

Airbus A310 ZERO-G – Das neue Flugzeug für die Parabelflug-Forschung

Airbus A310 ZERO-G – The New Aircraft for Parabolic Flight Research

Seite 6 / page 6



Facing Space – Interview mit dem ASI-Präsidenten Roberto Battiston

Facing Space – Interview with ASI President Roberto Battiston 4

Sentinel-2A – Neue Anwendungen für die Erdbeobachtung

Sentinel-2A – New Applications for Earth Observation 16

Offenes Tor für Galileo – GATEs- Testumgebungen sind jetzt komplett

Open Gate for Galileo –
GATEs Test Environments Now Complete 22

Beschützer der Erde –

Wir retten unseren Schulteich

Earth Guardian – Saving the School Pond 28

Elektronische Bauteile – Ein winziger Chip dosiert die Energie für leichtere Satelliten

Electronic Components – A Tiny Chip
Dosing the Power Supply in Light-Weight Satellites 32

Elektronik-Bauteile:

Winziger Chip dosiert die Energie für leichtere Satelliten

Von André Rocke, Volodymyr Burkhay und Uwe Soltau

Ohne sie könnte kein Satellit seine Aufgaben im Orbit erfüllen. Dafür müssen sie jahrelang extreme Umweltbedingungen wie Vakuum, Temperaturschwankungen und Strahlung aushalten und dabei den Energiefluss im Satelliten steuern, also genau die benötigten Spannungen und Ströme an den richtigen Stellen zur Verfügung stellen. Diese Leistung vollbringen elektronische Schaltkreise, die sowohl im Satellitenbus als auch in der Nutzlast verbaut sind. Genau diese Bauteile sind zwar schon klein und leicht, machen bisher aber trotzdem einen erheblichen Teil des Satellitengewichts aus. Viele Bauteile werden exklusiv in den USA produziert und unterliegen den dort geltenden Handelsbestimmungen. In bestimmten Missionen oder Startoptionen – zum Beispiel in China – dürfen diese Bauteile nicht zum Einsatz kommen. Eine Lösung dieses Problems wiegt nur etwa ein Gramm, ist circa sieben mal zehn Millimeter klein und wird komplett in Deutschland entwickelt und hergestellt: SPPL-12420RH. Dieser winzige, intelligente Schaltkreis ist für viele verschiedene Satelliten einsetzbar, da er extrem leicht und dennoch strahlungsfest und robust ist. Die Firma SPACE IC hat ihn entwickelt und wurde dabei vom DLR Raumfahrtmanagement und der Europäischen Weltraumorganisation ESA unterstützt. Nun ist der Chip marktreif und wartet auf seinen Einsatz in europäischen und internationalen Weltraummissionen.

Electronic Components:

A Tiny Chip Manages Power Supply in Light-Weight Satellites

By André Rocke, Volodymyr Burkhay and Uwe Soltau

Without them, no satellite could do its job in orbit. They have to withstand extreme environmental conditions like hard vacuum, fluctuating temperatures, and radiation for years, controlling all the time the energy flow within the satellite and providing the exact voltage and current needed in the right place. This work is performed by electronic circuits installed both in the satellite bus and in the payload. Although small and light, it is these components that have been accounting for a considerable part of a satellite's weight so far. Many of these components are made in the USA, where they are subject to national trade regulations. Therefore they must not be used in certain missions or launches, in China, for example. The solution of this problem weighs only about one gramme, measures about 7 by 10 millimetres, and is entirely developed and manufactured in Germany: SPPL12420RH. This tiny, smart integrated circuit may be used on many different satellites because it is extremely light and yet robust and resistant to radiation. It was developed by SPACE IC with the support of the DLR Space Administration and the European Space Agency (ESA). The chip has now reached market maturity and is ready for use on European and international space missions.

Er wiegt nur etwa ein Gramm, ist circa sieben mal zehn Millimeter klein und wird komplett in Deutschland entwickelt und hergestellt: der elektronische Schaltkreis SPPL12420RH.

It weighs only about one gramme, it is tiny at about seven by ten millimetres, and it is entirely German in make and design: the electronic chip SPPL12420RH.



Autoren: **André Roche** ist für Betrieb und Qualitätskontrolle bei SPACE IC zuständig. Sein Kollege **Volodymyr Burkhay** (l.) kümmert sich um Marketing und Verkauf der elektronischen Schaltkreise. **Uwe Soltau** (r.) ist KMU-Beauftragter des DLR Raumfahrtmanagements und unterstützt die Firma bei ihren Raumfahrtaktivitäten.

Authors: **André Roche** is in charge of operations and quality control at SPACE IC. His colleague **Volodymyr Burkhay** (left) looks after IC marketing and sales. **Uwe Soltau** (right) is the SME commissioner of the DLR Space Administration. He supports the company in its space activities.

Die Plattform ist die Grundlage eines jeden Satelliten. Sie besteht aus der mechanischen Grundstruktur, ist für Antriebssystem und Lageregelung, für Energieversorgung und Temperaturkontrolle verantwortlich und trägt außerdem die eigentliche Nutzlast. Sie ist zwar je nach Einsatzzweck für jeden Satelliten unterschiedlich, aber alle Nutzlasten enthalten Systeme für Energieverteilung und -management sowie für die Datenkommunikation zwischen den verschiedenen Modulen. Diese Funktionen in der Plattform und in der Nutzlast sind von elektronischen Bauelementen abhängig, die für extreme Anforderungen ausgelegt sind.

Modulare Bauweise lässt Satellitenkosten sinken

Der Einsatz von Satelliten ist zwar teuer, jedoch in vielen Bereichen auch die sinnvollste Lösung. Daher müssen sich Raumfahrtprojekte der Kostenfrage stellen: Die Startkosten machen etwa 20 bis 30 Prozent aus und werden erheblich durch Gewicht und Volumen der Nutzlast bestimmt. Daher sollen zahlreiche Verbesserungen Gewicht und Volumen der Satelliten senken. Auch die Entwicklung und die aufwendige Qualifikation der Satellitenkomponenten sind teuer. Wie lassen sich diese Kosten verringern und gleichzeitig die Qualität der Bauteile erhalten? Die Lösung: Modulare und standardisierte Bauteile sowohl in der Plattform als auch in der Nutzlast erhöhen die Stückzahl, auf die diese Kosten dann umgelegt werden. Damit reduziert sich der Preis eines einzelnen Satelliten. Moderne Satellitensysteme müssen also immer mehr Funktionalität auf weniger Raum unterbringen und diese Funktionen möglichst mit standardisierten Blöcken umsetzen. Möglich wird dies durch die Miniaturisierung und Integration von Standardfunktionen in integrierten Schaltungen (ICs).

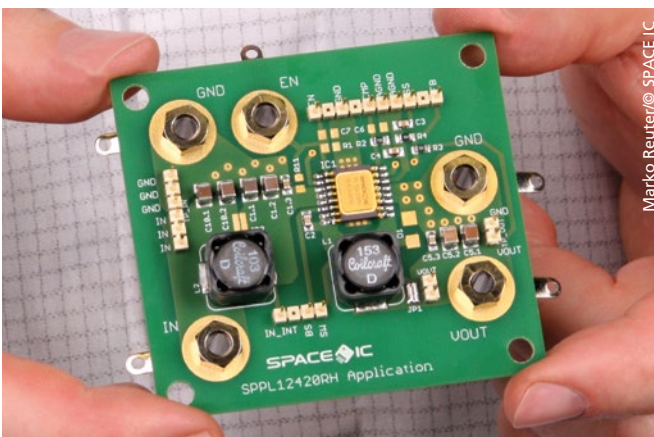
In kommerziellen Halbleitertechnologien entwickelte und allgemein verfügbare ICs wird dies so umgesetzt. Sie sind allerdings in der Regel nicht für Raumfahrtanwendungen geeignet. Neben starken Temperaturschwankungen und Vibrationen sind sie vor allem gegenüber kosmischer Strahlung, der Satelliten ohne den Schutz des Erdmagnetfelds und der Atmosphäre ausgesetzt sind, besonders anfällig. Daher werden strahlungsresistente Halbleiterchips nach besonderen Designmethoden entwickelt und auf speziellen Halbleitertechnologien gefertigt – viele davon in den USA. Der Knackpunkt dabei: Das militärische Interesse an strahlungsfesten ICs führt dazu, dass die Beschaffung solcher US-

The platform is the base of every satellite. Comprising the basic mechanical structure, it is responsible for the drive and attitude control system, for the power supply and for temperature control, besides bearing the payload proper. Although it differs from satellite to satellite depending on the objective of the mission, all payloads contain systems for power management and distribution as well as for data communication between the various modules. These functions involving the platform and the payload depend on electronic components that are designed to meet extreme requirements.

Modular construction lowers satellite cost

The operation of a satellite is expensive but one that makes the most sense in many fields. Therefore, space projects have to answer the question of cost: the cost of the launch, which depends to a considerable extent on weight and volume of the payload, accounts for about 20 to 30 per cent. For this reason, numerous improvements have been introduced to lower the weight and volume of satellites. The development and the elaborate qualification of satellite components are expensive as well. How to reduce these costs while keeping the quality of the components high? The solution: modular, standardised components for installation in the platform as well as in the payload increase the number of units among which these expenses can be spread, thus reducing the price of an individual satellite. In other words: modern satellite systems are required to accommodate more and more functions in less and less space, and to implement these functions with standardised blocks as far as possible. This is achieved by miniaturising and integrating standard functions in integrated circuits (ICs).

To be sure, ICs that were developed on the basis of commercial semiconductor technologies are generally available to handle these functions. However, as a general rule, these are not suitable for space applications. In addition to strong temperature fluctuations and vibrations, they are particularly sensitive to cosmic radiation to which satellites are exposed without the protection of the Earth's magnetic field and its atmosphere. This is why radiation-proof semiconductor chips are developed in special design processes and produced by means of special semi-



Integrierter Winzling: Der elektronische Schaltkreis SPPL12420RH ist zentral in diese Demonstrationsplatine eingebaut. Damit lässt sich die Funktion des Bausteins in einer praktischen Anwendung zeigen.

An integrated tiny component: the electronic chip SPPL12420RH, incorporated in the centre of this demonstration PCB to show the module in a practical application.



Verleihung des ESA-Innovationspreises 2014 an die SPACE IC GmbH aus Hannover (v. l.: Uwe Soltau, KMU-Beauftragter des DLR Raumfahrtmanagements, Christian Westpfahl, ehemals Application & Customer Support SPACE IC GmbH, Volodymyr Burkhay, Marketing & Sales SPACE IC GmbH und Eric Morel de Westgaver, ESA-Direktor für Industrie, Beschaffung und rechtliche Angelegenheiten)

Presentation of the ESA Innovation Award to SPACE IC GmbH of Hannover (from left: Uwe Soltau, SME commissioner of the DLR Space Administration, Christian Westpfahl, formerly Application & Customer Support SPACE IC GmbH, Volodymyr Burkhay, Marketing & Sales SPACE IC GmbH, and Eric Morel de Westgaver, ESA's director of industry, procurement, and legal affairs)

Bauteile für europäische Raumfahrtprogramme durch die ITAR- und EAR-Exportregeln der amerikanischen Behörden massiv behindert wird. Es besteht eine große Abhängigkeit der europäischen Raumfahrtentwicklung von den USA, die von den europäischen Raumfahrtagenturen und der Industrie kritisch gesehen wird. Zur Minderung dieser Abhängigkeit hat die europäische Weltraumorganisation ESA in Abstimmung und Zusammenarbeit mit den nationalen Raumfahrtagenturen (unter anderem DLR und CNES) die European Components Initiative (ECI) ins Leben gerufen. Um in Europa weiter moderne und kosteneffiziente Satellitensysteme entwickeln zu können, werden europäische ICs für die Miniaturisierung benötigt. Das Anfang 2014 in Hannover gegründete Unternehmen SPACE IC entwickelt diese winzigen und extrem leichten elektronischen Schaltkreise und lässt sie in Deutschland fertigen.

Entwicklung und Fertigung in Deutschland vermeidet die Abhängigkeit von US-Handelsbestimmungen

Das Gründerteam des Unternehmens besteht aus Mitarbeitern der ehemaligen IC-Produktentwicklung von Telefunken Semiconductors mit jahrelanger Erfahrung in diesem Bereich. Bereits im Jahr 2010 erkannten sie das Potenzial der Hochspannung-Halbleitertechnologien auf Basis von Silizium-auf-Isolator-Substraten – den sogenannten BCD-SOI-Technologien – für die Raumfahrt. Die ersten erfolgreichen Strahlungstestergebnisse und die Ankündigung von raumfahrttauglichen IC-Produkten für effiziente Spannungskonverter und robuste Datenschnittstellen auf europäischen Raumfahrtkonferenzen weckten das Interesse der Raumfahrtindustrie und der Raumfahrtagenturen. Mit dieser Produktnachfrage im Rücken wurde das KMU SPACE IC gegründet. Mit dem alleinigen Fokus auf strahlungsfesten Raumfahrt-Schaltkreisen auf Basis von SOI-Substraten (Silicon-on-Insulator) nutzt das neue Unternehmen die Vorteile des Entwicklungs- und Fertigungsstandorts Deutschland, um ITAR/EAR-freie elektronische Schaltkreise für die Energieverteilung und das Energiemanagement sowie die robuste Datenübertragung in Satelliten anzubieten. Diese Bauteile werden dringend benötigt, um Satellitensysteme kompakter und effizienter aufzubauen.

Denn bisher musste in Satelliten eine zentrale Versorgungseinheit zahlreiche, von den Nutzlastmodulen benötigte, niedrige Versorgungsspannungen präzise geregelt zur Verfügung stellen. Diese zentrale Versorgungseinheit sowie die Spannungsschienen waren hinsichtlich Entwicklung, Volumen und Gewicht sehr aufwendig. Umbauten an der Satellitenarchitektur zogen zwangsläufig Änderungen an der zentralen Energieversorgung nach sich. Zugleich war die Energieverteilung zu den Modulen wenig effizient. Satelliten von morgen brauchen innovativere Energieversorgungstechnologien –

conductor technologies – many of them in the USA. The sticking point is that because of the interest of the military in radiation-resistant ICs, the procurement of such US components for European space programmes is massively obstructed by the ITAR and EAR export regulations of the American authorities. European space developments heavily depend on the USA, a fact which the European space agencies and the industry feel rather uncomfortable with. The European Components Initiative (ECI) is a programme launched by the European Space Agency ESA in cooperation with DLR and CNES to reduce this dependence. To continue to develop modern and cost-efficient satellite systems, manufacturers need European ICs for miniaturisation. A company founded in Hannover early in 2014, SPACE IC, develops these tiny, extremely light electronic circuits and has them manufactured in Germany.

Development and production in Germany avoid dependence on US trade regulations

The company was founded by a team of employees of the former Telefunken Semiconductors IC product development department, with years of experience in the field. As early as 2010, they recognised the potential for space applications of high-voltage semiconductor technologies based on silicon-on-insulator substrates, also known as BCD-SOI technologies. The first successful outcomes of radiation tests and the announcement of spaceworthy IC products for efficient voltage converters and robust data interfaces at European space conferences aroused the interest of the space industry and the space agencies. Backed by this demand, the SPACE IC SME was founded. Focusing exclusively on radiation-hard space circuits based on SOI substrates, the new company makes use of the advantages of Germany as a site of development and manufacture to offer electronic circuits for power management and distribution as well as for robust data communication in satellites without interference from ITAR/EAR. Such components are urgently needed to make satellite systems more compact and efficient.

Until now, satellites had a central power supply unit which had to provide payload modules with numerous low voltages under precisely controlled conditions. The development, volume, and weight of such central units and power rails were major items. Any alterations in the satellite architecture necessarily entailed changes in the central power supply. At the same time, the power distribution among the modules was not very efficient. The satellites of tomorrow need more innovative power supply technologies: in a modern point-of-load (POL) satellite architecture, the central power supply unit provides only a few inaccurate power rails for all electronic energy consumers. The supply

nologien: In einer modernen, sogenannten Point-of-Load (POL)-Satellitenarchitektur stellt die zentrale Versorgungseinheit nur noch wenige ungenaue Spannungsschienen für alle elektronischen Energieverbraucher bereit. Die vom jeweiligen Modul benötigte, genaue niedrige Versorgungsspannung wird direkt an der jeweiligen Elektronik – dem Point-of-Load – aus der zentralen Spannungsschiene erzeugt. Diese Aufgabe löst SPPL12420RH – das erste Produkt von SPACE IC – in einem sehr kompakten Aufbau mit einer Effizienz von mehr als 90 Prozent.

Ein-Gramm-Chip regelt den Energiefluss in Satelliten

Die stark vereinfachte, zentrale Versorgungseinheit, die Energieverteilung über wenige Spannungsschienen sowie die Standardisierung der Verbraucherschnittstelle, bei der jedes Modul lokal von einem kleinen POL-Baustein versorgt wird, verbessert die Energie- und Kosteneffizienz. Der circa sieben mal zehn Millimeter kleine Chip wird komplett in Deutschland entwickelt und hergestellt und wiegt nur etwa ein Gramm. Er ist für viele verschiedene Satelliten einsetzbar, da er extrem leicht und dennoch strahlungsfest und robust ist. Bislang gibt es vergleichbare Chips nur in den USA. Für diese Entwicklung und ihre zügige Qualifikation erhielten die Gründer von SPACE IC den ESA Innovationspreis 2014. Das Preisgeld von 100.000 Euro setzt das Unternehmen für Qualitätstests ein, um dieses Produkt so schnell wie möglich den europäischen Raumfahrtunternehmen zur Verfügung zu stellen.

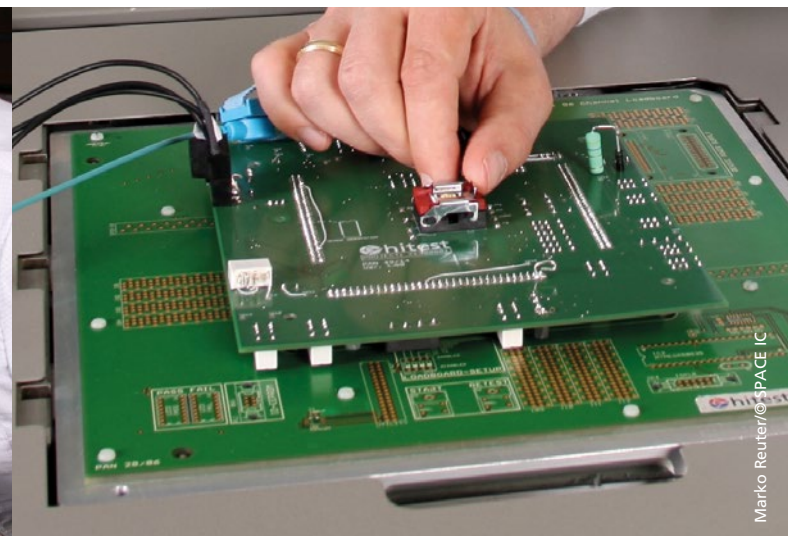
Die Engineering-Modelle des SPPL12420RH sind seit März 2015 lieferbar. Im Herbst 2015 sollen die Qualifikationstests so weit sein, dass erste Flug-Modelle geliefert werden können. Dies wird auch durch die enge Zusammenarbeit mit dem DLR Raumfahrtmanagement und der ESA und die damit verbundenen Fördermaßnahmen möglich. Mit der anschließenden Zertifizierung des Bausteins durch die European Space Components Coordination (ESCC) wird ein ITAR/EAR-freies europäisches IC-Produkt zur Verfügung stehen, das strengsten Raumfahrtanforderungen gewachsen ist. Für das Unternehmen aus Hannover ist dieser POL-Baustein nur der erste Schritt als Zulieferer im Raumfahrtmarkt. Die Halbleiter-Entwickler sind bereits dabei, weitere analoge und mixed-signal IC-Produkte für die Raumfahrt zur Marktreife zu bringen. SPACE IC fokussiert dabei auf die Schwerpunkte Power-Management-Anwendungen und robuste Datenübertragung. Dafür möchte das Unternehmen weiter expandieren und den Pool an Fachkräften ausbauen, um für die vielfältigen Projekte gerüstet zu sein.

voltage needed by a module is generated at exactly the right low level from the central power rail directly at the electronic component in question – the point of load. SPPL12420RH, the first product of SPACE IC, handles this task in a very compact structure with an efficiency of more than 90 per cent.

A one-gramme chip controls the flow of energy in satellites

A highly simplified central supply unit, the power distribution by a few power rails, and the standardisation of the consumer interface which enables every module to be supplied locally by a small POL component serve to improve both energy and cost efficiency. As tiny as approximately seven by ten millimetres, the chip is entirely developed and manufactured in Germany and weighs only about one gramme. It may be used on many different satellites because it is extremely light and yet robust and radiation-hard. So far, equivalent chips could be found only in the USA. For this development and its speedy qualification, the founders of SPACE IC were awarded the ESA Innovation Prize 2014. The company uses the prize money of 100,000 euros for quality tests so that the product can be made available to the European space enterprises as quickly as possible.

The engineering models of SPPL12420RH became available in March 2015. It is hoped that in the autumn of 2015, qualification tests will have progressed far enough for the first flight models to be delivered. In this effort, the company is supported by its close co-operation with the DLR Space Administration and ESA and the assistance measures associated with that. With the follow-up component certification by the European Space Components Coordination (ESCC), an ITAR/EAR-free European IC product will be available that is up to the most stringent space requirements. For the company from Hanover, this POL component is only the first step as a supplier to the space market. The semiconductor developers are already busy bringing further analogue and mixed-signal IC products for space to maturity. In this context, SPACE IC focuses on power management applications and robust data communication. For this purpose, the company plans to expand further and increase its pool of experts so as to be prepared for a wide range of projects.



Bei der IC-Produktion und den Qualitätstests muss die Funktion jedes Chips mehrmals überprüft werden. Mit dem automatischen Test-Equipment (ATE) beim Test-Spezialisten Hitest dauert das nur wenige Sekunden. Als Auftraggeber profitiert SPACE IC von der mehrjährigen Erfahrung dieser Firma mit elektronischen Komponenten für den Weltraumeinsatz. Insofern ist die Standortwahl von SPACE IC im SICAN-Technologiepark Hannover nicht zufällig – der Reinraum von Hitest ist nur einige Treppenstufen entfernt. Diese räumliche Nähe hilft sehr bei der Zusammenarbeit und hat sich bereits beim Aufsetzen der Produktion des SPPL12420RH bezahlt gemacht.

In the production of ICs and the relevant quality tests, every chip needs to undergo the functional test many times. With the automated test equipment (ATE) operated by the Hitest test specialists, this takes only a few seconds. As their client, SPACE IC profits from Hitest's many years of experience with electronic components for use in space. In this regard, SPACE IC did not choose its location in the SICAN Technology Park of Hanover by accident – Hitest's clean room is only a few steps away in the same staircase. A great help in collaboration, this proximity has already proven its worth when the production of SPPL12420RH was set up.



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 8.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Das DLR unterhält Büros in Brüssel, Paris, Tokio und Washington D.C.

Impressum

Newsletter COUNTDOWN – Aktuelles aus dem DLR Raumfahrtmanagement
Herausgeber: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

Sabine Hoffmann
Leiterin DLR-Kommunikation
(ViSdP)

Redaktion:
Andreas Schütz (Imprimatur)
Elisabeth Mittelbach (Teamleitung)
Martin Fleischmann (Redaktionsleitung)
Diana Gonzalez (Raumfahrtkalender)

Hausanschrift:
Königswinterer Straße 522–524,
53227 Bonn
Telefon: +49 (0) 228 447-120
Telefax: +49 (0) 228 447-386
E-Mail: countdown@dlr.de
DLR.de/rd

Druck: M&E Druckhaus,
49191 Belm
www.me-druckhaus.de

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

ISSN 2190-7072

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.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

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 8,000 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.

Imprint

Newsletter COUNTDOWN – Topics from the DLR Space Administration
Publisher: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

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

Editorial office:
Andreas Schütz (Imprimatur)
Elisabeth Mittelbach (Team Leader)
Martin Fleischmann (Editor in Chief)
Diana Gonzalez (Space Calendar)

Postal address:
Königswinterer Straße 522–524,
53227 Bonn, Germany
Telephone: +49 (0) 228 447-120
Telefax: +49 (0) 228 447-386
E-mail: countdown@dlr.de
DLR.de/rd

Print: M&E Druckhaus,
49191 Belm, Germany
www.me-druckhaus.de

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

ISSN 2190-7072

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.

Supported by:



Federal Ministry
for Economic Affairs
and Energy

on the basis of a decision
by the German Bundestag