

## 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, Energie, Verkehr und Sicherheit 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 zuständig. Zudem fungiert das DLR als Dachorganisation für den national größten Projektträger.

In den 16 Standorten Köln (Sitz des Vorstands), Augsburg, Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Göttingen, Hamburg, Jülich, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stade, Stuttgart, Trauen und Weilheim beschäftigt das DLR circa 7.700 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Das DLR unterhält Büros in Brüssel, Paris, Tokio und Washington D.C.

### *DLR at a glance*

*DLR is the national aeronautics and space research centre of the Federal Republic of Germany. Its extensive research and development work in aeronautics, space, energy, transport, and security is integrated into national and international cooperative ventures. In addition to its own research, as Germany's space agency, DLR has been given responsibility by the federal government for the planning and implementation of the German space programme. DLR is also the umbrella organisation for the nation's largest project execution organisation.*

*DLR has approximately 7,700 employees at 16 locations in Germany: Cologne (headquarters), Augsburg, Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Goettingen, Hamburg, Juelich, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stade, Stuttgart, Trauen, and Weilheim. DLR also has offices in Brussels, Paris, Tokyo, and Washington D.C.*



**Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt**  
German Aerospace Center

**Raumfahrtmanagement**  
**Space Administration**  
Königswinterer Straße 522-524  
53227 Bonn, Germany

DLR.de/rd

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Supported by:



on the basis of a decision  
by the German Bundestag

Missionsbroschüre  
Mission Brochure

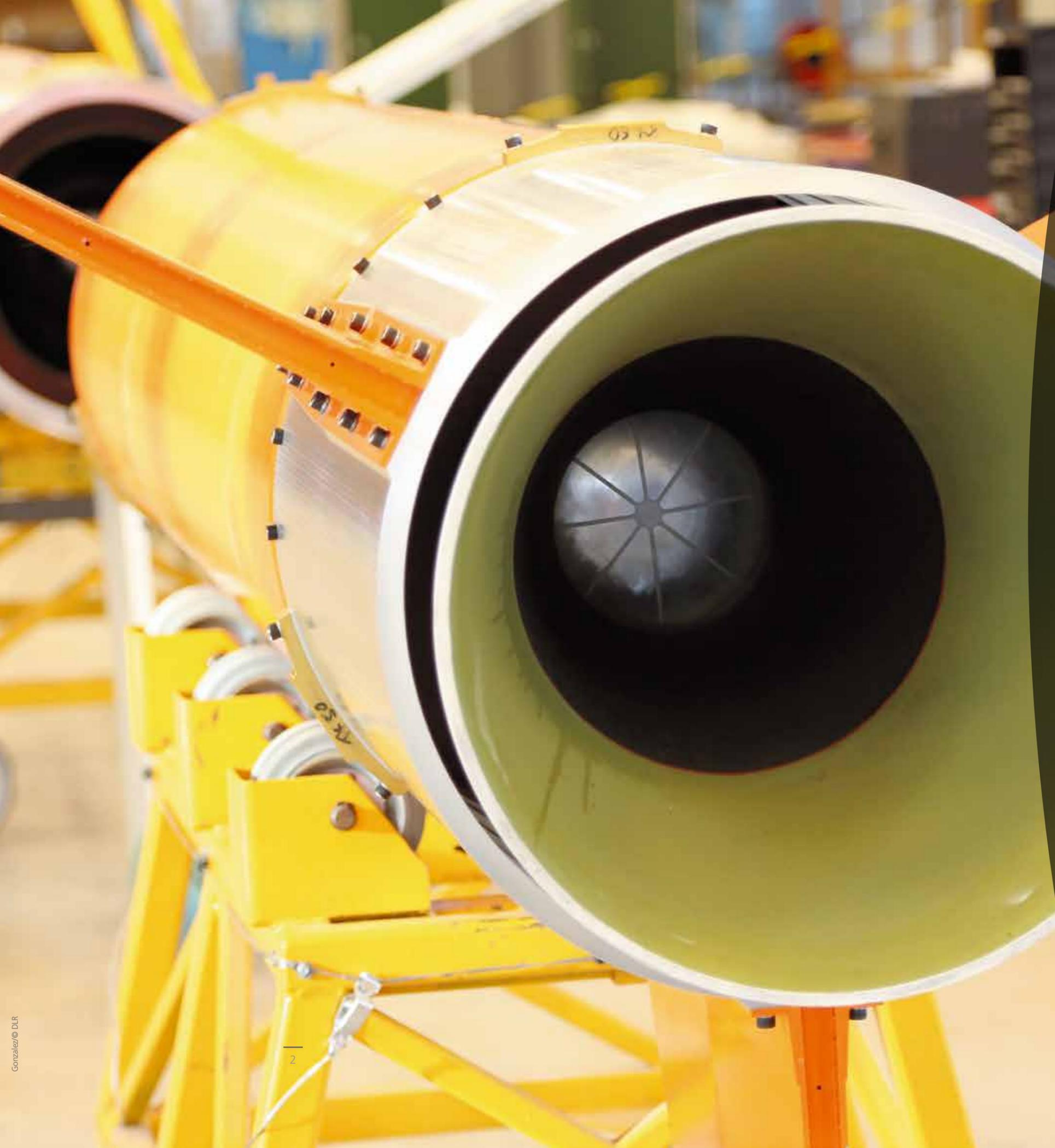


## TEXUS

Mit Forschungsraketen in  
die Schwerelosigkeit

*Sounding Rockets for  
Microgravity Research*





## TEXUS – Ein Programm des DLR Raumfahrtmanagements

Mit dem Programm „Forschung unter Weltraumbedingungen“ unterstützt das DLR Raumfahrtmanagement deutsche Wissenschaftler, damit sie die besonderen Bedingungen des Weltraums, vor allem Schwerelosigkeit, nutzen können, um neue Erkenntnisse in Bio- und Materialwissenschaften zu erzielen und deren Anwendungspotenziale zu erschließen. Das DLR fördert hierbei Biologen, Mediziner, Physiker und Materialwissenschaftler von Universitäten, Max-Planck-Instituten und anderen Forschungseinrichtungen. Zudem werden im Auftrag des DLR speziell für den Einsatz im Weltraum notwendige Geräte von der Raumfahrtindustrie entwickelt. Hieraus ergeben sich 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 zu untersuchen, muss man sie ganz ausschalten oder ihre Größe verändern. Das DLR bietet den Wissenschaftlern verschiedene Fluggelegenheiten an, je nachdem, wieviel schwerelose Zeit ein Experiment benötigt:

Für automatisch ablaufende Versuche stehen

- der Fallturm in Bremen (5 bis 9 Sekunden Mikrogravitation),
- die Forschungsraketen TEXUS (6 Minuten) und MAXUS (13 Minuten) sowie
- russische Forschungssatelliten wie FOTON (mehrere Wochen) zur Verfügung.

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

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

## TEXUS – A DLR Space Administration Programme

*Through its "Research under Space Conditions" programme, the DLR Space Administration supports German scientists in investigating these unique space conditions, especially weightlessness, to gain new knowledge in life and physical sciences and to develop their application potential. Under the programme, DLR funds research by biologists, physicists, physicians, and materials researchers working at universities, Max Planck Institutes, and other research institutions. In addition, DLR contracts space industry companies to develop equipment specifically designed for use in space. Not infrequently, the resultant technology innovations are found suitable for use on Earth as well. For example, space-borne experiments have helped to improve casting processes in the aviation and automotive industries and to develop innovative medical devices. To study the influence of the gravity factor in a process, you need a way to eliminate it entirely or vary its intensity. Depending on the time required for an experiment, DLR offers a range 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 (13 minutes) sounding rockets, and
- research satellites such as the Russian FOTON (several weeks).

*For experiments involving humans 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).



Die TEXUS 50-Forschungsrakete steht fertig montiert im Startturm des schwedischen Raumfahrtzentrums ESRANGE bei Kiruna.

*The TEXUS 50 rocket, ready for lift-off, in the launch tower at the Swedish ESRANGE Space Centre near Kiruna*

## TEXUS-Programm

Forschung in Schwerelosigkeit auf Raketen, die bis zu 250 Kilometer hoch aufsteigen – das ist Deutschlands erfolgreiches TEXUS-Programm. Mehr als 35 Jahre sind vergangen, seit am 13. Dezember 1977 die erste TEXUS-Rakete vom Polarkreis aus Forschungsapparaturen in den Weltraum und wieder zurückbrachte. Der Start vom schwedischen Kiruna aus wurde der Auftakt zu einem jahrzehntelangen, erfolgreichen Wissenschaftsprogramm. Auch in der vierten Dekade 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 (heute Bundesministerium für Wirtschaft und Energie) über das DLR Raumfahrtmanagement in Bonn gefördert.

## TEXUS Programme

*Research in microgravity on rockets that rise as high as 250 kilometres – that is what sums up Germany's successful TEXUS programme. It has been more than 35 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 programme that has remained successful for decades. Even in the fourth decade of its existence, TEXUS (a German acronym for technological experiments in microgravity) has not lost any of its fascination for scientists. TEXUS offers flight opportunities that are indispensable for independent research as well as for the preparation of longterm 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 programme 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 (now Federal Ministry of Economic Affairs and Energy), both acting through the DLR Space Administration in Bonn.*

## 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 Forschungsraketen-Programm 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 gewann. 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 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.

## The Beginnings of the TEXUS Programme

*Until the mid-1970s, only a few scientific experiments had been conducted in microgravity. It is true that some scientists had already identified microgravity 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 programme (1975), and the US research rocket programme SPAR (1976) changed all that. After the American Apollo programme, 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 microgravity, 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. The German TEXUS programme has been established in preparation for the SPACELAB utilization. In December 1977, the first two-stage research rocket was launched. Until the first SPACELAB mission in 1983, the TEXUS flights remained the one and only continuous microgravity research opportunity. Initially, materials science experiments predominated the TEXUS programme. In the mid-1980s, the biological and biotechnological research gained more relevance.*

Bergung einer TEXUS-Nutzlast  
Recovery of a TEXUS payload





Gonzalez © DLR

Die TEXUS 50-Rakete steht im Startturm und wartet darauf, ihre Reise in die Schwerelosigkeit anzutreten. Am 12. April 2013 um 6:25 Uhr MESZ war es dann so weit. Vom Raumfahrtzentrum ESRANGE bei Kiruna in Nordschweden brachte TEXUS 50 vier deutsche Experimente auf eine Höhe von 261 Kilometern. Dabei herrschte für sechs Minuten und 20 Sekunden Schwerelosigkeit.

*The TEXUS 50 rocket in the launch tower, ready to set out on its journey into microgravity. Finally, at 6:25 CEST on April 12, 2013, it was lift-off time. Launched from the ESRANGE Space Centre near Kiruna in northern Sweden, TEXUS 50 carried four German experiments to an altitude of 261 kilometres to experience six minutes and 20 seconds of microgravity.*

## Rakete und Missionsprofil

Die TEXUS-Missionen werden vom europäischen Raketenstartplatz ESRANGE (European Space Range) bei Kiruna in Nordschweden gestartet. Auf ihrem ballistischen Flug erreicht die zweistufige, 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 Raketenspitze 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 übereinanderliegenden 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 Airbus Defence & Space (vormals EADS Astrium GmbH) in Bremen. Außerdem sind die Mobile Raketen-Basis (MORABA) des DLR in Oberpfaffenhofen und die Firma Kayser-Threde in München beteiligt. Von 1977 bis 2004 erfolgten die TEXUS-Flüge beinahe ausschließlich mit der von British Aerospace gebauten, zweistufigen Feststoffrakete 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 SSC entwickelten die brasilianischen Einrichtungen Centro Técnico Aeroespacial (CTA) und 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. Die VSB-30 kann eine Nutzlast von etwa 400 Kilogramm in eine Höhe von bis zu 300 Kilometern 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.

Gonzalez © DLR



## The Rocket and the Mission Profile

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 metres reaches a peak altitude of about 250 kilometres. For six minutes, conditions of microgravity 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 remote-control and TV systems. Scientific data is either directly transmitted during the flight by telemetry or saved after the payload has been recovered.

The salient features of the TEXUS programme are:

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

Since 1987, responsibility for the TEXUS programme has been resting with the industrial corporations that implement it under the direction of Airbus Defence & Space (former Astrium GmbH) in Bremen. Furthermore, the Mobile Rocket Base (MORABA) of the DLR's Oberpfaffenhofen site and Kayser-Threde of Munich are involved in the programme. From 1977 to 2004, almost all TEXUS flights used Skylark 7, a two-stage solid-fuel research rocket developed by British Aerospace, which was also used in other national and international research programmes 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 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. The VSB-30 is designed to carry a payload of about 400 kilogrammes to an altitude of up to 300 kilometres. The first VSB-30 was launched at Alcantara (Brazil) on October 23, 2004, and the first launch for the TEXUS programme at Kiruna took place on December 1, 2005.



### 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 Kilometern für etwa sechs Minuten Mikrogravitation. Nach Durchfliegen des Scheitelpunkts der Parabel in etwa 250 Kilometer Höhe fällt die Rakete wieder Richtung Erde. In 100 Kilometern 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 Metern pro Sekunde auf 120 Meter pro Sekunde abgebremst. 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 Module 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 Nutzlast 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.

## 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 den Jahren 1991 und 2012 fanden acht MAXUS-Missionen statt. Seit 1986 führt die SSC 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 werden, beträgt die Dauer der Schwerelosigkeit auch hier etwa sechs Minuten. Bis 2012 wurden zwölf 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.

### 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
<b>Gesamt</b>	<b>4.132</b>	<b>11,97</b>		

### VSB-30 technical data (example: TEXUS 42)

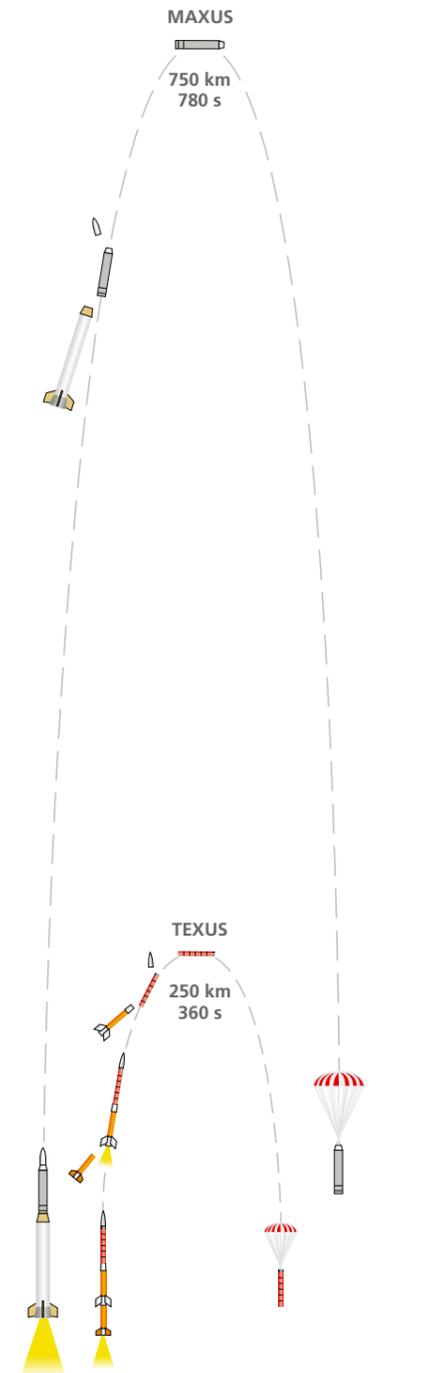
	Mass (kg)	Length (m)	Diameter (m)	Burntime (sec)
Payload	372	4.57	0.44	---
2 <sup>nd</sup> stage	2,104	4.09	0.56	29 sec
1 <sup>st</sup> stage	1,656	3.31	0.56	15 sec
<b>Total</b>	<b>4,132</b>	<b>11.97</b>		

### Flight into microgravity

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 stabilise the flight is cancelled by weights suspended from ropes that operate like a yo-yo. 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 kilometres 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 kilometres, the payload drops to 100 kilometres, when it again enters the denser layers of the atmosphere. At that time, the phase of microgravity ends. Air drag alone slows the payload down from 2,000 metres per second to 120 metres per second. About five kilometres 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 kilometres per hour. Next, the modules are 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 late autumn or in 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 submerge after landing. What is more, these conditions make it easier to locate the payload and its parachute on the ground, as they are coloured 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 late fall and late spring, when there is little precipitation and winds are low, favouring both the landing and the recovery for which, in addition, daylight is needed to enable the helicopter team to find the payload quickly.

## MAXUS, MASER and Mini-TEXUS

Besides the rockets of the TEXUS programme, other launchers are used at ESRANGE for research in microgravity. ESA's MAXUS programme, 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 kilometres and more. During each flight, microgravity prevails for about 13 minutes. Eight MAXUS missions were conducted between 1991 and 2012. Since 1986, the SSC has been ferrying Swedish and ESA payloads into space under the MASER programme (Materials Science Experiment Rocket). As the programme – like TEXUS – uses Skylark 7 or VSB-30 rockets, microgravity persists for about six minutes. A total of twelve MASER missions were launched until 2012. Furthermore, six missions have been performed in the Mini-TEXUS programme from 1993 to 1998. The launcher with two solid booster rocket stages (“Nike” and “Orion”) carried a payload of 100 kilograms to an apogee of 140 kilometres. The Mini-TEXUS flights included a microgravity phase of circa three minutes.



Flugprofile von TEXUS (innen) und MAXUS im Vergleich: Während des TEXUS-Fluges auf eine Gipfelhöhe von 250 Kilometern herrscht für 360 Sekunden Schwerelosigkeit, bei MAXUS 780 Sekunden bei einer Gipfelhöhe von 750 Kilometern. Flight profiles of TEXUS (centre) and MAXUS: during a TEXUS flight with an apogee of 250 kilometres, microgravity will prevail for 360 seconds, while MAXUS reaches 780 kilometres with 780 seconds of microgravity time.

### Die TEXUS-Missionen

Nr.	Startdatum	Apogee (km)	µg-Zeit (min)	Experimentanlagen		Trägerrakete
				Phys. Sciences	Life Sciences	
No.	Launch date	Apogee (km)	µg time (min)	Experiments		Launcher

geplant/scheduled

53	April 2015			2	3	VSB-30
52	April 2015			2	3	VSB-30
51	Mai/May 2014			3	1	VSB-30

durchgeführt/completed

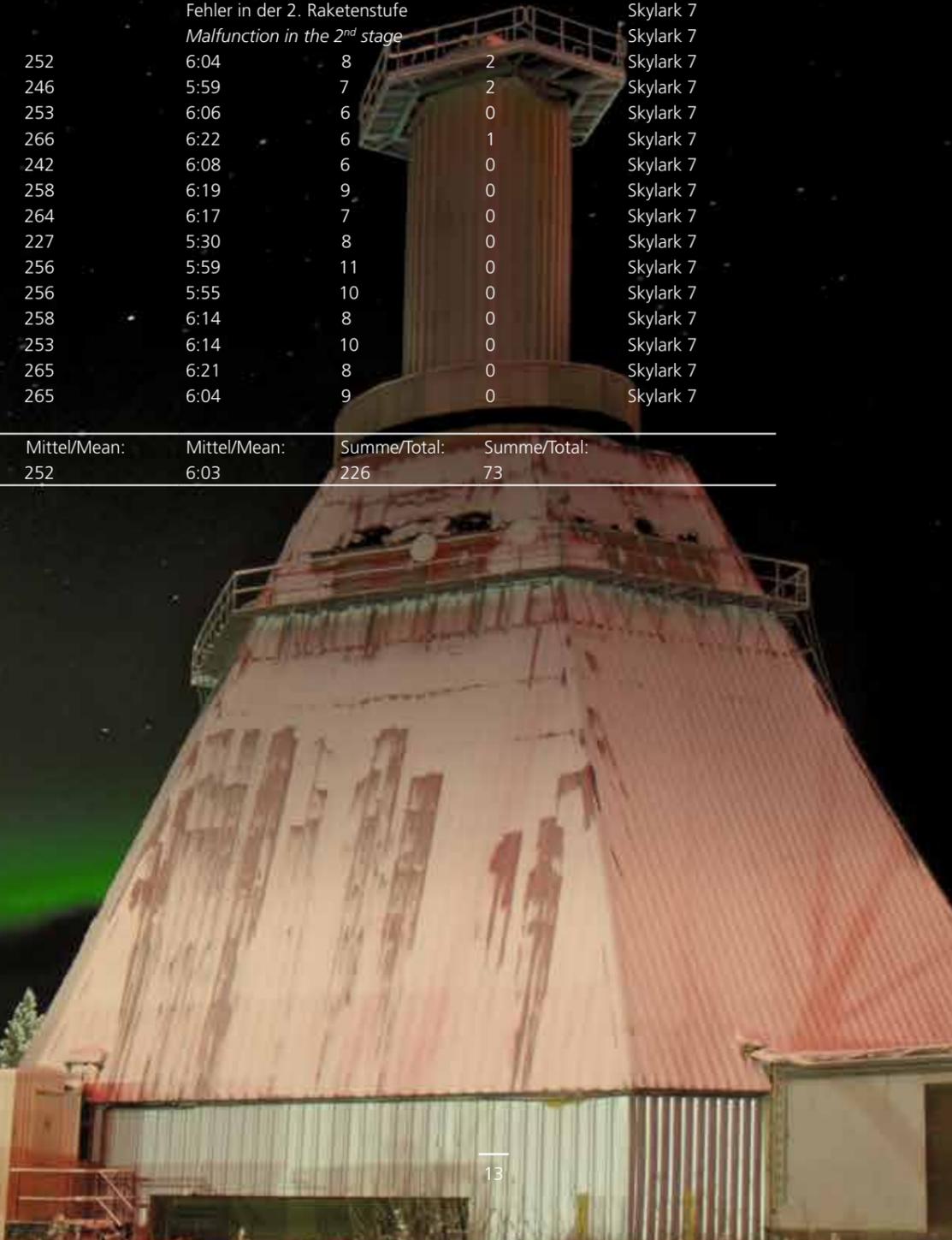
50	4/12/13	261	6:21	2	2	VSB-30
48	11/27/11	263	6:18	2	1	VSB-30
49	3/29/11	268	6:19	3	1	VSB-30
47	11/29/09	264	6:31	2	2	VSB-30
46	11/22/09	258	6:28	4	0	VSB-30
45	2/21/08	273	6:27	2	1	VSB-30
44	2/7/08	264	6:19	3	2	VSB-30
43	5/11/06	248	5:47	1	2	VSB-30
42	12/1/05	264	6:20	3	0	VSB-30
41	12/2/04	230	5:28	2	2	Skylark 7
40	4/8/03	246	5:57	1	3	Skylark 7
39	5/8/01	249	5:59	2	2	Skylark 7
38	4/2/00	250	5:52	2	2	Skylark 7
37	3/27/00	246	5:49	2	3	Skylark 7
36	2/7/98	238	5:45	3	1	Skylark 7
35	11/24/96	270	6:19	2	3	Skylark 7
34	3/2/96	235	5:40	6	0	Skylark 7
33	11/30/94	267	6:10	4	0	Skylark 7
32	5/5/94	235	6:00	4	2	Skylark 7
31	11/26/93	257	6:13	4	0	Skylark 7
30	5/1/93	224	5:50	2	4	Skylark 7
29	11/22/92	229	5:34	6	2	Skylark 7
28	11/23/91	239	5:47	1	5	Skylark 7
27	11/15/90	249	6:07	4	2	Skylark 7
26	5/15/90	235	5:41	6	2	Skylark 7
25	5/13/90	244	5:43	3	3	Skylark 7
24	12/6/89	244	5:56	2	1	Skylark 7
23	11/25/89	250	6:05	3	2	Skylark 7
22	5/3/89	225	5:29	2	1	Skylark 7
21	4/30/89	268	6:30	3	2	Skylark 7
20	12/2/88	237	5:52	7	1	Skylark 7
19	11/28/88	244	6:00	9	1	Skylark 7

Nr.	Startdatum	Apogee (km)	µg-Zeit (min)	Experimentanlagen		Trägerrakete
				Phys. Sciences	Life Sciences	
No.	Launch date	Apogee (km)	µg time (min)	Experiments		Launcher

durchgeführt/completed

18	5/6/88	265	6:18	1	4	Nike-Black Brant
17	5/2/88	285	6:43	3	2	Nike-Black Brant
16	11/23/87		Fehler in der 2. Raketenstufe			Skylark 7
15	5/9/87		Malfunction in the 2 <sup>nd</sup> stage			Skylark 7
14B	5/3/87	252	6:04	8	2	Skylark 7
13	4/30/86	246	5:59	7	2	Skylark 7
12	5/6/85	253	6:06	6	0	Skylark 7
11	4/27/85	266	6:22	6	1	Skylark 7
10	5/15/84	242	6:08	6	0	Skylark 7
9	5/3/84	258	6:19	9	0	Skylark 7
8	5/13/83	264	6:17	7	0	Skylark 7
7	5/5/83	227	5:30	8	0	Skylark 7
6	5/8/82	256	5:59	11	0	Skylark 7
5	4/29/82	256	5:55	10	0	Skylark 7
4	5/8/81	258	6:14	8	0	Skylark 7
3B	4/30/81	253	6:14	10	0	Skylark 7
2	11/16/78	265	6:21	8	0	Skylark 7
1	12/13/77	265	6:04	9	0	Skylark 7

Mittel/Mean:	Mittel/Mean:	Summe/Total:	Summe/Total:
252	6:03	226	73



72 junge Buntbarsche haben mit TEXUS 45 einen Abstecher ins All unternommen.

72 young cichlids took a brief trip to space on TEXUS 45.



## Forschung unter Weltraumbedingungen

Die Schwerkraft oder Gravitation ist auf der Erde allgegenwärtig. Von einfachen physikalischen über chemische bis zu komplexen biologischen Systemen – die Gravitation beeinflusst alle Vorgänge auf unserer Erde. Häufig ist dies unübersehbar: Gegenstände fallen zu Boden, Wasser fließt ins Tal und Gasblasen im kochenden Wasser treiben nach oben. Bei anderen Vorgängen in Natur und Technik ist ihr Einfluss jedoch nicht unmittelbar zu erkennen, so dass erst Experimente in Schwerelosigkeit ihre Bedeutung aufdecken. Zudem sind Erdanziehung und Leben in der Evolution auf unserem Planeten seit rund dreieinhalb Milliarden Jahren untrennbar miteinander verbunden: Unser menschliches Leben ist im Grunde ein immerwährender Kampf mit der Schwerkraft: vom Laufenlernen eines Babys bis zu den Gebrechen des alten und kranken Menschen. Wenn Wissenschaftler etwas über die Rolle eines bestimmten Faktors erfahren wollen, verändern sie üblicherweise seine Größe oder schalten ihn sogar ganz aus. Auf der Erde lässt sich die Schwerkraft aber nur für kurze Zeit aufheben: im Fallturm Bremen, auf Flugzeugparabelflügen oder auf Forschungsraketen wie TEXUS. Ist länger andauernde Schwerelosigkeit notwendig, muss die Wissenschaft die Erde verlassen und in den Weltraum gehen. Dort stehen Forschungssatelliten wie FOTON und BION oder die Internationale Raumstation ISS zur Verfügung.

## Research under Space Conditions

*Gravity is omnipresent on Earth. From simple physical and chemical to complex biological systems, gravity influences everything that happens on our Earth. Frequently, its effects are there for all to see: objects fall to the ground, water flows downhill, and gas bubbles float upwards in boiling water. However, there are other natural and technical processes in which the influence of gravity is not immediately distinguishable so that its significance can be uncovered only by experimenting in microgravity. Moreover, gravity and life have been inextricably interlinked throughout the roughly three and a half billion years of evolution on our planet. Fundamentally, our human life is a never-ending fight against gravity: from a baby learning to walk to the ailments of elderly and sick people. Whenever scientists want to learn about the part played by a specific factor, they normally alter its magnitude or eliminate it altogether. On Earth, however, gravity can be eliminated only for short periods of time: in the Bremen drop tower, in aircraft on parabolic flights, or on research rockets like TEXUS. Whenever longer periods of microgravity are needed, science must leave Earth behind and go to space, where research satellites like FOTON and BION or the International Space Station are available.*

## 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 Fernsehbildschirm 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 anstatt von Schwerelosigkeit oft auch von Mikrogravitation. Dieser Begriff hat sich für äußerst geringfügige Schwerkraft eingebürgert.

Die geborgene TEXUS 50-Nutzlast ist wohlbehalten nach ESRANGE zurückgekehrt.

*Safely recovered, the TEXUS 50 payload has returned to ESRANGE.*

Nur durch Nutzung all dieser verschiedenen Forschungsmöglichkeiten können Wissenschaftler fundamentalen Fragen der Physik, der Biologie, der Materialwissenschaften und der Medizin nachgehen und die Rolle der Schwerkraft analysieren. Neue Erkenntnisse in Wissenschaft und Technologie können gewonnen und in innovative Anwendungen für die Menschen auf der Erde umgesetzt werden. Das Programm „Forschung unter Weltraumbedingungen“ als Teil des Deutschen Raumfahrtprogramms bündelt diese Forschung und verfolgt damit vier Ziele:

- Erforschung grundlegender Lebensfunktionen
- Entwicklung neuer Diagnostikmethoden und Therapien für die Medizin
- Erforschung grundlegender physikalischer Vorgänge
- Entwicklung innovativer Materialien

### Erforschung grundlegender Lebensfunktionen

Da das Leben auf der Erde unter dem Einfluss der Schwerkraft abläuft, lässt sich deren Einfluss auf 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 sie Erkenntnisse über die Wirkung der Schwerkraft auf biologische Vorgänge und über die Mechanismen der Wahrnehmung und Verarbeitung von Schwerkraft vom Einzeller bis zum Menschen. Sie sind für die Grundlagenforschung, so etwa für das Verständnis der Verarbeitung von Signalen ganz allgemein wie auch für das bestimmter biotechnologischer Vorgänge, von großer Bedeutung. Zudem helfen sie, 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 studie-

*Only by using the entire diversity of these research options may scientists pursue fundamental questions in physics, biology, materials science, and medicine and analyse the part played by gravity. New discoveries in science and technology may thus be made and translated into innovative applications for people on Earth. Pooling this research, the “Research under Space Conditions” programme, which forms part of the German Space Programme, pursues four objectives:*

- *to explore fundamental vital functions,*
- *to develop new methods of diagnosis and treatment in medicine,*
- *to explore fundamental physical processes, and*
- *to develop innovative materials.*

### Exploration of fundamental 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 effect of gravity on biological processes and about the mechanisms by which all living organisms, from protozoa to humans, perceive and respond to gravity. Such discoveries are of great importance in basic research to improve our understanding of the processing of signals in general as well as certain biotechnological processes. In addition, they help us to enhance our knowledge about the origin, expansion, and development of life on our home planet.*

### New diagnostic and treatment options in medicine

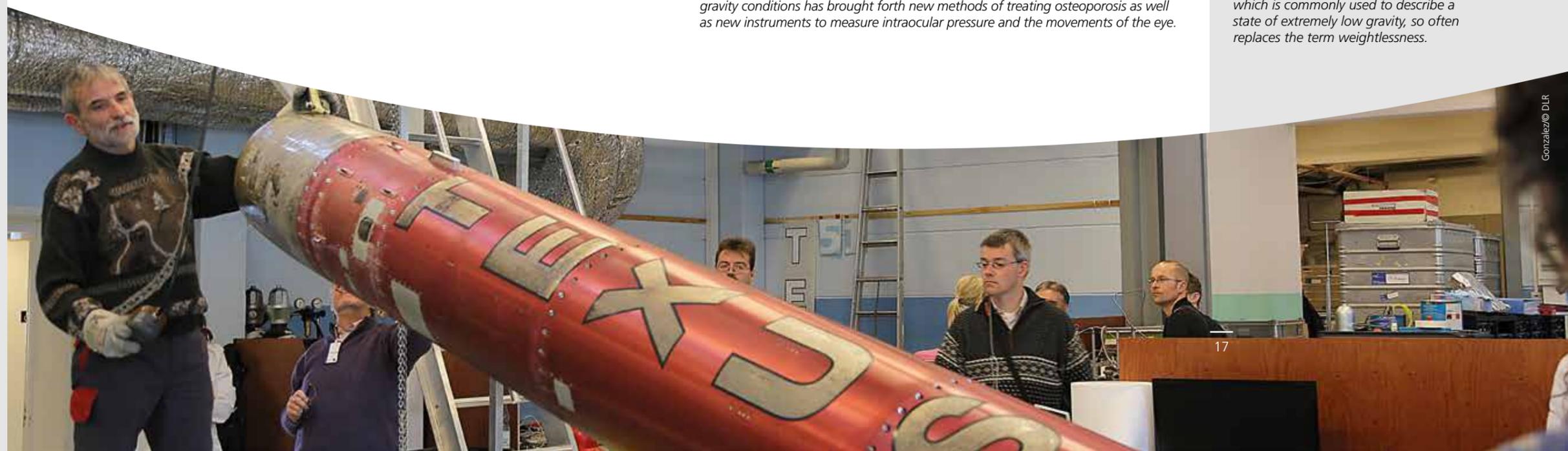
*Furthermore, such investigations are of eminent importance in medicine. They provide us with fresh knowledge about the interaction between various systems of the human body, such as muscles and bones, the heart, the cardiovascular system, and the immune system. And because the changes astronauts experience within a few weeks or months spent in microgravity resemble those caused by the process of ageing in the human body, they can be studied in fast motion, so to speak. Unlike those caused by ageing, the changes experienced by astronauts are reversible, offering an opportunity to examine their re-adaptation to Earth’s gravity. All this knowledge is incorporated in the diagnosis and treatment of patients. Thus, research under microgravity conditions has brought forth new methods of treating osteoporosis as well as new instruments to measure intraocular pressure and the movements of the eye.*

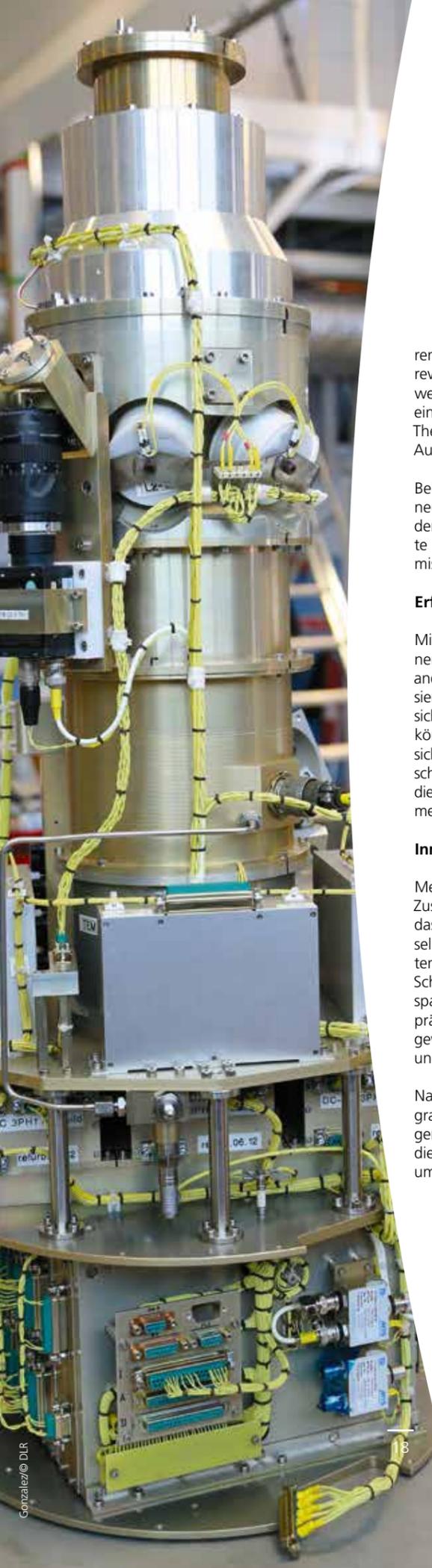
## Weightlessness

*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 metres 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 manoeuvres on a smaller scale called parabolic flights. Lastly, the orbit of the Space Station can be visualised 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 kilometres. 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.*





ren. 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, spielen auch eine entscheidende Rolle, wenn es darum geht, die grundlegenden Voraussetzungen für Aufenthalte in extremen Umwelten, wie zum Beispiel in der Antarktis, oder für künftige Langzeitmissionen etwa zum Mond oder zu anderen Zielen im Weltraum zu schaffen.

#### Erforschung grundlegender physikalischer Vorgänge

Mit Experimenten unter Schwerelosigkeit lassen sich grundlegende Erkenntnisse gewinnen, die uns unter dem Einfluss der Erdgravitation verborgen blieben. Dies trifft unter anderem bei der regelmäßigen Anordnung von geladenen Mikropartikeln in einem ionisierten Gas – den sogenannten Plasmakristallen – zu. Aufgrund der Schwerkraft lassen sich diese Strukturen auf der Erde nur zweidimensional erzeugen. Unter Schwerelosigkeit können die Forscher auch dreidimensionale Kristalle untersuchen. Langfristig zeichnen sich hierbei auch praktische Anwendungen ab, etwa zur Beschichtung von elektronischen Mikrochips. Weitere Beispiele für die Gewinnung grundlegender Erkenntnisse sind die Untersuchung von Selbstorganisationsprozessen granularer Materie, Quantenphänomenen 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. Speziell lassen sich durch behälterfreie Verfahren in Schwerelosigkeit wichtige schmelzflüssige Eigenschaften wie zum Beispiel Oberflächenspannung und Zähigkeit wesentlich genauer bestimmen als in irdischen Laboren. Solch präzise Daten sind wichtig für möglichst realitätsnahe Computersimulationen. Diese gewinnen in der Industrie stetig an Bedeutung und können eine effiziente, energie- und damit umweltschonende Entwicklung neuer Werkstoffe bewirken.

Natürlich lassen sich auf Höhenforschungsraketen wie TEXUS nicht alle Ziele des Programms Forschung unter Weltraumbedingungen gleichermaßen gut erreichen. Im Folgenden werden daher die Themenbereiche und Forschungsprojekte näher beschrieben, die in den vergangenen Jahren gerade durch TEXUS-Experimente besonders erfolgreich umgesetzt wurden.



Auf TEXUS-Flügen wird auch Forschung betrieben, die den Turbinenbau revolutionieren und Turbinenschaufeln leichter machen soll. Dazu werden besondere Legierungen in Schwerelosigkeit aufgeschmolzen, unter kontrollierten Bedingungen erstarrt und deren Eigenschaften untersucht. Eine Schaufel auf Titan-Aluminium-Basis ist zum Beispiel nur halb so schwer wie eine gewöhnliche nickelbasierte Schaufel.

*Part of the research done on TEXUS flights aims to transform turbine technology by making turbine blades lighter. Experiments involve making special alloys by melting metals in microgravity, allowing them to solidify under controlled conditions, and studying their properties. A turbine blade made of a titanium-aluminum alloy, for instance, is only half as heavy as one made of a conventional nickel-based material.*

*Both these objectives – researching basic vital functions and developing new methods of diagnosis and therapy – play a crucial role in preparing the ground for stays in extreme environments like the Antarctic or for future long-term missions to the Moon or other destinations in space.*

#### Exploration of fundamental physical processes

*Experiments in microgravity may yield fundamental discoveries that could never be made where the influence of gravitation prevails. Among other things, this holds true for regular configurations of charged micro-particles in an ionised gas called plasma crystals. Because of the influence of gravity, only two-dimensional variants of these structures may be generated on Earth, while microgravity permits researchers to study three-dimensional crystals as well. There are signs indicating that, in the long run, these crystallisation processes may be used to coat electronic microchips, for instance. Further examples of how basic discoveries may be made in space include the investigation of self-organisation processes in granular matter, quantum phenomena, or the study of early phases in the development of planets.*

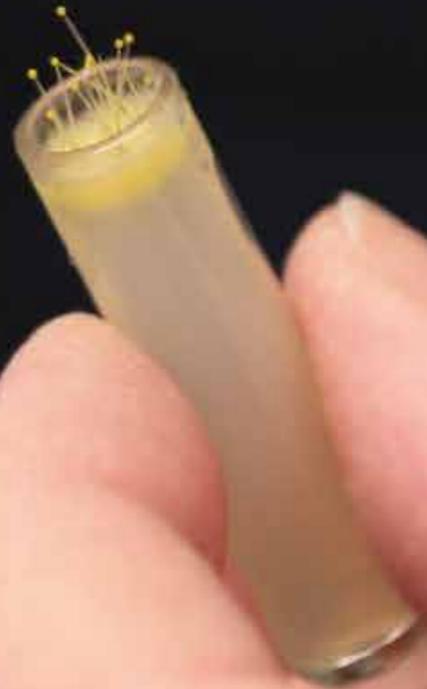
#### Innovative materials research

*Metallic and semi-conducting materials are mainly produced from the liquid state by melting processes. Eliminating disturbances in the melt, microgravity offers crucial advantages in clarifying the interaction between solidification conditions and the microstructure and properties of a 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 methods that are more efficient and energy-saving and, consequently, more environmentally friendly.*

*Obviously, research on sounding rockets like TEXUS is not equally suitable for every part of the "Research under Space Conditions" programme. The following part of this brochure will therefore concentrate on those research themes and projects in which TEXUS experiments have proven to be particularly successful over the past few years.*

Sporenträger eines Pilzes: Forscher der Universität Marburg untersuchen beim Flug von TEXUS 50 die allerersten Reaktionen eines Organismus auf die Schwerelosigkeit. Insgesamt flogen vier deutsche Experimente auf der Forschungsrakete mit.

*Fungal sporophores: researchers from the University of Marburg are investigating the initial reactions of an organism to microgravity during the TEXUS 50 flight. A total of four German experiments flew on the rocket.*



## Forschung auf TEXUS: Biologie

In der biowissenschaftlichen Forschung auf TEXUS liegt der Schwerpunkt heute in der Gravitationsbiologie vor allem auf der Aufklärung der Schwerkraftwahrnehmung und -verarbeitung auf zellulärer und molekularer Ebene. In den Anfangsjahren wurden auch bestimmte biotechnologische Fragen untersucht und beantwortet.

## Research on TEXUS: Life Sciences

*Current life sciences research on TEXUS has its focus on gravitational biology, with the main point of interest being to understand the perception and transduction of gravity at the cellular and molecular level. Earlier work also raised, and answered, a number of questions in biotechnology.*

## Biotechnologie

Schwerkraft und die mit ihr verbundenen Konsequenzen wie Sedimentation, wärmegetriebene Konvektion und hydrostatischer Druck sollten – so überlegten Wissenschaftler in den 1970er-Jahren – einen nachteiligen Einfluss auf verschiedene biotechnologische Phänomene und Prozesse haben. Diese Überlegungen führten dazu, auch biotechnologische Fragen in das deutsche Raumfahrtprogramm aufzunehmen. Ziel war es, die Mikrogravitation zur Verbesserung bestimmter Prozesse 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 sogenannten Hybriden mit neuen Merkmalen mittels elektrischer Impulse (Elektrozellfusion)
- und die Kristallisation von biologischen Großmolekülen (Makromolekülen) wie Nucleinsäuren und Proteinen.

Versuche auf Forschungsraketen in den 1980er-Jahren erbrachten 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 von Tabakzellen, war in Mikrogravitation deutlich verbessert – zum Teil um den Faktor zehn.

Die Kristallisation von Makromolekülen in Schwerelosigkeit sollte zu größeren und gleichmäßigeren Kristallen und damit zu einer genaueren Bestimmung der dreidimensionalen Struktur der Moleküle führen, wovon man sich vielfältige Anwendungsmöglichkeiten wie die Herstellung neuer Medikamente erhoffte. Erste Experimente wurden auf TEXUS Ende der 1970er-Jahre durchgeführt und mit einer Vielzahl von Experimenten auf Satelliten und astronautischen Missionen einschließlich der ISS fortgesetzt. Sie bestätigten häufig die Erwartungen: Bei etwa 25 Prozent der Experimente wurden bedeutende Verbesserungen erreicht. In einigen Fällen gelang in Mikrogravitation sogar zum ersten Mal überhaupt eine Kristallisation. Die Vergabe des Nobelpreises für Chemie im Jahr 2009 an Frau Prof. Ada Yonath, die zwischen 1988 und 1995 an zahlreichen Weltraumexperimenten beteiligt war, unterstreicht die Bedeutung dieser Forschung nachdrücklich.

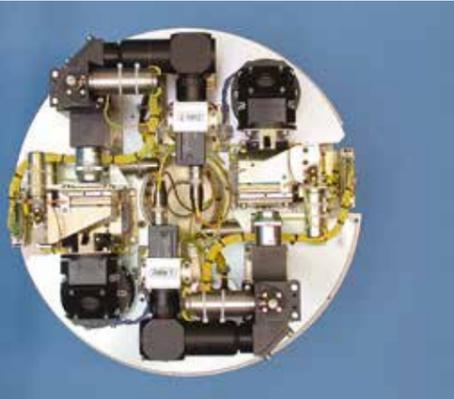
## Biotechnology

Gravity and its consequences, such as sedimentation, heat-driven convection, and hydrostatic pressure have often been thought to have an adverse effect on certain biological phenomena. Based on this observation made by scientists in the 1970s, it was decided at the time to include biotechnological questions in the German Space Programme. The objective was to take advantage of microgravity to improve certain processes. Essentially, three phenomena were investigated:

- a method to isolate molecules or cells by their electric charge (free-flow electrophoresis),
- using electric impulses to fuse cells differing in size and properties into so-called hybrids with entirely new features (electric cell fusion), and
- crystallising large biological molecules (macromolecules) such as nucleic acids and proteins.

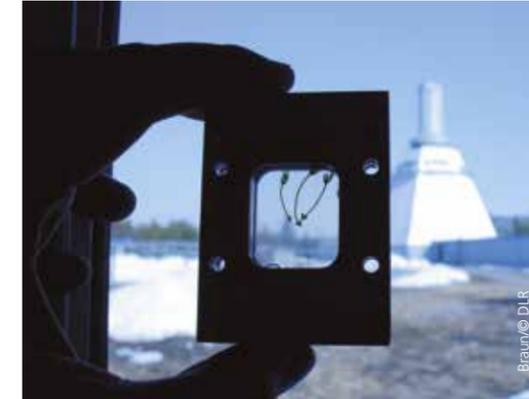
Tests performed on sounding rockets in the 1980s did indeed produce the expected results. Thus, for example, free-flow electrophoresis in microgravity succeeded in isolating red blood cells from a variety of organisms, something that had been impossible on Earth. Again, microgravity notably improved – sometimes by a factor of ten – the yield of fusion processes involving cells of different properties, such as two different types of tobacco cells.

The crystallisation of biological macromolecules in microgravity aimed at the production of larger and more uniform crystals, thus leading to a better understanding of the three-dimensional structure of crystals, which was hoped to open up a large variety of new applications such as making new pharmaceutical drugs. Early experiments on TEXUS flights were carried out in the late 1970s and continued in a multitude of experiments on satellites and astronautical missions, including the ISS. The results frequently confirmed previous expectations. About 25 percent of the experiments yielded major improvements, and in some cases, crystallisation even succeeded for the first time in microgravity. The fact that the 2009 Nobel Prize was awarded to Prof. Ada Yonath, who was involved in numerous space experiments between 1988 and 1995, highlights the importance of this branch of research.



Teil eines TEXUS-Moduls zur Videomikroskopie unter veränderbaren Schwerkraftbedingungen

Part of a TEXUS module for videomicroscopy under variable gravitational conditions



Blick durch eine TEXUS-Probenkammer für Algen, im Hintergrund der TEXUS-Startturm

Looking through a TEXUS growth chamber for algae, with the TEXUS launch tower in the background



## Gravitationsbiologie

Deutsche Wissenschaftler haben in der Gravitationsbiologie vor allem Fragen der Schwerkraftwahrnehmung und -verarbeitung bei Mikroorganismen, Einzellern und Pflanzen auf Forschungsraketen untersucht. In den letzten Jahren kamen verstärkt Experimente an Zellen des Immunsystems sowie an Fischen hinzu.

Die Pflanzen standen vor einer großen Herausforderung, als sie vor mehr als 400 Millionen Jahren das Wasser als ihren ursprünglichen Lebensraum verließen, das Land besiedelten und dort zur Nahrungsgrundlage für weitere Organismen einschließlich der Menschen wurden: Sie mussten der Schwerkraft trotzen und entwickelten im Zuge der Evolution beispielsweise spezielle pflanzliche Stütz- und Festigungsgewebe. Leistungsfähige Wahrnehmungs- und Reaktionsmechanismen ermöglichten den 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 erfordern hochempfindliche Sensorsysteme und eine komplexe Signalverarbeitung. Diese wurde in den letzten Jahren nicht zuletzt durch Weltraumexperimente deutscher Wissenschaftler auf Forschungsraketen näher untersucht. Vor allem die wurzelähnlichen schlauchförmigen Zellen (Rhizoide) der Grünalge *Chara* erwiesen sich dabei als geeignete Versuchsobjekte, an denen die zugrunde liegenden zellulären Mechanismen, die Empfindlichkeit und die Leistungsfähigkeit des pflanzlichen Sensorsystems im Detail untersucht werden konnten. Die Ergebnisse dieser Experimente führten die Wissenschaftler zu der Erkenntnis, dass schwere zellinterne Partikel, sogenannte Statolithen, von einem hochdynamischen Proteinnetzwerk (Zellskelett) in einer Gleichgewichtsposition gehalten werden. Jede Lageänderung der Zelle in Bezug auf die Schwerkrafttrichtung bewirkt eine Verlagerung dieser Partikel, wodurch Sensormoleküle in der Zellmembran, die Gravirezeptoren, aktiviert werden. Als Reaktion leiten sie daraufhin die Rückkrümmung der Pflanzenzelle in Richtung Schwerkraft ein. Bei komplexeren Pflanzen konnte ein ähnlicher Wahrnehmungsmechanismus nachgewiesen werden. Diese Ergebnisse sind nicht nur für die gravitationsbiologische Grundlagenforschung interessant. Sie helfen auch zu verstehen, wie sich Getreidehalme wieder selbständig aufrichten, nachdem sie von einem Sturm zu Boden gedrückt wurden – ein für den landwirtschaftlichen Ertrag wichtiges Phänomen.

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 Photosynthese, Fortpflanzung und Nährstoffaufnahme zu finden. Dieser Vorgang wird als Gravitaxis bezeichnet. Mit Ergebnissen aus TEXUS-Experimenten konnten Wissenschaftler nun beweisen, dass auch Mikroorganismen physiologische Mechanismen zur Schwerkraftwahrnehmung besitzen. Beim Wimperntierchen *Loxodes* erfolgt die Schwerkraftwahrnehmung

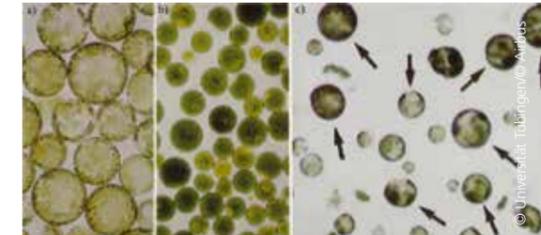
## Gravitational Biology

*In gravitational biology, the experiments run by German scientists on sounding rockets mainly focused on the perception and transduction of gravity in micro-organisms, protozoa, and plants. In recent years, more and more experiments were concerned with cells of the immune system and fish.*

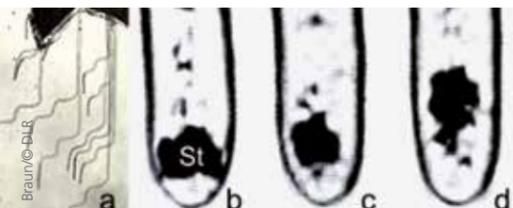
*Plants were confronted with a great challenge when they left their original habitat, water more than 400 million years ago to spread across the dry land, thus providing food for other organisms, humans included. Plants had to defeat gravity. In the course of their evolution, they developed specialised support tissues. New powerful perception and reaction mechanisms helped organisms orient themselves precisely and purposefully in space. Often regarded as commonplace, the downward orientation of the roots of a plant towards the soil and the upward orientation of its shoot towards the light actually call for highly sensitive sensor systems and complex signal processing. Both these aspects have been studied more closely in recent years, not least in space experiments carried out on research rockets by German scientists. It was found that the tubular root-like structures (rhizoids) of the green alga *Chara* provide ideal research material for investigating the underlying cellular mechanisms, the sensitivity, and the capabilities of plant sensor systems in detail. The results of these experiments led scientists to conclude that heavy particles called statoliths in the interior of a cell, which are kept in equilibrium by a highly dynamic protein network, the cytoskeleton, are shifted by any change in the direction of gravity, activating sensor molecules in the cellular membrane that are called gravireceptors. These receptors respond by initiating a change in the curvature of the cell by which the plant re-adapts to the direction of gravity. A similar perception mechanism was demonstrated also in more complex plants. These results are not only relevant contributions to fundamental research in gravitational biology but they also help us understand why stems of a grain plant can stand back up after having been blown over by a storm – a phenomenon of major significance for crop yields.*

*Aquatic micro-organisms like *Euglena* and the slipper animalcule *Paramecium* use gravity for orientation, which helps them to locate optimum conditions for photosynthesis, procreation, and feeding. This process is called gravitaxis. Based on the results of TEXUS experiments, scientists were able to prove that even micro-organisms have their own physiological mechanisms for perceiving gravity. One case in point is *Loxodes*, a ciliate which uses special organelles called Müller's vesicles to detect gravity. Conversely, *Euglena* and *Paramecium* respond to differences in pressure between the content of the cell and the medium surrounding it, which affect the cell membrane. Concerning *Euglena*, Erlangen scientists were able to work out most of the gravitaxis signal transduction chain. A major part in this is played by calcium and various secondary messenger substances – as demonstrated by a number of TEXUS experiments.*

*Furthermore, TEXUS flights also served to demonstrate that other cellular processes as well as molecular and physiological reactions that are not so obviously dependent on the direction of gravity are nevertheless influenced by it. It was found that gene transcription as well as the biosynthesis and activity of proteins in plants, cell cultures and pollen tubes may change within a brief period of time. The influence extends to complex processes like endocytosis, i.e. the absorption of substances from the environment, and certain membrane properties. Biologists plan to run further experiments, some of them on the International Space Station, to track down the true significance of these effects of gravity.*



Fusion verschiedener Tabakzellen (a und b) zu Hybriden (c)  
Fusion of different types of tobacco cells (a and b) into hybrids (c)



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-Fluges wirken nur noch die zellulären Kräfte, wodurch die Statolithen entgegen der ursprünglich wirkenden Schwerkraft verlagert werden (c, 2 min  $\mu\text{g}$ ; d, 5 min  $\mu\text{g}$ )

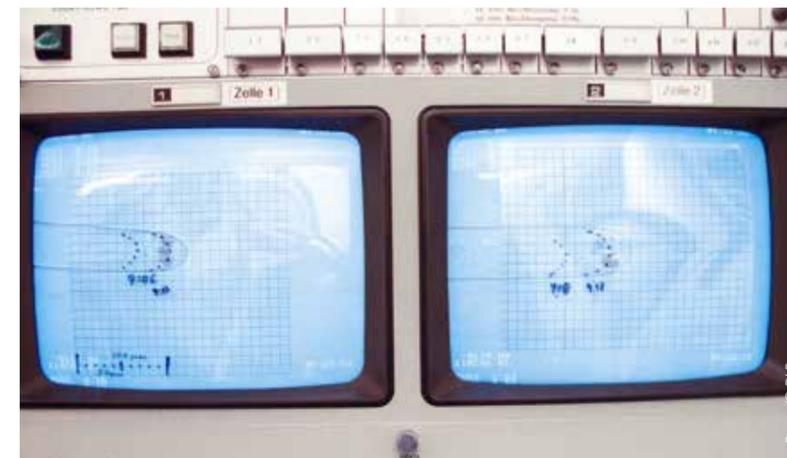
*Rhizoids of a green alga called Chara redirect their growth direction in response to tilting the cells four times at 90 degrees. Heavy cell organelles, the statoliths (St), are held in a dynamically stable position of balance by gravity forces and counteracting cellular forces (b). In the microgravity 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  $\mu\text{g}$ ; d, 5 min  $\mu\text{g}$ )*

beispielsweise über spezielle Organellen, die sogenannten 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. Für Euglena konnten Erlanger Wissenschaftler inzwischen die Signal-Transduktions-Kette für die Gravitaxis weitgehend aufklären. Calcium und verschiedene sekundäre Botenstoffe spielen hierbei die entscheidende Rolle – wie TEXUS-Experimente zeigen konnten.

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. Bereits nach kurzer Zeit kann beispielsweise das Ablesen der Gene, die Proteinbiosynthese oder die Proteinaktivität in Pflanzen, Zellkulturen und auch in Pollenschläuchen verändert sein. Komplexe Vorgänge wie die Aufnahme von Stoffen aus der Umgebung (Endocytose) und Membraneigenschaften werden hierdurch beeinflusst. Mit weiteren Experimenten auch auf der Internationalen Raumstation wollen Biologen der Bedeutung dieser Schwerkraftwirkungen näher auf die Spur kommen.

Mit Untersuchungen zum Verhalten und zu Veränderungen im Innenohr von Fischen sowie zum Einfluss veränderter Schwerkraftbedingungen auf Zellen des Immunsystems kamen bei TEXUS-Missionen in den letzten Jahren neue Forschungsthemen hinzu. Es ist lange bekannt, dass das Immunsystem von Astronauten in Schwerelosigkeit stark beeinträchtigt ist. Die genauen Ursachen und Mechanismen hierfür sind bislang aber nur unzureichend verstanden. In Ergänzung zu Experimenten auf Parabellflügen und auf der ISS bieten TEXUS-Experimente Möglichkeiten, auf zellulärer Ebene zu neuen Erkenntnissen zu gelangen. So sind in bestimmten Zellen des Immunsystems Enzyme und Rezeptoren, die beim Abtöten von Bakterien oder der Vermehrung von Lymphozyten wichtig sind, in Schwerelosigkeit stark vermindert.

TEXUS-Experimente brachten auch neue Erkenntnisse über die Ursachen der Bewegungs- oder Raumkrankheit (Kinetose) bei Fischen. Schwerpunkt dieser Missionen waren die Untersuchungen von Schwimmverhaltensmustern unter verschiedenen Schwerkraftbedingungen. Für die Auslösung von Kinetosen unter Mikrogravitation ist hauptsächlich die Asymmetrie der Schweresteinpaare (Otolithenpaare: Sagittae und Lapilli) im Innenohr der Fische verantwortlich. Die individuelle Kinetoseanfälligkeit stimmte mit dem Grad dieser Otolithenasymmetrie, die durch unterschiedliche Größe (Gewicht/Fläche), Form oder der Kontaktfläche mit dem Sinnesepithel bestimmt wird, überein. Dies trifft auch für die Dauer der Anpassung (Habitation) an die Mikrogravitation zu: Je geringer die Differenz zwischen den Otolithen der rechten und linken Seite ist, desto schneller – im Extrem innerhalb von circa 150 Sekunden – passen sich diese Fische der Mikrogravitation an und erlangen wieder ein normales Schwimmverhalten. Auch wenn man mit der Übertragung der Ergebnisse auf die Raumkrankheit beim Menschen vorsichtig sein muss, so stützen sie doch die sogenannte Otolithen-Asymmetrie-Hypothese, nach der die Ursache für die Raum- oder Seekrankheit beim Menschen durch Unterschiede in den Otolithen der beiden Innenohren bedingt ist.



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 operated by a scientist via remote control.*

*In recent years, two new research areas have been added to the scope of TEXUS missions, namely studies to investigate the behaviour of fish and changes in their inner ear as well as the influence of changing gravity conditions on cells of the immune system. It has been known for a long time that the immune systems of astronauts are gravely impaired in microgravity. However, the exact causes and mechanisms which lead to such impairment have been inadequately understood so far. Complementing experiments on parabolic flights and the ISS, TEXUS experiments offer opportunities of new discoveries at the cellular level. Thus, for example, the enzymes and receptors that are important for the destruction of bacteria or the procreation of lymphocytes are greatly reduced in microgravity.*

*Moreover, TEXUS experiments produced fresh discoveries regarding the causes of motion or space sickness (kinetosis) in fish. These missions concentrated on studying swimming behaviour patterns under a variety of gravitational conditions. The key factor that triggers kinetosis in microgravity is the asymmetry of the otolith pairs (sagittae and lapilli) in the inner ear of the fish. Individual susceptibility to kinetosis was found to coincide with the degree of this otolith asymmetry, which is determined by differences in size (weight/surface), shape, or the area of contact with the sensory epithelium. This also holds true for the duration of the process of adaptation (habitation) to microgravity: the lower the differences between the otoliths of the left and right-hand side, the faster the fish adapt to microgravity (within circa 150 seconds in extreme cases), thus recovering their normal swimming behaviour. Even though we must be careful in translating these results to space sickness in humans, they do support the so-called otolith asymmetry hypothesis, according to which the causes of space or sea sickness in humans are referred to differences between the otoliths of the two inner ears.*



In der Anlage für elektromagnetische Levitation haben die Wissenschaftler auf TEXUS 44 Versuche mit Kupfer-Kobalt- und Nickel-Aluminium-Legierungen durchgeführt.

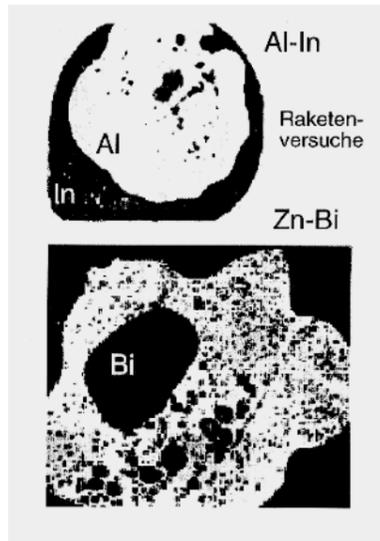
*In an electromagnetic levitation facility on TEXUS 44, scientists conducted experiments with copper-cobalt and nickel-aluminum alloys.*

## Forschung auf TEXUS: Materialwissenschaften und Physik

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 Legierungsbestandteile 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 befand sich kompakt eingeschlossen innerhalb der anderen. Dieses verblüffende Ergebnis bewegte die Forscher, bis dahin unbeachtete Ursachen und Mechanismen der Entmischung zu ergründen. Auch in den ersten Experimenten zur Kristallzüchtung wurde ein unerwartet starker Mischungseffekt beobachtet, wenn eine freie Oberfläche der Schmelze, das heißt unbedeckt von einer Tiegelwand, vorlag.

## *Research on TEXUS: Materials Science and Physics*

*A challenge that has been intriguing scientists 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 was packed together and entirely 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. Similarly, 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 microgravity*

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 auf den ersten Blick erhalten. Auf den zweiten Blick trat sowohl im Fall der „geklumpten“ Legierungen als auch der „gestreiften“ Kristalle 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 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 dieser 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 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 nichtmischbaren Legierungen gezielt zum Ausgleich der Ablagerung von flüssigen Legierungsbestandteilen mit unterschiedlicher Dichte.

*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 semi-conductor 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. Initially, results appeared disappointing since, at first glance, inhomogeneity prevailed. A second look, both in the case of the "lumpy" alloys as well as that of the "striated" crystals, revealed evidence of a mechanism called the Marangoni convection, which regulates the transport of heat and mass within a melt. The effect had so far been, at most, 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, the Marangoni effect is the key mechanism that drives the transport of heat and mass in liquids. It is caused by the colder surface of a liquid that is under comparatively higher surface tension "pulling" the surface of a warmer area towards itself. It is this force that 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 relevant to the surface layers of a liquid. Now, after several years of research into immiscible alloys, scientists know the reason for their immiscibility: differences in temperature and interfacial tension that inevitably occur as an alloy melt cools off. It was not until the late 1980s that the concept and significance of the Marangoni effect were defined in scientific publications. 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 equalises differences in the settling rates of liquid components of different densities in immiscible alloys.*



## Materialforschung

Die Materialforschung bildete in den ersten zwei Jahrzehnten der TEXUS-Flüge den Schwerpunkt. Bis heute stammen über die Hälfte 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 formerhaltende Umschmelzen von Bauteilen unter Schwerelosigkeit. Heute optimieren die Forscher den Herstellungsprozess von Halbleiterkristallen mittels elektromagnetischer Felder und mechanischer Schwingungen. Gleichfalls sind Präzisionsmessungen von wärmephysikalischen Eigenschaften chemisch aggressiver Legierungsschmelzen durch behälterfreies Prozessieren in der Schwebeloch hochaktuell. Diese Themen werden größtenteils gemeinsam mit industriellen Forschern bearbeitet. Die gewonnenen Daten sind für die Computersimulation von Gießverfahren notwendig und dienen somit der Produktionsverbesserung auf der Erde. So wurden auf TEXUS-Flügen die Oberflächenspannung und Zähigkeit an berührungslos schwebenden Schmelztropfen gemessen. Es handelte sich unter anderem um kommerzielle Aluminium-Legierungen sowie spezielle Titan-Aluminium-Legierungen. Das dafür 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 innovativen Verfahrens und der auf Flugzeug-Parabelflügen und TEXUS-Flügen getesteten Experimentiertechnik haben DLR und ESA eine größere Forschungsanlage für die ISS, den Elektromagnetischen Levitator EML, entwickelt. Nachdem das EML-Modul für TEXUS fünf Mal geflogen ist, kommt nun die für Langzeitexperimente vorgesehene ISS-Anlage 2014 zum Einsatz.



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 microgravity (centre). There is no improvement of the doping element striations. Such inhomogeneities can be avoided by a covered melt surface (right) or other measures.*



In der Integrationshalle bereiten Ingenieure die EML-Anlage zur Materialforschung auf den Raketenstart vor.

*Engineers in the integration hall preparing the EML materials research module for launch.*

## Legierungen

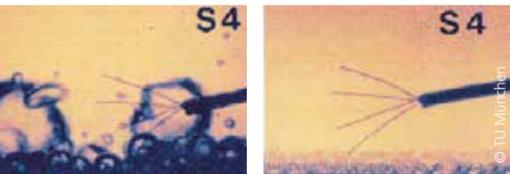
In der Metallurgie ist eine Legierung ein Gemenge aus zwei oder mehr chemischen Elementen, von denen mindestens eines ein Metall ist. Um Metalle als Werkstoff besser nutzen zu können, wurden ihnen schon früh von Menschenhand bestimmte Elemente im schmelzflüssigen Zustand zugefügt, welche die Werkstoffeigenschaften 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.

## Materials Science

During the first two decades, research on TEXUS flights concentrated on materials science, a field which accounts for more than half 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 re-melted in microgravity. Today, researchers are using electromagnetic fields and mechanical vibrations to optimise the production process of semi-conductor 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 thermo-physical properties. Most of these issues are investigated in cooperation with industrial researchers. As the data thus acquired is used to simulate casting processes on a computer, they serve to improve production on Earth. For example, TEXUS experiments measured the surface tension and viscosity of melt drops that were floating free of contact. The alloys investigated included commercial aluminium alloys as well as special titanium-aluminium alloys. A TEXUS module specifically developed for this purpose permits levitating spherical specimens by electromagnetic fields while being heated and melted at the same time. Based on this innovative process and an experimental technology that was tested on parabolic and TEXUS flights, DLR and ESA are currently developing a larger research facility for installation on the ISS, the electro-magnetic levitator (EML). With the TEXUS version of the EML having completed five flights, the ISS-based device designed for long-term experiments will be put into commission in 2014.



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

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

## 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. Über ein Drittel aller deutschen physikalischen TEXUS-Experimente stammen aus dem Gebiet der Fluidphysik. Die Wissenschaftler untersuchten hierbei beispielsweise, wie sich Flüssigkeiten verhalten, wenn sie sieden, Ecken und Kanten benetzen oder durch eine kapillare Anordnung strömen. So beruhten die bis Ende der 1970er-Jahre gängigen mathematischen Modelle für Siedevorgänge 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 terrestrisch 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. Dieses Ergebnis veranlasste sie, neue mathematische Modelle zu entwickeln, 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. 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 ausläuft. 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 wird gegenwärtig auf der ISS in mehreren umfangreichen Experimentserien fortgesetzt. Dazu entwickelte das DLR in Zusammenarbeit mit der amerikanischen Weltraumbehörde NASA die neue Capillary Channel Flow-Anlage CCF. Sie ist eine Fortentwicklung des mehrfach geflogenen TEXUS-Moduls und im amerikanischen ISS-Labor DESTINY untergebracht.

## Research in Physics

### Fluid physics: Investigating liquids and gases

*Ever since the first TEXUS flight, researchers have been interested in the behaviour of liquids and gases in microgravity. Over one third of the German physical TEXUS experiments are related to fluid physics. Among other topics, scientists have been investigating the question of how fluids behave when boiling, wetting edges and corners, or flowing through a capillary arrangement. The mathematical models of boiling processes that were accepted 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 vapour 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. However, the buoyancy-induced flow that predominates on Earth is replaced by convection at the interface between the liquid and the gaseous state. Once again, researchers found the Marangoni convection and its great importance for physical processes in weightlessness. 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 is now being continued in several comprehensive series of experiments on board the ISS. In that context, DLR collaborated with the American space agency NASA to develop a new research facility called CCF (Capillary Channel Flow). Derived from the TEXUS module which has completed several flights, it has now been installed in the US-American ISS laboratory, DESTINY.*



Kristallbildung in der Schmelze: Das Experiment TRACE+ beschäftigt sich mit den Vorgängen, die während der Erstarrung metallischer Legierungen ablaufen. Gut beobachten kann man beispielsweise die Bildung von Kristallen in der Schmelze.

*Crystal growth in the melt: the TRACE+ experiment tells scientists what happens during the solidification of molten metal alloys. The formation of crystals in the melt is fairly easy to watch.*

## 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

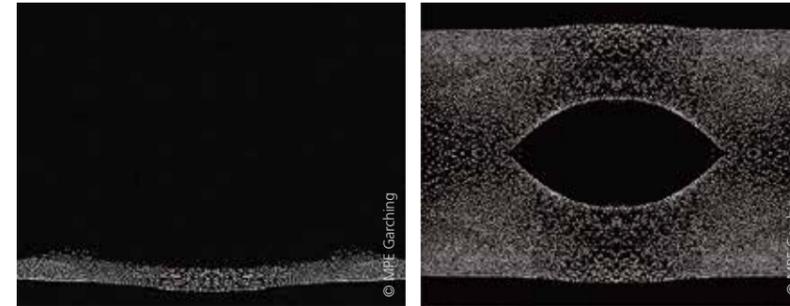
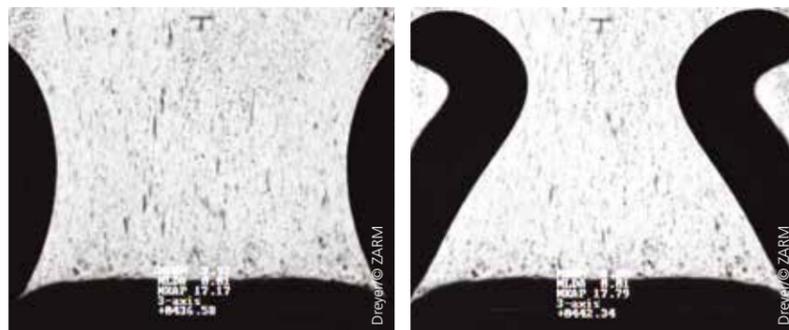
*Capillary force (capillaris meaning hair-related in Latin) governs the way in which liquids behave when they come into contact with capillaries, such as narrow tubes, cracks, or cavities in solids. Thus, water will rise to a certain extent against the force of gravity in a narrow glass tube that is 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.*

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 in the flow.

## Fundamentalphysik: Erforschung grundlegender physikalischer Gesetzmäßigkeiten

Mehr als 99 Prozent der sichtbaren Materie im Universum befindet sich im Zustand eines Plasmas. Plasma gilt allgemein als der ungeordnetste Materiezustand nach fest, flüssig und gasförmig. Es ist 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 sogenannten 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. 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 terrestrischen Labor ermittelten Experimentparameter stützen, sondern müssen geeignete Korrekturen über Telemetrie vornehmen. Diese Erkenntnis führte zur Verbesserung der Kontroll- und Steuerprogramme der Plasmakristall-Experiment-Anlage PKE, die schließlich Anfang 2001 als erstes naturwissenschaftliches Experiment auf der ISS ihre Arbeit aufnahm. Die Forschung zu Plasmakristallen wird inzwischen sehr erfolgreich in der zweiten Anlagengeneration auf der ISS in deutsch-russischer Kooperation kontinuierlich betrieben. Schließlich soll ab 2014 die dritte Anlagengeneration auf der ISS zum Einsatz kommen. Ohne die vorbereitenden TEXUS-Flüge wäre dieser Erfolgsgeschichte kaum möglich gewesen.



## Back to first principles: Exploring the fundamental laws of physics

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 lightning and polar lights, and it forms the light-emitting medium in energy-saving 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-micrometre particles are important for the production of computer chips, nanopowders, and innovative solar cells. 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 microgravity. 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 terrestrial laboratory, 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 with great success in plasma crystal research on board the ISS in collaboration between Germany and Russia. Finally, a third generation will begin to operate on the ISS in 2014. This success story would have hardly been achievable without the TEXUS flights that paved the way for it.

Vom 68. Breitengrad Nord aus ins All: Mitten in den Wäldern um die nordschwedische Bergwerksstadt Kiruna, etwa 45 Kilometer östlich der Stadt, liegt der Weltraumbahnhof ESRANGE.

*A spaceport at 68 degrees north latitude: amid the forests surrounding the Swedish mining town of Kiruna, some 45 kilometres east of the municipality, lies the ESRANGE Space Centre.*

## ESRANGE

Die European Space Range – kurz ESRANGE – 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 beinahe menschenleeres Gebiet in der schwedischen Tundra an, in dem die Nutzlasten und ausgebrannten Raketentufen 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 SSC mit Hauptsitz in Stockholm betrieben.

## ESRANGE

*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 centre is located about 150 kilometres north of the polar circle and 45 kilometres east of the city of Kiruna. Comprising 20 square kilometres, 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 almost uninhabited part of the Swedish tundra, 5,600 square kilometres 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 Organisation (ESRO), one of ESA's precursors. Having become Swedish property in July 1972, the site has been operated ever since by the space enterprise SSC domiciled in Stockholm.*



ESRANGE Hauptgebäude  
ESRANGE main building



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

Um den Unterhalt von ESRANGE auf Dauer sicherzustellen, wurde 1971 ein Regierungsabkommen geschlossen, das „Esrange 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 Sonderbedingungen. Zu den Nutzern von ESRANGE gehören zudem zahlreiche Forschungsanstalten und Raumfahrtagenturen anderer Länder, wie zum Beispiel die NASA (USA) und JAXA (Japan).

Seit 1966 wurden von ESRANGE aus mehr als 450 Forschungsraketen gestartet, darunter bis Mitte 2013 39 Skylark, zwei Nike-Black Brant und neun 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.

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. Mid-year 2013, these included 39 Skylarks, two Nike Black Brants and nine VSB-30s belonging to the German-European TEXUS programme. 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 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 organisations flown in front of the guest house

## Partner und beteiligte Organisationen



### DLR Raumfahrtmanagement, 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.  
dlr.de/rd

## Partners and Participating Organisations

### DLR Space Administration, Bonn

As a flight opportunity that offers six minutes of microgravity, TEXUS forms a major element of the programme „Research under Space Conditions“. Commissioned by the Federal Government, DLR defines and implements Germany's national space programme. Consequently, it is DLR which defines the guidelines for the TEXUS programme, 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.  
dlr.de/rd

### 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 Durchführung sogenannter „Doppelkampagnen“ mit zwei Missionen innerhalb weniger Tage ergeben sich für beide Agenturen Synergieeffekte, die zu wesentlichen Kosteneinsparungen führen.  
www.spaceflight.esa.int/

### ESA/ESTEC, Noordwijk

DLR and ESA appear as partners in the TEXUS programme. Flight experiments are finalised in close cooperation between the two agencies. Thus, missions that are „purely“ DLR or ESA may be realised 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.  
www.spaceflight.esa.int/



### SNSB & SSC

Das Swedish National Space Board (SNSB) ist die zentrale staatliche Agentur, die das schwedische Raumfahrtprogramm formuliert und koordiniert. Die SSC ist ein staatliches Unternehmen, das mit der Umsetzung des Raumfahrtprogramms beauftragt ist. Es 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.sscspace.com

### SNSB & SSC

The Swedish National Space Board (SNSB) is the central governmental agency that formulates and coordinates the national space programme of Sweden. The SSC is a state-owned enterprise which handles the implementation of the national space programme. It 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.sscspace.com





#### Airbus Defence & Space, Bremen

Die Bremer Firma (früher EADS Astrium, 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 Airbus Defence & Space 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.  
dlr.de/rb/



#### Kayser-Threde GmbH, München

Als Unterauftragnehmer von Airbus 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

#### Airbus Defence & Space, Bremen

*Ever since the programme started in 1977, this Bremen company (formerly EADS Astrium, 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 programme has been resting since 1987 with the implementing industrial corporations led by Airbus Defence & Space. 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 transport, documentation, the experiment modules, integration operations, system tests, and the conduct of the missions.*  
www.airbusdefenceandspace.com/

#### DLR-MORABA, Oberpfaffenhofen

The Mobile Rocket Base (MORABA), a DLR organisational unit located in Oberpfaffenhofen, is involved in the TEXUS missions as a subcontractor of Airbus Defence & Space. 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.  
dlr.de/rb/

#### Kayser-Threde GmbH, Munich

*As a subcontractor of Airbus, 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 programme ever since TEXUS 1.*  
www.kayser-threde.de

#### Impressum

Herausgeber:  
Raumfahrtmanagement des  
Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR)

Königswinterer Straße 522–524,  
53227 Bonn  
DLR.de/rd

Sabine Hoffmann  
Leiterin DLR-Kommunikation  
(ViSdP)

Redaktionsleitung:  
Martin Fleischmann

Autoren: Dr. Peter Preu, Dr. Otfried Joop,  
Prof. Günter Ruyters, Dr. Rainer Kuhl,  
Dr. Markus Braun, Dr. Rainer Forke

Druck:  
MEINDERS & ELSTERMANN GmbH & Co. KG  
49191 Belm

Gestaltung:  
CD Werbeagentur GmbH,  
53842 Troisdorf  
www.cdonline.de

Nachdruck nur mit Zustimmung des Herausgebers und Quellenangabe. Gedruckt auf umweltfreundlichem, chlorfrei gebleichtem Papier. Alle Bilder DLR, soweit nicht anders angegeben. Namentlich gekennzeichnete Artikel geben nicht unbedingt die Meinung der Redaktion wieder. Erscheinungsweise vierteljährlich, Abgabe kostenlos.

#### Imprint

Publisher:  
German Aerospace Center (DLR)  
Space Administration

Königswinterer Straße 522–524,  
53227 Bonn, Germany  
DLR.de/rd

Sabine Hoffmann  
Director DLR Corporate Communications  
(responsible according to the press law)

Editor in Chief:  
Martin Fleischmann

Authors: Dr. Peter Preu, Dr. Otfried Joop,  
Prof. Günter Ruyters, Dr. Rainer Kuhl,  
Dr. Markus Braun, Dr. Rainer Forke

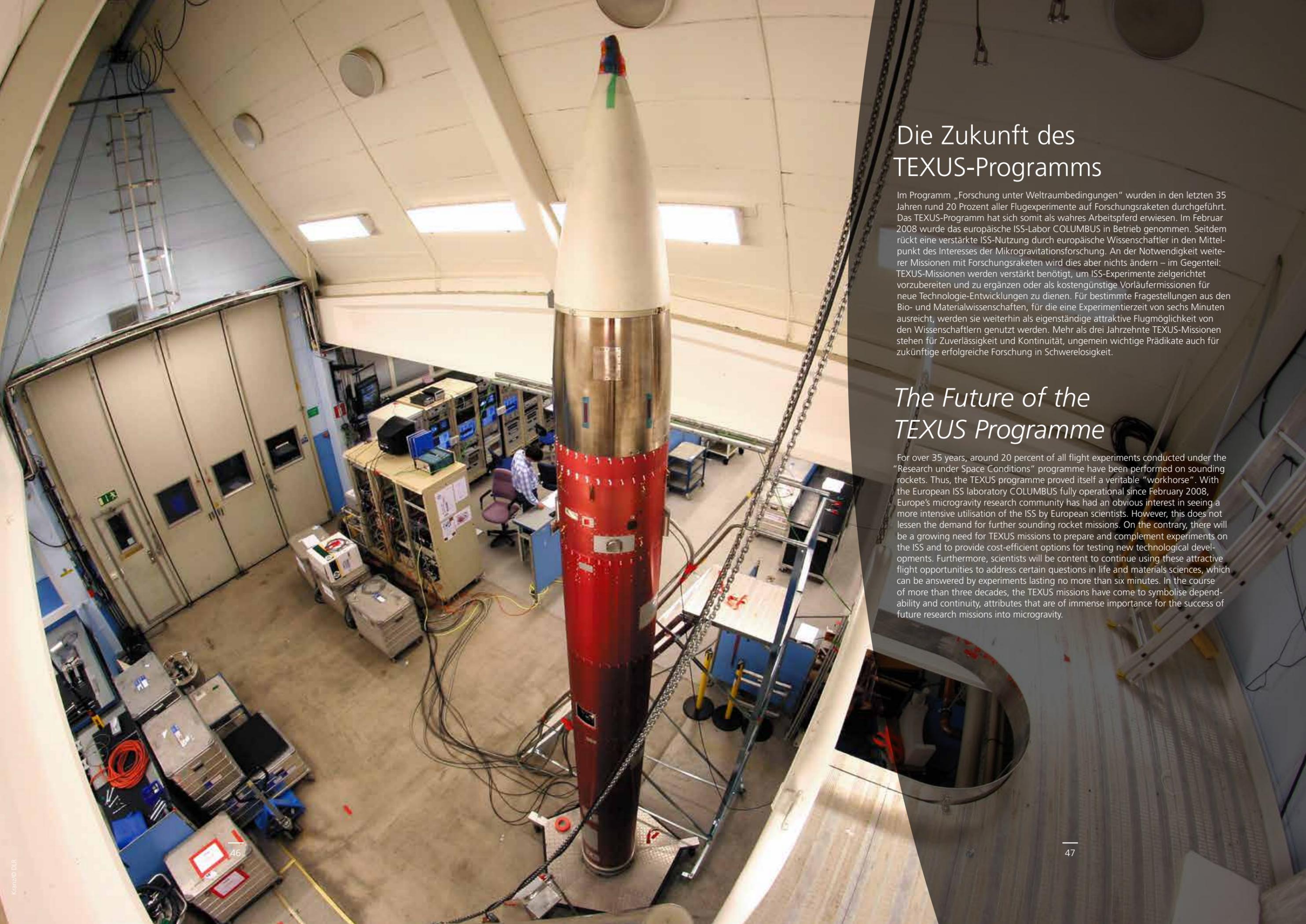
Print:  
MEINDERS & ELSTERMANN GmbH & Co. KG  
49191 Belm, Germany

Layout:  
CD Werbeagentur GmbH,  
53842 Troisdorf, Germany  
www.cdonline.de

Reprint with approval of publisher and with reference to source only. Printed on environment-friendly, chlorine-free bleached paper. Copyright DLR for all imagery, unless otherwise noted. Articles marked by name do not necessarily reflect the opinion of the editorial staff. Published quarterly, distribution free of charge.

Die Flugkampagne		
Start minus/plus	in Deutschland	in ESRANGE
<b>Vor dem Start</b>		
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)	
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
<b>Start</b>		
<b>0</b>		<b>Start</b>
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
<b>Nach dem Start</b>		
1 Tag		Vorbereitung Rücktransport, Packen
2 Tage		Rückreise 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
<b>Before the start</b>		
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
<b>Start</b>		
<b>0</b>		<b>Start</b>
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
<b>After the start</b>		
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 35 Jahren rund 20 Prozent aller Flugexperimente auf Forschungsraketen durchgeführt. Das TEXUS-Programm hat sich somit als wahres Arbeitspferd erwiesen. Im Februar 2008 wurde das europäische ISS-Labor COLUMBUS in Betrieb genommen. Seitdem 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. 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. Mehr als drei Jahrzehnte TEXUS-Missionen stehen für Zuverlässigkeit und Kontinuität, ungemein wichtige Prädikate auch für zukünftige erfolgreiche Forschung in Schwerelosigkeit.

## *The Future of the TEXUS Programme*

For over 35 years, around 20 percent of all flight experiments conducted under the “Research under Space Conditions” programme have been performed on sounding rockets. Thus, the TEXUS programme proved itself a veritable “workhorse”. With the European ISS laboratory COLUMBUS fully operational since February 2008, Europe’s microgravity research community has had an obvious interest in seeing a more intensive utilisation of the ISS by European scientists. However, this does not lessen the demand for further sounding rocket missions. On the contrary, there will be a growing need for TEXUS missions to prepare and complement experiments on the ISS and to provide cost-efficient options for testing new technological developments. Furthermore, scientists will be content to continue using these attractive flight opportunities to address certain questions in life and materials sciences, which can be answered by experiments lasting no more than six minutes. In the course of more than three decades, the TEXUS missions have come to symbolise dependability and continuity, attributes that are of immense importance for the success of future research missions into microgravity.