or microgravity.*

*The “Research under Space Conditions” program as part of the German Space Program stimulates investigation on the influence of altered gravity conditions. The insights thus gained by science and technology will then be translated into innovative applications for the people on Earth.*

*Research under space conditions serves four objectives:*

- to investigate basic vital functions;
- to develop new methods of diagnosis and therapy in medicine;
- to expand the horizons of physics; and
- to conduct innovative materials research.

### Erforschung grundlegender Lebensfunktionen

Da das Leben auf der Erde unter dem Einfluss der Schwerkraft abläuft, lässt sich deren Bedeutung für viele Funktionen des Lebens nur in Schwerelosigkeit erforschen. Dabei beobachten Wissenschaftler, wie Organismen reagieren und wie biologische Vorgänge unter diesen Bedingungen ablaufen. Wieso wachsen zum Beispiel Pflanzenwurzeln zum Erdmittelpunkt, der Sproß aber entgegengesetzt zum Licht? Aus den Schwerelosigkeitsexperimenten gewinnen Forscher Erkenntnisse über die Mechanismen der Wahrnehmung und Verarbeitung von Schwerkraft vom Einzeller bis zum Menschen. Diese sind nicht nur für die Grundlagenforschung von großer Bedeutung, so etwa für das Verständnis der Verarbeitung von Signalen ganz allgemein, sondern auch für das bestimmter biotechnologischer Vorgänge. Schwerelosigkeitsexperimente helfen zudem, die Entstehung, Verbreitung und Entwicklung des Lebens auf unserem Heimatplaneten besser zu verstehen.

### Neue Diagnostikmethoden und Therapien für die Medizin

Die Forschung in Schwerelosigkeit ist außerdem von herausragendem Interesse für die Medizin. Sie liefert neue Erkenntnisse über das Zusammenspiel der verschiedenen Systeme des menschlichen Körpers, etwa der Muskeln und Knochen, des Herzens und des Kreislaufs sowie des Immunsystems. Da die Veränderungen, die Astronauten in Schwerelosigkeit in wenigen Wochen oder Monaten erfahren, dem Alterungsprozess des Menschen ähneln, lässt sich dieser gewissermaßen im Zeitraffer studieren. Im Gegensatz zum Alterungsprozess des Menschen auf der Erde sind die Veränderungen beim Astronauten reversibel, sodass auch die Rückanpassung an die Schwerkraft auf der Erde untersucht werden kann. Dieses Wissen fließt in die Diagnostik und Therapie kranker Menschen ein. So konnten durch die Forschung unter Weltraumbedingungen beispielsweise neue Therapien für die Behandlung von Osteoporose oder

### Investigation of basic vital functions

*As life on Earth is subject to the influence of gravity, some of its functions can be explored only in its absence. Scientists may observe how organisms react and what course biological processes take without that factor. Why is it, for example, that the roots of a plant grow towards the center of the Earth, while its shoot grows in the opposite direction towards the light? From these observations, conclusions may be drawn about how gravity is perceived and responded to by all living beings, protozoa as well as humans, and to understand the mechanisms of signaling and biotechnological processes. Such insights are of great importance in basic research for they help us to improve our understanding of the origin, spread, and development of life on our home planet.*

### Development of new methods of diagnosis and therapy in medicine

*Furthermore, these investigations are of eminent importance in biotechnology and medicine. They provide us with fresh knowledge about the interaction between the various systems of the human body, such as muscles and bones, the heart, the cardiovascular system, and the immune system. This knowledge, in turn, is incorporated in the diagnosis and therapy of the sick. Thus, research under space*

Instrumente zur Messung des Augeninnendrucks und der Augenbewegungen entwickelt werden. Beide Ziele, die Erforschung grundlegender Lebensfunktionen und die Entwicklung neuer Diagnostik- und Therapiemethoden für die Medizin, werden auch eine entscheidende Rolle spielen, wenn es darum geht, die Voraussetzungen für künftige Langzeitmissionen etwa zum Mond oder anderen Zielen zu schaffen.

### Erweiterung der Horizonte in der Physik

Mit Experimenten unter Schwerelosigkeit lassen sich fundamentale Erkenntnisse gewinnen, die ansonsten nicht erreichbar wären. Dies trifft etwa bei sogenannten Plasmakristallen zu. Aufgrund der Schwerkraft lassen sich diese auf der Erde nur zweidimensional erzeugen. Unter Schwerelosigkeit können die Forscher auch dreidimensionale Kristalle untersuchen. Hierfür zeichnen sich langfristig auch praktische Anwendungen ab, etwa zur Beschichtung von Mikrochips. Weitere Beispiele sind die Erkundung gewisser Quantenphänomene oder die Erforschung von Frühphasen der Planetenentstehung.

### Innovative Materialforschung

Metallische und halbleitende Werkstoffe werden überwiegend aus dem flüssigen Zustand mittels schmelztechnischer Verfahren hergestellt. Schwerelosigkeit bietet durch das Ausschalten von Störkräften in der Schmelze entscheidende Vorteile, um die Wechselbeziehung zwischen Erstarrungsbedingungen, Werkstoffgefüge und den Eigenschaften eines Werkstoffs aufzuklären. Weiterhin lassen sich durch behälterfreie Verfahren in Schwerelosigkeit wichtige schmelzflüssige Eigenschaften wie zum Beispiel Oberflächenspannung und Zähigkeit wesentlich genauer bestimmen als in irdischen Labors. Solch präzise Daten sind wichtig für realitätsnahe Computersimulationen. Diese gewinnen in der Industrie stetig an Bedeutung und ermöglichen eine energieeffiziente und damit umweltschonende Entwicklung neuer Werkstoffe.

*conditions has brought forth innovative therapies to treat osteoporosis as well as new instruments to measure intraocular pressure and eye movements – to name only a few. Both these objectives – researching basic vital functions and developing new methods of diagnosis and therapy in medicine – will play a crucial role when we prepare the ground for future long-range missions to the moon or elsewhere.*

### Expansion of the horizons of physics

*Space conditions facilitate new insights in basic research. So-called plasma crystals are a case in point. Because of the influence of gravity, only the two-dimensional crystalline structures can be generated on Earth, while three-dimensional crystals may be studied only in space. Besides their importance in basic research, there are signs indicating that, in the long run, these crystallization processes may be used in practice to coat microchips, for instance. Further examples include the exploration of certain quantum phenomena and the investigation of early phases of planetary development.*

### Innovative materials research

*Metallic and semi-conducting materials are mainly produced from the liquid state by melt technologies. Eliminating disturbing forces in the melt, weightlessness offers decisive advantages to clarify the link between solidification conditions, microstructure and resulting properties of a material. Moreover, by means of containerless processing in weightlessness important properties of melts as, for example, surface tension and viscosity can be measured with much higher precision than in terrestrial laboratories. Such accurate data are crucial for improved numerical computer simulations. This numerical modeling plays an increasing role in industry to develop new materials in a more energy-efficient and environmental-friendly way.*



Newton – Entdecker des Gravitationsgesetzes  
Newton – discoverer of the law of gravity



## Das Programm der DLR Raumfahrt-Agentur

In dem Programm „Forschung unter Weltraumbedingungen“ unterstützt die DLR Raumfahrt-Agentur Biologen, Mediziner, Physiker und Materialwissenschaftler aus Universitäten, Max-Planck-Instituten und anderen deutschen Forschungseinrichtungen.

Zudem entwickelt die Raumfahrtindustrie mit Hilfe des DLR speziell für den Einsatz im Weltraum geeignete Geräte. Hieraus ergeben sich nicht selten innovative Technologien auch für die Anwendung auf der Erde. So trugen Ergebnisse aus Schwerelosigkeitsexperimenten dazu bei, Gussverfahren im Automobil- und Flugzeugbau zu verbessern und neue medizinische Geräte zu entwickeln.

## The DLR Space Agency Program

*Through its “Research under Space Conditions” program, the DLR Space Agency supports scientists working at universities, Max-Planck Institutes, and other German-based research institutions in the fields of biology, medicine, physics, and materials science.*

*In addition, space industry develops equipment specifically designed for use in space with assistance from DLR. Not infrequently, the innovative technologies thus developed are found suitable for use on Earth. Thus, results of microgravity experiments helped to improve the production process of castings for motor vehicles and airplanes and to develop new medical apparatus.*

Die Internationale Raumstation ISS  
The International Space Station ISS

Um den Einfluss der Schwerkraft untersuchen zu können, muss man diesen Faktor ganz ausschalten oder seine Größe verändern. Je nach der für ein Experiment benötigten Zeitdauer bietet das DLR den Wissenschaftlern die entsprechenden Fluggelegenheiten:

Für automatisch ablaufende Versuche stehen

- der Fallturm in Bremen (5 bis 9 Sekunden Schwerelosigkeit),
- die Forschungsraketen TEXUS (6 Minuten) und MAXUS (12 Minuten) sowie
- russische Forschungssatelliten wie FOTON (mehrere Wochen) zur Verfügung.

Für Experimente, die den Menschen als Experimentator oder als Testperson benötigen, können Wissenschaftler

- Parabelflüge (bis zu 31 mal 22 Sekunden pro Flugtag) und
- die Internationale Raumstation ISS (mehrere Monate bis Jahre) als Fluggelegenheit nutzen.

Nur auf Parabelflügen wie mit dem Airbus A-300 ZERO-G können nicht als Astronauten ausgebildete Wissenschaftler ihre Versuche eigenhändig in der Schwerelosigkeit durchführen.

*To investigate the influence of gravity as a factor, you need to modify or nullify its intensity. Depending on the time required for an experiment, the DLR has a variety of flight options to offer to scientists. Facilities for automatic tests include*

- the Bremen drop tower (5 to 9 seconds of microgravity),
- the TEXUS (6 minutes) and MAXUS (12 minutes) research rockets, and
- research satellites such as the Russian FOTON (several weeks).
- For experiments, in which human beings must be involved, either as experimenters or test subject, scientist may avail themselves of flight opportunities on parabolic flights (up to 31 times 22 seconds per flight day) and
- the International Space Station ISS (several months or years).

*Only parabolic flights on the Airbus A300 ZERO-G offer scientists without astronautical education an opportunity to conduct their own experiments in weightlessness by themselves.*

Fluggelegenheiten für Schwerelosigkeitsforschung/Flight Opportunities for Space Research

Unbemannt/Unmanned



Fallturm 9 sec  
Drop Tower 9 sec



Forschungsrakete  
6 – 12 min  
Sounding Rocket  
6 – 12 min



Satellit < 1 Monat  
Satellite < 1 Month

Bemannt/Manned



Parabelflugzeug 22 sec  
Parabolic Flights 22 sec



Raumstation permanent  
Space Station permanent



# Geschichte der Parabelflüge

## History of Parabolic Flights



US-Amerikanisches Flugzeug Boeing KC-135 für Parabelflüge  
American aircraft Boeing KC-135 for parabolic flights



Französisches Flugzeug Caravelle ZERO-G für Parabelflüge  
French aircraft Caravelle ZERO-G for parabolic flights

In den Fünfzigerjahren begann man, Parabelflüge mit Flugzeugen für die Forschung und zur Vorbereitung von Astronauten für ihren Aufenthalt im All zu nutzen. Erforscht wurden hierbei besonders flugmedizinische Themen. Russische Kosmonauten sowie amerikanische und später europäische Astronauten übten den Umgang mit Raumanzügen und Experimentiergeräten und lernten geeignetes Verhalten in der Schwerelosigkeit.

Bereits in den Siebzigerjahren wurden einzelne Experimente auf kleinen Sportflugzeugen durchgeführt. Doch erst ab Beginn der Achtzigerjahre wurden Parabelflüge zunehmend eingesetzt, um wissenschaftliche Fragen in Biologie, Physik, Materialforschung und Humanphysiologie/Medizin zu beantworten. Außerdem wurden neue, für den Einsatz im Weltraum entwickelte Geräte geflogen, um ihre Funktion in der Schwerelosigkeit zu testen.

In der russischen Raumfahrt wird eine Ilyushin 76 MDK für Parabelflüge verwendet. Die amerikanische Raumfahrtbehörde NASA verwendete hierzu früher eine Boeing KC-135, heute eine DC-9 und eine Boeing 727. In Europa gab es zunächst Parabelflüge mit einer Caravelle, seit 1997 kommt der Airbus A-300 ZERO-G zum Einsatz. Mit diesen Jets können 20 bis 25 Sekunden Schwerelosigkeit pro Parabel erreicht werden.

Ab den Achtzigerjahren organisierte das DLR Parabelflüge in den USA und, ab den 1990er Jahren, auch mit russischen Flugzeugen. Diese Flüge dienten der gezielten Vorbereitung der großen deutschen Weltraum-Missionen wie Spacelab D-2 und MIR-92. Hieran nahmen viele deutsche Wissenschaftler und Astronauten teil.

*In the 1950s, parabolic flights on airplanes began to be used to conduct research and prepare astronauts for their stay in space, with a focus on aeromedical questions. Russian cosmonauts as well as American and, later on, European astronauts learned how to handle space suits and experimental equipment, and how to behave in weightlessness.*

*Even in the 1970s, experiments were occasionally conducted on small sports planes. It was only from the early 1980s, however, that parabolic flights were increasingly used to find answers to scientific questions in biology, physics, materials research, human physiology, and medicine. In addition, new equipment developed for use in space was carried along to test its function in weightlessness.*

*In Russian space research, an Ilyushin 76 MDK is used. In the past, the American space agency NASA operated a Boeing KC-135 for the purpose, today NASA uses a DC-9 and a Boeing 727. In Europe, the first parabolic flights were made by a Caravelle; since 1997, the Airbus A300 ZERO-G is used. The periods of weightlessness achieved by these jet airplanes range from 20 to 25 seconds.*

*From the 1980s, DLR organized parabolic flights in the USA; from the 1990s, Russian airplanes were beginning to be used as well. These flights, in which numerous German scientists and astronauts participated, served to prepare Germany's major space missions, such as Spacelab D-2 and MIR-92. In this context, many German scientists and astronauts took part.*

### Die DLR-Parabelflüge mit dem Airbus A300 ZERO-G

#### DLR Parabolic Flights with the Airbus A300 ZERO-G

| Nr./No. | Datum/Date         | Ort/Location        | Experimente/Experiments |
|---------|--------------------|---------------------|-------------------------|
| 1       | 7. – 17.12.1999    | Bordeaux            | 8                       |
| 2       | 27.11. – 8.12.2000 | Bordeaux            | 9                       |
| 3       | 30.10. – 9.11.2001 | Bordeaux            | 11                      |
| 4       | 15. – 25.10.2002   | Bordeaux            | 15                      |
| 5       | 17. – 27.6.2003    | Bordeaux            | 23                      |
| 6       | 6. – 20.9.2004     | Cologne (Köln/Bonn) | 25                      |
| 7       | 6. – 16.9.2005     | Bordeaux            | 20                      |
| 8       | 15. – 29.5.2006    | Cologne (Köln/Bonn) | 22                      |
| 9       | 7. – 17.11.2006    | Bordeaux            | 23                      |
| 10      | 3. – 17.9.2007     | Cologne (Köln/Bonn) | 20                      |
| 11      | 18. – 30.11.2007   | Bordeaux            | 15                      |
| 12      | 31.3 – 12.4.2008   | Bordeaux            | 23                      |
| 13      | 2. – 14.2.2009     | Bordeaux            | 15                      |
| 14      | 7. – 21.9.2009     | Cologne (Köln/Bonn) | 14                      |

Seit 1984 veranstaltet die Europäische Weltraumorganisation ESA regelmäßig Parabelflüge für die Wissenschaft in Europa. Anfangs fanden hierbei eine, später zwei oder drei Parabelflugkampagnen pro Jahr statt. NASA und ESA laden aber nicht nur Wissenschaftler und Astronauten, sondern regelmäßig auch Studierende und Schüler auf Parabelflüge ein, um junge Menschen für Raumfahrt, Naturwissenschaft und Hochtechnologie zu begeistern.

Seit zehn Jahren erhöht sich auch in Deutschland der Bedarf von Wissenschaftlern, auf Parabelflügen zu experimentieren. Das DLR hat deshalb 1999 entschieden, regelmäßig eigene Parabelflüge zu veranstalten. Diese finden seit her ein- bis zweimal jährlich statt. Da Deutschland Mitglied der ESA ist, können deutsche Forscher und Ingenieure zusätzlich auch die Parabelflüge der Europäischen Weltraumorganisation nutzen.

*Since 1984, the European Space organisation ESA has been organizing parabolic flights for European scientists on a regular basis. Starting from one, the number of parabolic flight campaigns rose to two and ultimately four per year. However, both NASA and ESA invite not only scientists and astronauts but also students and pupils to their parabolic flights to kindle an enthusiasm for space travel, science, and high technology in these young people.*

*In Germany, the scientists' demand for experiments on parabolic flights has been growing steadily for ten years. For this reason, the DLR decided in 1999 to organize its own parabolic flights, conducting one or two campaigns per year on a regular basis. As Germany is a member of the ESA, German researchers and engineers may also use the parabolic flights organised by the European Space Agency.*



# Die Parabelflüge

## Parabolic Flights

Der Airbus A300 ZERO-G im Steigflug  
The Airbus A300 ZERO-G ascending



Parabelflüge mit Flugzeugen bieten eine regelmäßige Gelegenheit für die Forschung und Technologieerprobung in Schwerelosigkeit. Sie bieten außerhalb der Raumstation die einzige Möglichkeit, den Körper (die Physiologie) des Menschen in Schwerelosigkeit zu erforschen. Einige Untersuchungen bereiten ein umfangreiches Weltraumexperiment beispielsweise für die ISS vor oder begleiten Experimente auf Raketen. Für andere Themen reichen die kurzen Schwerelosigkeitsphasen bei Parabelflügen bereits aus.

*Parabolic flights on aircraft regularly offer opportunities to conduct research and technology experiments in microgravity. Apart from the space station itself, only these flights permit investigating the behavior of the human body (human physiology) in weightlessness. Some studies serve to prepare major space experiments to be conducted on the ISS, for instance, or to support rocket experiments. For other issues, the brief phases of microgravity reached in parabolic flights may be sufficient.*

## Die Schwerelosigkeit auf Parabelflügen

Physikalisch gesehen ist ein Objekt schwerelos, wenn es sich im freien Fall befindet. Ein in die Luft geworfener Ball ist also schwerelos. Sein Flug erfolgt auf einer sogenannten Wurfparabel. Bei einem Parabelflug wird das Flugzeug so geflogen, dass es entlang der Bahn einer Wurfparabel „fällt“.

Mit dem Airbus A300 ZERO-G kann man eine derart große Parabel fliegen, dass bis zu 22 Sekunden lang Schwerelosigkeit herrscht. Wegen der flugtechnischen Randbedingungen, wie etwa Luftturbulenzen, wird das Flugzeug immer minimal beschleunigt. Diese Restbeschleunigungen führen dazu, dass es nicht zu vollständiger Schwerelosigkeit kommen kann. Auf Parabelflügen ist immer ein Rest von wenigen Hundertstel der normalen Schwerkraft – oder physikalisch: der Erdbeschleunigung – messbar. Dieser Rest lässt sich vermindern, indem ein Experiment im Flugzeug frei schwebt. Für zehn Sekunden kann man dann eine wesentlich bessere Qualität von Schwerelosigkeit erreichen, die nur noch einige Zehntausendstel der Erdbeschleunigung hat.

## Weightlessness on Parabolic Flights

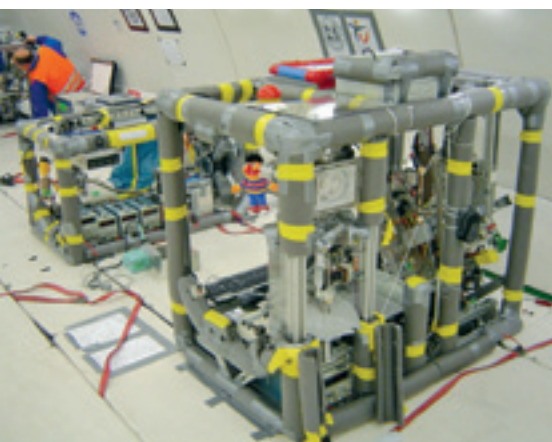
*In physical terms, any free-falling object is weightless. A ball thrown into the air is weightless. Its flight path follows what is called a ballistic trajectory. An aircraft on a parabolic flight is flown so that it “falls” along a ballistic trajectory.*

*The Airbus A300 ZERO-G is capable of flying parabolas large enough to permit up to 22 seconds of weightlessness. In order to exactly compensate for the air drag, the aircraft is kept under minimum thrust during the microgravity phase. Because of turbulences, weightlessness can never be perfect. On parabolic flights, residual Earth gravity – or gravitational acceleration, as it is called in physical terminology – always remains measurable at a few percent of its original strength. This residue can be reduced further in free-floating experiments. For ten seconds, the quality of weightlessness will improve materially under these conditions as gravity shrinks to a few tenths of thousands of its normal value.*



Airbus A300 ZERO-G  
Airbus A300 ZERO-G





Physikalisches Experiment  
Physical experiment



Experimente in Vorbereitung  
Experiments in preparation

## Das Experimentieren an Bord des A300 ZERO-G

Das Experimentieren an Bord des Airbus A300 ZERO-G ähnelt dem Forschen im Labor; es können laborübliche Geräte eingesetzt werden. Die Wissenschaftler bauen die Experimente in Boxen oder Halterungen (Racks) ein, die am Boden der Flugzeugkabine festgeschraubt werden. Medizinische Testpersonen werden in Sitzen oder auf dem Kabinenboden festgurtet.

Damit es während des Flugs nicht zu Unfällen kommt, werden alle Experimentanlagen vor dem ersten Flugtag einer Sicherheitsüberprüfung unterzogen. Eine Versuchsanordnung muss hierfür bestimmte Sicherheitskriterien erfüllen, etwa einen Notschalter aufweisen und eine harte Landung ohne Bruch aushalten. Testpersonen müssen sich notfalls schnell aus ihrer Versuchsanordnung befreien können. Humanphysiologisch-medizinische Experimente müssen darüber hinaus ethisch unbedenklich sein. Ihr Protokoll muss von einem medizinischen Prüfungsgremium freigegeben werden.

Das Besondere an Parabelflügen ist, dass Wissenschaftler und Techniker ihr Experiment während des Flugs selbst durchführen. Sie beobachten den Versuchsaufbau, beurteilen ihn und ändern eventuell die Versuchsparameter. Bei medizinischen Versuchen können nacheinander mehrere Probanden eingesetzt werden.

## Experimenting on Board the A300 ZERO-G

*Experiments on board the Airbus A300 ZERO-G resemble those in a laboratory, the same equipment may be used. Scientists install their experiments in boxes or racks mounted on the floor of the cabin. Medical test subjects are strapped down in their seats or on the cabin floor.*

*To avoid accidents in flight, all experimental setups are tested for safety before the first day of the campaign. A test rig needs to meet certain safety criteria; thus, it must be equipped with an emergency switch and capable of sustaining a hard landing without breakage. Test subjects must be able to escape quickly from their experiment rack in an emergency. Medical experiments in human physiology must be conformable with ethical precepts. Their protocols must be approved by a medical peer-review body.*

*Parabolic flights are extraordinary because scientists and engineers conduct their experiments during the flight by themselves, observing their progress, judging it, and modifying test parameters as required. Medical tests may be performed on a number of subjects in succession.*

## Der Airbus A300 ZERO-G

Der dritte jemals gebaute Airbus der Serie A300 hatte seinen Jungfernflug im Juni 1973. Seitdem dient er als Testflugzeug für technische Neuerungen. So wurden verschiedene Turbinen getestet. Elektronische Hilfsmittel wie Autopiloten, beispielsweise für die Flugzeugmodelle A310 und A320, wurden überprüft und weiterentwickelt. Im Jahr 1996 wurde der A300 für Parabelflüge qualifiziert und wird seit 1997 von der französischen Firma Novespace für Schwerelosigkeitsflüge eingesetzt. Außerdem wird der A300 dazu genutzt, die Startphase der europäischen Trägerrakete Ariane mit einer speziellen Radarantenne zu dokumentieren.

Der A300 ist besonders gut für Parabelflüge geeignet, denn seine starken Turbinen liefern den für derartige Manöver notwendigen Schub. Die Struktur des A300 ZERO-G wurde nicht verändert. Im Cockpit wurden hingegen einige Schalter umgeordnet, damit die Piloten sie auch in der Schwerelosigkeit gut erreichen können. Ein Bildschirm erlaubt die Beobachtung der Passagierkabine per Video. Für die Parabelflüge ist die Passagierkabine bis auf 50 Sitze hinter dem Cockpit und im Heck leer geräumt. Dieser Raum von 100 Quadratmetern und maximal 2,3 Metern Höhe steht für Experimente zur Verfügung und ist zum Schutz der Forscher mit Schaumstoffmatten ausgepolstert.

## The Airbus A300 ZERO-G

*The third Airbus ever built, the A300 ZERO-G had its maiden flight in June 1973. Since then, the aircraft has been used to test technical innovations. Thus, a variety of engines were examined, and autopilots and other electronic auxiliaries for the A310 and A320 models were validated and developed. Having been qualified for parabolic flights in 1996, the A300 has been used by the French company Novespace to conduct parabolic flights since 1997. Another function of the A300 is to document the reentry of the European launcher Ariane main stage with a special radar antenna.*

*The A300 is ideal for parabolic flights because its engines are powerful enough to deliver the thrust that is needed for such maneuvers. While the structure of the A300 ZERO-G was not modified, some switches were rearranged in the cockpit to place them within easy reach of the pilots during weightlessness. A monitor shows a CCTV image of the passenger cabin. For a parabolic flight, the cabin is cleared of furniture save for 50 seats immediately behind the cockpit and in the rear of the plane. Measuring 100 square meters and with a maximum height of 2.3 meters, the space in between, which is padded with foamed-plastic mats to protect the researchers, is available for experiments.*



Experimentierfläche im A300 ZERO-G  
Experiment area in the A300 ZERO-G





Einige technische Daten des Airbus A300 ZERO-G

|                        |                                                     |
|------------------------|-----------------------------------------------------|
| Gewicht                | 137 Tonnen                                          |
| Länge                  | 53,62 Meter                                         |
| Breite                 | 44,84 Meter                                         |
| Höhe                   | 16,90 Meter                                         |
| Rumpf-Durchmesser      | 5,64 Meter                                          |
| Turbinen               | 2 x General Electric CF6-50                         |
| Experimentierfläche    | 100 Quadratmeter:<br>Länge 20 Meter, Breite 5 Meter |
| Maximale Deckenhöhe    | 2,3 Meter                                           |
| Elektrische Versorgung | 20 kW, 230 V bei 50 Hz                              |

Some technical data of the Airbus A300 ZERO-G

|                         |                                                          |
|-------------------------|----------------------------------------------------------|
| Weight                  | 137 tons                                                 |
| Length                  | 53.62 meters                                             |
| Width                   | 44.84 meters                                             |
| Height                  | 16.90 meters                                             |
| Fuselage diameter       | 5.64 meters                                              |
| Engines                 | 2 x General Electric CF6-50                              |
| Experimental floorspace | 100 square meters: length,<br>20 meters; width, 5 meters |
| Maximum cabin height    | 2.3 meters                                               |
| Special power supply    | 20 kW, 230 V at 50 Hz                                    |



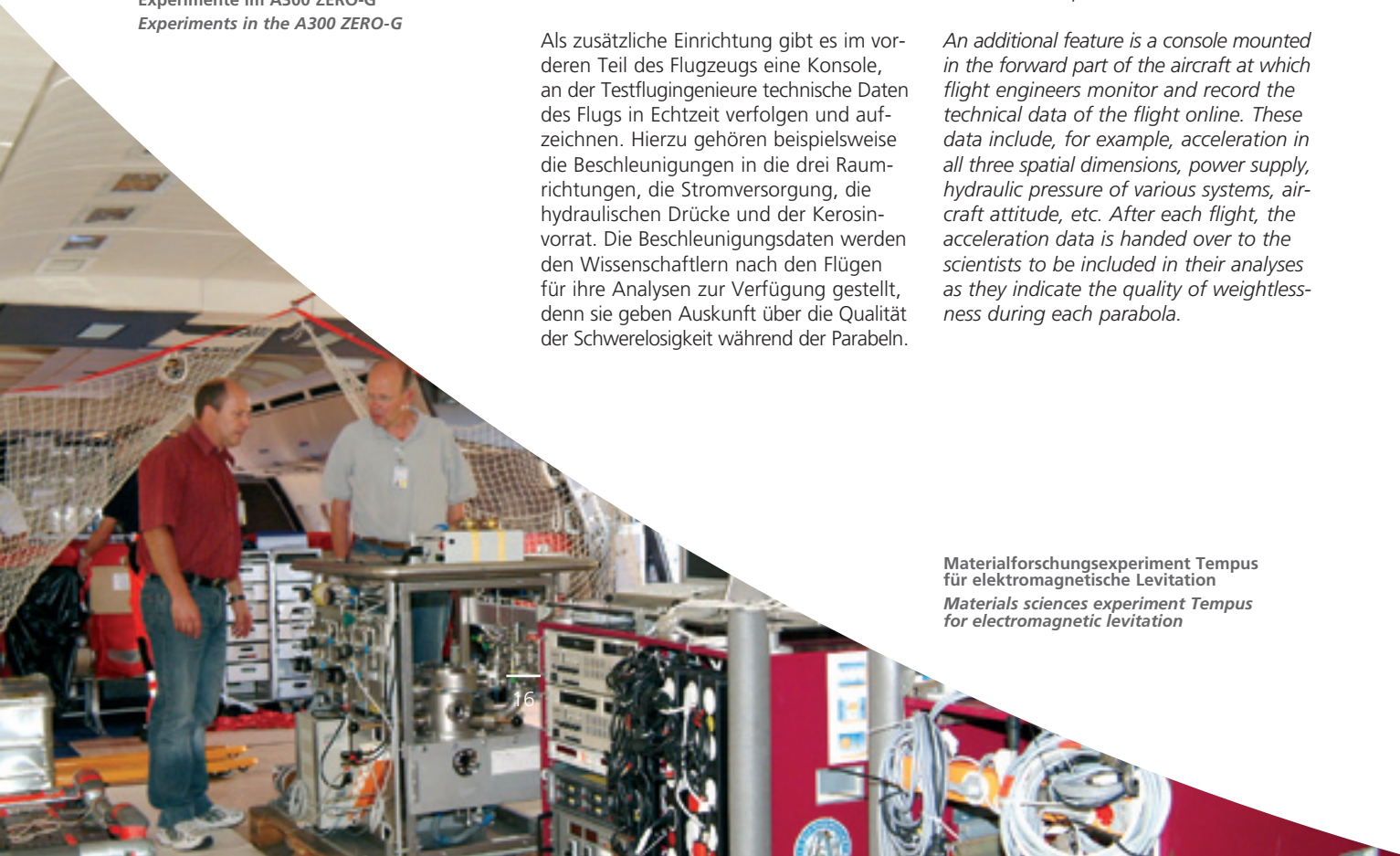
Experimente im A300 ZERO-G  
Experiments in the A300 ZERO-G

Der A300 bietet die weltweit größte Experimentierfläche in einem Parabelflugzeug. In diesem Bereich werden die Experimentiergeräte auf Bodenschienen montiert und an die Stromversorgung des Flugzeugs angeschlossen. Netze sichern die Experimentfläche gegen die vorderen und hinteren Bereiche des Flugzeugs mit den Passagiersitzen ab. Damit die Forscher stets im Auge haben, wie viele Parabeln noch für Versuche geflogen werden, zeigen Displays die Nummer der aktuellen Parabel an.

Als zusätzliche Einrichtung gibt es im vorderen Teil des Flugzeugs eine Konsole, an der Testflugingenieure technische Daten des Flugs in Echtzeit verfolgen und aufzeichnen. Hierzu gehören beispielsweise die Beschleunigungen in die drei Raumrichtungen, die Stromversorgung, die hydraulischen Drücke und der Kerosinvorrat. Die Beschleunigungsdaten werden den Wissenschaftlern nach den Flügen für ihre Analysen zur Verfügung gestellt, denn sie geben Auskunft über die Qualität der Schwerelosigkeit während der Parabeln.

*The A300 offers the largest experimental floorspace of any parabolic aircraft in the world. Within that space, experimental equipment is mounted on rails in the floor and connected to the aircraft's power-supply system. Nets are rigged for protection between the experimental area and the front and rear parts of the cabin, where the passenger seats are located. To keep researchers informed about how many parabolas are left for experiments, displays show the number of the current parabola.*

*An additional feature is a console mounted in the forward part of the aircraft at which flight engineers monitor and record the technical data of the flight online. These data include, for example, acceleration in all three spatial dimensions, power supply, hydraulic pressure of various systems, aircraft attitude, etc. After each flight, the acceleration data is handed over to the scientists to be included in their analyses as they indicate the quality of weightlessness during each parabola.*



Materialforschungsexperiment Tempus  
für elektromagnetische Levitation  
Materials sciences experiment Tempus  
for electromagnetic levitation

Im Cockpit des A300 ZERO-G

Im Cockpit sind zwei Piloten und zwei Flugingenieure für den sicheren Flug verantwortlich. Als besondere Vorrichtung ist vor jedem Piloten ein Beschleunigungsmesser (Akzelerometer) eingebaut, nach dem die Piloten die Flugmanöver ausrichten. Ziel der Manöver ist es, die Restbeschleunigung des Flugzeugs in einem Bereich von nur wenigen Hundertsteln der Erdbeschleunigung zu halten. Während der Flugmanöver ist einer der Piloten für die Querachse, der andere für die Längsachse des Flugzeugs zuständig. Spezielle Aufsätze auf die Lenksäulen verhindern, dass ein Pilot mehr als eine Flugzeugachse steuern kann. Währenddessen regelt ein Flugingenieur den Turbinenschub, der zweite überwacht den Luftraum und übrige technische Daten.

Nur das optimale Zusammenspiel der Piloten und Flugingenieure gewährleistet eine sichere und präzise Durchführung dieser sehr komplizierten Flugmanöver. Vor jeder Parabelflug-Kampagne gibt es Trainingsflüge für die Cockpit-Crew, um diese feinen Manöver immer wieder zu üben. Das Cockpit-Team besteht aus Testpiloten und Testflugingenieuren des französischen Testflugzentrums Centre d'Essais en Vol. Der Airbus A300 gehört der französischen Firma Novespace, die die Parabelflüge durchführt. Wartung und Gesamtprogramm werden von der europäischen Weltraumorganisation ESA und der französischen Weltraumagentur CNES unterstützt.

In the Cockpit of the A300 ZERO-G

*In the cockpit, two pilots and two flight engineers are responsible for a safe flight. A special feature is the accelerometer installed in front of each pilot, which he uses to maneuver the plane during the flight, the objective being to keep its residual acceleration down to a few percent of Earth's normal gravity. During each maneuvers, one of the pilots is responsible for the residual gravity on the "vertical" axis (controlling the pitch) and the other on the transversal axis (controlling the roll) of the plane. The flight engineer is responsible for the longitudinal axis, controlling the engines thrust. Special attachments on the column of the control sticks keep the pilot from controlling more than one axis of the aircraft. At the same time, the second flight engineer monitors the aircraft technical data.*

*Only optimum collaboration between pilots and flight engineers can ensure safety and precision in these highly complicated flight maneuvers. Before each parabolic-flight campaign, training flights are performed by the cockpit crew to rehearse these sophisticated maneuvers. The cockpit team is composed of test pilots and test-flight engineers from the French flight test center, Centre d'Essais en Vol. The Airbus A300 is owned by Novespace. Maintenance and the entire program are funded by the European Space Agency ESA and the French Space Agency CNES.*



Die Cockpit-Crew  
The cockpit crew





Vorbereitung am Boden  
Preparation on the ground

## Ablauf eines Flugtags

### Vorbereitung

Um 6:00 Uhr in der Früh beginnen die Vorbereitungen. Während die Forscher in der Basis am Flughafen allmählich zusammen kommen, wird der A300 ZERO-G aktiviert und die Stromversorgung für die Experimente eingeschaltet. Die Wissenschaftler treffen nun abschließende Vorbereitungen an ihren Experimenten und führen einen letzten Testlauf am Boden durch. Mediziner legen sich Elektroden an, mit denen sie während des Flugs die Daten über die Reaktionen im Körper messen. Nebenan setzt ein Biologe die zu untersuchenden Pflanzen in seine Apparatur, ein Physiker baut seine Metallprobe in die Experimentanlage ein.

Spätestens um 8:00 Uhr sind alle Personen, die fliegen werden, vor Ort, ziehen ihren Flugoverall an und erhalten ein Medikament gegen Reisekrankheit. Anschließend nehmen die Experimentatoren ihre Plätze im Flugzeug ein. Um 9:30 Uhr wird die Flugzeugtür geschlossen. Während einer halben Stunde führen die Piloten nun alle Checks mit dem Flugzeug durch – der Airbus kann starten.

### Parabel für die Schwerelosigkeit

Nach dem Start fliegt der Airbus in ein Gebiet, das für den übrigen Flugverkehr gesperrt ist. Dies liegt wegen der geringeren Luftturbulenzen meistens über dem Meer, beispielsweise über dem Atlantik südwestlich der Bretagne, über dem Mittelmeer bei Sardinien und Korsika oder über

## A Typical Flight Day

### Preparations

*Preparations begin at six o'clock in the morning. While researchers gradually assemble at the airport base, the A300 ZERO-G is activated, and the power supply for the experiments is switched on. Scientists put the finishing touches to their experiments and give them a last test run on the ground. Physicians place electrodes on their bodies for measuring and recording data about their physiological reactions during the flight. Close by, a biologist puts the plants he wishes to study into his test rig, while a physicist places a metal sample in his apparatus.*

*By eight o'clock a.m. at the latest, everyone who is going to fly is present, putting on their flight overalls and taking medication against travel sickness if they wish. Next, the experimenters take their seats on the plane. At 9:30, the doors of the plane are closed. For half an hour, the pilots now complete their checks, after which the Airbus is ready for takeoff.*

### Parabola for weightlessness

*After takeoff, the Airbus flies to an area that is off limits to ordinary traffic. To avoid the more powerful turbulences, most of these airspaces are located above the sea, above the Atlantic southwest of Brittany, for example, above the Mediterranean in the vicinity of Sardinia and Corsica, or above the North Sea. While the A300 ZERO-G travels to its designated airspace, researchers run up their systems and get ready for the first parabola.*

der Nordsee. Bis der A300 ZERO-G diesen Flugraum erreicht hat, fahren die Forscher ihre Anlagen hoch und bereiten sich auf die erste Parabel vor.

Aus einer Flughöhe von ungefähr 6.100 Metern und bei einer Geschwindigkeit von etwa 825 km/h beginnen nun die Flugmanöver. Nach Ankündigung der ersten Parabel durch einen der Piloten folgt ein starker Steigflug. Hierbei wirkt auf Personen und Geräte im Flugzeug das 1,8-fache der normalen Erdbeschleunigung in Richtung Flugzeugboden. Das heißt, dass alles 1,8-mal so schwer wie auf der Erde ist. Dieser Zustand wird als Hyperschwerkraft bezeichnet. Nach etwa 20 Sekunden hat das Flugzeug einen Steigungswinkel von etwa 47 Grad erreicht – zum Vergleich: Bei einem normalen Flugzeugstart beträgt dieser Winkel maximal 18 Grad. An diesem Punkt fährt der Pilot den Turbinenschub sehr stark zurück.

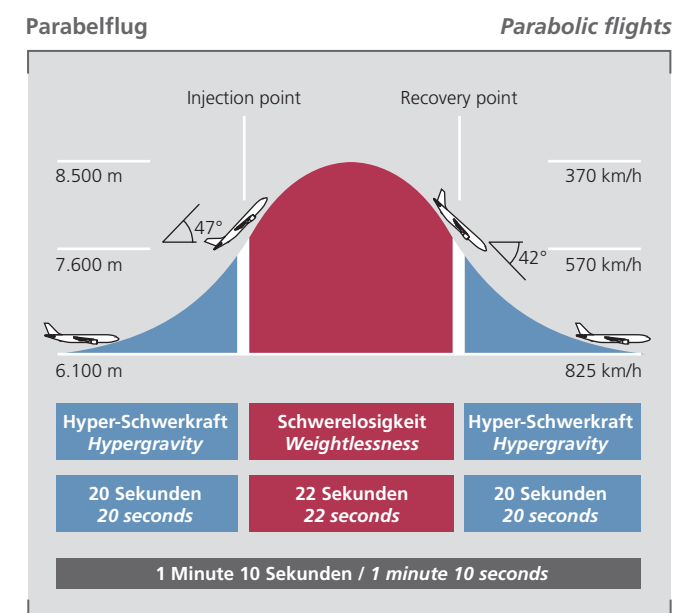
Innerhalb weniger Sekunden geht der A300 in den freien Fall über. Aufgrund des zuvor gehaltenen Schwungs bewegt er sich dabei zunächst noch etwa 1.000 Meter nach oben.

*When flight maneuvers begin, the plane travels at a cruising altitude of about 6,100 meters and a speed of about 825 kilometers per hour. After one of the pilots has announced the first parabola, the plane goes into a steep ascent during which the people and equipment on board are exposed to 1.8 times the normal gravity acting vertically to the aircraft floor. In other words: Everyone and everything on board now weighs 1.8 times as much as on Earth. This condition is called hypergravity.*

*After about 20 seconds, the angle of ascent reaches 47 degrees, a steep angle compared to a normal takeoff, where it never exceeds 18 degrees. At this point, the flight engineer throttles the engines down to very low thrust.*



Biologische Experimente  
Biological experiments







Am höchsten Punkt in etwa 8.500 Metern Höhe hat das Flugzeug nur noch eine Geschwindigkeit von circa 370 Kilometern pro Stunde. Von hier aus fällt es entlang einer nach unten offenen Parabel wieder hinab. Diese Phase, bei der alle Passagiere und Experimente schwerelos sind, dauert 20 bis 22 Sekunden. Auf diese Zeit haben viele der Experimentatoren gewartet. Oft werden aber auch die „normale“ Anflugsphase und die Zeit der Hyperschwerkraft beziehungsweise der Wechsel zwischen diesen Phasen für Versuche genutzt, insbesondere, um zu untersuchen, welche Auswirkungen die Beschleunigungswechsel auf das Untersuchungsobjekt haben.

Wenn beim Sinkflug die Flugzeugnase ungefähr 42 Grad nach unten weist, wird der Airbus unter starkem Schub der Turbinen abgefangen, um ihn wieder in die horizontale Flugrichtung zu bringen. Auch in dieser Phase herrscht für circa 20 Sekunden Hyperschwerkraft von 1,8-facher Erdschwere. Da die Hyperschwerkraft für den Menschen nicht besonders angenehm ist, verbringen die meisten Wissenschaftler diese Phase im Liegen auf dem Boden. Steht man, spürt man fast sein doppeltes Gewicht auf den Knien.

Nach fast zwei Minuten normalem Horizontalflug beginnt die nächste Parabel. Üblicherweise werden sechs Blöcke mit jeweils fünf Parabeln geflogen. Zwischen den Blöcken liegen Pausen von vier bis acht Minuten, in denen die Wissenschaftler die Parameter der Experimente verändern, Proben wechseln oder Versuchspersonen austauschen können.

*Within a few seconds, the A300 goes into free fall. The momentum it has gathered before keeps it moving upwards for another 2,000 meters or so. At the apex of the curve, at an altitude of about 8,500 meters, the speed of the aircraft is down to about 370 kilometers per hour. From here, it continues to fall down in an open parabola. This phase, during which all passengers and experiments are weightless, lasts for 20 to 22 seconds. This is the time many of the experimenters have been waiting for. However, many also use the "normal" horizontal flight and the period of hypergravity or the change-over between these phases for experiments to investigate the effects of acceleration changes on objects of study.*

*As soon as the nose of the aircraft reaches a downward angle of 42 degrees during the descent, the pilot is pulling the stick and the powerful thrust of its engines pulls the Airbus out of the dive and back to horizontal. This is another phase of hypergravity, when gravity reaches 1.8 times its normal value for about 20 seconds. As hypergravity is not particularly comfortable, most scientists pass through this phase lying on the floor. If you stand, you feel almost double your weight resting on your feet.*

*The next parabola begins after almost two minutes of normal horizontal flight. A flight generally includes six blocks of five parabolas each, interspersed with breaks of between four and eight minutes during which scientists may change the parameters of their experiments, replace their samples, or change test subjects.*

Der Experimentbereich in Schwerelosigkeit  
The experiment area in weightlessness



An einem normalen Flugtag werden so 31 Parabeln geflogen – die maximale tägliche Parabelzahl, für die der A300 zugelassen ist. Zunächst gibt es eine so genannte „nullte“ Parabel zur Übung für die Crew, anschließend 30 für die Wissenschaft. Nach insgesamt drei bis vier Stunden kehrt das Flugzeug zum Heimatflughafen zurück.

#### Debriefing für den Erfahrungsaustausch

An das Mittagessen schließt sich eine Besprechung (Debriefing) an, bei dem ein Pilot den Forschern die äußeren Bedingungen des zurückliegenden Flugs erläutert. War es besonders turbulent? Oder konnten „reine“ Parabeln mit Schwerkraft hoher Qualität geflogen werden? Das Begleitteam berichtet im Anschluss von den Erfahrungen des Flugtags und gibt Hinweise für den kommenden Tag. Aus jedem Team berichtet abschließend ein Wissenschaftler, wie das Experiment abgelaufen ist und was für den Folgetag geplant ist. Eventuelle Wünsche nach einem veränderten Flugablauf werden hierbei diskutiert. Der Nachmittag dient dann der Vorbereitung des nächsten Flugtags.

Bei einer wissenschaftlichen Standardkampagne wird an drei aufeinander folgenden Tagen geflogen. Dies gibt den Forschern die Möglichkeit, nach jedem Flug eine Zwischenauswertung ihrer Experimente vorzunehmen, Teile der Versuchsanlage auszuwechseln und gegebenenfalls zu überarbeiten sowie Fehlfunktionen zu beheben.

Eine Standard-Flugkampagne bietet mit  $3 \times 31 = 93$  Parabeln aufsummiert 35 Minuten Schwerelosigkeit.

*In this way, 31 parabolas are flown on a normal flight day. The sequence begins with a "number-zero" parabola, which is the first microgravity experience for the experimenters, followed by 30 parabolas for science. After a total of three to four hours, the aircraft returns to its home base.*

#### Debriefing for exchange of experiences

*Lunch is followed by a debriefing session at which the flight captain explains the framework conditions of the flight to the scientists. Had there been any unusual turbulences? Or was it possible to fly "pure" parabolas of high microgravity quality? Next, the support team reports on the day's experiences and gives information about the next day. By way of conclusion, one scientist from each team reports about the course of their experiment and their plans for the next day. At this point, any requests to change the flight sequence are discussed. The afternoon is used to make preparations for the next flight day.*

*A standard scientific campaign includes three successive flight days, giving researchers an opportunity to evaluate their experiments after each flight, replace parts of their test setup as required, and repair any functional defects.*

*A standard flight campaign of 93 parabolas offers 35 minutes of weightlessness in total.*

Während des Parabelmanövers ändert sich die Lage des Flügels zum Horizont  
During the parabolic maneuver the orientation of the wing changes in relation to the horizon



Erfahrungsaustausch beim Debriefing  
Debriefing for exchange of experiences





Schwerelosigkeit erleben  
Experience weightlessness

## Parabelflug – eine ganz-körperliche Erfahrung

### Persönlicher Eindruck eines „Parabonauten“

Nach etwa 30 Minuten Flugdauer erfolgt die Ankündigung der ersten Parabel durch den Kapitän. Erst sind es noch fünf, dann nur noch eine Minute, 30 Sekunden, 5, ..., 3, 2, 1 – „Pull up!“, lautet das Kommando aus dem Cockpit. Für alle Beteiligten ist dies das Signal, dass die Piloten den Airbus A300 ZERO-G nun nach oben ziehen. Das merkt man, wenn man aus dem Fenster die Tragflächen des Flugzeugs im Verhältnis zum Horizont betrachtet: Er „kippt“ aus der Waagerechten.

Das merkt man aber vor allem am eigenen Körper. Auch wenn man die ersten Parabeln unter Spanngurten auf dem Boden liegend verbringt, wird klar: Die Schwerkraft ist plötzlich deutlich höher, man fühlt sich wie zu Boden gepresst. Versucht man, den Arm zu heben, strengt das an. Die meisten Wissenschaftler verbringen diese Flugphase am Boden sitzend, ruhig, ohne Anstrengung.

Dann erfolgt die Ansage der Gradzahlen. 30, 40, 47 Grad sind bald erreicht, bei denen die Cockpit-Crew die Turbinen drosselt, dann „Injection“. Wie ein losgelassener Ball werden die Forscher nun in den Himmel „geworfen“.

Angespanntes Schweigen erfüllt die Kabine, die doppelte Schwerkraft setzt nicht augenblicklich aus, aber sehr rasch. Schummrig kann einem für einen Augenblick zumute sein. Die Orientierungssinne schwanken, die optische Wahrnehmung und das Gleichgewichtsbewusstsein passen nicht mehr zusammen.

## Parabolic Flight – a Total-body Experience

### The personal impressions of a „parabonaut“

*After a flight of about 30 minutes, the captain announces the first parabola. At first, there are five minutes left, then one minute, then 30 seconds, 5, ..., 3, 2, 1 – “pull up!” is the command that comes from the cockpit. For everyone on board, this signal indicates that the pilots are beginning to pull up the Airbus A300 ZERO-G. You notice this if you look out of the window at the angle between the wings and the horizon: The aircraft is “tilting” away from the horizontal.*

*Your own body is where you notice it most, however. Even if you go through the first few parabolas strapped down on the floor, you cannot help noticing the sudden increase in gravity: You feel weighed down. Trying to raise your arm is a strain. Most scientists pass this phase of the flight sitting on the floor, quietly, without effort.*

*The degrees announced from the cockpit pass 30 and 40, bringing closer the 47-degree limit at which the crew throttles down the engines, finally “Injection”. Like a ball that has been released, the researchers are now “thrown” into the sky.*

*Tense silence reigns in the cabin; double gravity disappears, not in an instant but very quickly. You may feel woozy for a moment. Your orientation falters, and your optical perception no longer matches your vestibular sense. Even so, there is spontaneous laughter. As you change to microgravity, you seem to throw off a burden – in the physical as well as in the psychological sense. Weightlessness is intoxicating; it gives you a hilarious feeling of freedom.*

Dennoch: Spontanes Gelächter. Der Wechsel in die Schwerelosigkeit wirkt wie eine schlagartig abfallende Last – im physischen Sinne, aber auch im psychischen. Schwerelosigkeit berauscht, erzeugt ein übermütiges Gefühl des Freiseins.

Und dann hebt man einfach ab. Befindet man sich im Freiflug-Netzkäfig, schwebt man, etwas unkoordiniert, unter die Kabinendecke. Dort prallt man kaum merklich ab und steuert, wie eine über Bande gespielte Billardkugel, auf die Kabinenwand zu. Einfallswinkel gleich Ausfallswinkel. Man fühlt sich wie ein Fisch im Wasser, nur ohne den Wasserwiderstand. Man fühlt sich wie ein freigelassener, mit leichtem Gas gefüllter Ballon auf seinem Weg in den Himmel. Beim Aufschweben spürt man das Blut aus den Waden nach „oben“ strömen. „Oben“ allerdings gibt es für den Moment nicht mehr. Längere Haare stehen unweigerlich zu Berge.

Zunächst macht man zu hektische Bewegungen. Doch Schwerelosigkeit lehrt schnell sanfte Bewegungen, leichte, vorsichtige. Kraft wird vielfach überflüssig, da die Muskeln nicht mehr der auf der Erde allgegenwärtigen Schwerkraft entgegenwirken müssen. Mikrogravitation führt einen zur Leichtigkeit des Seins.

Der Kapitän zählt seinen Count-down 20 – 30 – „Pull out“. Alles plumpst, fällt, sackt hinab – die Fesseln der Erde haben die Forscher wieder fest umschlungen. Ein ernüchterndes Gefühl. Immerhin ist man erleichtert, wenn der Airbus aus einem Winkel von 42 Grad nach unten wieder in die Horizontale abgefangen ist.

Dann herrscht wieder normale Schwerkraft, Alltag. Mit nur wenigen Minuten Pause wiederholt sich das Auf und Ab, Schwere – Überschwere – Schwerelosigkeit – Überschwere – Schwere. Und damit das Karussell der begleitenden Emotionen: Das Parabelfliegen ist eine ganz-körperliche Erfahrung.

*And then you simply lift off. If you are inside the cage of free-fall netting, you float towards the ceiling of the cabin in a somewhat uncoordinated fashion. Bouncing back so that you hardly notice it, you make for the cabin wall like a billiard ball being cushioned. Angle of incidence equals angle of emergence. You feel like a fish in the sea, but without the water drag. Or like a released gas-filled balloon on its way into the sky. As you float upwards, you feel the blood flowing “up” from your calves. However there is no “up” for the moment. If you wear long hair, it will inevitably rise stiffly.*

*In the beginning your movements are far too hectic. However, weightlessness quickly teaches you how to move gently and carefully. You need much less force because your muscles no longer have to counteract the gravity that is present everywhere on Earth. Microgravity induces lightness of being.*

*Then, the captain’s countdown comes: “20 – 30 – pull out”. Everything is dropping down, falling or sagging – Earth’s fetters have closed again around the researchers. A sobering thought. At all events, you are relieved when the Airbus returns to horizontal from a downward angle of 42 degrees.*

*Normal, everyday gravity reigns again. After a break of only a few minutes, the cycle of up and down begins again, gravity – hypergravity – weightlessness – hypergravity – gravity. With it, the carousel of accompanying emotions returns: A parabolic flight is a total-body experience.*



Erleben Schwerelosigkeit  
Experience weightlessness





Von der Idee bis zur Schwerelosigkeit

| Vor dem Parabelflug | Aktivität                                                                                                                                                                                            |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 12 Monate           | Einreichen eines Experimentvorschlags                                                                                                                                                                |
| 10 – 12 Monate      | Begutachtung                                                                                                                                                                                         |
| 6 Monate            | Auswahl der Experimente für eine spezielle Flugkampagne                                                                                                                                              |
| 5 Monate            | Erstellen einer technischen Beschreibung und ggf. eines medizinischen Versuchsprotokolls                                                                                                             |
| 4 Monate            | Besuch und Beratung durch Ingenieure der Firma Novespace                                                                                                                                             |
| 4 – 1 Monate        | Bau der Experimentanlagen, technische, wissenschaftliche, organisatorische Vorbereitung des Parabelflugexperiments; flugmedizinische Untersuchung aller für den Mitflug vorgesehenen Wissenschaftler |

| Die Parabelflug-Kampagne        | Aktivität                                                                                                                                                         |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Dienstag, 1. Woche              | Anreise der Wissenschaftler                                                                                                                                       |
| Mittwoch – Freitag, 1. Woche    | Aufbau der Experimentanlagen und Einbau in den Airbus                                                                                                             |
| Montag, 2. Woche                | Sicherheitsüberprüfung der Experimentanlagen im Airbus<br>Sicherheitseinweisung für alle Passagiere mit Erläuterung der Flugmanöver und des Experimentalprogramms |
| Dienstag – Donnerstag, 2. Woche | Drei Flugtage                                                                                                                                                     |
| Freitag, 2. Woche               | Reserveflugtag; Ausbau der Experimentanlagen aus dem A300 ZERO-G und Rückreise der Wissenschaftler                                                                |

From an Idea to Weightlessness

| Before the flight | Activity                                                                                                                                                                                               |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 12 months         | Submission of an experiment proposal                                                                                                                                                                   |
| 10-12 months      | Review                                                                                                                                                                                                 |
| 6 months          | Selection of experiments for a specific flight campaign                                                                                                                                                |
| 5 months          | Development of a technical description and, if necessary, a medical test protocol                                                                                                                      |
| 4 months          | Visit and consultation by Novespace engineers                                                                                                                                                          |
| 4-1 months        | Construction of the experimental apparatus; technical, scientific, organizational preparations for the parabolic-flight experiment; aeromedical examination of all scientists scheduled for the flight |

| The parabolic-flight campaign | Activity                                                                                                                                                         |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tuesday, week 1               | Arrivals                                                                                                                                                         |
| Wednesday – Friday, week 1    | Assembly of the experimental apparatus and installation in the Airbus                                                                                            |
| Monday, week 2                | Safety check of the experimental apparatus in the Airbus<br>Safety instructions for all passengers, explanation of flight maneuvers and the experimental program |
| Tuesday to Thursday, week 2   | Three flight days                                                                                                                                                |
| Friday, week 2                | Reserve flight day; removal of experimental apparatus from the A300 ZERO-G; departures                                                                           |



Physikalische Forschung  
Physical Research

Zugang zu  
Parabelflügen

Auf einem DLR-Parabelflug führen Universitäten, Kliniken, Forschungsinstitutionen der Max-Planck- und Fraunhofer-Gesellschaft, Firmen und DLR-Forschungsinstitute wissenschaftliche und technische Experimente durch. Interessenten aus Deutschland können einen Forschungsvorschlag an das DLR senden, der dann von mindestens zwei externen Gutachtern beurteilt wird. Der Vorschlag muss wissenschaftliche oder technische Fragen enthalten, zu deren Lösung Phasen von 20 Sekunden Schwerelosigkeit notwendig und auch ausreichend sind.

Es ist außerdem erforderlich, dass die Wissenschaftler wissenschaftliche Kompetenz auf ihrem Fachgebiet vorweisen

Access to  
Parabolic Flights

DLR's parabolic flights are used by universities, hospitals, research institutions belonging to the Max Planck or Fraunhofer society, companies, and DLR research institutions to conduct scientific and technical experiments. Candidates from Germany may submit a research proposal to DLR which will be reviewed by no less than two external experts. Proposals must deal with scientific or technical issues that need 20 seconds of weightlessness and can be resolved within this period.





Transport der Geräte in den A300 ZERO-G  
Transport of the experiment facilities into the A300 ZERO-G



können und wesentliche neue Erkenntnisse erwarten. Vom DLR werden nur solche Vorschläge für einen Parabelflug ausgewählt, die hohen wissenschaftlichen Ansprüchen genügen.

Je nach Bedarf werden drei bis fünf Flugtage veranstaltet. Nach der Rückreise werden die Experimentdaten im Labor am Heimatort ausgewertet. Die Ergebnisse werden in Berichten und Fachzeitschriften veröffentlicht und auf Kongressen präsentiert. Sollten ergänzende Experimente bei Parabelflügen nötig sein, so sind weitere Flüge nach sechs bis zwölf Monaten möglich.

*Furthermore, scientists should expect to gain new insights of major importance, besides being able to demonstrate competence and scientific expertise in their field. DLR will select only those proposals for a parabolic flight that conform to stringent scientific demands.*

*Three to five flight days may be held, depending on demand. After their return home, scientists evaluate their experiments in their laboratories, publishing their results in reports and journals.*

## Medizinische Bedingungen für einen Mitflug

Personen, die an einem Parabelflug teilnehmen möchten, müssen sich flugmedizinisch untersuchen lassen. Der Standard entspricht hierbei der Untersuchung zum Erwerb einer Privatpilotenlizenz (JAR-FCL 3 Class II). So werden etwa Patienten mit Diabetes, großen Kreislaufproblemen oder Epilepsie nicht für den Flug zugelassen, da dieser für den Körper sehr anstrengend ist. Gegen eventuelle Erscheinungen der Reisekrankheit während der Parabelmanöver werden vor dem Flug entsprechende Medikamente angeboten. Während des Flugs unterstützen ein Parabelflugerfahrenes Team und ein Fliegerarzt des französischen Testflugzentrums CEV sowie Mitarbeiter von Novespace die Forscher.

## Medical requirements for passengers

*All persons wishing to participate in a parabolic flight must undergo an aeromedical examination. Its standard corresponds to that of the examination which is required to acquire a private pilot's license (JAR FCL 2 Class III). Patients suffering from diabetes, major cardiovascular problems, or epilepsy will not be permitted on the flight because of the great physical stress involved. Before the flight, passengers are given medication to counteract any symptoms of travel sickness that may appear during the parabolic maneuvers. During the flight itself, researchers are supported by a team experienced in parabolic flight, an aeromedical specialist from the French test-flight center CEV, and Novespace employees.*



Vorbereitung der Experimente am Boden  
Preparation of experiments on the ground

## Nachwuchsförderung

Das DLR als größte ingenieurwissenschaftliche Forschungseinrichtung des Bundes sieht es als eines seiner wichtigsten Ziele an, junge Menschen für Wissenschaft und Technik zu begeistern. Nach dem Motto „Raus aus der Schule, rein ins Labor“ werden Schülerinnen und Schüler in den DLR\_School\_Labs über wichtige Forschungsthemen informiert und experimentieren selbst.

Bei den Parabelflügen ermöglicht das DLR Schülerinnen und Schülern die Mitarbeit an wissenschaftlichen Experimenten des DLR\_School\_Labs oder der Universitäten. Ein volljähriges Mitglied einer Arbeitsgruppe erhält dann die Chance, im Airbus A300 ZERO-G mitzufliegen und selbst unter Schwerelosigkeit zu forschen.

## Youth promotion

*As the largest aerospace research institution of the federal government, it is one of the foremost goals of DLR to fire young people with enthusiasm for science and technology. "Out of school and into the lab" is the motto under which pupils come to the DLR\_School\_Labs to learn about major research issues and run their own experiments.*

*With regard to parabolic flights, DLR offers pupils an opportunity to cooperate in scientific experiments conducted by School\_Labs or universities. One member of each working group, who must be of age, will then be given an opportunity to fly on the Airbus A300 ZERO-G and conduct his or her own research in weightlessness.*



Partner und betei-  
ligte Organisationen

Ein so komplexes Programm wie die DLR-Parabelflüge ist auf viele Partner angewiesen. Neben der fachlichen und organisatorischen Vorbereitung durch die DLR Raumfahrt-Agentur und der Betreiberfirma Novespace sind zahlreiche weitere Einrichtungen an der Planung und Durchführung eines DLR-Parabelflugs beteiligt.

Partners and  
Participating  
Organizations

*A program as complex as the DLR's parabolic flights depends on many partners. Next to DLR's own Space Agency as well as Novespace, which handle technical and organizational preparations, numerous other institutions are involved in planning and implementing a DLR parabolic-flight campaign.*



DFS Deutsche Flugsicherung



Beteiligte bei DLR-Parabelflügen in Frankreich

|                                      |                                                                                                        |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| DLR Raumfahrt-Agentur                | Experimentauswahl, Veranstalter der Parabelflüge; bei Durchführung in Deutschland: Vor-Ort-Management  |
| DLR Nutzerunterstützungszentrum MUSC | Wissenschaftliche und technische Unterstützung von Nutzern und Nutzergruppen                           |
| DLR Flugmedizinisches Zentrum        | Flugmedizinische Untersuchung von Parabelflug-Teilnehmern, medizinische Unterstützung der Flüge        |
| Novespace SA                         | Technische und organisatorische Ausführung der Parabelflüge, Eigentümer des Airbus A300 ZERO-G         |
| DGA – CEV Centre d’Essais en Vol     | Französisches Testflugzentrum beaufsichtigt Parabelflüge, stellt Crew, Fliegerarzt und Sicherheitsteam |
| Sabena technics                      | Wartung und Betrieb des Airbus A300 ZERO-G                                                             |

Zusätzliche Beteiligte bei DLR-Parabelflügen in Deutschland

|                                                            |                                                                                        |
|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Flughafen Köln/Bonn GmbH                                   | Bereitstellung von Räumlichkeiten und Infrastruktur, Gesamtunterstützung der Kampagne  |
| Deutsche Luftwaffe, Standort Köln/Bonn                     | Logistische Unterstützung                                                              |
| DLR_School_Lab Köln-Porz                                   | Organisation und Unterstützung von Schülerexperimenten                                 |
| DFS Deutsche Flugsicherung GmbH und Eurocontrol Maastricht | Bereitstellung der Fluggebiete für die Parabelmanöver, Flugsicherung während der Flüge |

The following institutions are involved in DLR's parabolic flight campaigns in France

|                                |                                                                                                                                     |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| DLR Space Agency               | Selection of experiments, organization of flight campaigns, on-site management of campaigns conducted in Germany                    |
| DLR User Support Centre MUSC   | Scientific and technical support of users and user groups                                                                           |
| DLR Aeromedical Center         | Aeromedical examination of parabolic-flight passengers, medical flight support                                                      |
| Novespace SA                   | Campaign implementation in technical and organizational terms, proprietor of the Airbus A300 ZERO-G                                 |
| DGA-CEV Centre d’Essais en Vol | French test-flight center which is responsible for operation and safety; provides the crew, the medical officer, and the cabin crew |
| Sabena technics                | Maintenance of the Airbus A300 ZERO-G                                                                                               |

The following additional partners are involved in DLR's parabolic flight campaigns in Germany

|                                                            |                                                                                            |
|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Köln/Bonn airport GmbH                                     | Provision of accommodation and infrastructure, overall campaign support                    |
| German Air Force, Köln (Cologne)/Bonn base                 | Logistical support                                                                         |
| DLR_School_Lab Köln-Porz                                   | Organization and support of pupils' experiments                                            |
| DFS Deutsche Flugsicherung GmbH and Eurocontrol Maastricht | Identification of flight areas for parabolic maneuvers, air-traffic control during flights |





Flugkapitän des Airbus A300 ZERO-G  
Flight captain of the Airbus A300 ZERO-G

## Im Gespräch mit Gilles Le Barzic ...

... (Jahrgang 1951), dem Kapitän des  
Parabelflugzeugs A300 ZERO-G

### Welche Beweggründe führten zu Ihrer Entscheidung, Pilot zu werden?

Wenn ich mich recht zurückerinnere, wollte ich schon als kleiner Junge Pilot werden. Damals selbstverständlich für kommerzielle Flüge, denn es war die Zeit der frühen Boeing 707, der Caravelle und anderer sehr faszinierender neuer Flugzeuge. Dann aber habe ich viele Bücher gelesen, die mich inspirierten, mich als Pilot beim französischen Militär zu bewerben. Als Student war ich im „Aero Club“, wo viele zusammenkamen, die vom Fliegen fasziniert waren. Dann wurde ich Mitarbeiter in der Französischen Luftwaffe, 1972 schließlich Pilot. Für die Fortbildung zum Testpilot entschied ich mich später, weil das für meine Entwicklung ein spannendes Ziel war. Schließlich muss man auf dem einmal eingeschlagenen Pfad fortschreiten und darf nicht auf dem erreichten Level verharren. Es ist Teil unserer Natur, unsere Grenzen stetig zu erweitern. So erhielt ich 1982 meine Lizenz als Testpilot.

### Also war es eine menschliche Herausforderung?

Auf jeden Fall. Es ist eine Sache, ein Flugzeug zu fliegen, aber eine ganz andere zu erfahren, wie es mit all seiner Technik fliegt. Und das ist eine wirklich spannende Sache! Ich mag es nicht, Dinge zu tun, die ich nicht verstehe.

### Wie sah Ihre Tätigkeit als Testpilot vor den Parabelflügen aus?

Als Testpilot spezialisierte ich mich auf Kampfflugzeuge – natürlich deshalb, weil ich damals jung und für die Mirage 2000

## Interview with Gilles Le Barzic ...

... (born in 1951), the captain of the  
parabolic aircraft A300 ZERO-G

### What were the reasons that moti- vated you to become a pilot?

*If I remember rightly, I was a little boy when I first wanted to become a pilot. For commercial flights only, of course, for this was the time at which the early Boeing 707s, the Caravelle, and other highly fascinating new aircraft made their appearance. Later, however, I read many books that inspired me to apply to the French military for employment as a pilot. As a student, I belonged to the „Aero Club“ together with many others who were fascinated by flying. I then worked for the French air force, finally becoming a pilot in 1972. Later, I decided to train as a test pilot because this was such a thrilling target for my career. After all, you must follow the path you have chosen, making constant progress rather than remain at the level you have reached. It is part of our nature to expand our limits continually. This is how I obtained my test pilot's license in 1982.*

### So it was a personal challenge?

*That is for sure. Flying an aircraft is one thing, but to learn how it flies with all its technical equipment is quite another matter. And besides, it is really exciting! I don't like doing things I do not understand.*

### What did you do as a test pilot before you started on parabolic flights?

*As a test pilot, I specialized in fighters – because I was young at the time, naturally, and because I was assigned to*

zuständig war. Ich flog eine ganze Reihe verschiedener Maschinen: den Alpha Jet, die Mirage 3 bis 5, die Mirage 2000 und diverse Versionen für den Export. Insgesamt habe ich über 115 Flugzeugtypen geflogen, von den kleinsten bis zu den größten. Die kleinste Maschine war die amerikanische Pitts, die größten die DC-8 und der Airbus A300. Dazwischen lag alles, was man sich nur vorstellen kann: Feuerlöschflugzeuge wie die Canadair und die Turbofirecat. Kürzlich bin ich die Dash8 Q400 geflogen, ein Flugzeug für den Französischen Zivilschutz. Zudem war ich Spezialist für die Radar- und Waffensysteme der Kampffjets.

### Wie kam es dazu, dass Sie „Parabel- flieger“ wurden? Sind Sie mit dem Herzen eventuell ein Astronaut?

Ja, vielleicht. Tatsächlich war ich zu einem sehr frühen Stadium der europäischen bemannten Raumfahrt einmal Kandidat für die Ausbildung zum Astronauten. Aber mit 30 war ich wohl noch zu jung. Auch später hätte sich noch einmal die Gelegenheit ergeben, Astronaut zu werden, aber ich bevorzuge mein privates Familienleben und meine Arbeit als Pilot. Denn als Astronauten-Kandidat muss man mindestens fünf bis sieben Jahre warten, bis man überhaupt einmal fliegen kann. Das war mir doch zu lange.

Nachdem ich die Tests mit der Mirage 2000-5 abgeschlossen hatte, war mir klar, dass ich allmählich zu alt für diese Sachen war. Ich wurde 50, und in diesem Alter muss man auf sich achtgeben.

Die Testflüge wurden zu anstrengend. Als Kampfpilot muss man mit spätestens 42 Jahren aufhören. Ich war bis 50 auf Testflügen im Einsatz. Da entwickelte sich für mich etwas sehr Interessantes: Das Französische Testflugzentrum (CEV) suchte für Parabelflüge einen guten, alten Piloten. Mir war klar: Das bist Du!

*the Mirage 2000. I have flown quite a number of different machines: Alpha Jet, Mirage 3 to 5, Mirage 2000, and a variety of versions for export. All in all, I have flown more than 115 types of aircraft, small and large. The smallest machine was the American Pitts, the largest the DC-8 and the Airbus A300. In between, there was everything you can imagine, even fire-fighting aircraft such as the Canadair and the Turbo Firecat. A short while ago, I flew the Dash-8 Q400, a aircraft for the French civil defense system. In addition, I specialized in fighter radar and weapons systems.*

### How did you come to be a “parabola flyer”? Is it possible that you are an astronaut at the bottom of your heart?

*Yes, perhaps. I once actually was a candidate for astronaut training at a very early stage of manned space flight in Europe. I was 30 then, so I probably was too young. Even if another occasion to become an astronaut had arisen, I now prefer my private family life and my work as a pilot. For as a candidate astronaut, you needed to wait for at least five to seven years before you get to fly for the first time. That was too long for me. After I had completed the series of tests of the Mirage 2000-5, I began to realize that I was growing too old for these things. I was turning 50 then, and at that age you had better take care of yourself. Test flights were becoming too much of a strain. As a fighter pilot, you normally stop at 42, but I was flying tests until the age of 50. Suddenly, a very interesting opportunity opened up: The French Test-Flight Centre (CEV) was looking for a good old pilot of long standing for its parabolic flights. That's you!, I thought.*





#### Und Sie bekamen den Job!

Ja. 2000 wurde ich Kapitän des A300 ZERO-G.

#### Welche Zusatzausbildung brauchten Sie für das Durchführen von Parabelflügen?

Das war nicht so schwierig. Als junger Pilot wäre es das wahrscheinlich gewesen. Wenn man aber wie ich schon so viele verschiedene Maschinen geflogen war, dann ist es einfach, sich auf eine weitere einzustellen. Ich hatte mit dem A300 ZERO-G keine Schwierigkeiten. Dennoch: Jede einzelne Parabel ist sehr schwierig zu fliegen, jede ist anders. Das hat sich bis heute nicht geändert.

#### And you got the job!

Yes. In 2000, I was made captain of the A300 ZERO-G.

#### What additional training did you need for parabolic flights?

That was not too difficult, although it probably would have been when I was still a young pilot. However, somebody like me, who has flown so many different machines before, finds it easy to adapt to another one. I had no difficulties with the A300 ZERO-G. Nevertheless: Every single parabola is very difficult to fly, they are all different. This remains true to this day.

#### Kann man das Fliegen von Parabeln in Simulatoren testen?

Wir versuchten es, aber es ist nicht realistisch. Diese Simulatoren sind für derartige Manöver nicht konzipiert – und man ist nicht schwerelos!

#### Wie bereiten Sie sich auf eine Parabelflug-Kampagne vor?

Zunächst einmal ruhe ich mich vorher gut aus. Ich esse und trinke nicht zu viel. Aber ich muss kein Handbuch mehr lesen. Für mich ist es nicht mehr nötig, aus einem Buch zu lernen, wie man Parabeln fliegt. Immerhin habe ich Ende 2006 meine 5.000ste Parabel geflogen.

Vor den Flügen müssen wir den Flugplan ausfüllen, die meteorologischen Bedingungen überprüfen und uns mit der Flugkontrolle absprechen, wie wir fliegen und wann wir die Parabeln durchführen werden. Wir müssen festlegen, wo genau wir fliegen werden, und dementsprechend, wie viel Treibstoff wir mitnehmen müssen. Es ist ein normaler Job für einen normalen Piloten. Es hilft dabei aber, dass wir immer das gleiche, eingespielte Team sind, das schon lange zusammen fliegt.

#### Und welche Arbeit fällt nach einem Parabelflug für Sie an?

Dann muss ich eine Nachbesprechung mit den Technikern führen, die Flugkontrolle anrufen und mich mit den Wissenschaftlern über die Qualität des Flugs und der erhaltenen Schwerelosigkeit unterhalten. Schließlich muss ich den Flug für den nächsten Tag vorbereiten. Das war dann wirklich ein sehr anstrengender Tag!

#### Can flying parabolas be tested in a simulator?

We tried, but it is not realistic. Simulators are not intended for such maneuvers, and besides, you are not weightless.

#### How do you prepare for a parabolic-flight campaign?

First of all, I make sure I get a good rest beforehand. I do not eat and drink too much. But I do not need to read the manual any more. I no longer need to look into a book to learn how to fly parabolas. After all, I have flown 5,000 parabolas by the end of 2006.

Before each flight, we fill in the flight plan, check the meteorological conditions, and consult with air-traffic control about our route and the time at which we are going to fly our parabolas. We have to decide exactly where we are going to fly and, accordingly, how much fuel we need to take along. It is a normal job for a normal pilot. It helps, however, to have the same well-integrated team around, people with whom you have been flying for a long time.

#### And what are your duties after a parabolic flight?

I have to conduct a debriefing with the engineers, call air-traffic control, and talk to the scientists about the quality of the flight and the zero-gravity conditions obtained. Finally, I have to make preparations for next day's flight. That is really a very strenuous day!



Im Cockpit  
In the cockpit



# Forschung unter Schwerelosigkeit

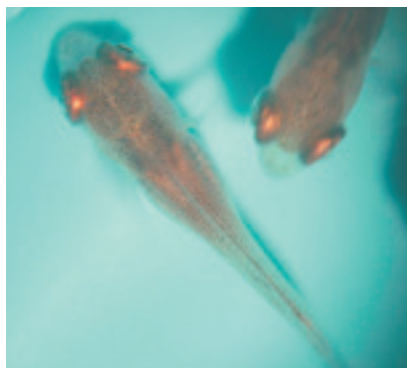
## Research in Weightlessness



Die Parabelflüge des DLR dienen zum einen der eigenständigen Forschung, zum anderen der Vorbereitung und Begleitung von Experimenten im Weltraum. Das Forschungsspektrum umfasst nahezu alle Themen des Programms „Forschung unter Weltraumbedingungen“ und reicht von der physikalischen Grundlagenforschung bis zur Medizin. Im Folgenden werden die Forschungsschwerpunkte und ausgewählte Ergebnisse näher vorgestellt.



Humanphysiologische Experimente  
*Humanphysiological experiments*



Fische als Modelltiere für die Gleichgewichtsforschung  
*Fish as model organisms for vestibular research*

### Themen biowissenschaftlicher Parabelflugexperimente:

- Schwerkraftwirkung auf Ionenkanäle und Aktionspotenziale
- Schwerkraftwahrnehmung, -verarbeitung und -reaktionen bei einzelligen Augentierchen und Geißeltierchen, bei der Armleuchteralge Chara und bei Pflanzen
- Schnelle schwerkraftbezogene Reaktionen bei Pilzen
- Gleichgewichtssystem und Verhalten bei Fischen
- Das Immunsystem: Untersuchungen an Zellen sowie der Einfluss von Stress und wechselnden Schwerkraftbedingungen
- Verschiebung von Körperflüssigkeiten (Blut, Lymphe) und Wärmeregulation
- Lungenfunktion bei wechselnden Schwerkraftbedingungen
- Steuerung von Bewegungen und Orientierung im Raum

DLR's parabolic flights are used both for stand-alone research and to prepare for and complement experiments in space. The range of research topics covered encompasses almost every field of study included in the „Research under space conditions“ program, from fundamental physics research to medicine. The major fields of research and a selection of results are described in more detail below.

### Parabolic Flight Experiments in Life Sciences

- Effect of gravity on ion channels and action potentials
- Perception, transduction and responses to gravity in unicellular *Euglena* and other flagellates, Charales pondweeds, and plants
- Rapid gravity-induced responses in fungi
- Vestibular system and behavior in fish
- The immune system: experiments on cells and the effects of stress and varying gravity conditions
- Displacement of body fluids (blood, lymph) and heat regulation
- Lung function under varying gravity conditions
- Control of movement and orientation in space
- Role of the human vestibular system
- Parabolic flight, stress and psycho-physiological performance in humans

### Biowissenschaftliche Forschung

In der biowissenschaftlichen Forschung auf Parabelflügen haben sich in den letzten Jahren drei Schwerpunktthemen etabliert: Die Aufklärung der Wirkungsweise der Schwerkraft in Einzellern, Pflanzen und Tieren steht im Mittelpunkt der gravitationsbiologischen Forschung. Im zweiten Schwerpunktthema, der integrativen Physiologie, geht es um die Anpassung des menschlichen Körpers an veränderte Schwerkraftbedingungen. Die Wissenschaftler analysieren hier vor allem Reaktionen des Herz-Kreislauf-Systems und des Gleichgewichtssystems sowie die Bewegungskoordination und die Verschiebung von Flüssigkeiten entlang der Körperachse. Untersuchungen der psycho-physiologischen Leistungsfähigkeit des Menschen beim Parabelflug einschließlich der Rolle des Immunsystems bilden den dritten Schwerpunkt.

## Biologie

### Forschungsschwerpunkt Gravitationsbiologie: oben oder unten?

Für das Wachstum von Pflanzen ist die Schwerkraft – neben dem Licht – von entscheidender Bedeutung: Wurzeln wachsen zum Erdmittelpunkt hin, um die Pflanzen im Boden zu verankern und mit Wasser und Nährsalzen zu versorgen. Sprosse wachsen vom Erdmittelpunkt weg, um die Blätter ans Licht zu bringen und so eine optimale Photosynthese zu ermöglichen. Dieses gerichtete Wachstum nennt man Gravitropismus. Aber auch für Einzellern wie das Augentierchen *Euglena* oder das Pantoffeltierchen *Paramecium* spielt die Schwerkraft eine zentrale Rolle für ihre Orientierung im Wasser und damit für das Aufsuchen der optimalen Wachstums- und Lebensbedingungen. Dieses Verhalten wird als „Gravitaxis“ bezeichnet.

### Life Sciences Research

Three areas of study have emerged in recent years as the major focus of life sciences research conducted on parabolic flights. The first of these is improving our understanding of the effects of gravity on plants, animals, and unicellular organisms. The second focus area, integrative physiology, deals with the adaptation of the human body to different gravity conditions. Researchers in this field are concentrating their efforts on analyzing the responses of the cardiovascular and vestibular systems, the coordination of movement, and the displacement of fluids along the body axis. Parabolic flight experiments into the psycho-physiological performance of humans, including the role of the immune system, form the third major area of activity.

## Biology

### Research Focus on Gravitational Biology: Is It Up or Down?

Alongside light, gravity is one of the major factors affecting the growth of a plant. Roots grow towards the center of the Earth to anchor the plant in the soil and to supply it with water and nutrients. Shoots grow away from the center of the Earth to bring leaves towards the light, thereby optimizing the process of photosynthesis. This directional growth is known as gravitropism. Gravity's central role also extends to flagellates such as *Euglena* and other microorganisms including *Paramecium*, where it is used for orientation in the water, thus allowing organisms to locate the best conditions for living and growth. This behavior is referred to as "gravitaxis."





Das Augentierchen *Euglena gracilis*, eine Modellzelle für die Forschung  
*Euglena – a model cell for research*

Wegen der großen Bedeutung dieser Prozesse und der zentralen Rolle der Schwerkraft ist es sicherlich nicht überraschend, dass Wissenschaftler seit vielen Jahren versuchen, den grundlegenden Mechanismen der Schwerkraftwahrnehmung und -verarbeitung auf die Spur zu kommen. Und in der Tat wurden gerade durch Schwerelosigkeits-Experimente – nicht zuletzt auf Parabelflügen – in den letzten Jahren entscheidende Fortschritte erzielt.

#### Gravitaxis beim Augentierchen: 100-jähriger Streit beendet

Viele Mikroorganismen orientieren sich im Wasser mittels Schwerkraft und versuchen so, einen für Photosynthese, Fortpflanzung und Nährstoffangebot optimalen Lebensraum zu finden. Jahrzehntelang gab es Streit unter den Wissenschaftlern, ob die Schwerkraftreaktion dieser Organismen ein rein physikalischer Vorgang sei oder ob physiologische Prozesse zugrunde liegen. Mit Ergebnissen aus Experimenten auf Parabelflügen und TEXUS-Raketen konnten Wissenschaftler des DLR-Instituts für Luft- und Raumfahrtmedizin sowie der Universität Erlangen die Frage nun eindeutig beantworten: Auch Mikroorganismen besitzen einen physiologischen Mechanismus zur Schwerkraftwahrnehmung. Um genau zu sein: Es wurden im Zuge der Evolution sogar zwei verschiedene Mechanismen entwickelt. Beim Geißeltierchen „*Loxodes*“ erfolgt die

*Due to the great significance of these processes and the central role gravity plays, it certainly comes as no surprise that scientists have been searching over many years for the fundamental mechanisms underlying perception and transduction of gravity. Indeed, experiments in micro gravity – not least on board parabolic flights – have led directly to key advances over the last few years.*

#### Gravitaxis in *Euglena*: an end to a hundred years of controversy

*Many microorganisms are able to orientate themselves in water by means of gravity to allow them to find the optimal habitat for photosynthesis, reproduction, and absorption of nutrients. For decades scientists have argued over whether the response to gravity exhibited by these organisms is a purely physical mechanism or whether there are underlying physiological processes. Thanks to the results from experiments on parabolic flights and TEXUS rockets, researchers from the DLR Institute of Aerospace Medicine and the University of Erlangen, Germany, now have a definitive answer to this question: even microorganisms possess a physiological mechanism for perceiving gravity. In fact, to be precise, the course of evolution has seen two different mechanisms develop. With the flagellate *Loxodes*, gravity perception is achieved through special organelles known as “Müller vesicles.” By contrast, *Euglena* and *Paramecium* quantify gravity using the difference in density between the cell fluid and the surrounding medium.*

Schwerkraftwahrnehmung über spezielle Organelle, die sogenannten „Müller-Vesikel“. Das Augentierchen *Euglena* und das Pantoffeltierchen *Paramecium* dagegen messen die Schwerkraft über den Dichteunterschied zwischen der Zellflüssigkeit und dem umgebenden Medium.

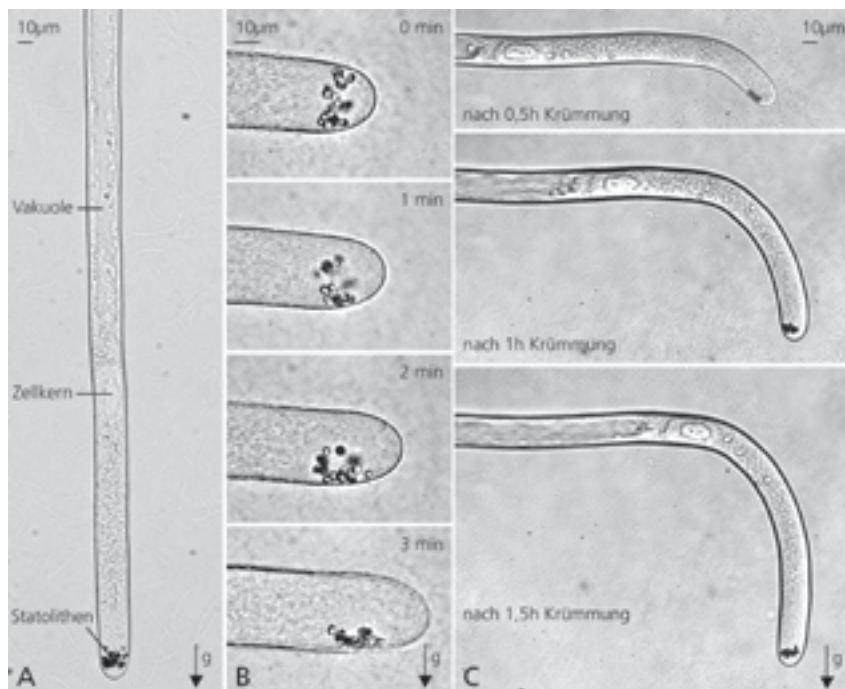
Auch die einzelnen Schritte dieser Orientierungsreaktion von der Reizwahrnehmung über die Umwandlung des Reizes in ein zelleigenes Signal bis zur eigentlichen Reaktion konnte für die Gravitaxis bei *Euglena* durch Schwerelosigkeitsexperimente weitgehend aufgeklärt werden. Die Wissenschaftler aus Erlangen gehen heute davon aus, dass durch speziell angeordnete mechanosensitive Kanäle in der Zellmembran ein Einstrom von Calcium in die Zelle ausgelöst wird, wenn die Lage der Zelle im Raum bestimmte Bedingungen erfüllt. Das Calcium wirkt dann in der Zelle über eine Reihe von Eiweißstoffen wie beispielsweise Calmodulin aktivierend auf Enzyme, die Biokatalysatoren der Zelle. Eines dieser Enzyme, eine Adenylatcyclase, stellt aus Adenosintriphosphat (ATP = Energiewährung der Zelle) cyclisches Adenosinmonophosphat (cAMP) her. Dieses Molekül ist ein verbreiteter Botenstoff („second messenger“), der seinerseits Proteine oder Ionenkanäle regulieren kann. Wie das cAMP dann letztendlich auf den Geißelschlag wirkt und damit für die richtige räumliche Orientierung im Lebensraum Wasser sorgt, ist allerdings noch unklar.

*Microgravity experiments on gravitaxis in *Euglena* have also been able to broadly qualify the individual steps forming this orientation response, from stimulus perception by conversion of the stimulus into an intracellular signal, through to the actual response itself.*

*It is now assumed by the researchers in Erlangen that specially arranged mechanosensitive channels in the cell membrane trigger an influx of calcium into the cell when the position of the cell in space satisfies certain conditions. The calcium then has an activating effect on enzymes in the cell, the cell biocatalysts, via a series of proteins including calmodulin. One of these enzymes, an adenylate cyclase, produces cyclic adenosine monophosphate (cAMP) from adenosine triphosphate (ATP), the “energy currency” of the cell. The cAMP molecule is a common messenger substance (second messenger) that has the ability to regulate proteins and ion channels. Exactly how cAMP ultimately produces a flagellate response to achieve the correct orientation in the aquatic environment is, as yet, unclear.*



Die Armeleuchteralge Chara reagiert auf die Schwerkraft  
The stonewort reacts to gravity



#### Gravitropismus bei Pflanzen: Wurzel und Spross kennen die Wachstumsrichtung

Pflanzen richten ihr Wachstum an der Schwerkraft aus. Doch wie wird sie eigentlich wahrgenommen und verarbeitet? Wenn Organismen oder Pflanzenorgane einen äußeren Reiz erfahren, beispielsweise ein Getreidehalm durch Wind auf die Erde gedrückt wurde, wird nach der Wahrnehmung dieses Reizes und einer folgenden Signalleitung eine Wachstumsreaktion in Gang gesetzt, die den Halm wieder aufrichtet. Die eigentliche Reizerkennung findet in spezialisierten Zellen statt, die jede Lageänderung eines Pflanzenorgans in Bezug zur Schwerkraft-richtung erkennen. Gemäß der Stärke-Statolithen-Hypothese nutzen höhere Pflanzen stärkegefüllte Organelle in diesen Zellen als Statolithen, die die Schwerkraft-richtung „messen“.

#### Gravitropism in plants: Root and shoot knowing the direction of growth

*The direction in which a plant grows is directed by gravity. But how exactly is gravity perceived and utilized? When organisms or plant organs experience an external stimulus, take a stalk of corn pushed to ground by the wind for example, the perception of this stimulus and the resultant sequence of signals initiates a growth response that causes the stalk to return to the vertical. The actual detection of the stimulus takes place in specialized cells that identify the change in position of a plant organ with reference to the direction of gravity. The starch-statolith hypothesis proposes that higher plants use starch-filled organelles in these cells as statoliths that can “measure” the direction of gravity.*

Zwei Arbeitsgruppen der Universität Bonn haben in den letzten Jahren mit der einzelligen Grünalge „Chara“ und Pflanzen wie Kresse oder Arabidopsis, der Acker-schmalwand, experimentiert, um zu beantworten, was genau bei der Schwerkraft-wahrnehmung und der Signalverarbeitung bei diesen Pflanzen passiert. Schwerelosig-keitsexperimente trugen maßgeblich zu der Erkenntnis bei, dass ein hochdynamisches Proteinsystem, das sogenannte „Aktomyosin“, für die Lage der Statolithen verantwortlich ist und zudem auch die Verlagerung der Statolithen bei geänderter Schwerkraft-richtung kontrolliert. Aktomyosin ist das Eiweiß, das bei Tieren und beim Menschen für die Funktion der Muskeln zuständig ist.

Die Statolithen werden durch das Aktomyosin und die Schwerkraft in einer stabilen Gleichgewichtsposition gehalten. Dieses Gleichgewicht wird gestört, wenn die Pflanze zum Beispiel geknickt oder durch starken Wind und Regen geneigt wird. Dann wird die Zelle aus der Senkrechten gelenkt und die Statolithen sinken der Schwerkraft-richtung folgend auf die untere Zellflanke. Das Aktomyosin sorgt nun dafür, dass die Statolithen in Kontakt mit den eigentlichen Sensoren kommen. Das sind Rezeptorproteine, die durch den Kontakt mit den Statolithen aktiviert werden und ein physiologisches Signal erzeugen. Ein solches Signal bewirkt Änderungen in zahlreichen physiologischen Vorgängen in der Zelle, die in die Steuerung des Wachstums eingreifen und so die Rückführung des Pflanzenorgans in die ursprüngliche Wachstumsrichtung einleiten.

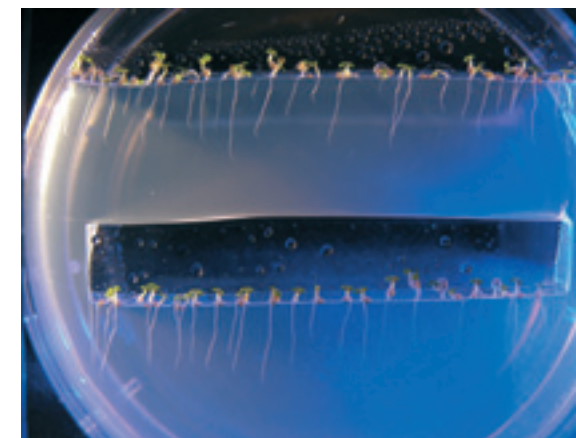
Diese Ergebnisse unterstützen die Anerkennung der Stärke-Statolithen-Hypothese in der Fachwelt. Die weitere Forschung unter anderem auf Parabelflügen konzentriert sich nun darauf, mit modernsten molekularbiologischen Methoden die von der Schwerkraft induzierten genetischen, proteinbiochemischen und stoffwechselphysiologischen Veränderungen zu analysieren.

*Over the last few years, two scientific groups at the University of Bonn have been experimenting with Chara, a unicellular green algae, and plants such as cress and Arabidopsis (thale cress) in an attempt to answer the question of what exactly occurs in these plants during the process of gravity perception and signal processing. Experiments under weightless conditions have made a major contribution to the understanding that a highly dynamic protein system, the so-called “actomyosin system,” is responsible for the orientation of the statoliths and repositioning of the statoliths when the direction of gravity changes. In animals and humans, actomyosin is the protein responsible for muscle function.*

*Statoliths are held in a stable, balanced position by the interaction of actomyosin and gravity. This balance is disturbed if, for example, the plant is folded over or pushed down by strong wind or rain. In such situations, the cells are forced away from the vertical and the statoliths fall to the lower edge of the cell through the action of gravity. The actomyosin then ensures that the statoliths come into contact with the actual sensors. The sensors take the form of receptor proteins that are triggered by contact with the statoliths into generating a physiological signal. A signal of this type induces changes in numerous physiological processes in the cell, which in turn intervene in the control of the plant’s growth to return the plant organs to their original direction of growth. These findings give weight to the acceptance of the starch-statolith hypothesis in professional circles. Further work, including research on board parabolic flights, is now concentrated on using the latest techniques from the field of molecular biology to analyze the genetic, protein-biochemical, and metabolic-physiological changes induced by gravity.*

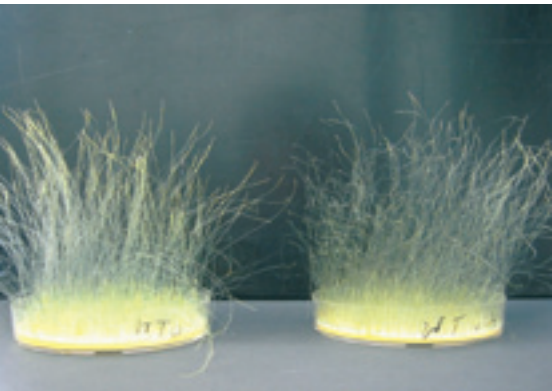


Biologische Forschung an Pflanzen  
Biological research in plants



Pflanzenkeimlinge vor ihrem  
schwerelosen Flug  
Plant seedling before the flight  
in weightlessness





Der Pilz *Phycomyces* reagiert auf die Schwerkraft  
The fungus *Phycomyces* responds to gravity

## GIACs in *Phycomyces* – schnellste je gemessene Reaktionen auf Schwerelosigkeit

An der Schwerkraft orientieren sich nicht nur Pflanzen und verschiedene Mikroorganismen, sondern auch bestimmte Organe von Pilzen, so zum Beispiel die Sporangienträger des Pilzes „*Phycomyces*“. Um mehr über die Empfindlichkeit und damit über primäre Mechanismen der Schwerkraftwahrnehmung und -verarbeitung aussagen zu können, wurde in vielen Versuchen getestet, wie schnell Organismen und Pflanzen eigentlich auf Schwerkraftänderungen reagieren können.

Dabei gelang es einer Arbeitsgruppe der Universität Marburg kürzlich, die bislang schnellste Reaktion eines Organismus nachzuweisen. Nach weniger als 2/100 Sekunden zeigten die Sporangienträger von *Phycomyces* während eines Flugzeugparabelflugs bestimmte Absorptionsänderungen (GIACs = „gravity induced absorption changes“), die möglicherweise die erste Reaktion dieses Organismus auf Schwerkraft darstellen. Darüber hinaus erwies sich der Vorgang auch als die empfindlichste bislang in der Literatur beschriebene Antwort auf Schwerkraft. Die Wissenschaftler sind damit der Aufklärung der Primärreaktion in *Phycomyces* ein gutes Stück näher gekommen. Weitere Experimente müssen zeigen, welche Konsequenzen diese erste Reaktion in den Pilzen nach sich zieht.

## GIACs in *Phycomyces* – fastest response to weightlessness ever measured

*It is not only plants and various microorganisms that orientate themselves to gravity, but also certain organs of fungi, for example, the sporangiophores of the *Phycomyces* fungi. In order to reveal more about the sensitivity of gravity perception and transduction and the primary mechanisms behind them, a large number of tests were conducted to establish how quickly organisms and plants are actually able to respond to gravity changes.*

*It was with this goal in mind that a scientific team from the University of Marburg recently succeeded in demonstrating the fastest response yet seen in any organism. After less than two hundredths of a second, the sporangiophores of a *Phycomyces* sample carried on a parabolic flight showed certain gravity induced absorption changes (GIACs) that may indicate the initial response of this organism to gravity. What is more, the process revealed the most sensitive response to gravity described in literature to date. This brings scientists a good step closer to being able to clarify the primary response in *Phycomyces*. Further experiments are required to demonstrate the consequences that follow these initial responses in fungi.*

Der Pilz *Phycomyces*  
The Fungus *Phycomyces*

## Medizin Humanphysiologische Forschung

### Forschungsschwerpunkt Integrative Physiologie: der Mensch im Fokus

Es ist seit Langem bekannt, dass Astronauten im Weltraum mit ganz ähnlichen Gesundheitsproblemen zu kämpfen haben wie der alternde Mensch auf der Erde: Aufgrund der fehlenden Schwerkraft und der mangelnden Bewegung und Belastung kommt es zu einem Leistungsabfall im Herz-Kreislauf-System, zu Störungen des Gleichgewichts- und des Immunsystems, zu Muskelschwund und Knochenabbau (Osteoporose). Diese Veränderungen laufen beim Astronauten im Weltraum im Vergleich zum irdischen Alterungsprozess gewissermaßen im Zeitraffer ab und können deswegen hervorragend studiert werden. Im Gegensatz zum Alterungsprozess – sind sie zum Glück für die Astronauten umkehrbar. Nach der Landung der Astronauten auf der Erde kann auch die Rückanpassung an die irdischen Schwerkraftverhältnisse untersucht werden.

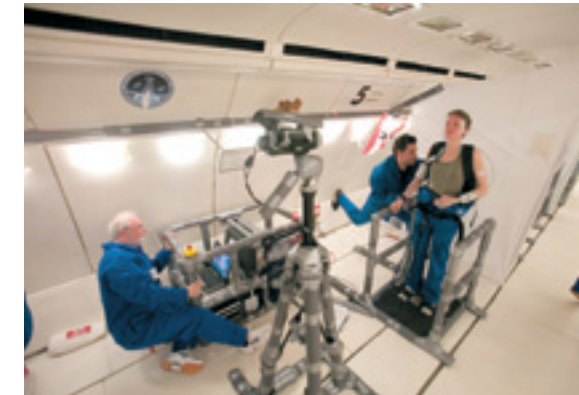
Zwar sind Muskel- und Knochenabbau erst nach Tagen oder Wochen in Schwerelosigkeit nachweisbar, andere Veränderungen treten jedoch unmittelbar nach Eintritt in die Schwerelosigkeit auf und können daher auch auf Parabelflügen untersucht werden. Für manche Prozesse ist gerade der Wechsel der Schwerkraftbedingungen während der Parabeln von besonderem Interesse.

## Medical Science Human Physiology Research

### Research Focus on Integrative Physiology: Spotlight on Human Responses

*It has long been known that astronauts in space have to battle with very similar health problems to aging people on Earth. Due to the lack of gravity and minimal levels of movement and resistance we see a drop in the performance of the cardiovascular system, disturbances in the vestibular and immune systems, muscular atrophy, and bone degradation (osteoporosis). The changes exhibited by astronauts in space offer a time-lapse view of the aging process on Earth and can therefore be studied to excellent effect. Luckily, they are – unlike the aging process – reversible for the astronauts. After landing, astronauts on Earth can be examined to study their readjustment to terrestrial gravity conditions.*

*Muscle and bone degradation only start to become apparent after days or weeks in weightlessness, however, other changes appear immediately on experiencing microgravity and can therefore be investigated on parabolic flights. For some processes, it is the change in gravity conditions during the parabolas rather than the absence of gravity that is of particular interest.*

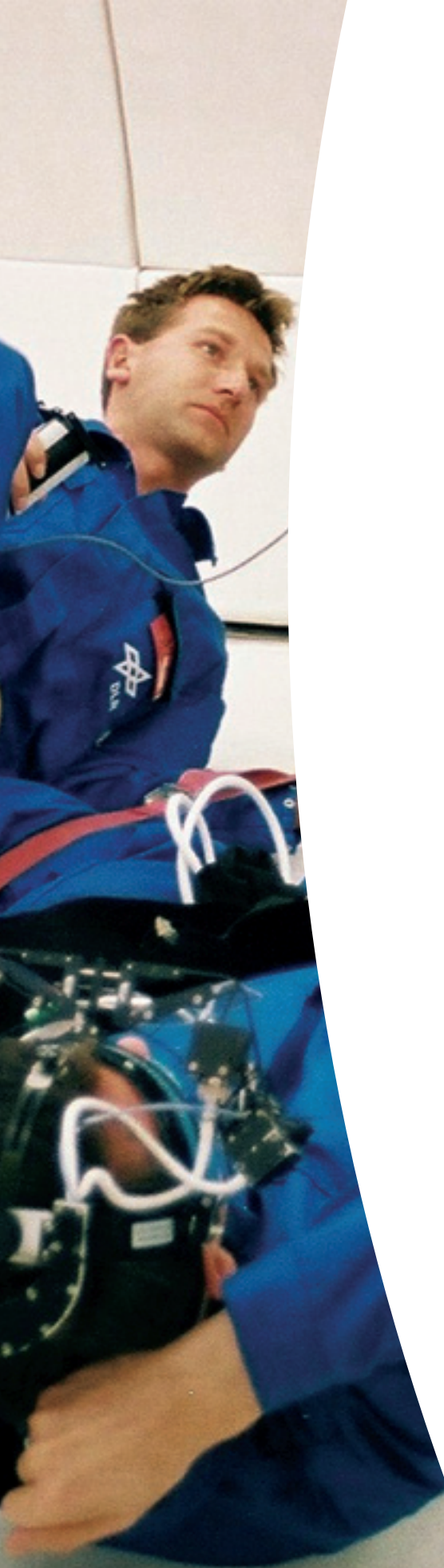


Untersuchung der Wärmeregulation beim Menschen  
Investigation of thermoregulation in humans



Kopf einer Testperson, aufgenommen mit einer Wärmebildkamera (rot = warm, blau = kalt)  
Head of a test subject recorded by a thermal imaging camera (red = warm, blue = cold)





**Neuer Thermosensor zur Messung der Wärmeverteilung beim Menschen**

Beim Eintritt in die Schwerelosigkeit werden beim Menschen Flüssigkeiten wie Blut und Lymphe sehr schnell von der unteren in die obere Körperhälfte verschoben. Damit verknüpft sind auch Veränderungen im Wärmehaushalt: Astronauten klagen oft über kalte Füße und Finger.

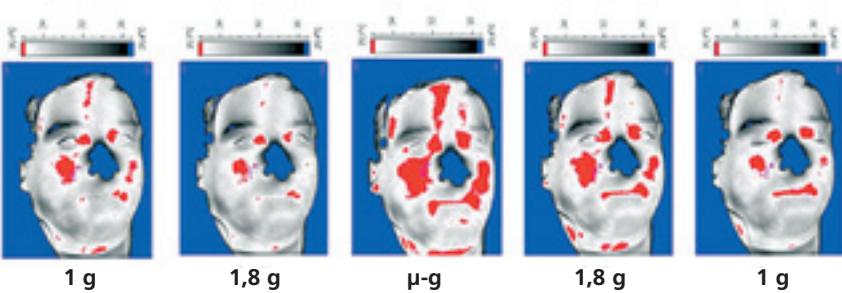
Bei Einsätzen außerhalb der Raumstation sind Astronauten zudem extremen Temperaturbedingungen ausgesetzt: +200 °C in der Sonne, -180 °C im Schatten. Außerdem ist die Arbeit in den Raumanzügen körperlich sehr anstrengend, wobei sich der Körper stark erhitzt. Dies kann innerhalb kürzester Zeit zu einem gefährlichen Anstieg der Körperkerntemperatur auf über 39 °C führen. Eine kontinuierliche Erfassung der Körperkerntemperatur ist daher von großer Bedeutung. Allerdings sind die üblicherweise angewandten Verfahren aus messtechnischen oder hygienischen Gründen nicht für den alltäglichen Einsatz beim Astronauten geeignet. Seit 2001 hat deshalb eine Arbeitsgruppe an der Charité Berlin in enger Zusammenarbeit mit der Drägerwerk AG an der Entwicklung und Erprobung eines neuartigen nicht-invasiven Messverfahrens gearbeitet. 2003 und 2006 erfolgte die Patentierung des sogenannten „Doppelsensors“. Dieser Doppelsensor erfasst am Kopf oder auf dem Brustbein den Wärmefluss. Diese Wärmeflussmengen werden über spezielle Algorithmen in Körperkerntemperaturen umgerechnet und dienen zusammen mit Herz-Kreislauf-Daten der Beurteilung des Erschöpfungszustands (Physiological Strain Index, PSI). Hierdurch können bei Astronauten oder generell bei Personen in besonderen Arbeitssituationen Gefährdungen frühzeitig erkannt und entsprechende Gegenmaßnahmen ergriffen werden.

**Untersuchung des menschlichen Koordinations- und Gleichgewichtssystems**  
*Investigation of the human Coordination and Vestibular System*

**New temperature sensor for measurement of heat distribution in humans**

*On entry into weightlessness, human body fluids such as blood and lymph are displaced very rapidly from the lower to the upper half of the body. This is also associated with changes in temperature regulation: astronauts often complain of cold feet and fingers.*

*Astronauts are also exposed to extreme temperature conditions during spacewalks outside the Space Station: +200 degrees Celsius in the sun, -180 degrees Celsius in the shade. Moreover, working in a space suit is very physically demanding, meaning that the body seriously overheats. This can lead to a dangerous rise in body temperature to over 39 degrees Celsius in a very short space of time. Continuous monitoring of the body temperature is therefore of great importance. Unfortunately, technical and hygienic considerations mean that conventional techniques are not suitable for daily use with astronauts. For this reason, a scientific group at the Charité University Hospital in Berlin, in close collaboration with Drägerwerk AG, has been developing and testing a new type of non-invasive measurement technique. In 2003 and 2006 the so-called "Double Sensor" was patented. The Double Sensor is able to detect heat flux at the head or at the breastbone. The level of heat flux is converted into core body temperatures using special algorithms and, together with cardiovascular data, is used to evaluate the physiological strain index (PSI). This allows the early detection of when astronauts, or other people working under extreme conditions, may be in danger, thus allowing appropriate preventative measures to be taken in good time.*



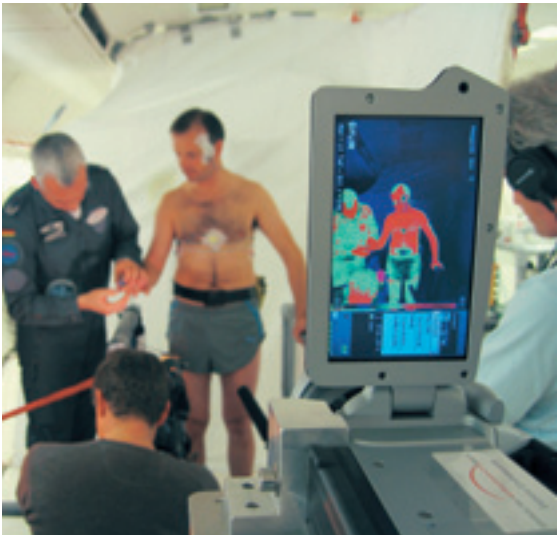
*Veränderte Wärmeverteilung im menschlichen Gesicht bei verschiedenen Beschleunigungen*  
*Changes in heat distribution in a human face during different acceleration*

Auf Parabelflügen wurde der neue Thermosensor, der 2009 auch auf der ISS zum Einsatz kommt, getestet. Zusätzlich setzten die Wissenschaftler eine Wärmebildkamera zur Erfassung der Temperaturverteilung und weitere moderne Verfahren zur Messung von raschen Flüssigkeitsverschiebungen bei wechselnden Schwerkraftbedingungen ein. In der Tat konnte gezeigt werden, dass unmittelbar nach Wegfall der Schwerkraft mehr als ein halber Liter Blut von den Beinen aus in Richtung Kopf steigt. Die Wärmeabstrahlung, die schon normalerweise zu rund 30 Prozent über den Kopf erfolgt, erhöhte sich in der Schwerelosigkeit deutlich. Weitere Parabelflug-Experimente müssen diese vorläufigen Befunde noch absichern.

Eine Verwendung des neuen Doppelsensors zur äußerlichen, nicht-invasiven Erfassung der Körpertemperatur auf der Erde wird derzeit vorbereitet. Einsatzmöglichkeiten bestehen beispielsweise bei thermisch gefährdeten Berufsgruppen wie Feuerwehr, Polizei und Sondereinsatzkräften oder auch im klinischen Alltag bei Operationen und im Neugeborenen-Brutkasten.

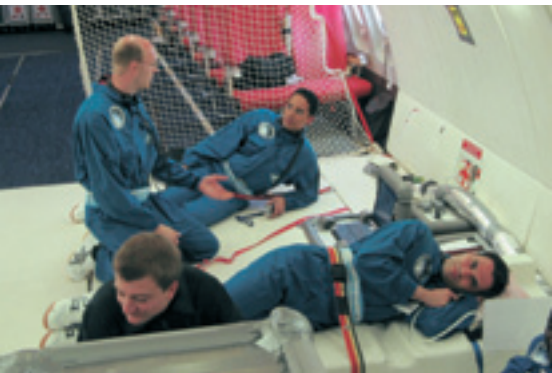
*The new temperature sensor was tested on parabolic flights and will be deployed on the ISS in 2009. Additionally, researchers also use a thermal imaging camera to establish temperature distribution and other state-of-the-art techniques for the measurement of rapid fluid displacement under varying gravity conditions. In fact, it has been possible to show that more than half a liter of blood moves from the legs towards the head when gravity disappears. Radiated heat from the head, which is normally around 30 percent of the total, increased significantly in microgravity. Further parabolic flight experiments will be required to verify these preliminary findings.*

*An Earth-bound application of the new Double Sensor for external, non-invasive detection of body temperature is currently in development. Possible applications exist, for example, with professional groups such as fire departments, the police, and special operations units who encounter heat hazards, as well as in everyday clinical situations such as surgeries and incubators for newborns.*



*Wärmebildkamera dokumentiert die Wärmeverteilung in einer Testperson*  
*Thermal imaging camera showing the heat distribution in a test subject*





Messung der Lungendurchlüftung  
Measurement of lung ventilation

## Lungendurchlüftung und künstliche Beatmung

Aufgrund theoretischer Überlegungen hatten Wissenschaftler lange angenommen, dass die Lungendurchlüftung bei Wegfall der Schwerkraft völlig homogen sein müsse. Bereits frühere Weltraumexperimente zum Beispiel während der deutschen D-2 Shuttle-Mission hatten jedoch gezeigt, dass dies so nicht stimmt. Weitere Faktoren müssen dabei eine Rolle spielen. Mit einer neuen Methodik versucht nun eine Arbeitsgruppe aus Göttingen seit einigen Jahren, dieses Problem aufzuklären.

Die bislang in der Klinik etablierten Verfahren zur Untersuchung der Lungenfunktion weisen sämtlich gewisse Nachteile auf: Entweder ist es nicht möglich, regionale Unterschiede in der Lungenfunktion zu erkennen (zum Beispiel Multiple Inertgas-Technik), oder die Methoden sind mit Strahlenbelastung für den Patienten verbunden (Computer-Tomographie, Magnetresonanztomographie, Szintigraphie) und apparativ aufwendig. Die Göttinger Forscher haben sich nun die elektrischen Eigenschaften von Zellen zunutze gemacht. Mit um den Brustkorb gelegten Elektroden werden diese Signale erfasst. Nach einer aufwendigen, aber schnellen Analyse mit bildgebender Datenverarbeitung kann man auf die regionale Lungendurchlüftung schließen. Auch das Blut- und Flüssigkeitsvolumen der Lunge und ihre Durchblutung können mit der Methode, der sogenannten Elektrischen Impedanz-Tomographie (EIT), analysiert werden. Dabei ist die „neue Mathematik“ der Schlüssel zum Erfolg – die Methode an sich war schon länger bekannt.

## Lung ventilation and artificial ventilation

*Based on theoretical ideas, scientists long assumed that lung aeration in the absence of gravity must be entirely homogeneous. Earlier experiments in space, during the German D-2 Shuttle mission for example, have however shown that this is not in fact the case. Additional factors must therefore be at work here. Over the last few years, a scientific team based in Göttingen has been using a new methodology in an effort to explain this situation.*

*The established clinical techniques used to investigate lung function all demonstrate certain disadvantages: either it is not possible to identify regionalized differences in lung function (multiple inert gas technique, for example), or the procedure involves exposing the patient to radiation (computer tomography, magnetic resonance tomography, scintigraphy) and requires extensive equipment. The Göttingen researchers have now succeeded in harnessing the electrical properties of cells. These signals are acquired using electrodes positioned around the rib cage. Following a complicated, yet quick, analysis based on image data processing, the regional lung aeration can be quickly established. This technique, known as electrical impedance tomography (EIT), even makes it possible to analyze the volume of blood and other liquids in the lungs and blood flow. The “new mathematics” is the key to success here – the technique itself has already been known for a long time.*

Auf Flugzeugparabelflügen wurde die EIT-Methode erfolgreich angewendet. Sie erbrachte Ergebnisse darüber, wie die Lunge unter veränderten Schwerkraftbedingungen funktioniert. Erstmalig wurden gravitationsbedingte regionale Veränderungen der Lungenfunktion und Verschiebungen des Blut- und Flüssigkeitsvolumens im Brustkorb erfasst. Zudem stellte sich bei den Parabelflug-Experimenten und begleitenden Bodenstudien heraus, dass das in Lehrbüchern beschriebene Verteilungsmuster von Luft und Blut in der Lunge offenbar nicht für alle Menschen zutrifft.

Da der Einfluss von Schwerkraft auf diese Verteilung gerade auch in der kranken Lunge eine nicht zu vernachlässigende Rolle spielt, sind diese Erkenntnisse über das abweichende Verhalten von den bisher angenommenen klassischen Lungenmodellen nicht nur von wissenschaftlicher, sondern auch von direkter klinischer Bedeutung. Wichtige Anwendungsfelder sind beispielsweise die Therapiesteuerung bei der künstlichen Beatmung, die Diagnose frühkindlichen Lungenversagens und das sogenannte ARDS (Adult Respiratory Distress Syndrome).

Die Forscher hoffen also, mit der neuen Methodik die therapeutischen und pflegerischen Maßnahmen bei Schwerkranken optimieren zu können. Gleichzeitig denkt man auch über einen künftigen Einsatz der EIT-Methode auf der ISS zur Erfassung der Lungenfunktion der Astronauten in Schwerelosigkeit nach.

*It has been possible to successfully apply the EIT technique during parabolic flights. These experiments delivered results that show how the lungs function under different gravitational conditions. For the first time, it was possible to see regional variations in lung function and displacement of blood and fluids in the rib cage due to the level of gravity. In addition to this, it became apparent from the parabolic flight experiments and related ground-based studies that the pattern of distribution of air and blood in the lungs described in the textbooks clearly does not apply to every individual.*

*Because the influence of gravity on this distribution pattern in a diseased lung plays a role that should not be overlooked, this knowledge of the variation in behavior from the classical lung models previously used is something that is not just of scientific interest, but also of direct clinical significance. Important fields of application include therapy management during artificial ventilation, the diagnosis of lung defects in early childhood, and adult respiratory distress syndrome (ARDS).*

*Researchers are also hopeful that they will be able to optimize the therapeutic care and nursing delivered to the seriously ill. Consideration is also being given to the possible future use of the EIT technique on the ISS to evaluate the lung function of astronauts in zero gravity.*



Messung der Lungendurchlüftung  
Measurement of lung ventilation





Messung der Bewegungskoordination in Schwerelosigkeit  
Measurement of movement coordination in weightlessness

# **Beeinträchtigte Bewegungskoordination: Stress oder Schwerelosigkeit als Auslöser?**

Aus früheren Untersuchungen auf Parabelflügen sowie aus Shuttle- und ISS-Experimenten ist bekannt, dass das Zusammenspiel von Muskel- und Nervensystem, die sogenannte sensomotorische Koordination, bei Astronauten im Welt- raum beeinträchtigt ist. So sind beispiels- weise Zeige- oder Greifbewegungen in Schwerelosigkeit unpräziser oder erfor- dern bei gleicher Genauigkeit mehr geistige Anstrengung. Es wurde jedoch bislang nicht unterschieden zwischen primären Einflüssen veränderter Schwerkraftbe- dingungen und sekundären Einflüssen psycho-physiologischer Faktoren wie Stress. In Parabelflug-Experimenten hat eine Arbeitsgruppe der Deutschen Sport- hochschule Köln nun versucht, dieses Problem anzugehen, indem gleichzeitig Stresshormone im Blut, EEG- und psycho- logische Parameter gemessen werden.

# **Impaired movement coordination: is it triggered by stress or weightlessness?**

*It is already known from previous experi- ments on parabolic flights, the Shuttle, and the ISS that the interaction of the muscular and nervous systems, referred to as sensomotoric coordination, functions less well in astronauts in space. This means that, for example, pointing and grasping movements are more imprecise or demand more mental effort to achieve the normal level of accuracy under weightless condi- tions. However, as yet it has not been possible to distinguish between the pri- mary effects of altered gravitational con- ditions and the secondary influences of psychophysiological factors like stress. A scientific group of the German Sports University Cologne has now attempted to investigate this problem using para- bolic flight experiments involving simulta- neously taking EEGs and measuring psy- chological parameters and stress hormones*

Dabei gelang es zum ersten Mal, dyna- mische Vorgänge im Gehirn während veränderter Schwerkraftbedingungen zu erfassen. Es stellte sich heraus, dass weniger die fehlende Schwerkraft als vielmehr die allgemeinen Stressfaktoren eines Parabelflugs zu einer schlechteren Bewegungskoordination führten. Die detaillierte Analyse der EEG-Messungen zeigte dann weitere bemerkenswerte Ergebnisse: So weist die Hirnaktivität während der 1 g- und 1,8 g-Phasen beim Parabelflug auf eine flugbedingte Stress- situation hin, während Schwerelosigkeit als positives Ereignis wahrgenommen wird.

Aufgrund dieser neuen Befunde ist die These einer veränderten sensomotorischen Kontrolle oder gar einer Einschränkung solcher Fähigkeiten aufgrund von Schwere- losigkeit neu zu untersuchen. Diese Ergebnisse werden auch Konsequenzen haben müssen für die Entwicklung neuer Trainingskonzepte für die Astronauten im Weltall.

*in the blood. They succeeded for the first time in recording dynamic processes in the brain in altered gravity. Results showed that the worsened movement coordination was due less to the absence of gravity than to the general stress factors encountered on a parabolic flight. Detailed analysis of the EEG measure- ments produced additional noteworthy results. For example, brain activity indi- cates that the 1g and 1.8g phases of a parabolic flight create a stressful situation, whereas weightlessness is perceived as a positive event.*

*Because of these new findings, it is now necessary to rethink the assumption that weightlessness induces changes in senso- motoric control or even that it limits this type of ability. This outcome will also in- evitably have consequences in terms of the development of new training concepts for astronauts in space.*



Medizinische Messungen an Testpersonen  
Medical measurements of testpersons







Koordination der Beinmuskeln  
während Fahrrad-Ergometrie  
Coordination of leg muscles  
during bicycle ergometry

## Forschungsschwerpunkt psycho-physiologische Leistungsfähigkeit und Immunsystem

Der Aufenthalt des Menschen im Welt-raum führt im Organismus zu vielfältigen Anpassungsvorgängen. Dabei können auch schwerwiegende, die Gesundheit der Astronauten gefährdende Verände-rungen auftreten, die mit Reaktionen von kranken, intensiv-medizinisch behandelten Patienten vergleichbar sind. So erfahren sowohl Astronauten als auch Schwerst-krankte ausgeprägte psychische und physische Stresssituationen. In Folge fehlender Bewegung, Störung der Schlaf-Wach-Zyklen und der Belastung durch den Weltraumaufenthalt beziehungswei-se durch die herrschende Lebensgefahr beim Patienten auf der Intensivstation kommt es in beiden Situationen zu aus-geprägten Veränderungen der Immunab-wehr und somit zu einer Gefahr für das Leben des Menschen. Tatsächlich ist seit Langem bekannt, dass das Immunsystem von Astronauten durch den Weltraum-aufenthalt beeinträchtigt wird. Ursachen und Mechanismen liegen jedoch im Dunkeln, was eine Prävention nahezu unmöglich macht.

Vor diesem Hintergrund ist die Forschung am Immunsystem nicht nur für die Raum-fahrt, sondern auch für den Menschen auf der Erde von herausragender Bedeu-tung. Parabelflüge bieten hier ausge-zeichnete Möglichkeiten, den Einfluss veränderter Schwerkraftbedingungen und von anderen Stressfaktoren zu unter-suchen. Wissenschaftler versuchen in diesen Projekten, das komplexe Netzwerk der Reaktionen des Immunsystems mit modernen und innovativen Methoden zu entwirren – von der molekularen und zellulären Ebene bis zum Menschen.

## Research Focus on Psycho-Physiological Capabilities and the Immune System

*Living in space induces a wide range of adaptation processes in the human organism. These can include debilitating changes that are hazardous to the astro-nauts, whose reactions are comparable to those of intensive care patients. Both astronauts and the most seriously ill experience pronounced psychological and physical stress situations. Similarly to the imminent possibility of dying faced by intensive care patients, the lack of movement, disturbances to sleep-wake cycles, and the strain of living in space produce a situation that triggers pro-nounced changes in the immune defense and a corresponding hazard to human life. It has in fact been known for quite some time that the immune system of astronauts is negatively affected by the time they spend in space, however, the causes and mechanisms behind this remain unknown, making prevention essentially impossible.*

*Set against this background, research into the immune system is not only of singular importance for space flight, but also for humans on Earth. Parabolic flights offer fantastic opportunities to investigate the effects of modified gravity conditions and other stress factors. Using innovative, state-of-the-art techniques, these proj-ects are being used by researchers to try and disentangle the complex network of responses exhibited by the immune sys-tem at every level – from the molecular and cellular level to the whole human being.*

## Verhalten von Immunzellen in der Schwerelosigkeit

Im Unterschied zur physiologischen For-schung am ganzen Menschen, der soge-nannten integrativen Physiologie, unter-suchen Arbeitsgruppen der Charité Berlin, der Universität Magdeburg und der TU Zürich menschliche Zellen, um die Mechanismen für die Beeinträchtigung des Immunsystems in Schwerelosigkeit aufzuklären.

Der Hintergrund: Immunzellen patroullie-ren ständig alle Gewebe und Organe des menschlichen Organismus, um eventuellen Gefahren wie eingedrungenen Keimen entgegenzutreten. Dabei legen sie Tag für Tag enorme Distanzen zurück. Sie bewegen sich nicht nur frei innerhalb von Geweben, sondern müssen auch andau-ernd Grenzen überschreiten und Barrieren überwinden, um beispielsweise aus dem zirkulierenden Blut in die Gewebe des Körpers zu gelangen. Auch heften sich verschiedene Zelltypen des Immunsystems ständig aneinander an, wobei sie wichtige Informationen austauschen und sich gegenseitig aktivieren. Dies alles ist für einen Angriff des Immunsystems auf Fremd-körper im menschlichen Körper notwendig.

Was wäre, wenn Schwerelosigkeit die Bewegung oder das Anheften der Immun-zellen nachhaltig stören würde, fragten sich die Wissenschaftler und beschlossen, Moleküle und Mechanismen in Zellen des Immunsystems zu untersuchen, die für diese Anheftung, Wanderung und das Durchbrechen von Gewebebarrieren not-wendig sind.

## Behavior of immune cells in zero gravity

Rather than looking at integrative physi-ology, that is physiological research at the level of the whole person, various scientific groups at the Charité Berlin, the University of Magdeburg, and the University of Zurich are studying human cells in an attempt to explain the mecha-nisms responsible for the impairment of the immune system under weightless conditions.

Immune cells continuously patrol all the tissues and organs of the human organ-ism to intervene against potential dangers such as invading germs. They travel enor-mous distances every day in the execution of this task. Not only do the immune cells move freely within tissues, but they also have to constantly overcome obstacles and barriers, such as passing from circu-lating blood into the tissues of the body.

The various types of cells comprising the immune system constantly attach them-selves to each other, providing a means for exchange of information and reciprocal activation. This is all necessary to enable the immune system to attack foreign invaders in the human body. Researchers posed the question, „What if weightless-ness permanently interferes with the movement or adhesion of immune cells?“ and determined to investigate the mole-cules and mechanisms in the cells of the immune system that are responsible for the processes of adhesion, migration, and penetration of tissue barriers.



Experimentaufbau für immunologische  
Forschung  
Experiment setup for immunological research







Während des Parabelflugs entnommene Blutproben  
Blood samples taken during parabolic flight

Erste Ergebnisse zeigen, dass verschiedene Zelltypen des Immunsystems sehr unterschiedlich auf den Wegfall der Schwerkraft reagieren. So kommt es in menschlichen Endothelzellen zu einer verstärkten Bildung von ICAM-1, einem für die Anheftung von Zellen wichtigen Oberflächenmolekül. Andererseits antworten monocytaire Zellen – die Zellen der angeborenen Immunabwehr, die körperfremde Eindringlinge attackieren – mit einer Herunterregulation des ICAM-1. Damit ist ein wichtiger Mechanismus gestört, der für das Anheften dieser Zellen an Oberflächen und an andere Immunzellen von unverzichtbarer Bedeutung ist.

Interessanterweise könnte dieser Befund sogar erklären, warum die spezifischen Immunzellen, die sogenannten T-Lymphocyten, in Schwerelosigkeit nicht mehr richtig funktionieren. T-Lymphocyten benötigen nämlich eine enge und andauernde Anheftung an die monocytaire Zellen, um sich vollständig zu aktivieren und zu teilen, ein Prozess, der – wie man schon lange weiß – in Schwerelosigkeit eben nicht funktioniert. Anzunehmen, dass diese Veränderungen die alleinige Erklärung für die Beeinträchtigung des Immunsystems der Astronauten sind, wäre aber sicher zu einfach.

In einem anderen Projekt haben Forscher der Charité Berlin begonnen, menschliche Endothel- und Krebszellen veränderten Schwerkraftbedingungen auszusetzen. Ihnen geht es dabei um schnelle Änderungen im Cytoskelett sowie im Expressionsmuster der Zellen, also Reaktionen auf der genetischen und molekularbiologischen Ebene. Erste Versuche ergaben bereits, dass es in Schwerelosigkeit zu einer umfangreichen Umsteuerung der genetischen Abläufe kommt, deren Konsequenzen in weiteren Experimenten noch aufgeklärt werden müssen.

*Initial results show that different types of immune cells react very differently to the absence of gravity. For example, it was observed that human endothelial cells formed increased levels of ICAM-1, one of the surface molecules responsible for the adhesion of cells. By contrast, monocytic cells – the cells of the inborn immune system that attack invaders from outside the body – respond by down-regulation of ICAM-1. This disrupts an important mechanism that is absolutely essential for the adhesion of these cells to surfaces and other immune cells.*

*Interestingly, this discovery could even explain why the immune cells, so-called T-lymphocytes, no longer function correctly in weightlessness. T-lymphocytes must be continuously closely attached to the monocytic cells in order to become fully activated and to divide, a process that – as has long been known – does not work properly without gravity. To assume that these changes are the only reason for the impairment of the immune system in astronauts would certainly be an oversimplification though.*

*In another project, researchers at the Charité Berlin have also begun to expose human endothelial and cancer cells to altered gravity conditions. They are looking in particular at rapid changes in the cytoskeleton and the expression pattern of the cells, in other words, responses at the genetic and molecular biological level. Initial tests have already shown that the removal of gravity leads to an extensive reconfiguration of genetic processes, the consequences of which must be investigated in further experiments.*

## Das Immunsystem des Menschen: Probleme im Weltraum und auf der Intensivstation

Vielfältige Stressfaktoren wie Isolation, Arbeitsbelastung und Störungen des Schlafrhythmus gehören wahrscheinlich zu den Auslösern der Schwächung des Immunsystems bei Astronauten. Aber auch die besonderen Bedingungen des Weltraums wie Schwerelosigkeit (und Strahlung) tragen möglicherweise zu dieser Beeinträchtigung bei. Mit vergleichbaren Problemen des Immunsystems haben Schwerkranke auf der Erde zu kämpfen. In beiden Fällen sollte einerseits eine ausreichende Abwehrkraft zum Schutz vor Krankheitskeimen vorhanden sein, andererseits darf das Immunsystem auch nicht überbeansprucht werden.

Der ganze Mensch steht im Mittelpunkt von Untersuchungen des Immunsystems durch eine Arbeitsgruppe der Ludwig-Maximilians-Universität München. Begleitend zum ISS-Experiment „IMMUNO“ wurden auf Parabelflügen die verschiedensten Komponenten des Immunsystems gemessen. Hierzu werden zu bestimmten Zeiten vor, während und nach dem Parabelflug Blut-, Speichel- und Urinproben genommen sowie psychologische Tests zur Stressanalyse durchgeführt. Zusätzlich wurde für dieses Projekt eine neue Atemgas-Analytik entwickelt, mit deren Hilfe man nicht-invasiv bestimmte flüchtige Substanzen direkt in der ausgeatmeten Atemluft erfassen kann. Damit ist es möglich, etwaige Anpassungsphänomene des Organismus in ihrem Verlauf online zu verfolgen.

## The human immune system: problems in space and in intensive care

*Multiple stress factors such as isolation, workload, and disturbed sleep patterns are among the likely triggers for the weakening of the immune system in astronauts. However, it is also possible that the particular conditions found in space, such as weightlessness and radiation, contribute to this impairment. The seriously ill on Earth have to fight similar immune system problems. In both cases, it is necessary for the body to have sufficient defenses to protect against germs, while at the same time avoiding overloading the immune system.*

*The human as a whole is in the focus of experiments being carried out into the immune system by a scientific team of the Ludwig-Maximilians-University, Munich. Running parallel to the ISS „IMMUNO“ experiment, parabolic flights are being used to measure the widest possible range of components of the immune system. This involves taking samples of blood, saliva, and urine at specific points during the parabolic flight, as well as carrying out psychological tests to analyze stress. A new method of breathing gas analysis was also developed for this project that allows certain volatile substances to be directly monitored in a non-invasive manner as air is breathed out. This means that it is possible to track the course of any adaptation phenomena in the organism as they occur.*



Untersuchung des Immunsystems während eines Parabelflugs  
Investigation of the immune system during a parabolic flight





Psycho-physiologische Untersuchungen in Schwerelosigkeit  
Psycho-physiological investigations in weightlessness

Auch wenn die Probenanalysen und Berechnungen noch nicht abgeschlossen sind, lässt sich jetzt schon sagen, dass die Ergebnisse zu einem erweiterten Verständnis stressabhängiger immunologischer Anpassungsvorgänge des Menschen auf der neurophysiologischen und hormonellen Ebene führen. Diese Kenntnisse sind die Voraussetzung für die Entwicklung neuer vorbeugender oder therapeutischer Maßnahmen für den Einsatz gleichermaßen beim Astronauten wie beim Schwerverkranken in der Intensivmedizin.

#### HealthLab – Eignungstest für Astronauten und Piloten

Ein anderer Ansatz wird seit einigen Jahren von Wissenschaftlern des DLR Hamburg verfolgt. Hintergrund ihrer Untersuchungen ist die Erfahrung, dass das Autonome Nervensystem, d. h. das nicht willentlich beeinflussbare Nervensystem, auf psychische Belastung wie etwa Stress bei verschiedenen Menschen unterschiedlich reagiert. So erhöht sich bei vielen Personen der Blutdruck, einige reagieren mit Schweißausbrüchen und wieder andere verspüren Magendruck. Man nennt dies das „Reaktionsmuster des Autonomen Nervensystems“. Diese Erfahrungen konnten bislang jedoch nicht mit einer standardisierten Versuchsanordnung durch messbare Daten bestätigt werden – weder im Weltraum noch auf der Erde.

Dies soll nun anders werden: Mit Experimenten auf Parabelflügen sowie einem gemeinsamen Projekt mit Wissenschaftlern des russischen Instituts für Weltraummedizin (IBMP Moskau) im russischen Labor der ISS wird die psychische und physiologische Leistungsfähigkeit der Probanden sowie die Empfindlichkeit gegenüber der Raumkrankheit ermittelt. Erstmals werden etablierte psychologische Testverfahren mit quantitativen physiologischen Messungen verknüpft. Die resultierenden Daten werden mit der vom DLR entwickelten medizinischen Messanlage HealthLab erfasst. Deren Komponenten sind so klein und handlich, dass

*Although sample analyses and computations have not yet been completed, it is already apparent that the results will lead to a greater understanding of stress-related immunological adaptation processes in humans at the neurophysiological and hormonal level. This knowledge is an essential basis for the development of new preventative and therapeutic measures for use both with astronauts and in intensive medicine.*

#### HealthLab – fitness testing for astronauts and pilots

*Over the last few years, DLR Hamburg has been pursuing another application. The background to their investigations is the observation that the autonomous nervous system, i.e. that part of the nervous system that cannot be consciously controlled, reacts to psychological burdens such as stress differently in different people. In many people this translates to an increase in blood pressure, some break out in a sweat, while others feel gastric heaviness. These effects are known as the "reaction pattern of the autonomous nervous system." However, until now it has not been possible to verify these experiences with measurable data using a standardized experimental design, neither in space nor on Earth.*

*This is set to change thanks to experiments on parabolic flights and a joint project with researchers from the Russian Institute of Biomedical Problems, the IBMP Moscow, in the Russian laboratory on board the ISS. Both the psychological and physiological capabilities of the test subjects are being evaluated, as is their sensitivity to the space adaptation syndrome. This is the first time that psychological test procedures have been combined with quantitative physiological measurements. The resulting data is recorded using the HealthLab measuring system developed by the DLR. The components of this system are so small and convenient that*

sie am Körper getragen werden können. Dadurch ist die Anlage sehr mobil. Sie kann gleichzeitig mehr als zehn Werte wie beispielsweise Blutdruck, Schlagvolumen, Puls, Atmung und Stimme analysieren. Anhand dieser Daten versuchen die Wissenschaftler, die Probanden in ein sogenanntes „Autonomes Outlet Type“-Schema einzuordnen, ein System zur Einteilung in Stress-Reaktions-Typen.

Die vorläufigen Ergebnisse aus den Parabelflug-Experimenten deuten an, dass bestimmte Kreislaufparameter von Menschen mit Symptomen der Raumkrankheit sich von denen ohne Anzeichen der Raumkrankheit unterscheiden. Sollte sich das in weiteren Experimenten bestätigen, hätten die Wissenschaftler einen neuen Ansatz gefunden, die Neigung zu Raum- und Reisekrankheit vorherzusagen.

HealthLab wird inzwischen auch in anderen Bereichen erfolgreich angewendet, beispielsweise in der Reise- und Expeditionsmedizin und bei der Zivilpiloten-Testing. Hauptziel der Untersuchungen ist es, ein diagnostisches Verfahren zu entwickeln, mit dessen Hilfe die Zuverlässigkeit von Handlungen in Stresssituationen vorhergesagt werden kann. So könnte die aktuelle Beanspruchung von Menschen ermittelt werden, die eine hohe berufliche Verantwortung tragen (wie Fluglotsen, Piloten oder Sprengstoffexperten), um letztendlich objektiv entscheiden zu können, welcher Mensch in einer konkreten Situation am besten in der Lage ist, bestimmte schwierige Aufgaben erfolgreich bewältigen. Eine präzise Vorhersagbarkeit der Neigung zur Raum- beziehungsweise Reisekrankheit wäre zudem bei der Astronautenauswahl oder auch bei der von Piloten von großer Bedeutung. Nicht zuletzt deswegen ist die Luftwaffe Kooperationspartner des DLR Hamburg bei den Parabelflug-Experimenten.

*they can be worn on the body, making the system highly portable. More than ten parameters can be analyzed simultaneously, including blood pressure, stroke volume, pulse, breathing, and voice. Using this data, the researchers are attempting to classify the test subjects according to their autonomous outlet type, a system for categorizing different types of stress reaction.*

*The preliminary results from the parabolic flight experiments indicate that certain circulatory parameters in people with symptoms of space adaptation syndrome differ from those who show no signs of the syndrome. If this can be confirmed in further experiments then the researchers will have found a new way to predict susceptibility to space adaptation syndrome and motion sickness.*

*HealthLab is already being used successfully in other fields, for example, in travel medicine, expedition medicine, and civilian pilot testing. The main objective of these studies is to develop a diagnostic technique that will help predict the reliability with which activities can be performed in stress situations. This will allow the level of strain currently placed on people with highly responsible jobs (air traffic controllers, pilots, explosives experts, and the like) to be determined, with the ultimate aim of being able to decide which people are best able to successfully carry out difficult tasks in specific situations. Precise predictions of the susceptibility to space adaptation syndrome and motion sickness would also be of great importance when selecting astronauts and pilots. It therefore comes as no surprise that the German Air Force is collaborating with DLR Hamburg on the parabolic flight experiments.*



Psycho-physiologische Untersuchungen in Schwerelosigkeit  
Psycho-physiological investigations in weightlessness





Materialforschung mit einer elektromagnetischen Levitationsanlage  
Materials research with a device for electromagnetic levitation

## Physik und materialwissenschaftliche Forschung

### Physikalische Forschung

Experimente aus den Materialwissenschaften, der Fluidphysik (Physik der Flüssigkeiten und Gase), der Verbrennungsforschung und der Fundamentalphysik sind sehr häufig „Passagiere“ bei Parabelflügen des DLR. Da feste Materie durch Schwerelosigkeit nicht verändert wird, befinden sich die Versuchsobjekte, die der Schwerelosigkeit ausgesetzt werden, stets in einem flüssigen (zum Beispiel als Schmelze) oder gasförmigen Zustand (zum Beispiel als Dampf). Aufgrund der Kürze der auf Parabelflügen auftretenden Schwerelosigkeit kann man von komplexen Experimenten oft nur bestimmte Aspekte untersuchen. Trotz dieser Einschränkungen haben sich Parabelflüge für diejenigen Experimente bestens bewährt, die später auf länger dauernden Weltraummissionen durchgeführt werden sollen.

### Forschungsschwerpunkt: Innovative Materialforschung – die DLR-Anlage TEMPUS

Ein tieferes physikalisches Verständnis der Vorgänge, die beim Erstarren von Schmelzen ablaufen, ermöglicht die Optimierung der Eigenschaften von Werkstoffen. Das gelingt vor allem dann, wenn im Experiment Beeinträchtigungen durch die Schwerkraft, wie etwa turbulente Strömungen in einer Metallschmelze oder Ablagerungen von Zusatzstoffen im oberen oder unteren Bereich der Schmelze, unterbunden sind – ein typisches Charakteristikum von Schwerelosigkeitsexperimenten.

Immer häufiger werden Werkstoffe darüber hinaus durch die Simulation von Erstarrungsvorgängen am Computer

## Physics and Materials Science Research

### Physical Research

*Experiments from the fields of materials science, fluid physics (physics of liquids and gases), combustion research, and fundamental physics are all “frequent fliers” on the DLR’s parabolic flights. Because solid materials are unaffected by weightlessness, the specimens used in zero gravity tests are always in a liquid (e.g., molten metal) or gaseous state. As the period of weightlessness during a parabolic flight is short, it is often only possible to investigate limited aspects of complex experiments. Despite these limitations, parabolic flights have an excellent track record in providing preparation for experiments that will later be implemented on long-duration missions.*

### Research Focus on Innovative Materials – the DLR TEMPUS Facility

*Gaining a deeper understanding of the processes involved in the solidification of molten metals will make it possible to optimize various material properties. The best way to do this is to eliminate gravity-induced disturbances during the experiment such as turbulent flows within the molten metal or the precipitation of additives in the upper or lower layers of the melt – a typical feature of experiments in weightless conditions.*

*Solidification processes are being simulated more and more frequently on computers to help optimize materials. In addition to a detailed knowledge of the underlying physical mechanisms, simulation requires above all a data set that covers the temperature-dependent physical properties of the melt, which should be as precise as possible. In many cases,*

optimiert. Die Voraussetzung dafür ist neben der Detailkenntnis der zugrunde liegenden physikalischen Mechanismen vor allem ein genauer Datensatz der thermophysikalischen Eigenschaften der Schmelze. Die erforderliche Präzision der Daten wird häufig erst durch eine ungestörte Messung unter Schwerelosigkeit ermöglicht.

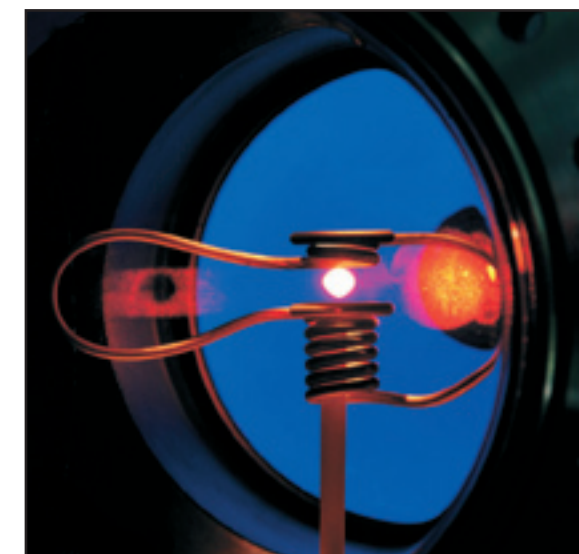
Hierfür wurde im DLR die Parabelfluganlage TEMPUS entwickelt. Die Abkürzung TEMPUS steht für „Tiegelfreies elektromagnetisches Positionieren unter Schwerelosigkeit“. Darunter verstehen die Wissenschaftler, eine Metallprobe mittels elektromagnetischer Felder in der Schwebe zu halten und zu erhitzen. Die auf diese Weise in TEMPUS geschmolzenen Proben können zu Schwingungen angeregt werden. Aus deren Frequenz und Dämpfung sind die Oberflächenspannung und Viskosität als wichtige thermophysikalische Eigenschaften ableitbar.

Eine frei schwebende schmelzflüssige Metallprobe in der TEMPUS-Apparatur lässt sich aber auch gezielt erstarren, wobei die Geschwindigkeit der Erstarrung mit hoher Präzision gemessen wird. Auf der Erde sind die Erstarrungsvorgänge durch schwerkraftbedingte Flüssigkeitsströmungen (Konvektion) beeinträchtigt, die durch Temperatur- und Dichteunterschiede in der Schmelze angetrieben werden. Während eines Parabelflug-Experiments werden diese Strömungen unterdrückt, sodass das Wachstum des Festkörpers in der Schmelze nur durch die Diffusion von Atomen gesteuert wird. Da die Proben in TEMPUS mit keiner Tiegelwand in Kontakt stehen, neigen sie dazu, auch unterhalb ihres Schmelzpunkts noch flüssig zu bleiben. Erst nach einer gewissen Zeit erstarren sie, wobei Wärme freigesetzt wird, die die relativ kalte Probe kurzzeitig erstrahlen lässt. Dieser schnelle Vorgang kann nur durch eine Hochgeschwindigkeitskamera quantitativ erfasst werden.

*data with the required degree of precision can only be obtained using disturbance-free tests in zero gravity.*

*The TEMPUS facility for parabolic flights was developed at the DLR with this purpose in mind. The acronym TEMPUS is based on the German for „crucible-free electromagnetic positioning in zero gravity.“ In scientific language, electromagnetic positioning means levitating and heating metal samples by means of electromagnetic fields. The samples melted in this way by TEMPUS can also be stimulated to oscillate. Their frequency and damping behavior can be used to derive the important thermophysical properties of surface tension and viscosity.*

*A free-floating molten liquid metal sample held in the TEMPUS apparatus can also be solidified in a well-directed way and the speed of solidification can be measured very precisely. Solidification processes on Earth are negatively affected by gravity-induced liquid flows (convection) driven by temperature and density variations in the melt. These flows are suppressed during a parabolic flight experiment, meaning that the growth of the solid state in the melt is only influenced by the diffusion of atoms. Because TEMPUS samples are not in contact with the crucible wall, they tend to remain in a liquid state even below their melting point. Only after a certain amount of time has passed after initiation of cooling down they solidify, thereby releasing heat that causes the relatively cold samples to glow brightly for a brief period. This rapid process can only be quantitatively recorded using a high-speed camera. It has been possible to record images, shown in Figure X, of the movement of the advancing solidification front that illustrate how the crystallization process starts at a single point on the surface of*



Bodenlevitation einer metallischen Legierung während des Schmelzens  
Ground levitation of a metallic alloy sample during melting

Gerät für das behälterlose Prozessieren von Metallschmelzen  
Experiment setup for containerless processing of metallic alloys





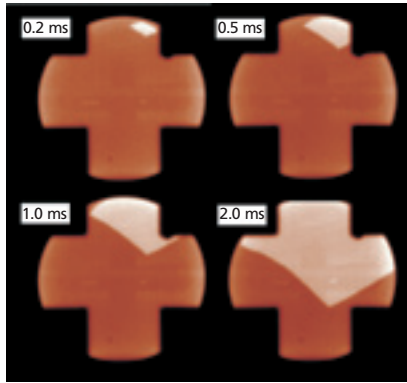


Abb. 1: Erstarrungsfront einer Metallegierung breitet sich von einem Punkt aus  
Figure 1: Solidification front of a metallic alloy moves from one single point



Abb. 2: Computersimulation einer sich ausbreitenden Erstarrungsfront  
Figure 2: Computer simulation of a moving solidification front

Bei der in der Abbildung 1 gezeigten Bewegung der fortschreitenden Erstarrungsfront ist es gelungen, den Fall zu registrieren, dass die Kristallisation von einem einzigen Punkt an der Schmelzoberfläche ausgeht. Aus den Videoaufzeichnungen ist dort eine vierzählige Symmetrie der Erstarrungsfront erkennbar. Die Form der erstarrenden Kristallkugel nimmt schließlich die Symmetrie eines Körpers mit acht gleichseitigen Dreiecken als Seitenflächen an. Mit einem Computerprogramm kann man die erstarrende Kugel rekonstruieren (siehe Abbildung 2). Eine solche Symmetrie des wachsenden Kristalls wurde durch mehrere Theorien zur Erstarrung von metallischen Schmelzen vorhergesagt. Durch eine Analyse der Wachstumsrichtung konnte die Wachstumsgeschwindigkeit bei verschiedenen Unterkühlungsgraden der Schmelze mit hoher Genauigkeit bestimmt werden. Mithin gelang es, durch Parabelflug-Experimente die generelle Anwendbarkeit eines Modells zum Kristallwachstum in unterkühlten Metallschmelzen erfolgreich zu testen.

#### Forschungsschwerpunkt: Fluidphysik – Aufprall von Wasserspray auf beheizte Oberflächen

Bei der Gemischbildung in Brennkammern, bei Sprühbeschichtungen in der Materialbehandlung oder bei der Kühlung von hochleistungsfähigen Elektronik-Bauteilen treffen Flüssigkeiten als fein dosierte Sprays auf eine heiße Oberfläche. Das auf die Wand aufprallende Spray erzeugt darauf einen dünnen, schwankenden Flüssigkeitsfilm, wodurch die Wand durch Verdampfung, Wärmeleitung und Konvektion im Flüssigkeitsfilm sehr effektiv gekühlt wird. Denkt man etwa an Raumfahrtanwendungen für einen solchen Kühlprozess, so stellt sich zunächst die grundlegende Frage, welchen Einfluss veränderte Schwerkraftbedingungen haben. Wie ändert sich die Dicke und Stabilität des Films und wie ändert sich letztendlich der Wärmetransport?

*the melt. The fourfold symmetry of the solidification front can be seen in the video captures. The solidifying crystal ball ultimately takes on a symmetrical shape formed with eight equilateral triangles for sides. A computer program can be used to reconstruct the solidification of the ball (see Figure Y). This type of symmetry in the growth of the crystal was predicted by several theories describing the solidification of molten metal. By analyzing the direction of growth it was possible to obtain high-precision values for the speed of growth at various rates of supercooling of the melt. Consequently it has been possible to use these parabolic flight experiments to successfully test the applicability of a physical model of crystal growth in undercooled molten metals.*

#### Research Focus on Fluid Physics – Impact of Water Spray on Heated Surfaces

*Liquids come into contact with hot surfaces in the form of finely dosed sprays during a number of processes, such as mixture formation in combustion chambers, spray-coating procedures for the treatment of materials, and the cooling of high-performance electronic components. As the spray impacts against the wall it creates a thin, variable film of liquid, which cools the wall very effectively due to evaporation, thermal conduction, and convection in the liquid film. When this type of cooling process is considered for space applications, one of the first questions to consider is the fundamental issue of what effect the modified gravity conditions have. How does the thickness and stability of the film vary, and how does this ultimately affect the heat transport?*

*A series of experiments were conducted on board DLR parabolic flights to observe the impact of a water spray on a heated copper surface during both the 0 g and 2 g phases of the parabola. The power*

Auf DLR-Parabelflügen erfolgten Experimentserien sowohl in der 0 g- als auch 2 g-Phasen der Flugzeugparabel, um den Aufprall eines Wassersprays auf eine beheizte Kupferoberfläche zu beobachten. Die Leistung zur Heizung der Kupferoberfläche und die Eigenschaft des Sprays wurden in den Versuchen systematisch variiert. Generell zeigte sich eine klare Abhängigkeit des Sprayaufpralls vom Gravitationslevel: In der 2 g-Phase entsteht ein dünner Film und der Wärmetransport nimmt tendenziell zu, während in der 0 g-Phase ein mehr als doppelt so dicker Film entsteht und der Wärmetransport tendenziell abnimmt. Diese auf den Parabelflügen gewonnen Erkenntnisse flossen unmittelbar in die Vorbereitung eines inzwischen erfolgreich durchgeführten TEXUS-Experiments ein. Weiterhin sollen die Daten durch Experimente in einer Zentrifuge in Richtung stark erhöhte Beschleunigung erweitert werden. Übergeordnetes Ziel der Untersuchungen ist es, die Hydrodynamik und die Wärmeübertragung beim Sprayaufprall auf eine beheizte Oberfläche besser zu verstehen und die Auslegungsmethoden von Spraykühlungsprozessen zu verbessern.

#### Forschungsschwerpunkt: Staub- und Plasmaphysik

##### Erforschung der Frühphasen der Planetenentstehung sowie der Eigenschaften planetarer Staubböden

Die heutige Theorie der Planetenentstehung geht davon aus, dass winzige Staubteilchen im All zusammenprallten, aneinander haften blieben und so kleine Agglomerate („Klumpen“) bildeten. Dieser Vorgang wiederholte sich so lange, bis sich aus den Agglomeraten kilometergroße Felsbrocken formten. Deren Schwerkraft zog wiederum weitere Partikel an, sodass sich schließlich große Planeten bilden konnten. Dieses Szenario ist noch sehr lückenhaft. Offen ist insbesondere die Frage, wie schnell Staubagglomerate anwachsen können.

*used to heat the copper surface and the properties of the spray were varied systematically during the tests. There was a clear general relationship between the spray impact and the gravitation level. In the 2 g phase, a thin film forms and heat transport has a tendency to increase, whereas in the 0 g phase, the film produced is almost twice as thick and heat transport decreases. The knowledge gained in this way from parabolic flights found immediate application in the preparation of a TEXUS experiment, which has also been successfully carried out in the meantime. It is planned to extend the data to include acceleration data by conducting experiments in a centrifuge. Spray impact at a constant flow rate of 0.2 liters per minute in microgravity (left) and hypergravity (2 g phase, right). The limited corona development under hypergravity illustrates the differences in hydrodynamic behavior, which have an effect on the cooling efficiency.*

#### Research Focus on the Physics of Dust and Plasma

##### Research into the early phases of planetary development and the properties of planetary dust surfaces

*The current theory of planetary formation assumes that minute dust particles collided in space and adhered to each other, forming small agglomerates ("lumps"). This process was repeated over and over, until rocks several kilometers across had formed from the agglomerates. The gravity of these rocks in turn attracted more particles, eventually allowing large planets to form. This scenario is still fragmentary, including the unanswered question of how quickly dust agglomerates can grow.*



Wassertropfen stoßen auf beheizte Oberfläche in Schwerelosigkeit  
Water droplets collide with a heated surface in weightlessness



Wassertropfen stoßen auf beheizte Oberfläche bei 2-facher Erdbeschleunigung  
Water droplets collide with a heated surface under double gravitational acceleration

Gerät zur Untersuchung der Spraykühlung  
Experiment setup to investigate spray cooling





Mars-Oberfläche  
Mars surface

Auf der Erde fallen große Staubagglomerate aufgrund der Schwerkraft schnell zu Boden. Eine langsame planetare Staub-Agglomeration lässt sich daher hier nicht ausreichend simulieren, die Forscher müssen die Schwerelosigkeit nutzen.

Das Anwachsen der Agglomerate lässt sich erforschen, wenn sie durch Licht-einwirkung aufeinander zu bewegt werden und zusammenstoßen. Dabei erwärmen sich nicht nur die Partikel der mit intensivem Licht bestrahlten Seite, sondern auch die Moleküle des umgebenden Gases auf der dem Licht zugewandten Seite. Diese bewegen sich dann heftiger und stoßen die Staubagglomerate langsam von der Lichtquelle weg. Dieser Effekt wird als Thermophorese bezeichnet. Im Parabelflug-Experiment simulieren Wissenschaftler die Sonnenstrahlung durch Halogenlampen und verfolgen die Bewegung der Staubpartikel mit einer hochauflösenden Kamera. Interessant ist dabei vor allem der Zusammenhang zwischen Partikelgröße, Gasdruck, Lichtintensität und der Geschwindigkeit der Partikel. Bei den bisher durchgeführten Experimenten konnte ein deutlicher Einfluss der Partikelgröße auf die Transportgeschwindigkeit nachgewiesen werden.

Wie gelangen große Staubmengen in die Mars-Atmosphäre, wie entstehen die sogenannten Staubteufel? Erst im vergangenen Jahr wurde im Parabelflug ein im Labor entdeckter Mechanismus untersucht, der hierfür mit verantwortlich sein könnte. Ausgelöst wird er durch die Bestrahlung einer Stauboberfläche mit intensivem Licht – zum Beispiel das der Sonne. Diese Schicht erwärmt sich, wobei der wärmste Bereich nicht auf, sondern dicht unterhalb der Oberfläche liegt. Das Licht kann die obere Staubschicht leicht durchdringen, die darunter entstehende Wärme aber nur schwer entweichen –

*On Earth, large dust agglomerates fall to the ground very quickly due to gravity. As it is therefore impossible to simulate the slow accretion of planetary dust adequately, researchers need to use weightlessness conditions.*

*Agglomerate growth can be studied if the action of light is used to move dust particles towards each other and hence to collide. During this process, it is not only the side of the particle exposed to the intense light that heats up, but also the molecules of the surrounding gas on that side of the particle. This effect, known as photophoresis, causes the dust agglomerates to be slowly pushed away from the source of light. For the parabolic-flight experiments, scientists use halogen lamps to simulate solar radiation and track the movement of the dust particles using a high-resolution camera. The most interesting aspect of these tests is the relationship between particle size, gas pressure, light intensity, and particle velocity. Experiments conducted to date reveal a clear link between particle size and transport velocity.*

*How does the Martian atmosphere come to contain so much dust? What causes a dust devil to form? It was only in recent years that parabolic flights were used to investigate a mechanism discovered in the laboratory that could be responsible for these phenomena. The mechanism is triggered by exposing the surface of the dust to intense light – from the Sun, for example. This dusty layer heats up in such a way that the warmest region is not at the surface, but rather just below it. Light is able to penetrate the upper layer of dust, but the heat produced at this point has difficulty escaping because dust is more opaque to thermal radiation. This is known as the greenhouse effect. Another effect – that of thermophoresis – causes dust particles*

Staub ist für Wärmestrahlung undurchlässiger. Dieser Effekt ist als Treibhauseffekt bekannt. Ein weiterer Effekt – die oben erwähnte Thermophorese – sorgt dafür, dass in dem entstandenen Temperaturgefälle weiter unten liegende Staubteilchen durch die Oberfläche hindurch in einen kälteren Bereich geschleudert werden können. Dies geschieht explosionsartig in kleinen Stauberuptionen, solange der Gasdruck oberhalb der Staubschicht nur wenige Millibar beträgt – eine Atmosphäre, wie sie auf dem Mars vorherrscht.

Während des Parabelflugs wurde der Einfluss von Lichtintensität und Schwerkraft auf den Erosionsmechanismus untersucht. Die ersten Ergebnisse deuten darauf hin, dass auf dem Mars solche Bedingungen vorliegen, um durch Sonneneinstrahlung bodennahen Staub in dessen Atmosphäre zu transportieren. Damit wäre ein neuer Ansatz für die Lösung eines grundlegenden wissenschaftlichen Problems der Marsforschung geliefert.

**Lasermanipulation in komplexen Plasmen**

Mehr als 99 Prozent der sichtbaren Materie im Universum befindet sich im Zustand eines Plasmas. Plasma gilt allgemein als der ungeordnetste Materiezustand. Es ist der Stoff, aus dem Blitze, Nordlichter oder das leuchtende Medium in der Energiesparlampe und in Plasma-bildschirmen bestehen. Oft findet man kleine Staubpartikel im Plasma – man spricht dann von staubigen oder komplexen Plasmen. Im Labor können sich die Partikel unter bestimmten Bedingungen zu regelmäßigen Mustern zusammenfügen, den so genannten Plasmakristallen. Plasmen, die Partikel von Submikrometer-Größe enthalten, sind bedeutend für die Erzeugung von Nanopulvern, für die Fertigung von Computerchips oder für die Herstellung neuartiger Solarzellen. In der Natur treten sie in interstellaren Wolken, planetaren Ringsystemen wie beim Saturn oder in Kometenschweif auf.

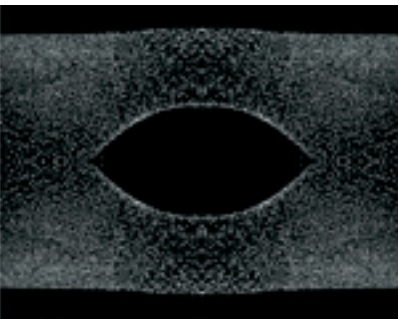
*below the surface to be accelerated upwards into a colder region above. Provided that the gas pressure above the dust layer is no more than a few millibars (the atmospheric conditions that are prevalent on Mars), this leads to explosive miniature eruptions of dust.*

*Parabolic flights have been used to investigate the influence of light intensity and gravity on erosion mechanisms. Initial results indicate that dust on Mars originating close to the ground can be transported into its atmosphere by sunlight. Should this prove to be the case, then a fundamental new scientific approach faced when carrying out research on Mars would have been provided.*

**Laser Manipulation in Complex Plasmas**

*More than 99 percent of the visible matter in the universe occurs as plasma. Plasma is generally regarded as the most disorderly state of matter. It is the stuff of lightning, the Northern Lights, and is also the light emitting substance found in energy-saving light bulbs and plasma screens. Frequently, small dust particles can be found in plasma, in which case it is referred to as dusty or complex plasma. Under certain laboratory conditions, particles may combine to form regular patterns known as plasma crystals. Plasmas containing particles of sub-micrometer size play a major role in the production of nano-powders, computer chips, and the latest generation of solar cells. In nature, such plasmas can be found in interstellar clouds, planetary ring systems like those seen around Saturn, and comet tails.*

*How does a plasma crystal work? Crystals created from electrically neutral atoms consist of densely-packed particles held together by mutual attraction. Conversely, plasma crystals are composed*



Unter Schwerelosigkeit können sich die Partikel des Plasmakristalls frei im Raum verteilen und so große, dreidimensionale Strukturen bilden  
*In weightlessness the particles of a plasma crystal can distribute in all directions, thus forming large three-dimensional structures*



Unter den Bedingungen der Schwerkraft sammeln sich die Partikel im unteren Bereich, der entstandene Plasmakristall ist gestaucht  
*Under terrestrial gravity conditions the particles occupy the lowest possible area. Such a plasma crystal is "stressed"*

Mars-Oberfläche  
Mars surface





Experiment zur Untersuchung komplexer Plasmen  
Experiment for investigation of complex plasmas

Wie funktioniert ein Plasmakristall? Kristalle aus neutralen Atomen bestehen aus dicht gepackten Teilchen, die durch anziehende Wechselwirkungen zusammenhalten. Im Gegensatz dazu sind Plasmakristalle aus elektrisch gleichartig geladenen Staubpartikeln aufgebaut, die sich gegenseitig abstoßen. Dadurch nehmen sie in dem elektrischen Feld, in dem sie eingeschlossen sind, untereinander die größtmöglichen Abstände ein. Das macht den Kristall transparent, sodass die Bewegung der Partikel sichtbar wird. In echten Festkörpern ist das unmöglich. Die Untersuchung von Plasmakristallen war lange Zeit auf nahezu zweidimensionale Gebilde beschränkt, weil die Wolke aus Staubpartikeln unter dem Einfluss der Schwerkraft zusammengedrückt wird. Nur unter Schwerelosigkeit kann man dreidimensional ausgedehnte Plasmakristalle erzeugen.

In zahlreichen Parabelflugexperimenten zu Plasmakristallen wurden in der Vergangenheit die Konzeption und Betriebsweise von zwei Forschungsanlagen für die ISS optimiert. Diese vorbereitenden Untersuchungen auf Parabelflügen waren unverzichtbar für das erfolgreiche Experimentieren auf der Raumstation seit acht Jahren.

*of dust particles with an identical electrical charge that repel each other. For this reason, they maintain the maximum possible distance from each other within the electrical field in which they are contained. This makes these crystals transparent, meaning that the movement of the particles is visible. In real, solid crystals this is impossible. For a certain time, the study of plasma crystals was confined to structures that were two-dimensional due to the fact that the dust-particle clouds were compressed by the influence of gravity. Plasma crystals that expand in all three dimensions can only be generated in weightlessness.*

*Experiments were conducted on plasma crystals during many parabolic flights, with the aim of optimizing the design and functionality of two research modules for the ISS. These preparatory parabolic flights have been invaluable to the success of the experiments on the Space Station over the last eight years.*

In den jüngsten Parabelflugexperimenten wurde eine Kombination aus optischen und elektrischen Messungen verwendet, um Aufschluss über Dichte und Temperatur der Plasmen sowie über die elektrischen Felder in deren Innerem und die sich ergebende Anordnung der Mikro-partikel zu erhalten. Direkte Messungen der Kräfte, die auf die Staubwolke im Plasma wirken, erfolgten dabei über das Verschieben einzelner Partikel mit einem Manipulationslaser. Es gelang erstmals, die Staubteilchen mit dem Laser gezielt zu verschieben. So konnte man die Kräfte messen, die auf die Partikel im Plasmakristall wirken.

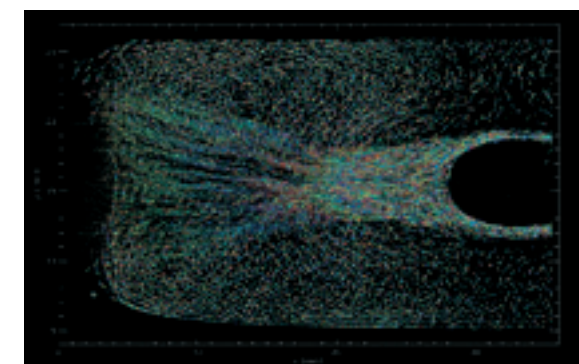
Gegenwärtig laufen auf Parabelflügen gemeinsam mit der ESA experimentelle Erprobungen von Kernkomponenten einer neuen Anlagengeneration für die ISS. Sie soll das in erfolgreicher deutsch-russischer Kooperation stattfindende intensive Forschungsprogramm auf dem Gebiet der komplexen Plasmen international weiter ausbauen.

*The most recent parabolic flight experiments have used a combination of optical and electrical measurements to obtain information about the density and temperature of plasma, its internal electric fields, and the resultant arrangement of micro-particles. The forces that act on the dust cloud within a plasma were measured directly by moving individual particles with a manipulation laser. This made it possible to controllably move dust particles to specific positions, allowing the forces that act on the particles of a plasma crystal to be measured for the first time.*

*Experimental trials using parabolic flights are currently being conducted in collaboration with the ESA to test the central components of a new generation of equipment for the ISS. The intention here is to internationally expand the program of intensive research into complex plasmas being carried out as part of the successful German-Russian collaboration.*



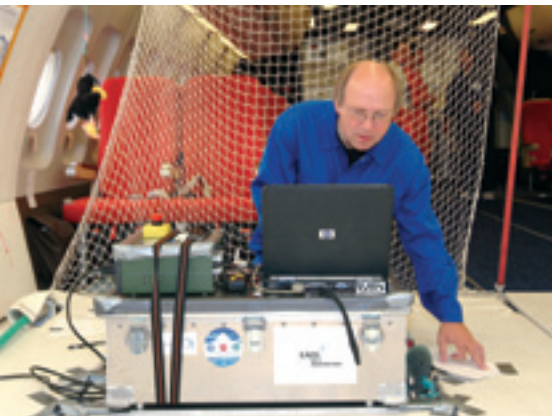
Kosmonaut Valerij Tokarev, Plasmakristall-experiment auf der Internationalen Raumstation ISS  
Cosmonaut Valerij Tokarev, Plasma crystal experiment on the International Space Station ISS



Spuren von eingeschossenen Teilchen in einem Plasmakristall  
Lane formation of injected particles in a plasma crystal

„Tropfen“ und „Blasen“ in einem komplexen Plasma  
„Droplets“ and „bubbles“ in a complex plasma





Technologisches Experiment DiaCdem  
Technological experiment DiaCdem

## Industrielle Forschung auf den DLR-Parabelflügen

Zusätzlich zu den wissenschaftlichen Experimenten aus der erkenntnis- oder anwendungsorientierten Grundlagenforschung werden Parabelflüge auch von Industrieunternehmen für Schwerelosigkeitsexperimente genutzt.

Das DLR hatte bereits im Jahr 1998 das PIN-Projekt ins Leben gerufen (PIN: Promotion Industrieller Nutzung der ISS). In diesem Projekt wurden forschende Wirtschaftsunternehmen aus Nicht-Raumfahrt-Branchen über die ISS und andere Mikrogravitations-Fluggelegenheiten informiert, Unternehmen wurden als Kunden für den Dienstleistungsbereich Raumfahrt gewonnen. Seit 2007 baut die Nachfolgeinitiative des DLR „GoSpace“ auf den bei PIN gewonnenen Erfahrungen auf und wahrt damit Kontinuität und Nachhaltigkeit der industriepolitischen Aktivitäten des DLR.

### HydroAluminium und thermophysikalische Eigenschaften

In Pilotvorhaben der PIN-Initiative konnten erste industrielle Forschungsprojekte realisiert werden. Als ein Beispiel aus dem Bereich der Materialforschung lässt sich die Bestimmung wärmephysikalischer Eigenschaften von Schmelzen technischer Aluminium-Legierungen nennen. Auf mehreren Parabelflügen und einem Forschungsraketenflug wurden von der Hydro Aluminium Deutschland GmbH Daten zur Oberflächenspannung und Viskosität der Legierungen im Erstarrungsbereich gesammelt und analysiert. Die erzielten Daten dienen der genaueren Computersimulation von Verfahren des Metallgießens.

## Industrial Research on DLR Parabolic Flights

*In addition to their role in scientific investigations focusing on knowledge and application-based fundamental research, parabolic flights are also used by industrial organizations to conduct experiments in weightlessness.*

*As far back as 1998, the DLR initiated the PIN project (Promotion of Industrial Users of the International Space Station). This project served to inform commercial organizations involved in research outside the space industry about the ISS and other microgravity flight opportunities, with the result that new companies were gained as customers for the space services sector. Since 2007 the DLR's follow-on initiative, "GoSpace" has built on the experience gained with PIN, ensuring continuity and sustainability for the industrial policy pursued by the DLR.*

### Hydro Aluminium and thermophysical properties

*The PIN initiative pilot scheme allowed the first industrial research projects to be implemented. A good example from the field of materials research is the determination of the thermophysical properties of molten technical aluminum alloys. Several parabolic flights and a sounding rocket were used by Hydro Aluminium Deutschland GmbH to collect and analyze data on the surface tension and viscosity of the alloys in the solidification range. The data obtained was used to produce more accurate computer simulations of metal casting processes.*

### DiaCdem Chip Technologies und Mikrofluidik

Die DiaCdem Chip Technologies GmbH untersuchte auf einem DLR-Parabelflug das Befüllungsverhalten mikrofluidischer Strukturen in Schwerelosigkeit, um damit diagnostische Verfahren weiterzuentwickeln. Ziel ist die Entwicklung eines miniaturisierten Diagnostiksystems („Lab on a Chip“), gedacht für Einsätze sowohl im Weltraum als auch in der Notfallmedizin, in der Altersheilkunde und auf Expeditionen. Die Ergebnisse fließen bereits ein in die von der DLR Raumfahrt-Agentur begonnene Entwicklung des ImmunoLab für die ISS, eine Anlage zur On-board-Analyse von Flüssigkeiten wie Blut, Urin und Lymphe der Astronauten.

### Berlin-Chemie und Kreislauf-Medikamente

Die derzeit während einer Weltraum-Mission verwendeten Arzneimittel sind nur selten Prüfungen zur Weltraumtauglichkeit unterzogen worden. Es ist allerdings davon auszugehen, dass durch die physiologischen Veränderungen in der Schwerelosigkeit die Wirkungsweise der Pharmaka beeinträchtigt ist, was unter Umständen bedeutende medizinische Auswirkungen haben kann. Studien zur Arzneimittelwirkung mit einer größeren Teilnehmerzahl unter den Bedingungen der realen Schwerelosigkeit sind jedoch aufwendig und schwierig. Das Projekt der Berliner Mediziner bietet einen ersten alternativen Lösungsansatz.

### DiaCdem Chip Technologies and microfluidics

*DiaCdem Chip Technologies GmbH took advantage of DLR parabolic flights to investigate the filling behavior of microfluidic structures in microgravity in order to advance the development of diagnostic techniques. The goal was to develop a miniaturized diagnostic system ("lab on a chip") for use in space applications, emergency medicine, geriatrics, and on expeditions. The results of this work have already been fed into the development of the ImmunoLab for the ISS initiated by the DLR Space Agency. ImmunoLab is a system designed to provide on-board analysis of fluids such as blood, urine, and lymph from the astronauts.*

### Berlin-Chemie and circulatory medications

*Pharmaceutical products currently used on space missions are only rarely subjected to testing to prove their suitability for use in space. It can, however, be assumed that the efficacy of pharmaceuticals is impaired due to physiological changes in microgravity. This may, in certain circumstances, have significant medical repercussions. However, it is expensive and difficult to undertake studies into the action of drugs with a large number of participants in real weightless conditions. This project from the Berlin-based medical company offers the first step towards providing an alternative solution.*



Untersuchung der Wirkung eines Medikaments in Schwerelosigkeit  
Investigation of the effect of a drug in weightlessness





Am Beispiel des Betablockers Nebilet („Nebivolol“) wird derzeit eine klinische Studie mit 16 gesunden Probanden durchgeführt. Auf einem ersten Parabelflug wurden mögliche Einflüsse von Nebivolol auf die Mikrozirkulation, also auf die Durchblutung und den Stoffaustausch der kleinsten Blutgefäße, sowie auf Herzfrequenz, Blutdruck, EKG und Wärmeverteilung im Gesicht untersucht. Diese Untersuchungen werden derzeit am Boden erweitert durch Kipp-tischversuche. Übergeordnetes Ziel des Projekts ist es, ein mögliches Testmodell zur klinischen Prüfung von Arzneimitteln unter Schwerelosigkeit zu erproben, um dann Empfehlungen für eine bestmögliche Zusammensetzung einer Bordapotheke für den Aufenthalt im All geben zu können.

*Taking the beta blocker Nebilet (nebivolol) as an example, clinical studies are currently underway with 16 healthy test subjects. An initial parabolic flight was used to investigate the possible influence of nebivolol on the microcirculation, that is circulation and mass transfer in the smallest blood vessels, as well as heart rate, blood pressure, ECG, and heat distribution in the face. These studies are now being taken further back on the ground using tilt table tests. The overarching aim of the project is to validate a possible test model for the clinical testing of medications in microgravity, in order to acquire the ability to make recommendations on the optimization of the contents of an on-board dispensary for those living in space.*

## Ausblick

Parabelflug-Experimente erfreuen sich nach wie vor großer, ja steigender Nachfrage in der wissenschaftlichen Gemeinschaft. In der Tat rechtfertigen die bislang erzielten Ergebnisse sehr überzeugend die Weiterführung dieses erfolgreichen Programms. Die nächsten Kampagnen sind daher schon in der konkreten Planung.

Dabei werden zell- und molekularbiologische Untersuchungen verstärkt in den Mittelpunkt der gravitationsbiologischen Forschung rücken, um den Prozessen in der Zelle noch tiefer auf den Grund zu gehen. Forschung am Immunsystem, die neuronale Steuerung von physiologischen Vorgängen und das integrative Zusammenspiel der verschiedenen Systeme des menschlichen Körpers bei wechselnden Schwerkraftbedingungen werden weiterhin wichtige Themen der raumfahrtmedizinischen Forschung auf Parabelflügen sein.

Schließlich gilt es auch, die erfolgreichen Ansätze einer industriellen Forschung auf Parabelflügen fortzuführen und zu intensivieren. Wie bei den wissenschaftlichen Projekten bieten Parabelflüge auch hier sowohl eigenständige Forschungsmöglichkeiten als auch den Einstieg und die Begleitung für größere Weltraumexperimente, beispielsweise auf der Internationalen Raumstation ISS.

## Outlook

*Parabolic flight experiments continue to enjoy high, in fact increasing, demand from the scientific community. Certainly the results achieved to date offer very convincing justification for the continuation of this successful program. The next campaigns are therefore already in the detailed planning stage.*

*The new program sees cellular and molecular biological experiments placed more squarely at the center of gravitational research in order to probe still deeper into the processes within cells. Research on the immune system, the neural control of physiological processes, and the integrative interaction of the various systems of the human body under varying gravity conditions will remain important research topics for space medicine research on parabolic flights.*

*Lastly, it is considered essential to continue and intensify the successful approach of carrying out industrial research on parabolic flights. As with the scientific projects, parabolic flights offer both the opportunity for stand-alone research and a preliminary or complementary platform for larger space experiments, for example, on the International Space Station.*





# Forschung für die Menschen auf der Erde

## Research for the People on Earth

### Für die Zukunft gut gerüstet

Überraschende Forschungsergebnisse und neue Perspektiven in der Anwendung: Bio- und materialwissenschaftliche Forschung im Weltraum schreibt Erfolgsgeschichte, und deutsche Wissenschaftler und Ingenieure sind führend daran beteiligt. Die Nutzung der Internationalen Raumstation ISS mit dem europäischen Labor Columbus und anderer Fluggelegenheiten wird diese Erfolgsgeschichte fortschreiben. Eine Vielzahl neuer Projekte wurde in den letzten Jahren in verschiedenen internationalen Ausschreibungen ausgewählt. Die Wissenschaftler warten nun auf die Umsetzung, insbesondere auf die Möglichkeit, ihre Idee in Schwerelosigkeit zu realisieren.

Die DLR Raumfahrt-Agentur wird in Kooperation mit anderen Einrichtungen alles daran setzen, die Voraussetzungen dafür zu schaffen, dass auch diese Forschungsprojekte zum Erfolg geführt werden. Selbstverständlich gehören Parabelflüge auch weiterhin dazu. Denn „Forschung unter Weltraumbedingungen“ in Biologie, Medizin, Physik und Materialforschung ist Forschung für den Menschen auf der Erde.



### Well Equipped for the Future

*Surprising results in research and new perspectives in application: Space research in Life and Physical Sciences is writing its own success story, in which German scientists and engineers play a leading role. The future use of the International Space Station ISS with its European Columbus laboratory as well as other flight opportunities will ensure the continuation of that story. In the last few years, a multitude of new projects have been selected in various international competitions. Scientists are now waiting for the realization of their ideas in weightlessness.*

*In cooperation with other institutions, the DLR Space Agency will do everything in its power to lay the groundwork for the success of these research projects. Needless to say, parabolic flights will form part of this groundwork. Thus, "research under space conditions" in biology, medicine, physics, and materials science will remain research for the people on Earth also in the future.*

Dr. Ulrike Friedrich, Projektleiterin für das Parabelflug-Programm der DLR Raumfahrt-Agentur im Gespräch mit einem Piloten  
*Dr. Ulrike Friedrich, parabolic flight project manager of DLR Space Agency talking to a pilot*

|                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Herausgeber</b><br><i>Published by</i> | <b>Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.</b><br><br><b>German Aerospace Center</b><br><br><b>Raumfahrt-Agentur</b><br><b>Space Agency</b>                                                                                                                                                                             |
| <b>Anschrift</b><br><i>Address</i>        | Bonn-Oberkassel<br>Königswinterer Straße 522-524<br>53227 Bonn<br>Germany<br>Tel.: +49 (0) 228 447-0                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Redaktion</b><br><i>Editor</i>         | Dr. Niklas Reinke<br>Dr. Ulrike Friedrich<br>Dr. Rainer Kuhl<br>Michael Müller<br>Prof. Dr. Günter Ruyters                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Gestaltung</b><br><i>Design</i>        | CD Werbeagentur GmbH,<br>Troisdorf                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Druck</b><br><i>Printing</i>           | Druckerei Thierbach KG,<br>Mülheim/Ruhr                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Drucklegung</b><br><i>Press date</i>   | Bonn, August 2009                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|                                           | Abdruck (auch von Teilen) oder sonstige Verwendung nur nach vorheriger Absprache mit dem DLR gestattet.<br><br><i>Reproduction in whole or in part or any other use is subject to prior permission from the German Aerospace Center (DLR).</i><br><br><a href="http://www.dlr.de/rd/parabelflug">www.dlr.de/rd/parabelflug</a> |



## Das DLR im Überblick

Das DLR ist das nationale Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Seine umfangreichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Luftfahrt, Raumfahrt, Verkehr und Energie sind in nationale und internationale Kooperationen eingebunden. Über die eigene Forschung hinaus ist das DLR als Raumfahrt-Agentur im Auftrag der Bundesregierung für die Planung und Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten sowie für die internationale Interessenswahrnehmung zuständig. Das DLR fungiert als Dachorganisation für den national größten Projektträger.

In den 13 Standorten Köln (Sitz des Vorstands), Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Göttingen, Hamburg, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stuttgart, Trauen und Weilheim beschäftigt das DLR circa 6.200 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Das DLR unterhält Büros in Brüssel, Paris und Washington D.C.

## *DLR at a Glance*

*DLR is Germany's national research center for aeronautics and space. Its extensive research and development work in Aeronautics, Space, Transportation and Energy is integrated into national and international cooperative ventures. As Germany's space agency, DLR has been given responsibility for the forward planning and the implementation of the German space program by the German federal government as well as for the international representation of German interests. Furthermore, Germany's largest project-management agency is also part of DLR.*

*Approximately 6,200 people are employed at thirteen locations in Germany: Koeln (headquarters), Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Goettingen, Hamburg, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stuttgart, Trauen and Weilheim. DLR also operates offices in Brussels, Paris, and Washington D.C.*



**DLR**

**Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.**

**German Aerospace Center**

**Raumfahrt-Agentur  
Space Agency**

Bonn-Oberkassel  
Königswinterer Straße 522–524  
53227 Bonn  
Germany

[www.DLR.de](http://www.DLR.de)