

# RAUMFAHRTTECHNIK

PORTRÄT  
**RADARAUGEN IM ORBIT**

*ab Seite 2*

KOMPAKT SCHULE  
**UNTERRICHTSMATERIAL  
FÜR DEN MINT-UNTERRICHT**

*Einleger*

## SPACE-ING FÜR FORSCHUNG UND TOURISMUS

Triumph und Niederlage liegen in der Raumfahrt dicht beieinander. Das ist nicht verwunderlich, wenn man bedenkt, wie viele technische Details funktionieren und in einem genau festgelegten Zeitrahmen wie ein Uhrwerk ineinandergreifen müssen, damit eine Weltraummission gelingt. Allen Grund zum Jubeln hatten die SpaceX-Wissenschaftler, als am 6. Februar die Falcon Heavy, die weltweit schubstärkste Rakete, bei blauem Himmel in Cape Canaveral einen Bilderbuchstart hinlegte. Mit dem 70 Meter hohen Flugobjekt hoben nicht weniger als 1.420 Tonnen Startgewicht vom Erdboden ab. Allein Hunderte Tonnen gekühlten Kerosins und flüssigen Sauerstoffs zum Antrieb der ersten Stufe machen Falcon zu einem Schwergewicht.

*weiter auf Seite 2*



Gut 60 Tonnen Ladung kann die Rakete stemmen. SpaceX packte ein kirschrot lackiertes E-Mobil der Firma Tesla hinein. Am Lenkrad eine Puppe in einem Raumanzug, die Augen auf einen Spruch am Armaturenbrett gerichtet: „Don't panic!“ Dieser Start markiert einen neuen Trend. Die privatwirtschaftlich organisierte Weltraumexpedition als gigantische Werbeaktion. Nicht zufällig ist der Chef von SpaceX und Tesla derselbe: Elon Musk.



Alexander Gerst aktiviert Forschungsgeräte im ISS-Labor Columbus

Weniger glamourös verlief der Flug einer Ariane 5 im Januar. Und das nach 82 erfolgreichen Missionen in Serie. Unmittelbar nach dem Start verlor die Bodenstation in Kourou in Französisch-Guayana den Kontakt zur Trägerrakete. Ariane 5 setzte die beiden Satelliten, die sich an Bord befanden, an der falschen Stelle der Erdumlaufbahn aus. Die Mission konnte trotzdem noch gerettet werden. Jens Lassmann, Diplomingenieur für Raumfahrttechnik und Standortleiter des Raumfahrtunternehmens Airbus in Bremen, weiß, wie es sich anfühlt, wenn jahrelange Bemühungen in Feuer und Rauch aufgehen. „Da kriegt man einen riesigen Schreck und merkt erst, wie fragil Raketentechnik ist.“ Schließlich gibt es unzählige mögliche Fehlerquellen: Das kann ein neuer Klebstoff sein, der den tiefen Temperaturen im Weltraum nicht gewachsen ist, oder ein winziger Konstruktionsfehler, der eine Treibstoffleitung einfrieren lässt.

Eine Erfolgsgeschichte ist das europäische Weltraumlabor Columbus, das 2018 zehnjähriges Jubiläum feiert. Im Februar 2008 wurde es auf die ISS geschickt. Seitdem führten Wissenschaftler dort über 220 Experimente durch. Den Auftakt machte der Botaniker Günther Scherer von der Uni Hannover, der Pflanzen zwölf Tage lang in Schwerelosigkeit wachsen ließ. Columbus hat neuerdings einen Gast, einen Roboter von der Größe eines Medizinballs mit dem Namen Cimon. Er soll Alexander Gerst bei der Arbeit im Labor helfen, sobald dieser Anfang Juni auf die ISS zurückkehrt. Cimon schwebt dienstefrig umher und kann sogar die Verfassung eines Menschen am Gesichtsausdruck erkennen. Während seines zweiten Aufenthalts auf der ISS wird Gerst seinen intelligenten Begleiter auf Herz und Nieren testen. Womöglich wird Cimon später auch auf der Erde als Nothelfer zum Einsatz kommen. Etwa in Atomkraftwerken, im Krankenhaus oder bei der Feuerwehr.



## RADARAUGEN IM ORBIT

*Im Vorraum des Zentrums für Radartechnik hängt ein Modell des geplanten Satelliten und die Ingenieure planen weiter an den Optimierungen fürs Weltall*

**Seit zehn Jahren umrunden die Zwillingssatelliten TerraSAR-X und TanDEM-X unseren Planeten und liefern Oberflächenaufnahmen der Erde in bislang einzigartiger Qualität und Auflösung. Nun entwickeln Forscher vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) ein Nachfolgesystem, das die komplette Erde im Wochenrhythmus vermisst.**

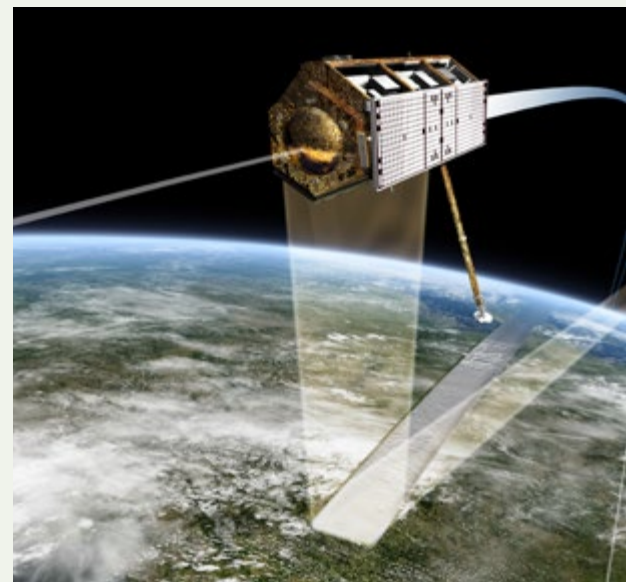


© Michael Bokelmann

2007 startete der deutsche Satellit TerraSAR-X ins All, der mit einem Radarsystem die Erde beobachtet. Drei Jahre später folgte der nahezu baugleiche TanDEM-X, der bis auf 120 Meter neben seinem Satellitenbruder platziert wurde. Ferngesteuert von der Erde. In einer Höhe von 514 Kilometern. Erst beide Satelliten zusammen erzeugten – ähnlich wie unsere Augen – eine Art dreidimensionales Bild von der irdischen Oberfläche. Forscher nennen diese Art der Betrachtung interferometrische Vermessung. Und an genau dieser Stelle muss der Vergleich mit den menschlichen Augen der Radartechnik weichen. Denn das Radar liefert – anders als optische Fernrohre oder Spiegelteleskope – eben kein Bild, sondern lediglich Daten. Viele Daten. Rund 400 Terabyte senden die Satelliten an die Bodenstationen auf der ganzen Welt. Rohdaten, die aufgearbeitet drei Petabyte ergeben. Erst aus diesem gigantischen Datenwust entstand in mehrjähriger Aufarbeitung der erste hochpräzise Höhen Datensatz unserer Welt. Das heißt: Bis vor wenigen Jahren wussten wir nur ausschnittsweise, wie unsere Erde eigentlich wirklich aussieht. Seit dem Start des deutschen Satellitenpaars hat sich der Blick auf die Welt verändert.

### VON VULKANEN UND EISMASSEN

Beim DLR im bayerischen Oberpfaffenhofen arbeitet ein Forscherteam um Dr. Ing. Manfred Zink nun an der nächsten Satellitengeneration. Funktionieren die beiden Radaraugen im Orbit im sogenannten X-Band (circa 9.6 GHz oder 3 cm Wellenlänge), so wird auch der Nachfolger die neue Wellenlänge im Namen tragen: Tandem-L. Diese Wellenlänge ist um den Faktor 8 größer, und das hat einen ganz bestimmten Grund: „Während wir mit den X-Band-Wellen die Oberfläche der Erde – auch durch die Wolkendecke – hervorragend vermessen konnten, dringen die L-Wellen deutlich tiefer in die Vegetation ein und sehen damit vom Weltall aus nicht nur die Baumkronen, sondern auch den Boden darunter“, erklärt Zink. Es geht um die genaue Erfassung der Biomasse in den Wäldern, eine zentrale Größe im Kohlenstoffkreislauf. Aber auch um Eismassen, die Veränderung der Topografie nach Erdbeben oder Vulkanausbrüchen und noch viel mehr. Und das zukünftig im Wochentakt. Mit diesem



© DLR

TanDEM-X und TerraSAR-X im Formationsflug mit nur 120 Meter Abstand zwischen

System wird es erstmals möglich, dynamische Veränderungen auf der Erde mit hoher Präzision zu erkennen und auf einer wissenschaftlich sauberen Grundlage zu bewerten.

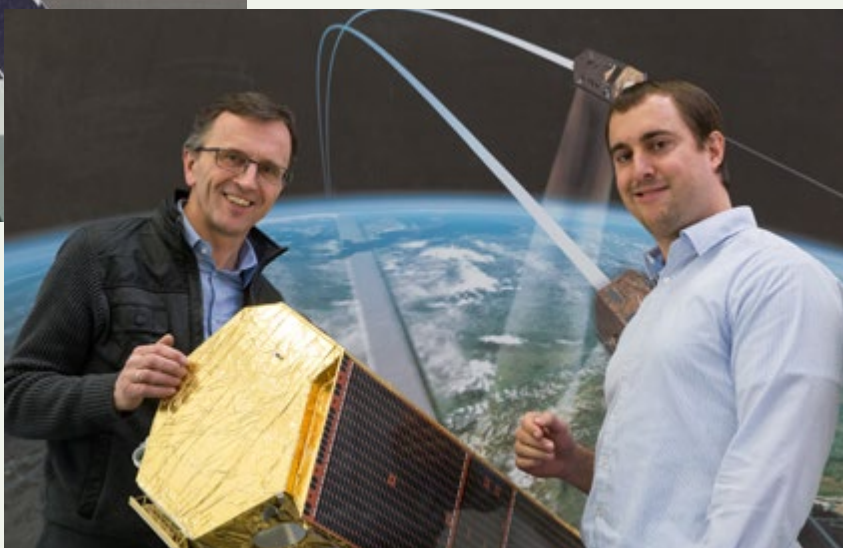
### VOM PERSONENSCANNER ZUM WELTRAUMAUGE

Mit im Team ist Dr. Sigurd Huber. Der 39-jährige Elektrotechnikingenieur ist Spezialist für die Radartechnik in den Satelliten. Überhaupt besteht das derzeit rund 50 Personen zählende Team fast ausschließlich aus Ingenieuren, vor allem E-Technikern und Nachrichteningenieuren. Huber hat bereits auf dem Ausbildungsweg seine ganz eigene Geschichte geschrieben. Damals, zur Zeit seiner Diplomarbeit, war er Teil eines Teams, das ein Radarsystem entwickelte, mit dem man Personen abbilden kann. Genauer: Er implementierte einen Algorithmus für eine Technologie, um Personen an Flughäfen zu durchleuchten. Das Ganze erreichte später medienwirksam als Nacktscanner die Öffentlichkeit und ist mittlerweile an allen Flughäfen Alltag in den Sicherheitskontrollen. Heute entwickelt er beim DLR jene Radarverfahren weiter, die auch in Tandem-L zum Einsatz kommen sollen.

### MIT TEAMARBEIT INS WELTALL

Es dauert mehrere Jahre, einen Satelliten im Detail zu entwerfen, zu bauen, auf Herz und Nieren zu testen und danach ins All zu schießen. Pläne, Genehmigungsverfahren, Geldgeber, Produzenten, Starttermine – es ist eine Odyssee an formalen wie praktischen Hürden. Tandem-L soll, wenn das Bundesministerium für Bildung und Forschung den Antrag freigibt, 2023 oder 2024 ins All starten. Niemand bezweifelt, dass das OK kommt. Darum arbeiten auch bereits 50 Forscher am Weltraumradar der Zukunft. Kommt das Projekt Tandem-L richtig in Schwung, werden es mehr als 100 sein. Dazu kommen noch mal Kollegen aus der Wirtschaft, die den Satelliten bauen – allen voran Airbus und das Bremer Raumfahrtunternehmen OHB. Da Tandem-L, wie die Vorgängermission auch, mit zwei Satelliten ins All gehen muss, um die gewünschten

© Michael Bokelmann



Dr. Manfred Zink und Dr. Sigurd Huber beinahe im Orbit



en den beiden Satelliten

Daten zu erfassen, sind für den Bau der Satelliten rund 400 Millionen Euro eingeplant und die Forschung und Entwicklung beim DLR kommen noch hinzu. Der Start kostet rund 75 Millionen Euro und wird mit der mittlerweile ausgereiften SpaceX des US-amerikanischen Raumfahrtunternehmens des visionären Tesla-Erfinders Elon Musk durchgeführt. Zum Vergleich: Der Start mit einer etablierten Ariane-Rakete kostet rund doppelt so viel.

## WELWEIT FÜHREND

Es fliegt also ein weiterer Meilenstein ins All. Und nicht nur das DLR ist stolz auf die bisherige und die zukünftige Leistung. „Auch die NASA staunte in den regelmäßig stattfindenden Besprechungen nicht nur einmal über unsere Ergebnisse. Wir sind wirklich weltweit führend bei der Radartechnologie zur 3D-Vermessung. Und diesen Vorsprung wollen wir noch weiter ausbauen“, sagt Sigurd Huber. Damit wir besser verstehen, wie Wälder auf die Erwärmung der Erde reagieren und wie sich die Vegetation durch den Rückgang der Permafrostböden verändert. Und es gibt noch viele Aufgaben, die der Satellit erfüllen muss, um die globalen Veränderungen nicht nur zu erkennen, sondern auch zu verstehen. Die Ingenieure am DLR machen viel Grundlagenforschung, und jede neue Grundlage wirkt sich auf die greifbare Erkenntnis in aller nächster Zeit aus. Die neuen Radaraugen im Orbit sind hierfür unverzichtbar.

© DLR



Das Detailbild des Radarsatelliten TerraSAR-X zeigt den Nimrod-Gletscher in der Antarktis, wie er den Kon-Tiki Nunatak, einen Fels über der Eisfläche, umspült



## DER ING., MIT DEN SATELLITEN AUF DEM RADAR

**Dr. Manfred Zink (55) studierte Physik an der Uni in Graz und promovierte an der Uni Stuttgart mit der Kalibrierung von SAR-Systemen zum Dr. Ing. Seit 1987 arbeitet er beim DLR und ist heute Abteilungsleiter beim DLR-Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme in Oberpfaffenhofen und Projektleiter für Tandem-L.**

### WIE WICHTIG IST DER IM ORBIT BEFINDLICHE SATELLIT TANDEM-X?

Das, was TanDEM-X technisch ausmacht und bis heute an Daten liefert, ist nach wie vor weltweit führend. Das macht nicht mal die NASA. Als wir damals die TanDEM-X-Mission entwickelt haben, erklärten wir den Kollegen von der NASA, was wir da eigentlich machen. Und auch, dass der geplante Abstand der beiden Satelliten im Orbit lediglich 120 Meter betragen wird. Das konnten die Kollegen aus Amerika gar nicht glauben. Sie sagten sogar, dass die NASA eine solche Mission aufgrund der hohen technischen Risiken nie genehmigt hätte.

### GIBT ES NOCH MEHR EINRICHTUNGEN, DIE SICH MIT RADARMESSUNGEN AUS DEM ALL BESCHÄFTIGEN?

Natürlich. NASA, ESA, JAXA – das ist die japanische Weltraumbehörde – und viele Länder arbeiten ebenfalls an Radarsystemen im Weltraum. Damit gibt es also weltweit durchaus ähnliche Teams wie hier bei uns, und auch dort werden entsprechende Experimente zu Arbeiten zum Radarthema forciert. In Europa ist das übrigens Italien, das eine ähnliche Expertise besitzt und ebenfalls radargestützte Satelliten im Orbit hat. Sie waren auch bereits bei den Space-Shuttle-Flügen in den 1980er und 1990er Jahren dabei. Zudem machen sich derzeit zum Beispiel Argentinien und auch Südkorea bei diesem Thema stark. Wir sind da also nicht alleine.

### WIE IST DAS VERHÄLTNISS ZUR NASA?

Wir sind mit der NASA im ständigen Austausch und hatten erst vor ein paar Tagen einen NASA-Kollegen hier vor Ort. Natürlich gibt es auch einen gesunden Wettbewerb zwischen den Europäern, den Amerikanern und Japanern. Durch unseren seit Jahren erfolgreichen Alleingang mit TanDEM-X haben wir uns aber einen Wissensvorsprung erarbeitet, der dazu führt, dass die Amerikaner jetzt zwar einen einzelnen Satelliten vergleichbar zu Tandem-L bauen, dessen faktische Leistungsfähigkeit jedoch deutlich unter der des geplanten Tandem-L-Duos liegt.

### WIRD DIE ARBEIT FÜR WELTRAUMTHEMEN FINANZIELL AUSREICHEND GEFÖRDERT?

Die erfolgreiche Umsetzung von TanDEM-X wäre ohne ausreichende Finanzierung sicherlich nicht möglich gewesen. Dabei muss man erwähnen, dass Deutschland im internationalen Vergleich speziell auch mit den USA, derartige Radarsatelliten zu deutlich geringeren Kosten entwickelt. Natürlich hoffen wir auch, dass weiterhin ein Konsens darüber besteht, dass Deutschland in Forschung und Entwicklung investieren muss, da die Welt nicht schläft. Mit einer positiven Entscheidung für Tandem-L können wir auch zukünftig sehr aktiv ganz vorne mitspielen und unseren Vorsprung behaupten.

# SCHWERELOSIGKEIT ZIEHT INGENIEURE, FORSCHER UND TOURISTEN AN

© DLR



*Das Boostergehäuse der ARIANE 6, beim DLR Stuttgart und Augsburg in Kooperation mit MT Aerospace entwickelt, besteht nahezu vollständig aus kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff (CFK)*

## MATERIALFORSCHUNG HEBT AB

Aus der Raumfahrt kommen viele Innovationen, die auch im irdischen Alltag extrem nützlich sind. Umgekehrt profitiert die Raumfahrt durch viele Entwicklungen aus bodenständiger Forschung bei Transport, Medizin, Maschinenbau und Energie. Besonders wichtig für die Raumfahrtindustrie sind neue Materialien, die den extremen Belastungen einer Weltraummission standhalten können. Denn unter solarer und kosmischer Strahlung sehen viele Werkstoffe schnell alt aus. Das ist nicht überraschend, wenn man bedenkt, dass Satelliten in 36.000 Kilometern Höhe auf der sonnenbeschienenen Seite Temperaturen von 120 Grad und auf der sonnenabgewandten Seite von -170 Grad standhalten müssen. Die starken Vibrationen der Rakete bei Start und Beschleunigung zeren zudem mächtig an allen Systemkomponenten.

Viel Raumfahrttechnik kommt aus der Luftfahrtindustrie. Da arbeitet zum Beispiel seit 2016 ein Institut der Fraunhofer Gesellschaft mit wirtschaftlicher Unterstützung daran, leichteres Material zur Leitung von Elektrizität zu finden. Im Flugzeugbau funktioniert das mit Aluminiumlegierungen, mit denen sich das schwerere Kupfer größtenteils ersetzen lässt. Aber ist die Technik auch für Kommunikationssatelliten brauchbar? Und falls ja, welche Fertigungsverfahren wären zur Produktion geeignet?

Professor Frank Mücklich von der Universität des Saarlandes erforscht den keimtötenden Mechanismus des Kupfers. Der gesuchte Werkstoff soll medizinische Implantate vor Infektionen schützen und Lichtschalter und Türklinken im Krankenhaus keimfrei halten. Wenn das gelingt, funktioniert es wahrscheinlich auch in Weltraumstationen, wo Astronauten wie alle Menschen Bakterien hinterlassen und das Lüften und Desinfizieren schwierig ist.

*Die OHB System AG testet auf dem Satelliten Heinrich Hertz neue Kommunikationstechnologien von 40 deutschen Unternehmen und Instituten*



*Dr. Claudia Koch und Dr. Florian Kohn in der Schwerelosigkeit beim Parabelflug*

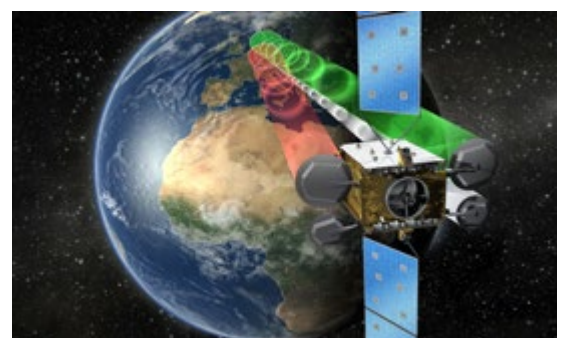
© Universität Hohenheim / Fg. Membranphysiologie

## NERVEN BEWAHREN IN DER SCHWERELOSIGKEIT

Gibt es gravitationsabhängige Strukturen in neuronalen Zellen? Oder, um die Frage eher im Sinne eines Science-Fiction-Szenarios zu stellen: Wie würde sich der erste im Weltall geborene Mensch entwickeln? Dr. Florian Kohn und Dr. Claudia Koch vom Fachgebiet für Membranphysiologie der Universität Hohenheim gehen seit 2011 der Frage auf den Grund, wie Zellen auf veränderte Schwerkraft reagieren. Die Forschungsergebnisse könnten eines Tages der Gesundheit von Astronauten zugutekommen oder helfen, die Wirkung von Medikamenten auf der Erde zu optimieren. Ende 2017 schickten Wissenschaftler der Uni Hohenheim erneut menschliche Zellen von Cape Canaveral aus zur Internationalen Raumstation ISS. Die Kulturen aus dem Zellstamm SH-SY5Y, die den Tumorzellen eines vierjährigen Mädchens entstammen, reisten in einem eigens vorbereiteten Brutkasten. Sie lassen sich relativ unkompliziert zu Nervenzellen entwickeln, gelten als Modellsystem für neuronale Zellen und kommen auch in der Alzheimer-Forschung zum Einsatz.

## TÜFTELN FÜR HEINRICH HERTZ

Spätestens 2022 wird er an Bord einer Ariane-5-Trägerrakete in den Orbit geschickt: Der deutsche Kommunikationssatellit Heinrich Hertz, der etwa so groß ist wie ein Kleintransporter, ist der Nachfolger des DFS Kopernikus, der im Jahr 2002 zur Erde zurückkehrte. Heinrich Hertz soll neue Kommunikationstechnik unter den Extrembedingungen in 36.000 Kilometern Höhe testen. Dadurch lassen sich die Ausfallrisiken bei künftigen Einsätzen minimieren. Außerdem werden 20 weitere kommunikationstechnische Experimente an Bord durchgeführt. Das Wirtschafts- und



© OHB System AG

das Verteidigungsministerium leiten das Projekt über ein gemeinsames Raumfahrtmanagement. Die Firma OHB System AG in Bremen hat den Satelliten entwickelt und getestet und wird auch für den Start verantwortlich sein. Wissenschaftliche Institute sowie 40 kleine und mittelständische deutsche Unternehmen steuern Technologie zu Heinrich Hertz bei. Damit ist ein weiteres Ziel der Mission benannt: die Satellitenkompetenzen der deutschen Industrie zu erhalten und zu verbessern.

## SATELLITEN ÜBERWACHEN CO<sub>2</sub>-AUSSTOSS

Vertrauen ist gut, Kontrolle ist besser, sagt eine alte Bauernregel. Das gilt insbesondere dann, wenn eine Menge Geld im Spiel ist. So sind die Angaben der Behörden zum CO<sub>2</sub>-Ausstoß fossiler Kraftwerke, die weltweit etwa die Hälfte des Kohlendioxids produzieren, oft mit Vorsicht zu genießen. Vor diesem Hintergrund ist Forschern im Auftrag der kanadischen Regierung Ende 2017 ein Quantensprung für das Klima gelungen. Sie ermittelten erstmals aus Satellitenmessungen die Emissionen einzelner Kraftwerke. Bisher war das nur für größere Regionen oder Städte möglich. Die Wissenschaftler analysierten die Messwerte des NASA-Satelliten Orbiting Carbon Observatory (OCO-2), der eigentlich für einen anderen Zweck konzipiert wurde. Der Satellit erkennt unterhalb seines



*Die zweite Stufe der Rakete Delta II für die NASA-Mission OCO-2 wird auf der Vandenberg-Air-Force-Basis in Kalifornien in Position gebracht*

Orbits CO<sub>2</sub> an der Absorption von Infrarotstrahlung in einem wenige Quadratkilometer großen Areal. Dazu erfasst er zunächst die gesamte Emissionswolke eines Kraftwerks. Mit Rechenmodellen wird anschließend die atmosphärische Ausbreitung des Kohlendioxids ermittelt. Starker Wind kann die Ergebnisse allerdings beeinträchtigen. Bei einem Kraftwerk in den USA konnte so bereits eine Überschreitung der offiziellen Werte um 17 Prozent nachgewiesen werden. Noch drastischer fielen Messungen in Südafrika und Indien aus. Um eine systematische Überwachung nach dieser Methode einzuführen, braucht man allerdings viele Klimasatelliten mit möglichst hoher räumlicher Auflösung.

## 2018: WELTRAUM-SCHWERPUNKT BEI think ING.



*Astronaut Matthias Maurer*

Die zweite Mission von Alexander Gerst auf der ISS in diesem Jahr nehmen wir zum Anlass auf [www.think-ing.de](http://www.think-ing.de) das Thema Weltraum in den Mittelpunkt zu stellen. Im Weltraum-Special 2018 findet man Porträts und Artikel über Ingenieure, die sich an den verschiedensten Stellen mit Fragestellungen rund um Luft- und Raumfahrt beschäftigen. So konnten wir beispielsweise Matthias Maurer, einen Astronauten-Kollegen von Alexander Gerst, interviewen. Die junge Ingenieurin Johanna Pardo berichtet von ihrer Arbeit bei der ESA in Paris für das nächste große Raketenprojekt und Matthias Funke erklärt, wie man von Duisburg aus riesige Satelliten rund um den Globus aufstellt. [s.think-ing.de/weltraum](http://s.think-ing.de/weltraum)

Finde Studiengänge, die zu deinen Interessen passen, auch zum Thema Luft- und Raumfahrttechnik, unter: [s.think-ing.de/finder](http://s.think-ing.de/finder)

### IMPRESSUM

#### Herausgeber

GESAMTMETALL

Gesamtverband der Arbeitgeberverbände der Metall- und Elektro-Industrie e.V.  
Voßstraße 16 - 10117 Berlin

#### Verantwortliche Leitung

Wolfgang Gollub

#### Redaktion und Gestaltung

concedra GmbH, Bochum

#### Druck

color-offset-wälter GmbH & Co. KG, Dortmund

Alle in dieser kompakt enthaltenen Inhalte und Informationen wurden sorgfältig auf Richtigkeit überprüft. Dennoch kann keine Garantie für die Angaben übernommen werden.

**GESAMTMETALL**

Die Arbeitgeberverbände der Metall- und Elektro-Industrie