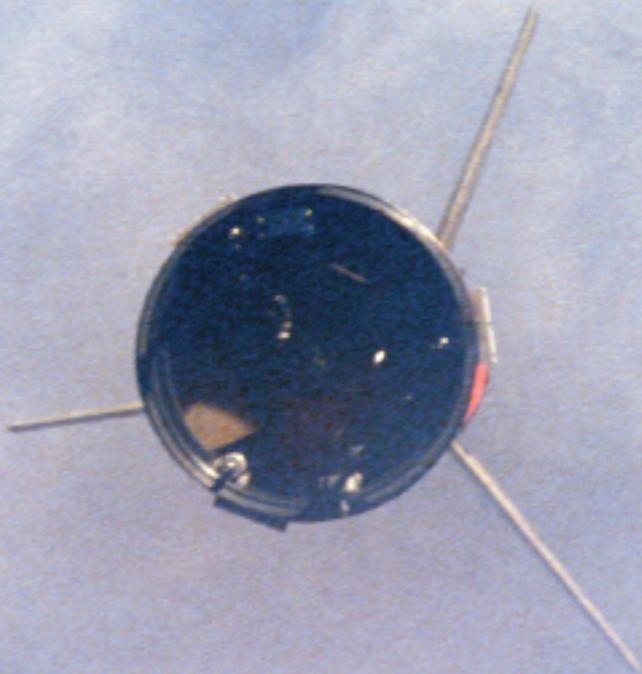




TEXUS

Forschen in Schwerelosigkeit
Research in Weightlessness





TEXUS-PROGRAMM

THE TEXUS PROGRAM

Forschen in Schwerelosigkeit

Research in Weightlessness



Vorbereitung der TEXUS 42-Nutzlast
(Foto: W. Saedtler)
Preparation of the TEXUS 42 payload
(Photo: W. Saedtler)

Forschung in Schwerelosigkeit auf Raketen, die bis zu 250 Kilometer hoch aufsteigen – das ist Deutschlands erfolgreiches TEXUS-Programm. Mehr als 30 Jahre sind vergangen, seit am 13. Dezember 1977 die erste TEXUS-Rakete vom Polarkreis aus Forschungsapparaturen in den Weltraum und wieder zurück trug. Der Start vom schwedischen Kiruna aus wurde der Auftakt zu einem jahrzehntelang erfolgreichen Wissenschaftsprogramm. Auch im vierten Jahrzehnt seines Bestehens hat TEXUS (Technologische Experimente unter Schwerelosigkeit) nichts von seiner Faszination für die Wissenschaft verloren. TEXUS ist eine unverzichtbare Fluggelegenheit sowohl für die eigenständige Forschung als auch für die Vorbereitung von längerfristigen Weltraumexperimenten etwa auf der Internationalen Raumstation ISS geworden.

Auf bis zu zwei TEXUS-Flügen pro Jahr untersuchen Wissenschaftler von Universitäten, anderen Forschungseinrichtungen und aus der Industrie Phänomene aus der Biologie, Physik und Materialwissenschaft. Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und die Europäische Weltraumorganisation (ESA) stellen diese Flüge für ausgewählte Experimente bereit. In Deutschland wird das Programm seit Beginn vom Bundesministerium für Forschung und Technologie, seit Ende 2005 vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie über die DLR Raumfahrt-Agentur in Bonn gefördert.

Research in weightlessness on rockets that rise as high as 250 kilometers – that is what sums up Germany's successful TEXUS program. It has been 30 years since the first TEXUS rocket carried research equipment from the polar circle into space and back on December 13, 1977. Its launch near the Swedish city of Kiruna marked the beginning of a scientific program that remained successful for decades. Even in the fourth decade of its existence, TEXUS (a German acronym for technological experiments in weightlessness) did not lose any of its fascination for scientists. TEXUS offers flight opportunities that are indispensable for independent research as well as for the preparation of longer-term space experiments such as those carried out on the International Space Station (ISS).

As many as two TEXUS flights per year are used by scientists from universities, other research institutions, and the industry to investigate phenomena in biology, physics, and materials science. Flights are provided for selected experiments by the German Aerospace Center (DLR) and the European Space Agency (ESA). In Germany, the program was first funded by the Federal Ministry of Research and Technology, and from the end of 2005 by the Federal Ministry of Economics and Technology, both acting through the DLR Space Agency in Bonn.

TEXUS

Die TEXUS-Missionen werden vom europäischen Raketenstartplatz ESRANGE bei Kiruna in Nordschweden gestartet. Auf ihrem ballistischen Flug erreicht die zwei-stufige, 13 Meter lange Feststoff-Rakete eine Gipfelhöhe von etwa 250 Kilometern. Dabei wird für sechs Minuten eine annähernde Schwerelosigkeit erreicht, die nur etwa einem Zehntausendstel der normalen Erdschwerkraft entspricht. Die Nutzlast der Rakete, das heißt die Raketen spitze mit den Versuchsanordnungen sowie den Bergungs- und Datenübertragungssystemen, landet anschließend am Fallschirm und wird mit einem Hubschrauber zum Startplatz zurückgebracht.

Die wissenschaftlichen Experimente befinden sich in übereinander liegenden Modulen innerhalb der Rakete. Die Forscher können dabei vom Boden aus ihre Versuche durch Telecommanding und Videoübertragung direkt steuern und überwachen. Die wissenschaftlichen Daten werden während des Fluges per Telemetrie übertragen oder nach der Bergung der Nutzlast gesichert.

Herausragende Merkmale des TEXUS-Programms sind:

- regelmäßiger Zugang zur Schwerelosigkeit
- relativ kurze Vorbereitungs- und Zugriffszeiten
- geringere Sicherheitsanforderungen als bei bemannten Missionen
- relativ kostengünstige Durchführung
- weitgehende Wiederverwendbarkeit der Nutzlasten

Die Programmverantwortung für TEXUS liegt seit 1987 bei den ausführenden Industriefirmen unter Federführung der Astrium GmbH in Bremen. Außerdem sind die Mobile Raketen-Basis (MORABA) des DLR in Oberpfaffenhofen und die Firma Kayser-Threde in München beteiligt.

TEXUS

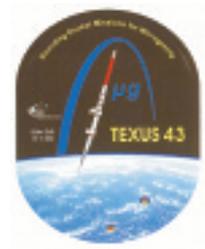
All TEXUS missions are launched from the European rocket launch site ESRANGE near Kiruna in the north of Sweden. On its ballistic flight, the two-stage solid-fuel rocket with its length of 13 meters reaches a peak altitude of about 250 kilometers. For six minutes, conditions of approximate weightlessness prevail, corresponding to about one ten-thousandth of the normal value of Earth's gravity. The payload of the rocket, meaning the tip which contains the experimental set-ups as well as the recovery and data communication systems, comes down on a parachute to be transported back to the launch site by helicopter.

Scientific experiments are housed in modules stacked one atop the other within the rocket. Each experiment is directly monitored and controlled by researchers on the ground through telecommanding and TV systems. Scientific data are either directly transmitted during the flight by telemetry or saved after the payload has been recovered.

The salient features of the TEXUS program are:

- *regular access to weightlessness is provided*
- *preparation and access times are relatively short*
- *safety requirements are less stringent than those of manned missions*
- *experiments can be conducted at relative cost efficiency*
- *payloads can be reused to a large extent*

Since 1987, responsibility for the TEXUS program has been resting with the industrial corporations that implement it under the direction of Astrium GmbH in Bremen.



Missions-Logos: TEXUS 42 (EML-1), TEXUS 39, TEXUS 43

Mission logos: TEXUS 42 (EML-1), TEXUS 39, TEXUS 43



Von 1977 bis 2004 erfolgten die TEXUS-Flüge beinahe ausschließlich mit der von British Aerospace gebauten zweistufigen Forschungsrakete Skylark 7, die von DLR-MORABA und ihren Partnern auch in anderen nationalen und internationalen Forschungsprogrammen eingesetzt wurde. Nach dem Produktionsende der Skylark 7 wurde ab 2005 ein neuer Träger benötigt: Zusammen mit DLR-MORABA und der Swedish Space Corporation (SSC) entwickelten das brasilianische Centro Técnico Aeroespacial (CTA) und das Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) die VSB-30. Bei ihr handelt es sich ebenfalls um eine zweistufige Feststoff-Forschungsrakete mit, im Vergleich zur Skylark 7, stärkerer Leistung und verbesserten Flugeigenschaften. Nach dem erfolgreichen Testflug im Oktober 2004 wird die VSB-30 seit Dezember 2005 im TEXUS-Programm eingesetzt.

MAXUS, MASER und Mini-TEXUS

Neben den Raketen aus dem TEXUS-Programm werden in ESRANGE auch andere Trägersysteme für die Forschung in Schwerelosigkeit eingesetzt.

Das MAXUS-Programm der ESA nutzt eine einstufige Feststoffrakete vom Typ Castor 4B, um eine Nutzlast von bis zu 800 Kilogramm in eine Höhe von über 700 Kilometern zu befördern. Während des Fluges herrscht für etwa 13 Minuten Schwerelosigkeit. Zwischen 1991 und 2006 fanden sieben MAXUS-Missionen statt.

Seit 1986 führt die Swedish Space Corporation das MASER-Programm (Materials Science Experiment Rocket) mit schwedischen und ESA-Nutzlasten durch. Da bei MASER – wie bei TEXUS – die Skylark 7 beziehungsweise die VSB-30 eingesetzt

Furthermore, the Mobile Rocket Base (MORABA) of the DLR's Oberpfaffenhofen center and Kayser-Threde of Munich are involved in the program.

From 1977 to 2004, almost all TEXUS flights used the two-stage Skylark 7 research rocket built by British Aerospace, which was also used in other national and international research programs by DLR MORABA and its partners. When Skylark 7 was phased out, a new launcher was needed from 2005 onwards: the VSB-30, which was developed jointly by the Brazilian Centro Técnico Aeroespacial (CTA), the Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), DLR MORABA, and the Swedish Space Corporation (SSC). Like Skylark 7, the VSB-30 is a two-stage solid-fuel research rocket which, however, is superior in its engine power and handling qualities. Having successfully passed its test flight in October 2004, the VSB-30 has been used in the TEXUS program since December 2005.

MAXUS, MASER and Mini-TEXUS

Besides the rockets of the TEXUS program, other launchers are used at ESRANGE for research in weightlessness.

ESA's MAXUS program, for example, uses single-stage solid-fuel rockets of the Castor 4B type to carry payloads weighing up to 800 kilograms to altitudes of 700 kilometers and more. During each flight, weightlessness prevails for about 13 minutes. Seven MAXUS missions were conducted between 1991 and 2006.

Since 1986, the Swedish Space Corporation has been ferrying Swedish and ESA payloads into space under the MASER program (Materials Science Experiment Rocket). As the program – like TEXUS – uses Skylark 7 or VSB-30 rockets, weightlessness persists for about six minutes. A total of ten MASER missions were launched until 2005.



TEXUS 42-Start am 1. Dezember 2005 (Fotos: SSC)
Launch of TEXUS 42 on December 1, 2005 (Photos: SSC)

werden, beträgt die Dauer der Schwerelosigkeit auch hier etwa sechs Minuten. Bis 2005 wurden zehn MASER-Missionen gestartet.

Von 1993 bis 1998 fanden außerdem sechs Missionen im deutschen Mini-TEXUS-Programm statt. Der Träger mit den zwei Feststoff-Raketenstufen Nike und Orion beförderte eine Nutzlast von jeweils 100 Kilogramm in eine Flughöhe von 140 Kilometern. Die Dauer der Schwerelosigkeit betrug hierbei etwa drei Minuten.

Forschung unter Weltraumbedingungen

Weshalb wollen Wissenschaftler unter Mikrogravitation an Bord von TEXUS-Raketen oder der Internationalen Raumstation ISS forschen?

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 fällt zu Boden, Wasser fließt ins Tal und bei Naturkatastrophen stürzen Häuser ein. Bei vielen Vorgängen in Natur und Technik ist der Einfluss der Schwerkraft jedoch nicht unmittelbar zu erkennen.

Lastly, six missions were implemented under the German Mini-TEXUS program between 1993 and 1998. Consisting of two stages formed by Nike and Orion solid-fuel rockets, launchers carried 100-kilogram payloads up to an altitude of 140 kilometers, with weightlessness prevailing for about three minutes.

Research under space conditions

Why should scientists want to conduct research in microgravity on board a TEXUS rocket or the International Space Station?

Gravity is omnipresent on Earth. All physical, chemical, and biological processes are subject to this condition. Quite often, the effect of gravity plays a highly visible role: Things fall to the ground, water flows downhill, and houses collapse when a natural disaster occurs. 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.

Schwerelosigkeit

Physikalisch gesehen ist ein Objekt schwerelos, wenn es sich im freien Fall befindet. Ein Stein, der von einem Turm fällt, ist schwerelos. Ein in die Luft geworfener Ball befindet sich ebenfalls im freien Fall, ist also schwerelos. Sein Flug erfolgt auf einer so genannten Wurfparabel. Allgemein sind alle Zustände der Schwerelosigkeit Formen des freien Falls.

Im Bremer Fallturm werden Kapseln in einer luftleeren Röhre aus 110 Metern Höhe in einen Auffangbehälter fallen gelassen. Während des Falls herrscht in der Kapsel Schwerelosigkeit. Die TEXUS Rakete vollführt nach dem Ausbrennen der Treibsätze eine steile Wurfparabel. Während dieser antriebslosen Flugphase herrscht in der Rakete Schwerelosigkeit. Auch mit Flugzeugen können kleinere und flachere Manöver dieser Art auf Parabelflügen absolviert werden. Die Umlaufbahn einer Raumstation um die Erde kann man sich als „Wurfparabel“ vorstellen, welche einmal um die Erde reicht. In der Umlaufbahn kompensiert die Trägheitskraft der Bewegung die Erdanziehungskraft, die auch in 400 Kilometern Höhe nur wenig abgenommen hat. Das Ergebnis wird am Fernschirmschirm anschaulich – alle Gegenstände sind schwerelos, Astronauten schweben frei herum.

Der freie Fall ist jedoch ein Idealzustand, der in der Realität so gut wie nicht vorkommt. Denn alle fallenden Körper erfahren noch unterschiedlich starke Störbeschleunigungen, etwa aufgrund des Luftwiderstandes und von Eigenschwingungen. Deshalb spricht man statt von Schwerelosigkeit oft auch von Mikrogravitation. Dieser Begriff hat sich für äußerst geringfügige Schwerkraft eingebürgert.

Weightlessness

In physical terms, an object is weightless whenever it is in free fall. A stone that drops from a tower is weightless. A ball that is thrown into the air is also in free fall and, therefore, weightless. In its flight, it follows what is called a parabolic trajectory. Generally speaking, any state of weightlessness is a form of free fall.

In the Bremen Drop Tower, capsules are dropped inside an evacuated tube from a height of 110 meters into a receptacle. During the fall, weightlessness prevails in the capsule. The TEXUS rocket follows a steep parabolic trajectory after its fuel has been spent. During this coasting phase, the rocket is weightless. Also aircraft can be used to perform similar maneuvers on a smaller scale called parabolic flights. Lastly, the orbit of the Space Station can be visualized as a "parabolic trajectory" encircling the Earth. On orbit, the inertia of movement compensates gravity, which itself is reduced only marginally at a height of 400 kilometers. The result can be watched on TV: all things are weightless, astronauts are floating around.

However, free fall is an ideal state that practically never occurs in reality, for all falling bodies are subject to disturbing accelerations of different intensity caused, for example, by intrinsic vibrations or air drag. This is why the term microgravity, which is commonly used to describe a state of extremely low gravity, so often replaces the term weightlessness.

Die Schwerkraft ist aber auch hier von grundsätzlicher Bedeutung. So hat die Gravitation als immer 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 zu forschen. Weltraumbedingungen bedeuten hier insbesondere Schwerelosigkeit, oder allgemeiner: veränderte Schwerkraftbedingungen.

Das Programm „Forschung unter Weltraumbedingungen“ als Teil des Deutschen Raumfahrtprogramms fördert Untersuchungen zum Einfluss der veränderten 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 mit der Forschung unter Weltraumbedingungen vier Ziele:

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

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 die Wissenschaftler, wie Organismen reagieren und wie biologische Vorgänge unter diesen Bedingungen ablaufen. Hieraus gewinnen

As a perpetual constant, gravity has been a key factor in evolution: For three and a half billion years, life on our planet has been inextricably interwoven with the force of gravity.

Against this background, important fields of research areas in medicine, biology, physics, and materials science need to be conducted under space conditions. In this context, "space conditions" mainly means weightlessness or, to use a more general term, modified gravity.

As a component of the German national space program, the program entitled "Research under Space Conditions" promotes investigations into the influence of modified gravity conditions. It serves to enlarge our body of scientific and technological knowledge and translates it into innovative applications to the benefit of the people on Earth. With its research under space conditions, DLR pursues four objectives, namely

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

Investigation of basic vital functions

As life on Earth is subject to the influence of gravity, its importance for many vital functions can be explored only in its absence. Scientists may then observe how organisms react and what course biological processes take under these conditions. From these observations, conclusions may be drawn about the mechanisms by which protozoa as well as people perceive and respond to gravity. Such insights are of great importance in basic research into the processing of signals in general as well as into certain biotechnological processes. In addition, they help us to improve our understanding of the origin, spreading, and development of life on our home planet.

sie Erkenntnisse über die Mechanismen der Wahrnehmung und Verarbeitung von Schwerkraft vom Einzeller bis zum Menschen. Sie sind von großer Bedeutung für die Grundlagenforschung, so etwa für das Verständnis der Verarbeitung von Signalen ganz allgemein wie auch für das bestimmter biotechnologischer Vorgänge. Zudem helfen sie, die Entstehung, Verbreitung und Entwicklung des Lebens auf unserem Heimatplaneten besser zu verstehen.

Neue Diagnostikmethoden und Therapien für die Medizin

Die Untersuchungen sind außerdem von herausragendem Interesse für die Medizin. Sie liefern neue Erkenntnisse über das Zusammenspiel der verschiedenen Systeme des menschlichen Körpers, etwa der Muskeln und Knochen, des Herzens und Kreislaufs sowie des Immunsystems. Da die Veränderungen, die Astronauten in Schwerelosigkeit in wenigen Wochen oder Monaten erfahren, dem Alterungsprozess des Menschen ähneln, lassen sie sich gewissermaßen im Zeitraffer studieren. Im Gegensatz zum Alterungsprozess sind die Veränderungen beim Astronauten reversibel, so dass 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 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 grundlegenden Voraussetzungen für künftige Langzeitmissionen etwa zum Mond oder zu anderen Zielen zu schaffen.

New methods of diagnosis and therapy in medicine

Furthermore, such investigations are of eminent importance in medicine. They provide new insights in the interaction between various systems of the human body, such as muscles and bones, the heart, the cardiovascular system, and the immune system. And because the changes which astronauts experience within a few weeks or months resemble those caused by the process of ageing in the human body, the time required for studying these phenomena is "compressed". Unlike those caused by ageing, the changes experienced by astronauts are reversible, offering an opportunity of examining their readaptation to Earth's gravity. All this knowledge contributes to the diagnosis and therapy of the sick. Thus, research under space conditions has brought forth new therapies for the treatment of osteoporosis as well as new instruments to measure intraocular pressure and the movements of the eye.

Both these objectives – investigating 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-term missions to the Moon or elsewhere.



Im ESRANGE Kontrollraum (Foto: SSC)
At the ESRANGE control room (Photo: SSC)



Nach erfolgreicher Mission: Die TEXUS 42-Nutzlast ist zurück in ESRANGE (Foto: SSC)
 Mission success: The TEXUS 42 payload back at ESRANGE (Photo: SSC)

Erweiterung der Horizonte in der physikalischen Forschung

Mit Experimenten unter Schwerelosigkeit lassen sich grundlegende Erkenntnisse gewinnen, die ansonsten nicht erreichbar wären. Dies trifft etwa bei den so genannten 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 elektronischen Mikrochips. Weitere Beispiele für die Gewinnung grundlegender Erkenntnisse 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 möglichst realitätsnahe Computersimulationen. Diese gewinnen in der Industrie stetig an Bedeutung und ermöglichen eine effiziente, energie- und damit umweltschonende Entwicklung neuer Werkstoffe.

Expanding the horizons of physical research

Experiments in microgravity may yield fundamental insights that would be unobtainable under any other conditions. So-called plasma crystals are a case in point. Because of the influence of gravity, only two-dimensional crystalline structures can be generated on Earth, and three-dimensional crystals may be studied only in weightlessness. There are signs indicating that, in the long run, these research results may be used in practice to coat electronic microchips, for instance. Further examples of basic research in space include the exploration of certain quantum phenomena and the investigation of early phases in the development of planets.

Innovative materials research

Metallic and semi-conducting materials are mainly produced from the liquid state by melt technologies. Eliminating disturbances in the melt, weightlessness offers crucial advantages in clarifying the interaction between solidification conditions and the structure and properties of the resultant material. Furthermore, important melt properties such as surface tension and viscosity can be measured much more precisely than in terrestrial laboratories by containerless methods that operate in microgravity. Such accurate data are important for improving the realism of computer simulations. Steadily gaining in importance, such simulations enable the industry to develop new materials by more efficient and energy-saving and, consequently, more environment-friendly methods.

Das Programm der DLR Raumfahrt- Agentur

Im Programm „Forschung unter Welt-raumbedingungen“ unterstützt die DLR Raumfahrt-Agentur deutsche Wissen-schaftler, damit sie diesen und ähnlichen Fragen nachgehen können. Das DLR fördert hierbei Biologen, Mediziner, Physiker und Materialwissenschaftler aus Universi-täten, Max-Planck-Instituten und anderen Forschungseinrichtungen.

Zudem werden im Auftrag des DLR spe-ziell für den Einsatz im Weltraum notwen-dige Geräte von der Raumfahrtindustrie entwickelt. Hieraus ergeben sich nicht selten innovative Technologien auch für die Anwendung auf der Erde. So trugen Ergebnisse aus Weltraumexperimenten dazu bei, Gussverfahren im Automobil- und Flugzeugbau zu verbessern und neue medizinische Geräte zu entwickeln.

Um den Einfluss der Schwerkraft unter-suchen zu können, muss man diesen Fak-tor 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 Mikrogravitation),
- die Forschungsraketen TEXUS (6 Minuten) und MAXUS (12 Minuten) sowie
- russische Forschungsatelliten wie FOTON (mehrere Wochen) zur Verfügung.

The program of the DLR Space Agency

Through its “Research under Space Con-ditions” program, the DLR Space Agency supports German scientists in investiga-tion these and other questions of a simi-lar nature. Under the program, DLR pro-motes biologists, physicists, physicians, and materials researchers working at uni-versities, Max Planck Institutes, and other research institutions.

In addition, DLR contracts the space in-dustry for the development of equipment specifically designed for use in space. Not infrequently, the resultant innovative technologies are found suitable for use on Earth. Thus, results of experiments conducted in space help to improve the production processes for aviation and automotive casting and to develop in-novative medical devices.

To study the influence of gravity as a factor, you need to eliminate it entirely or modify its intensity. Depending on the time required for an experiment, DLR offers a variety of flight opportunities to scientists.

Facilities for automated 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).



Letzte Vorbereitungen für den Transport
der TEXUS 43-Nutzlast in den Startturm
Last preparations for the transport of the
TEXUS 43 payload into the launch tower



PD Dr. M. Dreyer (ZARM Bremen) bereitet sein Experiment für den TEXUS 41-Flug vor
 PD Dr. M. Dreyer (ZARM Bremen) prepares his experiment for the TEXUS 41 flight

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.

Der Anfang des TEXUS-Programms

Bis Mitte der 1970er-Jahre waren nur wenige naturwissenschaftliche Experimente unter Mikrogravitation durchgeführt worden. Zwar hatten einige Wissenschaftler die Schwerelosigkeit bereits als interessanten Faktor für die naturwissenschaftliche Forschung erkannt, doch lag das Augenmerk der Weltraummächte zunächst auf der Demonstration ihrer technologischen Möglichkeiten: Raketenbau, Erdbeobachtung, Satellitenkommunikation und der Mann auf dem Mond waren politische Statussymbole des Kalten Krieges. Dies änderte sich mit der russischen Raumstation Salyut (1971), der amerikanischen Raumstation SKYLAB (1974), dem amerikanisch-russischen Apollo-Soyuz-Programm (1975) und durch das amerikanische Forschungsraketenprogramm SPAR (1976). Nach dem Apollo-Programm der USA entspannte sich der Wettstreit der Supermächte USA und UdSSR in der Raumfahrt, so dass die Forschung immer stärker an Gewicht gewinnen konnte. Erfahrungen mit Experimentiertechniken unter den Bedingungen der Schwerelosigkeit, insbesondere der Umgang mit Flüssigkeiten, lagen damals jedoch noch kaum vor. Europa sah hierin eine große Chance, eigene Kompetenzen herauszuarbeiten und entwickelte unter deutscher Leitung das Weltraumlabor

For experiments involving human beings either as experimenters or test subjects, scientists may use

- *parabolic flights (up to 31 times 22 seconds per flight day) or*
- *the International Space Station (ISS) (from several months to several years).*

The beginnings of the TEXUS program

Until the mid-1970s, only a few scientific experiments had been conducted in microgravity. It is true that some scientists had already identified weightlessness as an interesting factor in scientific research, but to the space powers it appeared more important at first to show their technological capabilities: Rocket construction, Earth observation, satellite communication, and putting a man on the moon were the political status symbols of the Cold War. The Russian space station Salyut (1971), the American space station SKYLAB (1974), the Russian-American Apollo-Soyuz program (1975), and the US research rocket program SPAR (1976) changed all that. After the American Apollo program, the competition in astronautics between the two superpowers USA and USSR eased off, which permitted research to gain more and more importance. At the same time, there was hardly any experience with the methodology of experiments conducted in zero gravity, particularly where liquids were concerned. Regarding this as a great opportunity to build up competences of its own, Europe developed the SPACELAB space laboratory for the American space shuttle under the direction of Germany. This gave European astronauts a chance of researching in space to the benefit of the Earth. For this purpose, scientists submitted a multitude of experiment proposals that had to be prepared carefully.

SPACELAB für das amerikanische Space Shuttle. Europäische Astronauten erhielten somit die Chance, im Weltraum für die Erde zu forschen. Hierfür hatten Wissenschaftler eine Vielzahl von Experimentvorschlägen unterbreitet, die sorgfältig vorbereitet werden mussten.

Zur Vorbereitung der SPACELAB-Nutzung wurde das deutsche TEXUS-Programm ins Leben gerufen. Der erste Flug einer zweistufigen Forschungsrakete fand am 13. Dezember 1977 statt. Bis zum Start der ersten SPACELAB-Mission 1983 blieben TEXUS-Flüge für deutsche Wissenschaftler die einzige regelmäßige Forschungsmöglichkeit unter Schwerelosigkeit. Während zunächst hauptsächlich materialwissenschaftliche Experimente durchgeführt wurden, gewann ab Mitte der 1980er-Jahre die biologische und biotechnologische Forschung mehr und mehr an Bedeutung.

Forschung auf TEXUS: Materialwissenschaften und Physik

Pionierarbeit

Eine Aufgabe, die Werkstoffwissenschaftler seit langem reizt, ist das Schmelzen und Erstarren von Metalllegierungen, in denen die Bestandteile möglichst fein und gleichmäßig verteilt sind. Da die Legierungskomponenten häufig unterschiedliche Dichten haben, neigen viele Schmelzen zur Entmischung. Wissenschaftler vermuteten daher, dass unter Schwerelosigkeit besonders homogene Legierungen hergestellt werden könnten. Tatsächlich kam es bei den ersten Experimenten jedoch zu einer überraschend starken Entmischung der Legierungsbestandteile. Die schwerere Schmelze setzte sich zwar nicht – wie auf der Erde – „unten“ ab, befand sich dafür aber innerhalb der anderen.

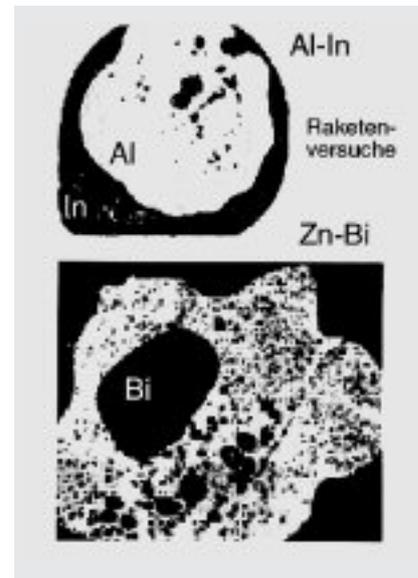
In Germany, the TEXUS program was created to prepare for the utilization of SPACELAB. The first flight of a two-stage research rocket took place on December 13, 1977. Until the first SPACELAB mission took off in 1983, TEXUS flights remained the only regularly available opportunity for German scientists to do research in weightlessness. While the bulk of the experiments dealt with materials science at first, research in biology and biotechnology gained increasing importance from the mid-1980s onward.

Research on TEXUS: Materials science and physics

Pioneering work

A poser that has been intriguing people in materials science for a long time is how to melt and solidify metal alloys so that their constituent elements are distributed as finely and evenly as possible. As alloy components frequently differ in density, many melts tend to segregate. This being so, scientists suspected that alloys produced in microgravity might be particularly homogenous. In fact, however, the degree to which alloy components segregated in the first experiments was astonishing. The heavier melt did not settle to the bottom, as it would have on Earth; instead, it was surrounded by the other component. This baffling result prompted researchers to investigate causes and mechanisms of segregation that had not received any attention so far.

In the first crystal growing experiments, the mixing effect observed proved to be unexpectedly strong whenever a surface of the melt was free, i.e. not in contact with the wall of a crucible.



Entmischung nicht-mischbarer Legierungsschmelzen unter Schwerelosigkeit
Demixing of immiscible alloy melts in weightlessness

Legierungen

In der Metallurgie ist eine Legierung ein Gemenge aus zwei oder mehr chemischen Elementen, von denen mindestens eines ein Metall ist. Um Metalle als Werkstoff besser nutzen zu können, wurden ihnen schon früh von Menschenhand bestimmte Elemente im schmelzflüssigen Zustand zugefügt, welche die Werkstoffeigenschaften wie Härte oder Korrosionsbeständigkeit der Basismetalle auf die gewünschte Weise ändern sollten. Dem gegenüber stehen unerwünschte Fremdstoffe, die bereits durch die Herstellung in die Legierung gelangen und überwiegend negative Wirkungen auf die Werkstoffeigenschaften ausüben. Die bekannteste Legierung ist die Bronze aus Kupfer und Zinn.

Alloys

In metallurgy, the term alloy designates a blend of two or more chemical elements of which at least one is a metal. To enhance the serviceability of metals as a material, man began at an early stage to add certain elements to them in the molten state in order to modify certain properties of the base metal, such as hardness and corrosion resistance. On the other hand, alloys are contaminated during production by undesirable extraneous substances whose effects on the properties of the material are mostly of a negative kind. The best-known alloy is bronze, a blend of copper and tin.

Dieses verblüffende Ergebnis bewegte die Forscher, bis dahin unbeachtete Ursachen und Mechanismen der Entmischung zu ergründen.

In den ersten Experimenten zur Kristallzucht wurde ein unerwartet starker Mischungseffekt beobachtet, wenn eine freie Oberfläche der Schmelze, das heißt unbedeckt von einer Tiegelwand, vorlag. Kristallzüchter wenden tiegelfreie Schmelzen an, um möglichst große, baufehlerfreie Halbleiterkristalle mit gleichmäßig verteilten Dotierstoffen herzustellen. Dotierstoffe sind Zusatzelemente, die dem Halbleitermaterial gewünschte elektrische Eigenschaften verleihen. In der Schwerelosigkeit sollten auch die Dotierstoffe gleichmäßig eingelagert werden, da eine turbulente Durchmischung der Schmelze durch Auftriebskonvektion nicht zu erwarten war. Die Resultate waren allerdings auf den ersten Blick eher enttäuschend – die Inhomogenitäten blieben erhalten.

Sowohl im Fall der „geklumpten“ Legierungen als auch der „gestreiften“ Kristalle trat ein Mechanismus zum Wärme- und Stofftransport in der Schmelze zutage, der von den Wissenschaftlern höchstens vermutet worden, in irdischen Experimenten aber immer verborgen geblieben war. Es handelt sich um die sogenannte Marangoni-Konvektion. Auf der Erde herrschen in Schmelzen meistens schwerkraft-abhängige Transportmechanismen wie Auftriebskonvektion und Ablagerung (Sedimentation) vor. Mit den frühen Experimenten auf TEXUS-Flügen konnte belegt werden, dass der Marangoni-Effekt unter Schwerelosigkeit der wichtigste Mechanismus für den Wärme- und Stofftransport in Flüssigkeiten ist. Er kommt dadurch zustande, dass die größere Oberflächenspannung einer kälteren Flüssigkeitsoberfläche die Oberfläche

Crystal growers use crucible-free melts to produce semiconductor crystals that are as large and as free as possible from structural defects and inequalities in the distribution of the doping elements. Doping elements are additives that impart desired electrical properties to the semiconductor material. Theoretically, doping elements should be embedded more uniformly in microgravity, as it was not to be expected that the melt would be stirred up by convection turbulences. At first glance, however, results were disappointing – there was no change in inhomogeneity.

The case of the “lumpy” alloys as well as that of the “striated” crystals revealed a mechanism called the Marangoni convection, which regulating the transport of heat and mass within a melt, had so far been no more than suspected by scientists as it had always remained concealed in terrestrial experiments. On Earth, transport mechanisms in melts are generally gravity-related, including buoyancy convection and sedimentation. Early experiments on TEXUS flights documented that, in microgravity, it is the Marangoni effect which dominates the transport of heat and mass in liquids. It is caused by attraction between the colder surface of a liquid that is under comparatively higher surface tension and the surface of a warmer area. This force powers convection between the two areas.

One important conclusion drawn from these experiments was that the Marangoni effect is capable of mixing samples throughout their volume. Formerly, the assumption was that at best, this effect is restricted to the surface layers of a liquid. Now, after several years of research into immiscible alloys, scientists know the reason for their segregation: Differences in temperature and interfacial tension that inevitably occur as an alloy melt cools off.

eines wärmeren Bereichs "zu sich zieht". Diese Kraft treibt eine Konvektion zwischen diesen Bereichen an.

Eine wichtige Schlussfolgerung aus diesen Experimenten war, dass die Marangoni-Konvektion ganze Probenvolumen durchmischen kann. Früher nahm man an, dass der Effekt höchstens in der Flüssigkeitsschicht nahe der Oberfläche bedeutend ist. Nach mehrjähriger Forschung an nicht-mischbaren Legierungen kennen die Wissenschaftler heute auch die Ursache für deren Entmischung. Es sind Temperatur- und Grenzflächenspannungsunterschiede, die beim Abkühlen der Legierungsschmelze unvermeidlich auftreten.

Erst Ende der 1980er Jahre sind Begriff und Bedeutung des Marangoni-Effektes in den einschlägigen Fachbüchern fest verankert worden. Aus den gewonnenen Erkenntnissen entstand ein patentiertes industrielles Bandgussverfahren zur Herstellung von Gleitlagerwerkstoffen für Verbrennungsmotoren. Es nutzt den Marangoni-Effekt auf der Erde bei nicht-mischbaren Legierungen gezielt zum Ausgleich der Ablagerung von flüssigen Legierungsbestandteilen mit unterschiedlicher Dichte.

Materialforschung

Die Materialforschung bildete in den ersten zwei Jahrzehnten der TEXUS-Flüge den Schwerpunkt. Bis heute stammen 59 Prozent aller deutschen physikalischen TEXUS-Experimente aus diesem Bereich. So untersuchten Wissenschaftler die Herstellung von Verbundwerkstoffen mit gleichmäßig verteilten Partikeln, die Bildung metallischer Schäume und die Stützhauttechnologie, das heißt das form-erhaltende Umschmelzen von Bauteilen unter Schwerelosigkeit.

Heute optimieren die Forscher den Herstellungsprozess von Halbleiterkristallen mittels elektromagnetischer Felder und mechanischer Schwingungen.



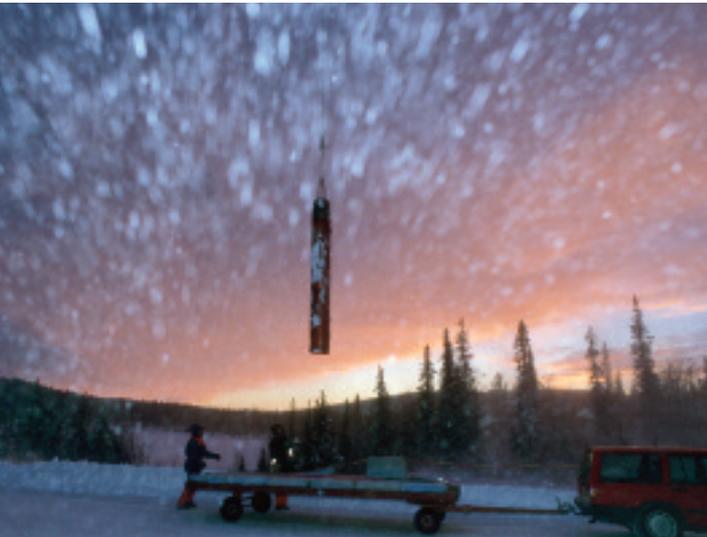
It was only in the late 1980s that the concept and significance of the Marangoni effect were defined in the relevant textbooks. From the insights gained, a patented continuous-casting process was developed for the industrial production of materials for friction bearings in combustion engines. Using the Marangoni effect on Earth, the process equalizes differences in the settling rates of liquid components of different densities in immiscible alloys.

Materials research

During the first two decades, research on TEXUS flights concentrated on materials science, a field which accounts for 59 percent of all German physical TEXUS experiments to this day. Thus, scientists investigated methods to produce composite materials with evenly distributed particles, the formation of metallic foams and the so-called support film technology, which permits preserving the shape of components while they are remelted in weightlessness.

Querschnitt durch einen mit freier Schmelzoberfläche gezüchteten Halbleiterkristall auf der Erde (links) und unter Schwerelosigkeit (Mitte). Keine Verbesserung der streifenförmigen Dotierstoffverteilung. Solche Inhomogenitäten werden erst durch eine bedeckte Schmelzoberfläche (rechts) oder andere Maßnahmen unterbunden.

Cross section of a semiconductor crystal grown with free melt surface on Earth (left) and in weightlessness (center). No improvement of the doping element striations. Such inhomogeneities can only be avoided by a covered melt surface (right) or other measures.



Rückkehr der TEXUS 35-Nutzlast
(Foto: W. Engler) (links); TEXUS 41: Start
des Bergungshubschraubers (rechts)
*Recovery of the TEXUS 35 payload
(Photo: W. Engler) (left); The TEXUS 41
recovery helicopter leaves ESRANGE (right)*



Gleichfalls sind Präzisionsmessungen von wärmephysikalischen Eigenschaften chemisch aggressiver Legierungsschmelzen durch behälterfreies Prozessieren in der Schwebeloch hochaktuell. Diese Themen werden größtenteils gemeinsam mit industrieller Forschung bearbeitet. Die gewonnenen Daten sind für die Computersimulation von Gießverfahren notwendig und dienen somit der Produktionsverbesserung auf der Erde. So wurden im Dezember 2005 die Oberflächenspannung und Zähigkeit an berührungslos schwebenden Schmelztropfen gemessen. Es handelte sich hierbei um kommerzielle Aluminium-Legierungen sowie spezielle Titan-Aluminium-Legierungen.

Das dafür neu entwickelte TEXUS-Modul erlaubt es, durch elektromagnetische Felder die kugelförmigen Proben in der Schwebeloch zu positionieren, gleichzeitig aber auch aufzuheizen und zu schmelzen. Dank dieses neuen Verfahrens und der auf Flugzeug-Parabelflügen und TEXUS-Flügen getesteten Experimentiertechnik entwickeln DLR und ESA derzeit eine größere Forschungsanlage für die ISS, den Elektromagnetischen Levitator EML.

Today, researchers are using electromagnetic fields and mechanical vibrations to optimize the production process of semiconductor crystals. Another topic of great current interest is a process, in which chemically aggressive alloy melts are kept in levitation to facilitate precision measurements of their thermophysical properties. Most of these issues are investigated in cooperation with industrial research. As the data thus acquired are used to simulate casting processes on a computer, they serve to improve production on Earth. In December 2005, for example, the surface tension and viscosity of melt drops that were floating free of contact was measured. In this case, commercial aluminum alloys as well as special titanium-aluminum alloys were investigated.

A TEXUS module specifically developed for this purpose permits levitating spherical specimens by electromagnetic fields while they are heated and melted. Based on this new process and an experimental technology that was tested on parabolic and TEXUS flights, DLR and ESA are currently developing a larger research device for installation on the ISS, the electromagnetic levitator (EML).

Physikalische Forschung

Fluidphysik: Erforschung von Flüssigkeiten und Gasen

Seit Beginn der TEXUS-Flüge interessierten sich die Forscher für das Verhalten von Flüssigkeiten und Gasen in der Schwerelosigkeit. Fast 40 Prozent aller deutschen physikalischen TEXUS-Experimente stammen aus dem Gebiet der Fluidphysik. Die Wissenschaftler untersuchten hierbei etwa, wie sich Flüssigkeiten verhalten, wenn sie siedend, Ecken und Kanten benetzen oder durch eine kapillare Anordnung strömen.

Die bis Ende der 1970er-Jahre gängigen mathematischen Modelle für Siedevorgänge beruhten im Wesentlichen darauf, dass die Wärmeübertragung vom Heizer zur Flüssigkeit durch Auftriebskonvektion und abreißende Dampfblasen erfolgt. Da unter Schwerelosigkeit keine Konvektion stattfindet, wirft dies die Frage auf, ob längeres Sieden ohne Schwerkraft überhaupt möglich ist. Brennt der Heizer durch, sobald er mit Blasen bedeckt ist?

Die Ergebnisse der frühen TEXUS-Forschung zeigten, dass die Wärmeübertragung auch in Schwerelosigkeit durchaus effektiv und ein stationäres Sieden möglich ist. Obwohl sich entlang des Heizdrahts ein Dampfschlauch bildet, sind die Wärmeströme gegenüber den Bedingungen auf der Erde nur wenig geringer. Hauptsächlich erfolgt der Wärmetransport über die Verdampfung. Allerdings wird die irdisch dominierende Auftriebskonvektion durch die Konvektion an der Grenzfläche flüssig-gasförmig ersetzt. Erneut stießen die Forscher auf die Marangoni-Konvektion und ihre große Bedeutung bei physikalischen Abläufen in der Schwerelosigkeit. Auf der Grundlage dieses Ergebnisses entwickelten sie neue mathematische Modelle, die sowohl schwerkraftabhängige als auch -unabhängige Mechanismen berücksichtigen. Bis heute sind die Vorgänge jedoch noch nicht endgültig aufgeklärt, so dass sie Gegenstand der Forschung bleiben.

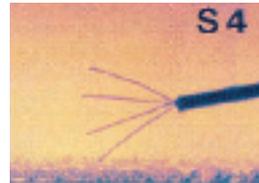
Physical research

Fluid physics: Research into liquids and gases

Ever since the first TEXUS flight, researchers have been interested in the behavior of liquids and gases in microgravity. Almost 40 percent of the German physical TEXUS experiments are related to fluid physics. Among other things, scientists investigated the question of how fluids behave when they boil, wet edges and corners, or flow through a capillary arrangement.

The mathematical models of boiling processes that were current until the late 1970s essentially assumed that the transfer of heat from a heating element to a liquid is based on convection-driven flows and rising vapor bubbles. As convection does not happen in weightlessness, the question arises whether prolonged boiling without gravity is feasible at all. Will the heating element burn out as soon as it is covered with bubbles?

Very early on, TEXUS research results showed that heat transfer remains an effective process even in microgravity, and that stationary boiling is possible. Although the heating wire will be covered by a skin of steam, the heat flow is only slightly lower compared to the conditions on Earth. Most of the heat is transported by evaporation; the convection-induced flow that predominates on Earth is replaced by convection at the interface between the liquid and the gaseous state. Once again, researchers were brought face to face with the Marangoni convection and its great importance for physical processes in weightlessness.



Blasensieden unter Schwerelosigkeit (links, TEXUS-Experiment) und im Labor auf der Erde (rechts)

Pool boiling in weightlessness (left, TEXUS experiment) and in a terrestrial lab (right)

Kapillarkraft

Die Kapillarkraft (lateinisch *capillaris*, das Haar betreffend) bestimmt das Verhalten von Flüssigkeiten, das sie bei Kontakt mit Kapillaren, etwa engen Röhren, Spalten oder Hohlräumen, in Feststoffen zeigen. So steigt Wasser in einem engen Glasröhrchen ein Stück entgegen der Schwerkraft auf, wenn man das Röhrchen senkrecht in das Wasser taucht. Dieser Effekt wird durch die Oberflächenspannung von Flüssigkeiten selbst sowie der Grenzflächenspannung von der Flüssigkeit mit der festen Oberfläche – etwa das Röhrchen – hervorgerufen.

Capillary force

Capillary force (capillaris meaning hair-related in Latin) governs the way in which liquids behave when they come into contact with capillaries, such as narrow tubes, cracks, or cavities in solids. Thus, water will rise to a certain extent against the force of gravity in a narrow glass tube that is dipped vertically into the water. This effect is caused by the surface tension of fluids and the interfacial tension between a fluid and a solid surface, such as the tube in our case.

Seit den 1990er-Jahren untersuchen die Fluid-Forscher vermehrt die in schmalen Kanälen auftretenden Strömungen, die durch sogenannte Kapillarkräfte angetrieben werden. Das Verständnis dieser Vorgänge ist beispielsweise für die Handhabung von Treibstoff in Satellitentanks und Raketen-Oberstufen wichtig. In den TEXUS-Experimenten werden diese Anwendungen, in denen schmale Strömungskanäle im Innern der Tanks vorhanden sind, durch Modelle aus parallelen Platten mit seitlich offener Berandung nachgestellt. Auf der Erde ist ein solches Experiment nicht durchführbar, da die Flüssigkeit sofort aus den offenen Stellen auslaufen würde.

Die Wissenschaftler konnten nachweisen, dass die Strömungsgeschwindigkeit in den kapillaren Kanälen nach oben hin begrenzt ist. Beim Überschreiten einer kritischen Geschwindigkeit werden von der offenen Seite her Luftblasen in die strömende Flüssigkeit gesaugt, wodurch die Strömung instabil wird. Ein derartiges Verhalten muss im Fall der Treibstoff-Förderung in Satellitentanks verhindert werden.

Die Forschung soll künftig auf der ISS in einer umfangreichen Experimentserie fortgesetzt werden. Dazu entwickelt das DLR in Zusammenarbeit mit der amerikanischen Weltraumbehörde NASA die neue Anlage CCF (Capillary Channel Flow). Sie ist eine Fortentwicklung des TEXUS-Moduls und wird im amerikanischen ISS-Labor DESTINY untergebracht sein.

Fundamentalphysik: Erforschung elementarer physikalischer Gesetzmäßigkeiten

Mehr als 99 Prozent der sichtbaren Materie im Universum befindet sich im Zustand des Plasmas. Plasma gilt allgemein als der ungeordnetste Materiezustand nach fest, flüssig und gasförmig. Es ist

Based on this finding, they developed new mathematical models that allow for gravity-dependent as well as gravity-independent mechanisms. As these processes are not yet completely understood, however, they remain an object of research to this day.

Since the 1990s, some fluid researchers have been concentrating on flows in narrow ducts that are driven by so-called capillary forces. Understanding these processes is important for the handling of fuel in the tanks of satellites and the rocket orbiters, for example. These applications, in which the interior of a tank features narrow flow channels, are simulated in TEXUS experiments by models consisting of parallel plates whose edges are not sealed. Such an experiment would be impossible to run on Earth because the liquid would leak immediately from the apertures.

Scientists were able to demonstrate that there is an upper limit to the speed of flow through capillary channels. When it rises beyond a critical limit, air bubbles will be sucked into the flowing liquid from the open sides, destabilizing the flow. Exactly this phenomenon must be prevented when fuel is transported in the tanks of satellites.

This line of research will be continued in a comprehensive series of experiments on board the ISS. In that context, DLR is collaborating with the American space agency NASA on the development of a new system called CCF (Capillary Channel Flow). Derived from the TEXUS module, it will be installed in the American ISS laboratory, DESTINY.

Fundamental physics: Exploring elementary physical laws

More than 99 percent of the visible matter in the universe is in a state called plasma, which is generally regarded as the most disordered state matter can assume. It is the substance of lightnings and polar lights, and it forms the light-emitting

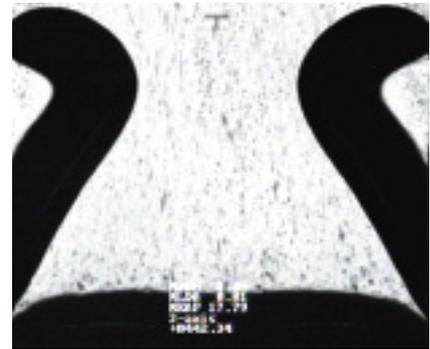
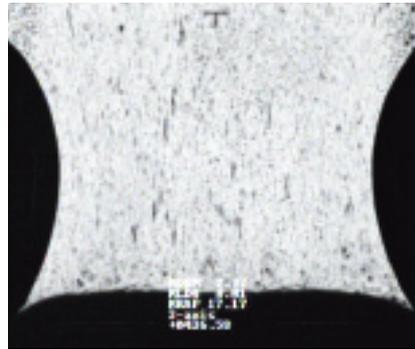
der Stoff, aus dem Blitze, Nordlichter oder das leuchtende Medium in der Energiesparlampe und im Plasmabildschirm bestehen. Oft findet man kleine Staubpartikel im Plasma – man spricht dann von staubigen oder komplexen Plasmen. Im Labor können sich die Partikel unter bestimmten Bedingungen zu regelmäßigen Mustern zusammenfügen, den so genannten Plasmakristallen. Plasmen, die Partikel von Submikrometer-Größe enthalten, sind bedeutend für die Fertigung von Computerchips, für die Erzeugung von Nanopulvern oder für die Herstellung neuartiger Solarzellen.

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 in einem verdünnten Gas aufgebaut, die sich gegenseitig abstoßen. Dadurch nehmen sie in einem elektrischen Feld, in dem sie eingeschlossen sind, untereinander die größtmöglichen Abstände ein. Das macht den Kristall transparent, so dass 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.

Seit 2001 werden im russischen ISS-Segment Svesda sogenannte Plasmakristalle erforscht. Bevor die erforderliche Anlage gebaut werden konnte, testeten Wissenschaftler die Experimentkammer für die Plasmakristalle auf zwei TEXUS-Flügen. Erwartungsgemäß bildete sich eine ausgedehnte kristalline Partikelstruktur. Allerdings enthielt diese einen großen partikelfreien Raum.



medium in energy-saver bulbs and plasma screens. Plasma often contains small dust particles, in which case it is called a dusty or complex plasma. Under certain laboratory conditions, these particles may form regular patterns called plasma crystals. Plasmas containing sub-micrometer particles are important for the production of computer chips, nano-powders, and innovative solar cells.

TEXUS-Experiment: Unterkritische (links) und überkritische Strömungsgeschwindigkeit (rechts). Im letzten Fall bricht die freie Oberfläche zusammen und Gas tritt in die Strömung ein

TEXUS experiment: Subcritical (left) and supercritical (right) fluid flow velocity. In the latter case, the free surface collapses and gas is ingested

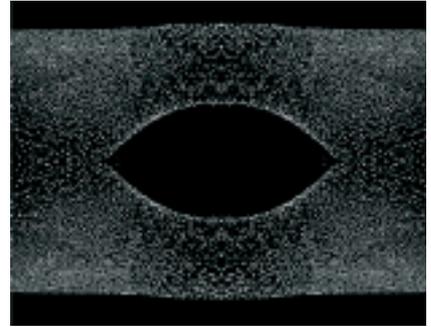
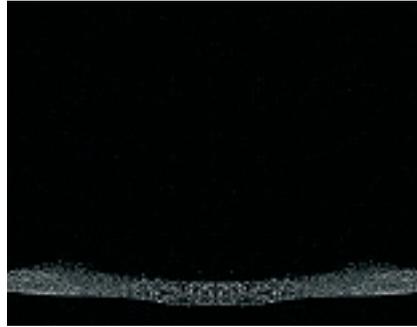
How does a plasma crystal work? Crystals composed of neutral atoms consist of densely-packed particles that are held together by mutual attraction. Conversely, plasma crystals consist of dust particles with identical electric charges in a low density gas that repel each other. This is why they keep the maximum possible distance from each other when they are enclosed by an electrical field. Because of this, the crystal is transparent so that the movement of its constituent particles is visible – an impossibility in true solid bodies.

For a long time, plasma crystals could only be studied in structures that were almost two-dimensional because the cloud of dust particles was compressed by the influence of gravity. Plasma crystals that extend in three dimensions can be generated only in weightlessness.



Unter den Bedingungen der Schwerkraft sammeln sich die Partikel im unteren Bereich, der entstandene Plasmakristall ist gestaucht (links). Unter Schwerelosigkeit können sich die Partikel des Plasmakristalls frei im Raum verteilen und so große, dreidimensionale Strukturen bilden (rechts)

Under normal gravity conditions, particles concentrate in the lower part, producing a compressed plasma crystal (left). In weightlessness, the particles of a plasma crystal can spread out freely in space, forming large three-dimensional structures (right)



Wie die Forscher heute wissen, ist ein solcher Effekt unter Schwerelosigkeit sogar typisch bei dreidimensionalen Strukturen. Inzwischen gelingt es durch gezielte Experimentführung jedoch, den partikelfreien Raum zu schließen.

Es war eine wertvolle Erfahrung der TEXUS-Flüge, dass ein solches Experiment im vollautomatischen Betrieb auf einer Raumstation versagt hätte: Die Plasmaforscher können sich nicht allein auf die im irdischen Labor ermittelten Experimentparameter stützen, sondern müssen geeignete Korrekturen über Telemetrie vornehmen. Diese Erkenntnis führte zur Verbesserung der Kontroll- und Steuerprogramme der Anlage PKE (Plasmakristall Experiment), die schließlich Anfang 2001 als erstes naturwissenschaftliches Experiment auf der ISS ihre Arbeit aufnahm. Die Forschung zu Plasmakristallen wird inzwischen in der zweiten Anlagengeneration auf der ISS in deutsch-russischer Kooperation kontinuierlich betrieben. Ohne die vorbereitenden TEXUS-Flüge wäre dieser Erfolg kaum möglich gewesen.

In 2001, research into plasma crystals started in the Russian Svesda segment of the ISS. Before the test device could be built, scientists verified the experiment chamber that was to contain the plasma crystals on two TEXUS flights. As expected, an extensive crystalline particle structure formed, which, however, contained a large space that was free of particles. Today, researchers are aware that such an effect is nothing less than typical for three-dimensional structures in microgravity. Meanwhile, however, the experiment can be controlled so that the particle-free space is filled.

One valuable experience made during the TEXUS flights was that the experiment would have failed if it had been run automatically on the space station. Far from relying exclusively on experimental parameters determined in a laboratory on Earth, scientists must be able to make corrections via telemetry. This insight led to improvements in the monitoring and control programs of the PKE (Plasmakristall-Experiment: German for Plasma Crystal Experiment) system which finally began operating as the first scientific experiment on board the ISS in 2001. Now in its second generation, the system is still used in plasma crystal research on board the ISS in collaboration between Germany and Russia. This success would have hardly been achievable without the TEXUS flights that paved the way for it.

Forschung auf TEXUS: Biologie

Seit der Entstehung des Lebens vor etwa 3,5 Milliarden Jahren hat die Schwerkraft, eine zu allen Zeiten konstante Größe, maßgeblich die Evolution der Organismen einschließlich des Menschen bestimmt. Auch heute läuft das Leben auf der Erde unter dem Einfluss der Schwerkraft ab. Ihre Bedeutung für viele Funktionen des Lebens lässt sich nur erforschen, wenn man sie variiert oder ganz ausschaltet, also Experimente in Schwerelosigkeit durchführt. Auf Forschungsraketen wie TEXUS konzentrierten sich diese Untersuchungen auf zwei Themenbereiche der Biowissenschaften, die Biotechnologie und die Gravitationsbiologie.

Biotechnologie

Bei verschiedenen biotechnologischen Phänomenen kann man aus theoretischen Überlegungen schließen, dass die Schwerkraft und die mit ihr verbundenen Konsequenzen wie Ablagerung, wärmegetriebene Konvektion und hydrostatischer Druck einen nachteiligen Einfluss haben. Diese Überlegungen haben in den 1970er-Jahren dazu geführt, biotechnologische Fragen in das deutsche Raumfahrtprogramm aufzunehmen. Ziel war es, die Mikrogravitation zur Verbesserung bestimmter biologischer Abläufe zu nutzen. Im Wesentlichen betraf dies drei Phänomene:

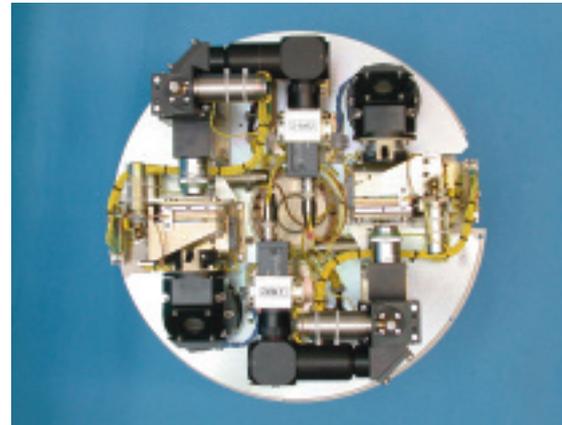
- ein Verfahren zur Trennung von Molekülen oder Zellen aufgrund ihrer elektrischen Ladung (Free Flow-Elektrophorese)
- die Verschmelzung von Zellen unterschiedlicher Größe und Eigenschaften zur Bildung von so genannten Hybriden mit neuen Merkmalen mittels elektrischer Impulse (Elektrozellfusion)

Research on TEXUS: Biology

Remaining constant at all times, gravity has exerted a controlling influence on the evolution of organisms, humans included, ever since life first appeared on Earth about 3.5 billion years ago. Even today, life is permanently influenced by gravity. We can explore its significance for many vital functions only if we modify it or eliminate it entirely, i.e. when we conduct experiments in weightlessness. On research rockets like TEXUS, investigations focus on two disciplines of life sciences, biotechnology and gravitational biology.

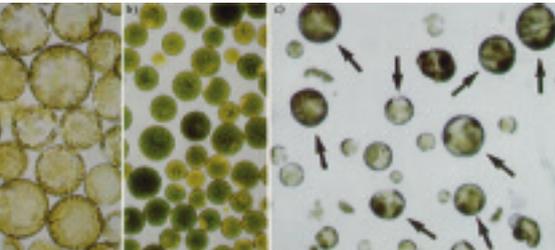
Biotechnology

Theoretical considerations suggest that investigations into a variety of biotechnological phenomena are negatively influenced by gravity and its consequences, such as sedimentation, heat-driven convection and hydrostatic pressure. These considerations motivated the inclusion of biotechnological issues in the German national space program in the 1970s. The objective was to take advantage of microgravity to improve certain biological processes. Essentially, three phenomena were investigated: The separation of molecules or cells within electric fields (free flow electrophoresis), using electrical impulses to fuse cells of different sizes and properties into so-called hybrids with entirely new features (electric cell fusion) and crystallizing large biological molecules such as nucleic acids and proteins to produce larger and more uniform crystals.



Teil eines TEXUS-Moduls zur Videomikroskopie unter veränderbaren Schwerkraftbedingungen (oben); Blick durch eine TEXUS-Probenkammer für Algenzellen, im Hintergrund der TEXUS-Startturm (unten)

Part of a TEXUS module for videomicroscopy under variable gravitational conditions (top); Looking through a TEXUS growth chamber for algae cells, with the TEXUS launch tower in the background (bottom)



Fusion verschiedener Tabakzellen (a und b) zu Hybriden (c)
(Foto: Mehrle et al., Plant Physiology)

Fusion of different types of tobacco cells (a and b) into hybrids (c)
(Photo: Mehrle et al., Plant Physiology)

- und die Kristallisation von biologischen Großmolekülen wie Nukleinsäuren und Proteinen. Letztere sollte zu größeren und gleichmäßigeren Kristallen führen. Die Untersuchung mit Hilfe von Röntgenstrahlen sollte schließlich zu einer genaueren Bestimmung der dreidimensionalen Struktur der Moleküle führen, wovon man sich vielfältige Anwendungsmöglichkeiten wie die Herstellung neuer Medikamente erhoffte.

Versuche auf Forschungsraketen in den 1980er-Jahren erbrachten in der Tat die erwarteten Ergebnisse: So gelang beispielsweise mittels Free Flow-Elektrophorese unter Mikrogravitation die Trennung von roten Blutkörperchen aus verschiedenen Organismen, was auf der Erde nicht möglich war. Die Ausbeute bei der Fusion von Zellen mit unterschiedlichen Eigenschaften, beispielsweise von zwei verschiedenen Typen isolierter Tabakzellen, war in Mikrogravitation deutlich verbessert, zum Teil um den Faktor 10.

Die Kristallisation biologischer Makromoleküle in Schwerelosigkeit begann auf TEXUS Ende der 1970er-Jahre und wurde mit einer Vielzahl von Experimenten auf Satelliten und astronautischen Missionen fortgesetzt. Sie bestätigten häufig die Richtigkeit der theoretischen Überlegungen. Bei etwa 25 Prozent der Experimente wurden bedeutende Verbesserungen erreicht. In einigen Fällen gelang in Mikrogravitation sogar erstmals eine Kristallisation.

Gravitationsbiologie

Versuche deutscher Wissenschaftler auf Forschungsraketen konzentrieren sich in der Gravitationsbiologie auf Fragen der Schwerkraft-Wahrnehmung und -Verarbeitung bei Mikroorganismen und Pflanzen.

Die Pflanzen standen vor einer großen Herausforderung, als sie vor mehr als 400 Millionen Jahren ihren ursprünglichen Lebensraum Wasser verließen, das

Finally, X-ray examinations were supposed to yield more detailed information about the three-dimensional structure of these molecules, what was expected to result in a variety of new applications in the production of new medicines and elsewhere.

In fact, various tests carried out on research rockets in the 1980s showed the expected results. Thus, for example, free-flow electrophoresis in microgravity succeeded in segregating red blood cells from a variety of organisms, something that had been impossible on Earth. Again, microgravity notably improved – sometimes by a factor of ten – the yield of fusion processes involving cells of different properties, such as two different types of previously isolated tobacco cells (see figure).

The crystallization of biological macromolecules in weightlessness was initiated on TEXUS flights in the late 1970s and continued in a multitude of experiments on satellites and astronautical missions. The results frequently corroborated previous theoretical considerations. About 25 percent of the experiments yielded major improvements, and in some cases, crystallization even succeeded for the first time in microgravity.

Gravitational biology

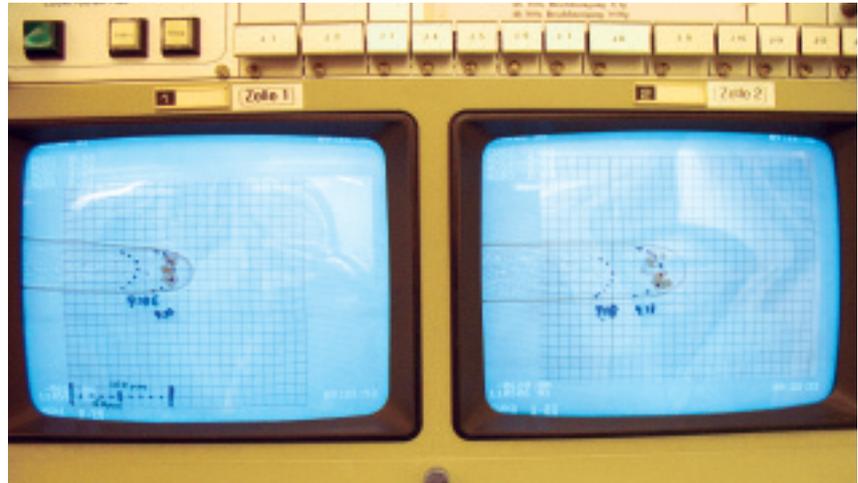
In gravitational biology, the experiments undertaken by German scientists on research rockets focused on the perception of gravity and the gravity-related signal transduction pathway of microorganisms and plants.

Plants were confronted with a great challenge when they left their original habitat, the water, more than 400 million years ago to spread across the dry land, thereby providing food for other organisms, humans included. Gravity became the driving force of evolution. Plants evolved dedicated tissues to stabilize themselves against the force of gravity, and sessile organisms developed sensitive mechanisms of perception and reaction to orient themselves precisely and purposefully in

Land besiedelten und dort die Nahrungsgrundlage für weitere Organismen einschließlich der Menschen bildeten. Schwerkraft erwies sich als treibende Kraft für die Evolution. Spezielle pflanzliche Gewebe wurden entwickelt, um sich gegen die Schwerkraft zu behaupten, und leistungsfähige Wahrnehmungs- und Reaktionsmechanismen ermöglichten den festsitzenden Organismen eine präzise und zweckmäßige räumliche Orientierung.

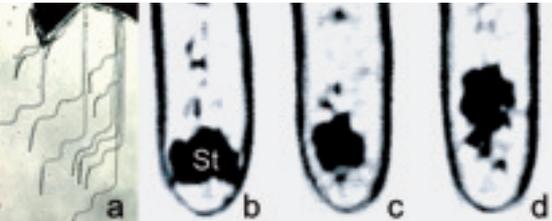
Die oft als selbstverständlich angesehene Ausrichtung der Pflanzenwurzeln nach unten in die Erde und die der Sprosse nach oben zum Licht erfordert hochempfindliche Sensorsysteme und eine komplexe Signalverarbeitung. Diese wurde in den letzten Jahren nicht zuletzt durch Weltraumexperimente deutscher Wissenschaftler auf Forschungsraketen näher aufgeklärt. Die als Gravitropismus bezeichnete Ausrichtung von Pflanzenorganen nach der Schwerkraft wird durch wenige Zellen kontrolliert, die einen speziellen Apparat für die Schwerkraftwahrnehmung besitzen. So etwa richten sich Getreidehalme selbstständig wieder auf, nachdem sie vom Sturm zu Boden gedrückt wurden.

Einzellige wurzelähnliche Strukturen (Rhizoide) der Grünalge *Chara* erwiesen sich als ideal geeignete Modelle, an denen die zugrunde liegenden zellulären Mechanismen, die Empfindlichkeit und die Leistungsfähigkeit des pflanzlichen Sensorsystems im Detail untersucht werden konnten. Diese Experimente führten die Wissenschaftler zu der Erkenntnis, dass schwere zellinterne Partikel, sogenannte Statolithen, von einem hochdynamischen Proteinsystem in einer Gleichgewichtsposition gehalten werden. Jede Änderung der Schwerkraftrichtung bewirkt eine Verlagerung dieser Partikel, wodurch Sensormoleküle in der Zellmembran, die Gravirezeptoren, aktiviert werden. Sie leiten daraufhin die Reaktion der Pflanze auf die Lageveränderung ein. Bei komplexeren Pflanzen konnte ein ähnlicher Wahrnehmungsmechanismus nachgewiesen werden.



Die Videomikroskopie von Algenzellen wird während des TEXUS 43-Fluges vom Wissenschaftler selbst per Telekommando gesteuert
During the TEXUS 43 mission videomicroscopy of algae cells is controlled by the scientist via telecommand

their environment. Often regarded as commonplace, the downward orientation of the roots of a plant into the soil and the upward orientation of its shoots towards the light actually call for highly sensitive sensors and complex signal processing on which some light was shed in recent years, not least by the experiments conducted by German scientists on research rockets. Called gravitropism, the orientation of plant organs in relation to the direction of gravity is controlled by a few cells equipped with a special mechanism for detecting gravity. Thus, for example, grain stalks that were flattened by a storm will straighten up automatically. It was found that the monocellular root-like structures (rhizoids) of the green alga Chara are ideal models for detailed investigations of the basic cellular mechanisms, the sensitivity and the capabilities of plant sensor systems on research rockets. Through these experiments, scientists came to the conclusion that heavy particles called statoliths in the interior of a cell, which are kept in equilibrium by a highly dynamic protein system, are shifted by any change of the orientation of the organ with respect to the direction of gravity.



Rhizoide der Grünalge *Chara* richten sich nach mehrfacher 90-Grad-Auslenkung stets wieder nach der Schwerkraft aus (a). Verantwortlich für die Schwerkraftwahrnehmung sind Statolithen (St). Die Schwerkraft und Zellskelettkräfte halten diese in einer dynamisch stabilen Gleichgewichtsposition (b). In der Mikrogravitationsphase eines TEXUS-Flugs wirken nur noch die zellulären Kräfte, wodurch die Statolithen entgegen der ursprünglich wirkenden Schwerkraft verlagert werden (c, 2 min μ g; d, 5 min μ g)

Rhizoids of the green alga Chara redirect their growth direction in response to tilting the cells four times at 90 degrees. Heavy cell organelles, the statoliths (St), are kept in a dynamically stable position of balance by gravity forces and counteracting cellular forces (b). In the microgravity phase of a TEXUS flight, the cellular forces are no longer compensated by gravity and transport the statoliths against the original direction of gravity (c, 2 min μ g; d, 5 min μ g)

Diese wissenschaftlichen Arbeiten finden weltweit große Beachtung und wurden mit internationalen Forschungspreisen ausgezeichnet.

Auch im Wasser lebende Mikroorganismen wie das Augentierchen *Euglena* oder das Pantoffeltierchen *Paramecium* sind in der Lage, sich mittels Schwerkraft zu orientieren. So gelingt es ihnen, optimale Bedingungen für die Photosynthese, Fortpflanzung und Nährstoffaufnahme zu finden. Dieser Vorgang wird als Gravitaxis bezeichnet. Mit Ergebnissen aus TEXUS-Experimenten konnten Wissenschaftler nun eindeutig beweisen, dass auch Mikroorganismen physiologische Mechanismen zur Schwerkraftwahrnehmung besitzen. Beim Wimperntierchen *Loxodes* erfolgt die Schwerkraftwahrnehmung beispielsweise über spezielle Organelle, die so genannten Müller-Vesikel. *Euglena* und *Paramecium* dagegen reagieren auf Druckunterschiede, die an der Zellmembran durch den Dichteunterschied zwischen dem Zellinhalt und dem umgebenden Medium zustande kommen.

Dass auch andere, nicht so offensichtlich von der Richtung der Schwerkraft abhängige zelluläre Prozesse sowie molekulare und physiologische Reaktionen von diesem Faktor beeinflusst werden können, wurde ebenfalls auf TEXUS-Flügen nachgewiesen. Wissenschaftler untersuchten hierfür isolierte Pflanzenzellen und Pollenschläuche. Bereits nach kurzer Zeit kann beispielsweise das Ablesen der Gene, die Proteinbiosynthese oder die Proteinaktivität verändert sein; komplexe Vorgänge wie die Endocytose, also die Aufnahme von Stoffen aus der Umgebung, und Membraneigenschaften werden hierdurch beeinflusst. Mit weiteren Experimenten auch auf der Internationalen Raumstation wollen die Biologen der Bedeutung dieser Schwerkraftwirkungen näher auf die Spur kommen.

Thereby, they activate sensor molecules in the cellular membrane called gravireceptors, which initiate the plant's response to the dislocation. A similar perception mechanism was demonstrated not only in algae, but in more complex plants as well. These scientific investigations attracted great attention worldwide and received international research awards.

Even aquatic microorganisms like Euglena and Paramecium use gravity for orientation. In this case, the purpose is to find optimum conditions for photosynthesis, reproduction and feeding. This process is called gravitaxis. Based on the results of TEXUS experiments, scientists were able to prove unequivocally that even microorganisms have their own physiological mechanisms for perceiving the direction of gravity. One case in point is Loxodes, a ciliate which uses special organelles called Müller's vesicles to detect the direction of gravity. Conversely, Euglena and Paramecium respond to differences in pressure between the content of the cell and the surrounding medium, which are perceived at the cell membrane.

The fact that gravity also influences many other cellular processes that are not obviously dependent on its direction as well as molecular and physiological reactions was also proven on TEXUS flights. In this context, scientists examined isolated plant cells and pollen tubes. It was found that gene expression as well as the biosynthesis or the activity of proteins may change within a brief period of time. Furthermore, the influence extends to complex processes like endocytosis, i.e. the absorption of substances from the environment, and certain membrane properties. Biologists plan to conduct further experiments, some of them on the International Space Station, to investigate the significance of gravity for life on Earth.

Rakete und Missionsprofil

In den vergangenen 30 Jahren nutzten die Forscher im Rahmen des TEXUS-Programms fast ausschließlich den Raketentyp Skylark 7, eine zweistufige, etwa 13 Meter hohe Feststoffrakete des Herstellers British Aerospace. Nachdem British Aerospace die Produktion des Trägersystems eingestellt hatte, wird seit 2005 die brasilianische Rakete VSB-30 mit leicht verbesserten Eigenschaften im TEXUS-Programm eingesetzt. Die VSB-30 kann eine Nutzlast von etwa 400 Kilogramm in eine Höhe von bis zu 300 Kilometer befördern. Der erste Start einer VSB-30 erfolgte am 23. Oktober 2004 in Alcantara (Brasilien). Der erste Start im Rahmen des TEXUS-Programms fand am 1. Dezember 2005 in Kiruna statt.

Der Flug in die Schwerelosigkeit

Nach dem Start der Rakete und dem Ausbrennen der beiden Stufen wird die Nutzlast vom Antrieb abgetrennt. Danach wird die zur Stabilisierung des Fluges erforderliche Rotation mit Hilfe von an Seilen hängenden Gewichten gemäß dem Jojo-Prinzip abgebaut. Ähnlich bremsen sich Eiskunstläufer bei Pirouetten ab. Bei Stillstand der Nutzlast werden diese Gewichte ausgeklinkt, und acht mit Stickstoff angetriebene Düsen übernehmen die Feinjustierung der Nutzlast-Winkelgeschwindigkeiten für den weiteren Flug. Dadurch herrscht in den Experimentmodulen etwa ab einer Bahnhöhe von 100 Kilometer für etwa sechs Minuten Mikrogravitation. Nach Durchfliegen des Scheitelpunkts der Parabel in etwa 250 Kilometer Höhe fällt die Rakete wieder Richtung Erde. In 100 Kilometer Höhe tritt die Nutzlast erneut in die dichteren Schichten der Atmosphäre ein, wodurch die Phase der Schwerelosigkeit beendet wird: Durch den Luftwiderstand wird die Geschwindigkeit der Nutzlast von 2.000 Meter pro Sekunde auf 120 Meter pro Sekunde abgebremst.

VSB-30: Technische Daten (am Beispiel TEXUS 42)

	Masse (kg)	Länge (m)	Durchmesser (m)	Brenndauer (sec)
Nutzlast	372	4,57	0,44	---
2. Stufe	2.104	4,09	0,56	29 sec
1. Stufe	1.656	3,31	0,56	15 sec
Gesamt	4.132	11,97		

VSB-30 technical data (example: TEXUS 42)

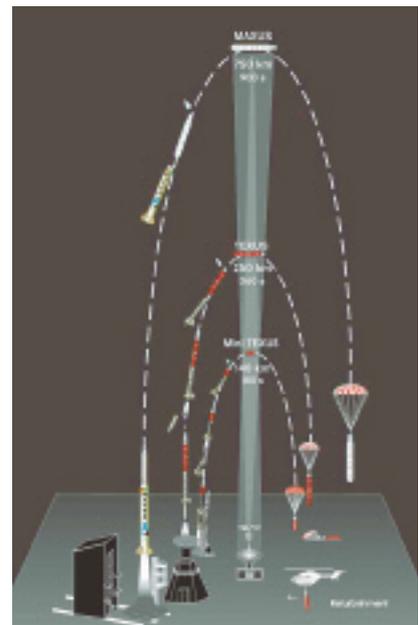
	Mass (kg)	Length (m)	Diameter (m)	Burntime (sec)
Payload	372	4.57	0.44	---
2nd stage	2,104	4.09	0.56	29 sec
1st stage	1,656	3.31	0.56	15 sec
Total	4,132	11.97		

The rocket and the mission profile

In the last 30 years, researchers working within the TEXUS program almost exclusively used the Skylark 7, a two-stage solid-fuel rocket developed by British Aerospace that is about 13 meters in length.

In 2005, British Aerospace phased out the Skylark carrier system. Since that time, VSB-30, a Brazilian rocket with slightly improved features, has been used in the TEXUS program. The VSB-30 is designed to carry a payload of about 400 kilograms up to an altitude of up to 300 kilometers. The first VSB-30 was launched at Alcantara (Brazil) on October 23, 2004, and the first launch for the TEXUS-program at Kiruna took place on December 1, 2005.

Once the rocket has been launched and its two stages are burnt out, the payload separates from the booster. Next, the rotation that was required to stabilize the flight is cancelled by weights suspended from ropes that operate like a yo-yo.



Flugprofile von MAXUS, TEXUS und Mini-TEXUS
 Flight profiles of MAXUS, TEXUS and Mini-TEXUS



Etwa fünf Kilometer über dem Zielgebiet werden der Bremsfallschirm und schließlich der Hauptfallschirm entfaltet, dann setzt die Nutzlast mit ungefähr 30 Kilometer pro Stunde „weich“ auf. Anschließend birgt ein Hubschrauberteam die Kapsel und bringt sie innerhalb von einer Stunde zum Startplatz zurück. Hier nun können die Wissenschaftsteams ihre Experimente entnehmen und zur weiteren Untersuchung ins Labor bringen.

DLR und ESA führen ihre TEXUS-Missionen hauptsächlich im Spätherbst oder im späten Frühjahr durch. Denn für TEXUS sind tiefe Temperaturen und ausreichendes Tageslicht notwendig. Wichtig ist beispielsweise, dass der Boden und alle Gewässer im Landegebiet nördlich von ESRANGE gefroren und möglichst schneebedeckt sind, um das Ein- oder gar Versinken der Nutzlast bei der Landung auszuschließen. Außerdem erleichtert dieser Umstand das Auffinden der gelandeten Kapsel an ihrem Fallschirm, die zur besseren Sichtbarkeit zudem rot sind. Zusätzlich dämpft die Schneedecke das Aufsetzen der Nutzlast auf dem Boden. Schließlich herrschen im Spätherbst und späten Frühjahr stabilere Wetterlagen mit wenig Niederschlag und Wind vor, was Landung und Bergung gleichfalls begünstigt. Damit das Hubschrauberteam die Nutzlast rasch finden kann, ist für ihren Einsatz zudem Tageslicht erforderlich.

VSB-30 vor ihrem Qualifikationsflug am 23. Oktober 2004 in Alcantara (Brasilien)
VSB 30 before its qualification flight in Alcantara (Brazil) on October 23, 2004

Figure skaters slow down in a similar way after a pirouette. As soon as the payload has come to a standstill, these weights are cast off, and eight nitrogen jets begin finely adjusting the angular velocity of the payload during the subsequent flight. From an altitude of about 100 kilometers onward, microgravity prevails in the experiment modules for about six minutes. After passing through the apex of its parabola (apogee) at an altitude of about 250 kilometers, the payload drops to 100 kilometers, when it again enters the denser layers of the atmosphere. At that time, the phase of weightlessness ends. Air drag alone slows the payload down from 2,000 meters per second to 120 meters per second. About five kilometers above the target area, the drogue parachute and the main parachute unfold one after the other to bring the payload down to a "soft" landing at around 30 kilometers per hour. Next, the capsule is recovered by a helicopter team and transported back to the launch site within an hour, where scientists remove their experiments and take them to their laboratories for further study.

DLR and ESA carry out most of their TEXUS missions either in the late fall or in the late spring, for they need both low temperatures and adequate daylight. It is important, for example, for the ground and all bodies of water at the landing site north of ESRANGE to be frozen and, if possible, covered with snow so that the payload does not sink in or even go under after landing. What is more, these conditions make it easier to locate the capsule and its parachute on the ground, as they are colored red for better visibility. In addition, a snow cover will cushion the payload as it lands on the ground. Lastly, weather conditions tend to be more stable in the late fall and late spring, when there is little precipitation and winds are low, favoring both the landing and the recovery for which, in addition, daylight is needed to enable the helicopter team to find the payload quickly.

Die TEXUS-Missionen 1977-2007 / <i>TEXUS missions 1977-2007</i>						
Nr.	Startdatum	Apogäum (km)	µg-Zeit (min)	Experimente		Trägerrakete
No.	Launch date	Apogee (km)	µg time (min)	Experiments		Launcher
				Material-Wissenschaften u. Physik	Biowissenschaften	
				<i>Materials science and physics</i>	<i>Life sciences</i>	
<i>geplant / planned</i>						
45	07.02.2008	250	06:00	2	1	VSB-30
44	31.01.2008	250	06:00	2	2	VSB-30
<i>durchgeführt / completed</i>						
43	11.05.2006	248	05:47	1	2	VSB-30
42	01.12.2005	264	06:20	3	0	VSB-30
41	02.12.2004	230	05:28	2	2	Skylark 7
40	08.04.2003	246	05:57	1	3	Skylark 7
39	08.05.2001	249	05:59	2	3	Skylark 7
38	02.04.2000	250	05:52	2	1	Skylark 7
37	27.03.2000	246	05:49	2	3	Skylark 7
36	07.02.1998	238	05:45	3	1	Skylark 7
35	24.11.1996	270	06:19	2	3	Skylark 7
34	02.03.1996	235	05:40	6	0	Skylark 7
33	30.11.1994	267	06:10	4	0	Skylark 7
32	05.05.1994	235	06:00	4	2	Skylark 7
31	26.11.1993	257	06:13	4	0	Skylark 7
30	01.05.1993	224	05:50	2	4	Skylark 7
29	22.11.1992	229	05:34	6	2	Skylark 7
28	23.11.1991	239	05:47	1	5	Skylark 7
27	15.11.1990	249	06:07	4	2	Skylark 7
26	15.05.1990	235	05:41	6	2	Skylark 7
25	13.05.1990	244	05:43	3	3	Skylark 7
24	06.12.1989	244	05:56	2	1	Skylark 7
23	25.11.1989	250	06:05	3	2	Skylark 7
22	03.05.1989	225	05:29	2	1	Skylark 7
21	30.04.1989	268	06:30	3	2	Skylark 7
20	02.12.1988	237	05:52	7	1	Skylark 7
19	28.11.1988	244	06:00	9	2	Skylark 7
18	06.05.1988	265	06:18	1	4	Nike-Black Brant
17	02.05.1988	285	06:43	3	2	Nike-Black Brant
16	23.11.1987					Skylark 7
15	09.05.1987					Skylark 7
14B	03.05.1987	252	06:04	8	2	Skylark 7
13	30.04.1986	246	05:59	7	2	Skylark 7
12	06.05.1985	253	06:06	6	0	Skylark 7
11	27.04.1985	266	06:22	6	1	Skylark 7
10	15.05.1984	242	06:08	6	0	Skylark 7
9	03.05.1984	258	06:19	9	0	Skylark 7
8	13.05.1983	264	06:17	7	0	Skylark 7
7	05.05.1983	227	05:30	8	0	Skylark 7
6	08.05.1982	256	05:59	11	0	Skylark 7
5	29.04.1982	256	05:55	9	1	Skylark 7
4	08.05.1981	258	06:14	7	1	Skylark 7
3B	30.04.1981	253	06:14	9	1	Skylark 7
2	16.11.1978	265	06:21	8	0	Skylark 7
1	13.12.1977	265	06:04	9	0	Skylark 7
		Mittel: 250	Mittel: 6:00	Summe: 202	Summe: 64	
		<i>Mean</i>	<i>Mean</i>	<i>Total</i>	<i>Total</i>	

Fehler in der 2. Raketstufe
Malfunction in the 2nd stage

ESRANGE



ESRANGE Hauptgebäude (links) und Startbereich (rechts)
ESRANGE main building (left) and launch area (right)



ESRANGE Hauptgebäude
ESRANGE main building

ESRANGE (European Space Range) im nordschwedischen Lappland ist der wichtigste zivile Startplatz für europäische Forschungsraketen und Stratosphärenballone sowie die Erdfunkstelle für etwa 25 geostationäre und polar-umlaufende Satelliten. Das Weltraumzentrum liegt etwa 150 Kilometer nördlich des Polarkreises und 45 Kilometer östlich der Stadt Kiruna. Es umfasst auf einem 20 Quadratkilometer großen Gelände am Fluss Vittangi die gesamte Bodeninfrastruktur mit Startanlagen, Radar-komplexen und Satellitenempfangsstationen zur Durchführung der TEXUS-, MAXUS-, MASER- und Ballon-Missionen. Nördlich von ESRANGE schließt sich ein 5.600 Quadratkilometer großes menschenleeres Gebiet in der schwedischen Tundra an, in dem die Nutzlasten und ausgebrannten Raketenstufen niedergehen und geborgen werden können.

ESRANGE wurde 1966 von der European Space Research Organization (ESRO), einer der Vorläuferorganisationen der ESA, gegründet und aufgebaut. Im Juli 1972 ging der Startplatz in schwedisches Eigentum über und wird seitdem von der Raumfahrtfirma Swedish Space Corporation (SSC) mit Hauptsitz in Stockholm betrieben. Um den Unterhalt von ESRANGE auf Dauer sicherzustellen, wurde 1971 ein Regierungsabkommen geschlossen, das „Esrang Andøya Special Project“ (EASP). Im Rahmen dieses Abkommens leisten die Mitgliedsländer Deutschland, Frankreich, Schweden, Norwegen und die Schweiz im Sinne einer Solidargemeinschaft bis heute finanzielle Unterstützung und erhalten dafür vorrangige Nutzungsrechte zu Sonderkonditionen. Zu den Nutzern von ESRANGE gehören zudem zahlreiche Forschungsinstitute und Raumfahrtagenturen anderer Länder, wie zum Beispiel die NASA (USA) und JAXA (Japan).

Situated in Lapland in the north of Sweden, ESRANGE (European Space Range) is the most important civilian launch site for European research rockets and stratospheric balloons. At the same time, it is the site of a ground radio station that serves about 25 satellites in geostationary and polar orbits. The space center is located about 150 kilometers north of the polar circle and 45 kilometers east of the city of Kiruna. Comprising 20 square kilometers, the property on the Vittangi River accommodates the entire ground infrastructure needed for TEXUS, MAXUS, MASER, and balloon missions, including launching pads, radar equipment and satellite receiving stations. Immediately to the north of ESRANGE, there is an uninhabited part of the Swedish tundra, 5,600 square kilometers in size, where payloads and burnt-out rocket stages can be recovered after landing.

ESRANGE was established and built in 1966 by the European Space Research Organization (ESRO), one of ESA's precursors. Having become Swedish property in July 1972, the site has been operated ever since by the Swedish Space Corporation (SSC) domiciled in Stockholm. To secure the ongoing maintenance of ESRANGE, an intergovernmental agreement on the Esrange Andøya Special Project (EASP) was concluded in 1971. Under this agreement, ESRANGE to this day receives financial support from the member countries, namely Germany, France, Sweden, Norway and Switzerland, which form a solidary community and are granted rights of prior use on special terms in return for their payments. In addition, ESRANGE is used by numerous research institutes and space agencies in non-member countries, such as NASA (USA) and JAXA (Japan).

More than 450 research rockets have been launched from ESRANGE since 1966. Midyear 2007, these included 39 Skylarks, 2 Nike Black Brants and 2 VSB-30s belonging to the German-European

Seit 1966 wurden von ESRANGE aus mehr als 450 Forschungsraketen gestartet, darunter bis Mitte 2007 39 Skylark, 2 Nike-Black Brant und 2 VSB-30 aus dem deutsch-europäischen TEXUS-Programm. Bei dem pyramidenförmigen Startturm für diese Raketen handelt es sich um eine weltweit einzigartige Einrichtung: Abgesehen von den Silos für militärische Trägersysteme ist dies der einzige Ort, an dem Raketen innerhalb eines Gebäudes starten. Alle notwendigen Arbeiten am Startturm und der Rakete, wie etwa das möglichst späte Einbringen einer Nutzlast oder eines Experimentes, können so, geschützt vor Wind und den arktischen Temperaturen im Winter, durchgeführt werden. Erst wenige Sekunden vor dem Start werden der „Schornstein“ an der Spitze des Gebäudes für die Rakete sowie andere Klappen zum Freisetzen der Abgase geöffnet.

TEXUS program. The pyramid-shaped tower from which these rockets are fired has no counterpart in the world: Apart from the silos for military missiles, this is the only place where rockets are launched from inside a building. Thus, any work that needs to be done on either the launching tower or the rocket, such as integrating a payload or an experiment at the last minute, can be carried out without interference from the wind or the arctic temperatures that prevail in winter. The tube that permits the rocket to pass through the top of the building is opened only a few seconds before a launch together with a number of flaps through which the exhaust gas passes outside.



ESRANGE Hotel: Die Flaggen der teilnehmenden Länder und Organisationen vor der Unterkunft für alle Gäste

ESRANGE Hotel: Flags of participating countries and organizations in front of the guest house

Partner und beteiligte Organisationen

DLR Raumfahrt-Agentur, Bonn

TEXUS ist als Fluggelegenheit mit sechs Minuten Mikrogravitation ein wichtiger Bestandteil des Programms „Forschung unter Weltraumbedingungen“. Das deutsche Raumfahrtprogramm wird im Auftrag der Bundesregierung vom DLR definiert und umgesetzt. Auch für TEXUS bestimmt das DLR die programmatische Leitlinie, wählt die Experimente für die einzelnen Missionen aus, fördert deutsche Wissenschaftler, stellt die benötigten Gelder bereit und vergibt die Aufträge zur Durchführung der Missionen an die Industrie. Der DLR-Projektleiter überwacht und steuert die Durchführung dieser Verträge.

www.dlr.de/rd

Partners and participating organizations

DLR Space Agency, Bonn

As a flight opportunity that offers six minutes of microgravity, TEXUS forms a major element of the program “Research under Space Conditions”. Commissioned by the Federal Government, DLR defines and implements Germany’s national space program. Consequently, it is DLR which defines the guidelines for the TEXUS program, selects the experiments to be included in each mission, supports German scientists, allocates the funds required and awards contracts to implement missions to industrial companies. The performance of these contracts is monitored and controlled by a DLR project manager.

www.dlr.de/rd/en/





ESA/ESTEC, Noordwijk

DLR und ESA treten auch im TEXUS-Programm als Partner auf. Flugexperimente werden in enger Kooperation zwischen beiden Agenturen abgestimmt. So wurden und werden „reine“ DLR- oder ESA-Missionen, aber auch Flüge mit einzelnen Experimenten als „Teilbeitrag“ der jeweils anderen Agentur realisiert. Bei der Durchführung so genannter „Doppelkampagnen“ mit zwei Missionen innerhalb weniger Tage ergeben sich für beide Agenturen Synergieeffekte, die zu wesentlichen Kosteneinsparungen führen.
<http://spaceflight.esa.int/>

SNSB & SSC

Das Swedish National Space Board (SNSB) ist die zentrale staatliche Agentur, die das schwedische Raumfahrtprogramm formuliert und koordiniert.

Die Swedish Space Corporation (SSC) ist ein staatliches Unternehmen, das mit der Umsetzung des Raumfahrtprogramms beauftragt ist. SSC betreibt den Startplatz ESRANGE und stellt den größten Teil der erforderlichen Bodeninfrastruktur für die TEXUS-Missionen zur Verfügung. Das Personal auf ESRANGE unterstützt die gesamte Missionsdurchführung von der Vorbereitung bis zur Bergung der Nutzlast.
www.snsb.se
www.ssc.se

ESA/ESTEC, Noordwijk

DLR and ESA appear as partners in the TEXUS program. Flight experiments are finalized in close cooperation between the two agencies. Thus, missions that are "purely" DLR or ESA may be realized as well as flights to which individual experiments are contributed by the other of the two agencies. So-called "double campaigns", in which two missions are conducted within a few days, yield synergy effects for both agencies that result in major cost savings.
<http://spaceflight.esa.int/>

SNSB and SSC

The Swedish National Space Board (SNSB) is the central governmental agency that formulates and coordinates the national space program of Sweden.

The Swedish Space Corporation (SSC) is a state-owned enterprise which handles the implementation of the national space program. The SSC operates the ESRANGE launch site and provides most of the ground infrastructure required for the TEXUS missions. The staff at ESRANGE supports the entire mission from the preparatory stage to the recovery of the payload.
www.snsb.se
www.ssc.se



EADS Astrium, Bremen

Die Bremer Firma (früher ERNO-Raumfahrttechnik, MBB-ERNO bzw. EADS-ST) ist seit Programmbeginn im Jahr 1977 Hauptauftragnehmer für die TEXUS-Missionen. Seit 1987 liegt auch die Programmverantwortung für TEXUS – entsprechend einer damaligen Initiative des Bundesministeriums für Forschung und Technologie – bei den ausführenden Industriefirmen unter Federführung von Astrium. Die Firma stellt den industriellen Projektleiter der Missionen, wickelt die Verträge mit DLR beziehungsweise ESA ab und ist unter anderem für die Projektkontrolle, die Produktsicherheit, die Bodentransporte, die Dokumentation, die Experimentmodule, Integrationen, Systemtests und den Missionsablauf zuständig.
www.astrium.eads.net

DLR-MORABA, Oberpfaffenhofen

Die Mobile Raketen-Basis (MORABA), eine Organisationseinheit des DLR in Oberpfaffenhofen, ist als Unterauftragnehmer von Astrium in die TEXUS-Missionen eingebunden. MORABA zeichnet verantwortlich für die Beschaffung und den Bodentransport der Trägerrakete, für die Durchführung der Raketenstarts sowie einen Teil der Servicesysteme.
www.dlr.de/rb/

Kayser-Threde GmbH, München

Als Unterauftragnehmer von Astrium ist Kayser-Threde für Servicesysteme wie die Telemetrie, das Lageregelungs- und das Bergungssystem der Rakete zuständig. Auch Kayser-Threde ist seit TEXUS 1 an diesem Programm beteiligt.
www.kayser-threde.de

EADS Astrium, Bremen

Ever since the program started in 1977, this Bremen company (formerly ERNO-Raumfahrttechnik, MBB-ERNO and EADS-ST) has been the prime contractor for the TEXUS missions. Following an initiative by the Federal Ministry of Research and Technology, responsibility for the TEXUS program has been resting since 1987 with the implementing industrial corporations led by Astrium. The company provides the industrial project managers for the missions and oversees the performance of contracts with DLR and/or ESA. Among other things, it is also responsible for project control, product safety, ground transportation, documentation, the experiment modules, integration operations, system tests and the conduct of the missions.
www.astrium.eads.net

DLR MORABA, Oberpfaffenhofen

The Mobile Rocket Base (MORABA), a DLR organizational unit domiciled in Oberpfaffenhofen, is involved in the TEXUS missions as a subcontractor of Astrium. MORABA is responsible for procuring launchers and transporting them on the ground as well as for the implementation of rocket launches and part of the service systems.
www.dlr.de/rb/

Kayser-Threde GmbH, Munich

As a subcontractor of Astrium, Kayser-Threde is responsible for certain service systems like telemetry, attitude control and recovery system of the rockets. Kayser-Threde, too, has been involved in the program ever since TEXUS 1.
www.kayser-threde.de



Die Flugkampagne		
Start minus/plus	in Deutschland	in ESRANGE
Vor dem Start		
20 Monate	Beginn Definition der Experimentanforderungen	
20 Monate	Auftragnehmer-Angebot, Verhandlungen und Vertrag Projektstart-Besprechung (Kick-Off Meeting)	
20 Monate	Beginn Design der Experimentmodule	
15 Monate	Beginn Arbeiten an den Servicesystemen	
14 Monate	Beginn Entwicklung und Bau der Experimentmodule	
10 Monate	Entwurfsfestlegung (Critical Design Review)	
3 Monate	Integration und Test der Experimentmodule	
2 Monate		Anlieferung der Rakete
2 Monate	Anlieferung Servicesysteme	
2 Monate	Abnahme der Experimentmodule durch die Wissenschaftler (Flight Acceptance Review Experiments)	
2 Monate		
1,5 Monate	Integration und Test Gesamtsystem	
	Abnahme des Gesamtsystems (Flight Acceptance Review)	
1 Monat	Transport der Nutzlast von Deutschland nach Schweden	
12 Tage		Reisen des TEXUS-Teams nach Schweden
11 Tage		Entladen, Bodengeräte-Installation
10 Tage		Start-Vorbereitung Nutzlast & Service-Systeme
4 Tage		Nutzlast-Integration, Tests
3 Tage		Flugsimulation
2 Tage		Nutzlast-Rakete-Integration, Nutzlast-Checks
1 Tag		Countdown-Übung
1 Tag		Festlegung der Flugbereitschaft (Flight Readiness Review)
5 Stunden		Start Wetterballon
3 Stunden 50 Minuten		Start Countdown
225-200 Minuten		Überprüfung der Experimente
90 Minuten		Bergungs-Hubschrauber in ESRANGE
135-60 Minuten		Einbau letzter Experimente/Proben
30 Minuten		Bergungs-Hubschrauber fliegt ins Zielgebiet
8 Minuten		Endgültige Ausrichtung der Rakete
1,5 Minuten		Experimente an interner Stromversorgung angeschlossen
Start		
0		Start
0-12 Sekunden		Brenndauer 1. Stufe (max. Beschleunigung 8 g)
15-43 Sekunden		Brenndauer 2. Stufe (max. Beschleunigung 12 g)
1 Minute		Abtrennung 2. Stufe
73-432 Sekunden		Mikrogravitations-Phase (besser als 10^{-4} g)
250 Sekunden		Scheitelpunkt erreicht in 250 km Höhe
9,5 Minuten		Bremsfallschirm entfaltet (4,2 km Höhe)
10 Minuten		Hauptfallschirm entfaltet (3 km Höhe)
15 Minuten		Landung der Nutzlast
1 Stunde 15 Minuten		Nutzlast zurück am Startplatz
Nach dem Start		
1 Tag		Vorbereitung Rücktransport, Packen
2 Tage		Rückreisen nach Deutschland
5 Monate	Besprechung der durchgeführten Mission (Post Flight Meeting), technische Durchführung, erste wissenschaftliche Ergebnisse	

A typical flight campaign		
Start minus/plus	in Germany	at ESRANGE
Before the start		
20 months	Definition of experimental requirements commences	
20 months	Contractor quote, negotiations, contract Kick-off meeting	
20 months	Start of experiment module design	
15 months	Start of work on the service systems	
14 months	Start of experiment module design and assembly	
10 months	Critical design review	
3 months	Experiment module integration and testing	
2 months		Rocket delivery
2 months	Delivery of service systems	
2 months	Experiment flight acceptance review	
1.5 months	Overall system integration and testing Flight acceptance review	
1 month	Payload transport from Germany to Sweden	
12 days		Departure of the TEXUS team for Sweden
11 days		Unloading, installation of ground equipment
10 days		Preparation start for payload and service systems
4 days		Payload integration and testing
3 days		Flight simulation
2 days		Payload rocket integration, payload checks
1 day		Countdown test run
1 day		Flight readiness review
5 hours		Start of weather balloon
3 hours 50 minutes		Start of countdown
225-200 minutes		Experiment checks
90 minutes		Recovery helicopter ready at ESRANGE
135-60 minutes		Installation of last experiments/samples
30 minutes		Recovery helicopter departs for target area
8 minutes		Final rocket orientation
1.5 minutes		Internal power supply experiments
Start		
0		Start
0-12 seconds		Burning time, stage 1 (max. acceleration 8 g)
15-43 seconds		Burning time, stage 2 (max. acceleration 12 g)
1 minute		Separation, stage 2
73-432 seconds		Microgravity phase (better than 10 ⁻⁴ g)
250 seconds		Apex (apogee) at altitude 250 km
9.5 minutes		Drogue parachute opens (4.2 km altitude)
10 minutes		Main parachute opens (3 km altitude)
15 minutes		Payload landing
1 hour 15 minutes		Return of payload to launch site
After the start		
1 day		Preparations for transport home, packing
2 days		Return to Germany
5 months	Post flight meeting on the mission, its technical conduct and first scientific results	

Die Zukunft des TEXUS-Programms

Im Programm „Forschung unter Weltraumbedingungen“ wurden in den letzten 30 Jahren rund 20 Prozent aller Flugexperimente auf Forschungsraketen durchgeführt. Das TEXUS-Programm hat sich somit als wahres Arbeitspferd erwiesen. Um den Jahreswechsel 2007/2008 soll das europäische ISS-Labor COLUMBUS in Betrieb genommen werden. Damit rückt eine verstärkte ISS-Nutzung durch europäische Wissenschaftler in den Mittelpunkt des Interesses der Mikrogravitationsforschung. An der Notwendigkeit weiterer Missionen mit Forschungsraketen wird dies aber nichts ändern – im Gegenteil: TEXUS-Missionen werden verstärkt benötigt, um ISS-Experimente zielgerichtet vorzubereiten und zu ergänzen oder als kostengünstige Vorläufermissionen für neue Technologie-Entwicklungen zu dienen. Und für bestimmte Fragestellungen aus den Bio- und Materialwissenschaften, für die eine Experimentierzeit von sechs Minuten ausreicht, werden sie weiterhin als eigenständige attraktive Flugmöglichkeit von den Wissenschaftlern genutzt werden. Drei Jahrzehnte TEXUS-Missionen stehen für Zuverlässigkeit und Kontinuität, ungemein wichtige Prädikate auch für zukünftige erfolgreiche Forschung in Schwerelosigkeit.

The future of the TEXUS program

During the last 30 years, around 20 percent of all flight experiments conducted under the “Research under Space Conditions” program were performed on research rockets. Thus, the TEXUS program proved itself a veritable “workhorse”. Now that the European ISS laboratory COLUMBUS is about to be commissioned, public interest is bound to focus on a more intensive utilization of the ISS by European scientists. However, this will not change the need for further research rocket missions. On the contrary, TEXUS missions will be needed even more urgently to prepare and complement experiments on the ISS and to provide cost-efficient options for testing new technological developments. Furthermore, scientists will certainly be happy to use this option to address certain questions in bioscience and materials science which can be answered by experiments lasting no more than 6 minutes. In the course of three decades, the TEXUS missions have come to symbolize dependability and continuity, attributes that are of immense importance for the success of future research missions into in weightlessness.

Herausgeber
Published by Deutsches Zentrum für Luft-
und Raumfahrt e.V.

German Aerospace Center

Raumfahrt-Agentur
Space Agency

Anschrift
Address Bonn-Oberkassel
Königswinterer Straße 522-524
53227 Bonn
Germany

Redaktion
Editorial office Dr. Otfried Joop, Dr. Niklas Reinke

Autoren
Authors Dr. Peter Preu, Dr. Rainer Kuhl,
Prof. Dr. Günter Ruyters, Dr. Markus Braun,
Dr. Rainer Forke

Bilder
Images DLR, EADS Astrium, Kayser-Threde, SSC,
W. Engler, W. Saedtler

Gestaltung
Design CD Werbeagentur GmbH,
Troisdorf

Druck
Printing Druckerei Thierbach KG,
Mülheim/Ruhr

Drucklegung
Press date Köln, September 2007

Abdruck (auch von Teilen) oder sonstige
Verwendung nur nach vorheriger
Absprache mit dem DLR gestattet.

*Reproduction in whole or in part or any
other use is subject to prior permission
from the German Aerospace Center
(DLR).*

www.DLR.de

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 28 Instituten und Einrichtungen an den acht Standorten Köln-Porz (Sitz des Vorstandes), Berlin-Adlershof, Bonn-Oberkassel, Braunschweig, Göttingen, Lampoldshausen, Oberpfaffenhofen und Stuttgart beschäftigt das DLR ca. 5.300 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Das DLR unterhält Außenbüros 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 5,300 people are employed in DLR's 28 institutes and facilities at eight locations in Germany: Koeln-Porz (headquarters), Berlin-Adlershof, Bonn-Oberkassel, Braunschweig, Goettingen, Lampoldshausen, Oberpfaffenhofen, and Stuttgart. 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