

# Luft- & Raumfahrt

Informieren • Vernetzen • Fördern



## HY4 – Auf dem Weg zum emissionsfreien Fliegen

**ESA-Ministerratskonferenz 2016 in Luzern –**  
Zukunftssicherung der europäischen Raumfahrt

**Das Solar-Impulse-Projekt –**  
Interview mit André Borschberg

**Erdbeobachtung in 3D –**  
Tandem-L auf Kurs zum Klimawächter

# Erdbeobachtung in 3D – Tandem-L auf Kurs zum Klimawächter

Die Sierra Madre in Mexiko

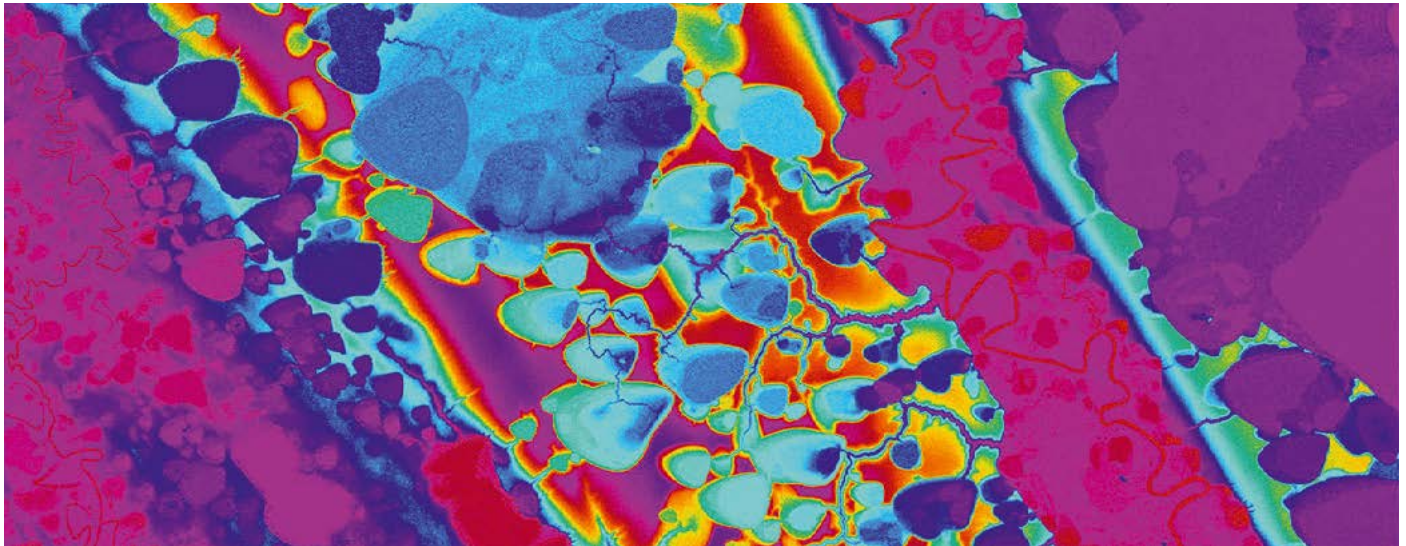


Bild: DLR

Interferogramm von Nordsibirien: Bei der SAR-Interferometrie wird ein Gebiet von zwei verschiedenen Punkten aus gescannt. Für Punkte auf verschiedenen Höhen ergeben sich unterschiedliche Wellenlängendifferenzen. Das Ergebnis ist ein Interferogramm.

**A**m 21. Juni 2010 startete der deutsche Erdbeobachtungssatellit *TanDEM-X* an Bord einer russisch-ukrainischen Dnjepr-Trägerrakete zu seiner Mission in den niedrigen Erdborbit. Dort gesellte er sich zu dem fast baugleichen Radarsatelliten *TerraSAR-X*, der bereits drei Jahre zuvor gestartet wurde. Die Aufgabe der Radarsatelliten war und ist es heute noch, die Erdoberfläche im Formationsflug genau zu vermessen, zu kartieren und Material für ein globales 3D-Höhenmodell zu sammeln. Im September 2016 konnte die erste topografische Karte der Erde fertiggestellt werden. Sie ist 30-mal genauer als alle bisherigen globalen Datensätze. Es ist ein großer Erfolg für das öffentlich-private Projekt, das vom *Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)* gesteuert wird.

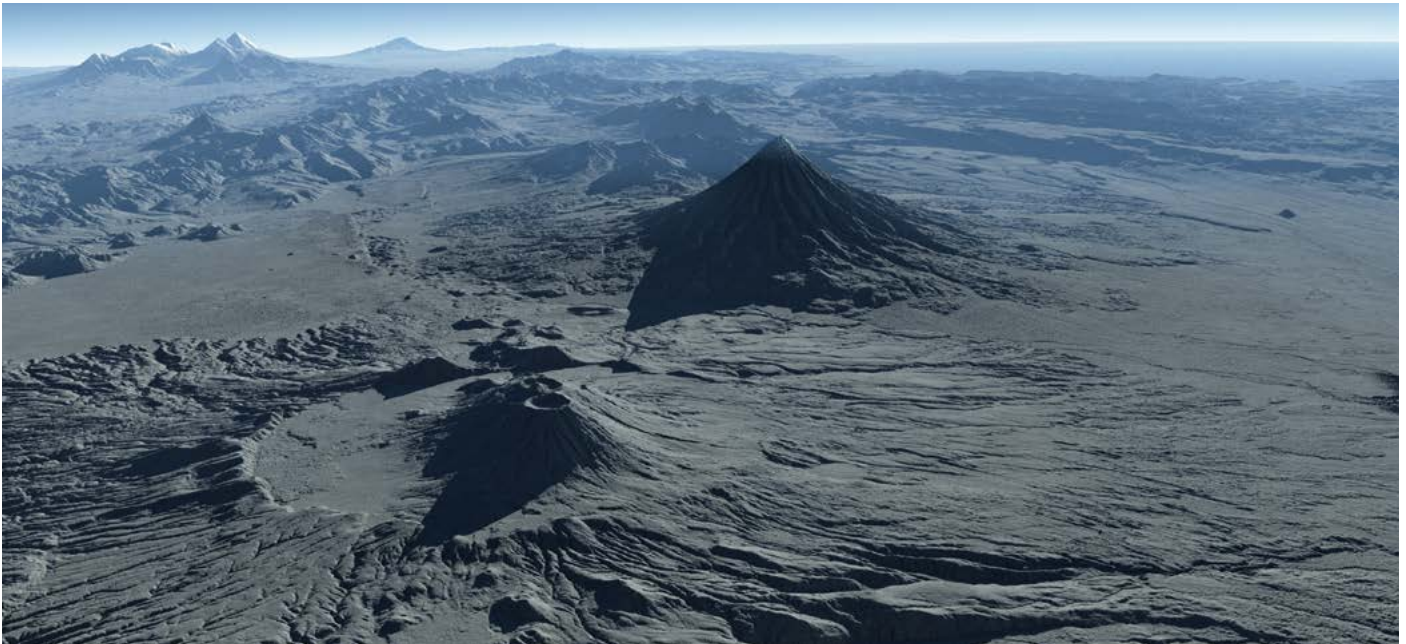
Währenddessen stecken die Wissenschaftler aber schon im nächsten wichtigen Projekt. Bereits seit fünf Jahren arbeiten sie an der Nachfolgemission *Tandem-L*, die ebenfalls aus zwei Satelliten im Formationsflug bestehen soll. Und die Vorbereitung für diese Mission befindet sich gerade in einer entscheidenden Phase. Das *Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)* unterstützt ausgewählte Projekte mit Forschungsinfrastrukturmaßnahmen. Projektvorschläge können beim BMBF im Rahmen einer Ausschreibung eingereicht werden, das diese dann nach einer formalen, aufwendigen Überprüfung auswählt. Mit dabei ist auch das *Tandem-L*-Projekt, das sich derzeit in der Begutachtungsphase durch den Wissenschaftsrat befindet. Diese wird noch bis Mitte 2017 andauern. „Dann soll das Ergebnis feststehen und das BMBF wird eine Roadmap, eine Empfehlung für die Realisierung der ausgewählten Projekte erstellen“, sagt Prof. Dr. **Alberto Moreira**, Direktor des DLR-Instituts für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme. „Ca. 670 Millionen Euro könnten dann in *Tandem-L* fließen, um die Realisierung beider Satelliten zu ermöglichen. So könnten der Start und die Entwicklung des Bodensegments inklusive der notwendigen Infrastruktur für Datenempfang, -archivierung und -prozessierung sowie Veredlung in höherwertige Informationsprodukte und Verteilung an eine breite Nutzergemeinde realisiert werden.“ Die Rechnerinfrastruktur ist ein wichtiger Teil der Mission, denn die beiden *Tandem-L*-Satelliten liefern etwa acht Terabyte Daten pro Tag.

Die *Tandem-L*-Mission unterscheidet sich nicht nur im Namen von der *TanDEM-X*-Mission, obwohl dieser bereits einen wichtigen Hinweis gibt. Im Gegensatz zu *TanDEM-X* arbeitet *Tandem-L* im L-Band (circa 24 Zentimeter Wellenlänge) mit einer etwa achtmal längeren Wellenlänge als das X-Band (circa drei Zentimeter). Mit der kurzen Wellenlänge kann *TanDEM-X* Auflösungen von bis zu einem Meter mal 25 Zentimeter bieten. Bei *Tandem-L* ist hingegen bei einer Auflösung von drei Metern Schluss. Dafür bietet das L-Band andere Vorzüge: Es kann tiefer in Vegetation, Eis, Schnee, Sand und trockenen Boden eindringen und eröffnet damit ganz neue Möglichkeiten für die Extraktion von bio- und geophysikalischen Parametern. Denn im Gegensatz zu *TanDEM-X* soll *Tandem-L* dazu dienen, dynamische Prozesse, also Veränderungen auf der Erdoberfläche, abzubilden. Diese sollen helfen, das Klima und die Umwelt besser zu verstehen. Konkret geht es um Informationen aus den Bereichen der Bio-, Geo-, Kryo- und Hydrosphäre.

### Forschung in der Bio-, Geo-, Kryo- und Hydrosphäre

Unter die **Biosphäre** fällt zum Beispiel die Waldbiomasse. Wälder sind wichtig für das Ökosystem. Sie bieten Lebensraum und produzieren Sauerstoff. „Allein ein Drittel des Kohlendioxids, das der Mensch produziert, wird von den Wäldern aufgenommen“, so Moreira. Mit bisheriger Satellitentechnik ist es möglich, die Größe der Waldflächen zu bestimmen, nicht jedoch, wie dicht und hoch der Baumbestand ist und wieviel Biomasse, also welche Menge an Kohlenstoff im Wald enthalten ist. Hier helfen die längeren Wellenlängen von *Tandem-L*. Die langwelligen Strahlen dringen auch durch das Blätterdach bis zum Waldboden und liefern damit Biomasse-Werte mit einer Genauigkeit von 20 Prozent. Darüber hinaus können so die Komplexität des Waldes und Veränderungen innerhalb des Baumbestands kartiert werden. Die Daten sollen unter anderem dabei helfen zu verstehen, wo das Kohlendioxid aufgenommen wird und wie die Wälder auf Klimaveränderungen reagieren.

Außerdem soll *Tandem-L* es erstmals ermöglichen, Veränderungen, die durch das Driften der Kontinentalplatten entstehen,



3D-Bild der Vulkane von Kamtschatka, einer russischen Halbinsel, entstanden aus den Daten der Satelliten TerraSAR-X und TanDEM-X

festzustellen (**Geosphäre**). Die Deformation dieser Platten kann im Millimeterbereich erfasst und für Erdbebenforschung und Risikoanalyse verwendet werden. So tragen die Satelliten dazu bei, Erdbeben und Vulkanausbrüche besser dokumentieren und verstehen zu können. Hier werden Verbesserungen der bestehenden Modelle erwartet, die vielleicht sogar dazu führen könnten, genauere Prognosen von Ort und Zeit zukünftiger tektonischer Ereignisse machen zu können. Bislang wurden Radarmessungen für die Erddeformation hauptsächlich mit den ESA-Satelliten *ERS-1/2*, *ENVISAT* sowie *Sentinel-1A/B* durchgeführt. Diese verwenden eine Wellenlänge von 5 Zentimetern (C-Band) und sind damit nur bedingt für die Deformationsmessung geeignet.

Die Schnee- und Eismassen der Erde bilden die **Kryosphäre**. Durch die Klimaerwärmung werden diese immer weniger. Die Tandem-L-Satelliten sollen untersuchen, welche Beiträge die geschmolzenen Massen zum Anstieg des Meeresspiegels sowie der Bewegung der Ozeane leisten und welche weiteren Klimaänderungen durch ihre Dynamik entstehen. Dazu werden die

regionalen Ausbreitungen und die Eisbewegungen betrachtet. Die L-Band-Radarwellen dringen zudem bis zu 60 Meter in das Eis ein und können so dabei helfen, den Schmelzprozess im Inneren besser zu verstehen.

Die Untersuchung der **Hydrosphäre** richtet sich auf die ober- und unterirdischen Wasservorkommen. Für die nächsten Jahre und Jahrzehnte werden gehäuft hydrologische Extrema wie Überschwemmungen oder Dürren erwartet. Eine genaue Beobachtung des Wasserkreislaufs soll dazu beitragen, diesen besser vorherzusagen, um rechtzeitig Vorsorgemaßnahmen zu treffen und Katastrophen möglichst zu verhindern. Besonders wichtig ist die Bodenfeuchte, um den Wasserkreislauf besser zu verstehen. Diese soll mit dem Satellitenduo über großen Gebieten in kurzen zeitlichen Abständen mit einer Auflösung von unter 50 Metern gemessen werden. Derzeitige Satelliten liefern Informationen zur Bodenfeuchte mit nur einer Auflösung von etwa zehn Kilometern oder mehr.

### Kontinuierliche Abbildung der Erdoberfläche

Um diese dynamischen Veränderungen überhaupt aufnehmen zu können, muss in kurzer Zeit ein möglichst großes Gebiet beobachtet werden. TerraSAR-X und TanDEM-X bilden die gesamte Erdoberfläche erst nach einem Jahr vollständig ab. Die Satelliten schaffen nur etwa eine halbe Million Quadratkilometer pro Tag. Schnelle Änderungen auf globaler Skala können die Satelliten daher nicht aufnehmen. Mit dem Tandem-L-Duo soll das wesentlich schneller gehen. Sie sollen die dynamischen Prozesse auf der Erde bis zu zweimal pro Woche abbilden. Dazu müssen die beiden Satelliten einen Streifen von bis zu 350 Kilometer Breite bei einer Auflösung von sieben bis drei Metern abdecken. „Für bestimmte Anwendungen können wir mit Tandem-L ein sogenanntes Tomogramm erstellen, wie es von der Computertomografie in der Medizin bekannt ist“, erklärt Moreira. „Ein Vorbeiflug der Satelliten ist eine Aufnahme. Dann werden die Orbits und Abstände des Duos verändert, sodass sich weitere Blickwinkel ergeben und schließlich ein möglichst genaues tomogra-



Die Tandem-L-Satelliten mit entfaltbaren Reflektorantennen im Formationsflug

phisches Bild der Region entsteht. So haben wir zum Schluss nach einem aufwendigen Rechenverfahren ein vertikales Profil des Eises oder des Waldes.“

Dazu wird bei den Tandem-L-Satelliten jeweils eine sogenannte digitale Antenne mit einem großen Reflektor zum Einsatz kommen. Der Reflektor hat einen Durchmesser von 15 Metern und wird zusammen mit den Satelliten zum Start in einem etwa fünf Meter langen Zylinder mit 40 Zentimeter Durchmesser verstaut. Nach dem Start und mit der Ankunft im niedrigen Erdborbit (in etwa 750 Kilometern Höhe) öffnet sich der Zylinder und der Reflektor entfaltet sich selbstständig. Diese Technologie wird bereits von den USA und Japan verwendet und findet in Europa bislang nur Anwendung bei Kommunikationssatelliten im geostationären Orbit (in circa 36.000 Kilometern Höhe). Der Einsatz eines solchen Reflektors in Kombination mit der digitalen Antenne für die Erdbeobachtung ist eine Premiere. Die digitale Antenne sendet die Radarwellen auf den Reflektor, der diese maximal streuen und einen 350 Kilometer breiten Streifen am Boden beleuchten kann. Die von der Erde zurückgeworfenen Radarwellen treffen wieder auf den Reflektor und anschließend die digitale Antenne, die das empfangene Signal optimal kombiniert. Aufgrund der Größe des Reflektors wird die Sensibilität gesteigert und damit für eine Reduktion der Sendeleistung gesorgt. Durch die Radartechnologie sind die Satelliten dauerhaft im Einsatz und liefern auch bei schlechtem Wetter oder bei Nacht einwandfreies Bildmaterial.

### Definition und Spezifikation einer komplexen Mission

Gegen Ende 2022 soll die Tandem-L-Mission starten. Derzeit befindet sie sich noch in der Definitions- und Spezifikationsphase, der sogenannten Phase B. Die Phase A, die Machbarkeitsphase, konnte schon 2015 abgeschlossen werden. So laufen momentan zwei parallele, konkurrierende Industriestudien bei den Raumfahrtunternehmen *Airbus Defence and Space* und *OHB Systems*. Dort wird je ein Realisierungskonzept für den Bau der Satelliten in enger Zusammenarbeit mit dem DLR erarbeitet. Ende 2017, nachdem die Begutachtung und die Erstellung der Roadmap für Infrastrukturmaßnahmen durch das BMBF abgeschlossen ist und das Projekt Tandem-L hoffentlich grünes Licht für die Verwirklichung bekommt, soll das beste Realisierungskonzept ausgewählt und schließlich umgesetzt werden. Das DLR selbst arbeitet jetzt schon mit über 50 Mitarbeitern an der Konzeption und Definition der Mission. Sie entwickeln unter anderem das Bodensegment, in dem die Steuerung der Satelliten umgesetzt und die Daten empfangen, archiviert, prozessiert und an die Nutzergemeinde verteilt werden sollen.

„Da Tandem-L eine Mission für Klimaforschung und Umwelt ist, sollen die Bilddaten grundsätzlich für jedermann, kommerziell und wissenschaftlich, frei verfügbar sein“, so Moreira. Darüber hinaus erstellt das Tandem-L-Team topografische und tomografische Informationsprodukte sowie Deformationskarten als fertige Produkte, die zum Beispiel die Biomasse eines bestimmten Waldes, die Bewegungen und Veränderungen von Gletschern, die Bodenfeuchte und ihre Veränderungen in einer Region oder Deformationen, die Rückschlüsse auf Vulkaneruptionen oder erhöhte Grundwassernutzung geben, zeigen. Diese

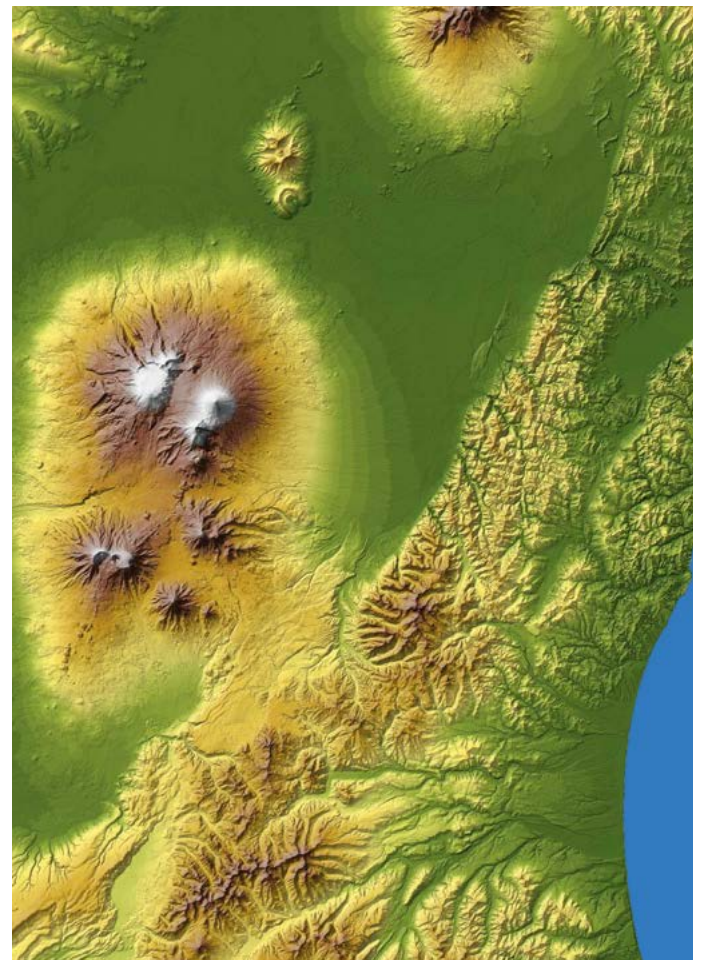
werden Wissenschaftlern frei zur Verfügung gestellt. Kommerzielle Interessenten müssen käufliche Lizenzen für die Nutzung erwerben. Die Einnahmen dienen dazu, einen Teil der Betriebskosten der Satelliten zu decken.

### Auch für das X-Band geht es weiter

Die Satelliten TerraSAR-X und TanDEM-X sollen derweil noch etwa bis 2021 in Betrieb bleiben und weiter Aufnahmen der Erde schicken. Sie wurden in den letzten Jahren bereits unter anderem dafür genutzt, die Auswirkungen von Katastrophen, wie bei dem Tsunami in Japan 2011, abzubilden. Aber auch Städteentwicklungen oder Naturveränderungen werden mit dem Duo sichtbar. So soll es auch in Zukunft mit einer X-Band-Mission weitergehen. Für die Zeit nach den TanDEM-X-Satelliten wird bereits eine Mission mit einem neuen Radarsatelliten geplant, der den Namen *HRWS (High Resolution Wide Swath)* tragen soll. Derzeit befindet sich HRWS noch in der Phase 0, bei der unterschiedliche Konzepte studiert werden. Aber noch in diesem Jahr soll er in die Phase A eintreten und die Machbarkeit zeigen. HRWS ist kein Satellitenduo, das 3D-Bilder erstellen kann. Dafür soll seine Auflösung noch besser werden: Die Wissenschaftler versprechen sich Auflösungen von 25 mal 25 Zentimetern. „Ich bin mir sicher, dass wir noch ganz viel von unserer Erde lernen werden“, sagt Moreira. ●

Alisa Wilken

Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt (DLR)



Digitales Höhenmodell eines Gebietes auf der Kamtschatka Halbinsel

## Luft- und Raumfahrt

Jahrgang 38  
Heft 1/2017

### Herausgeber | Redaktion

Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt –  
Lilienthal-Oberth e.V. (DGLR)

Godesberger Allee 70  
D-53175 Bonn  
Tel.: +49 228 30805-0  
Fax: +49 228 30805-24  
Internet: [www.dglr.de](http://www.dglr.de)  
E-Mail: [info@dglr.de](mailto:info@dglr.de)

### Abonnentenservice

Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt –  
Lilienthal-Oberth e.V. (DGLR)

Godesberger Allee 70  
D-53175 Bonn  
Tel.: +49 228 30805-0  
Fax: +49 228 30805-24  
E-Mail: [abo@dglr.de](mailto:abo@dglr.de)

### Redaktion

Philip Nickenig M. A. (V.i.S.d.P.)  
Alisa Wilken M. Sc. (Chefredaktion)  
Susanne Frank (Redaktion)  
Dorothea Lauer (Redaktion)

### Redaktionsbeirat

Kai Dürfeld  
Dr.-Ing. Christian Gritzner  
Dr.-Ing. Cornelia Hillenherms  
Dipl.-Ing. Claudia Kessler  
Philip Nickenig M. A.  
Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Katharina Schäfer  
Alisa Wilken M. Sc.

### Grafik

Agentur Salzwasserfuchs  
Kerstin Fuchs  
Hauptstraße 140 – 144 / 5 / 39  
3400 Kierling, Österreich  
Telefon: +43 699 18115110  
Internet: [www.salzwasserfuchs.com](http://www.salzwasserfuchs.com)  
E-Mail: [post@salzwasserfuchs.com](mailto:post@salzwasserfuchs.com)

### Druck

Forster Media GmbH & Co. KG  
Adenauerallee 176  
D-53113 Bonn  
Tel.: +49 228 909011-0  
Fax: +49 228 909011-22  
E-Mail: [mail@forstermedia.de](mailto:mail@forstermedia.de)

### Anzeigen

Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt –  
Lilienthal-Oberth e.V. (DGLR)

Torsten Schilling M. A.  
Godesberger Allee 70  
D-53175 Bonn  
Tel.: +49 228 30805-12  
Fax: +49 228 30805-24  
E-Mail: [torsten.schilling@dglr.de](mailto:torsten.schilling@dglr.de)

Autorenbeiträge, die als solche gekennzeichnet sind,  
stellen nicht die Meinung des Herausgebers dar.

### Erscheinungsweise

**Luft- und Raumfahrt**  
erscheint 4-mal jährlich + 1 Sonderausgabe

Quelle Titelbild: Jean-Marie Urlacher



## Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt Lilienthal-Oberth e.V. (DGLR)

Wissenschaftlich-Technische Vereinigung

### Präsidium der DGLR

#### Präsident

Prof. Dipl.-Ing. Rolf Henke

#### 1. Vizepräsidentin

Dr.-Ing. Cornelia Hillenherms

#### 2. Vizepräsident und Schatzmeister

Dipl.-Ing. Heiko Lütjens

#### Mitglieder des Präsidiums

(in alphabetischer  
Reihenfolge)

Dr. rer. nat. Irena Bido  
Prof. Dr.-Ing. Mirko Hornung  
Dr.-Ing. Rolf Janovsky  
Dr.-Ing. Michael Menking  
Dipl.-Ing. Ulrich Wenger

#### Beauftragte des Präsidiums

Prof. Dr. rer. nat.  
Berndt Feuerbacher  
(Vorsitzender des  
Ehrungsausschusses)

#### Generalsekretär

Philip Nickenig M. A.

### Fachgremien der DGLR

#### Luftfahrt

##### L1 Luftverkehr

Leiter: Dr. Marco Weiss  
Stellv.: Dipl.-Ing. Bernhard Kiefner

##### L2 Bemannte Luftfahrzeuge

Leiter: Prof. Dr.-Ing. Dieter Scholz

##### L3 Unbemannte Fluggeräte

Leiter: Alfred Lief Leiter  
Stellv.: Prof. Dr.-Ing. Gert Trommer

##### L4 Kabine

Leiter: Dr.-Ing. Thomas Lerche

##### L5 Luftfahrtantriebe

Leiter: Dr. Stefan Bindl  
Stellv.: Prof. Dr.-Ing. Dieter Peitsch

##### L6 Flugmechanik/Flugführung

Leiter: Prof. Dr.-Ing. Robert Luckner  
Stellv.: Dr.-Ing. Hans-Christoph Oelker

##### L7 Luftfahrt und Gesellschaft

#### Raumfahrt

##### R1 Raumfahrttechnik

Leiter: Prof. Dr.-Ing. Klaus Brieb  
Stellv.: Dr.-Ing. Michael H. Obersteiner

##### R2 Raumfahrtwissenschaft und -anwendung

Leiter: Dipl.-Ing. Klaus-Peter Ludwig

##### R3 Raumfahrt und Gesellschaft

Leiter: Dr. Christian Gritzner

#### Querschnittsthemen

##### Q1 Werkstoffe –

Verfahren – Bauweisen  
Leiter: Dr.-Ing. Christian Weimer

##### Q2 Fluid- und Thermodynamik

Leiter: Dr.-Ing. Bernhard Eisfeld

##### Q3 Avionik und Missionstechnologien

Leiter: Dr.-Ing. Thomas Wittig  
Stellv.: Prof. Dr.-Ing. Axel Schulte

##### Q4 Systemtechnik/-management

Leiter: Dipl.-Ing. Joachim Majus  
Stellv.: Dipl.-Wi.-Ing. Daniel Schubert

##### Q5 Luft- und Raumfahrtmedizin

(Schnittstelle zur DGLRM)  
Leiter: Dr. med. Carla Ledderhos

### Bezirksgruppen der DGLR

#### Bezirksgruppe Aachen

Leiter: Dipl.-Ing. Engelbert Plescher

#### Bezirksgruppe Berlin-Brandenburg

Leiter: Dipl.-Ing. Stefan Hein  
Stellv.: Prof. Dr.-Ing. Dieter Peitsch

#### Bezirksgruppe Braunschweig

Leiter: Horst Günther  
Stellv.: Dipl.-Ing. Martin Schuermann

#### Bezirksgruppe Bremen

Leiter: Dipl.-Kfm. Ulrich Beck  
Stellv.: Dipl.-Oec. Jan-Henning Blanke

#### Bezirksgruppe Darmstadt

Leiter: Dr.-Ing. Klaus Hufnagel

#### Bezirksgruppe Dresden

Leiter: Prof. Dr.-Ing. Klaus Wolf  
Stellv.: Prof. Dr.-Ing. Wilhelm Hanel

#### Bezirksgruppe Freiburg

Leiter: Dipl.- Ing. Franz Georg Hey

#### Bezirksgruppe Hamburg

Leiter: Dr.-Ing. Martin Spieck  
Stellv.: Prof. Dr.-Ing. Dieter Scholz

#### Bezirksgruppe Köln-Bonn

Leiter: Dr. Siegfried Voigt

#### Bezirksgruppe Leipzig

Leiter: Kai Dürfeld

#### Bezirksgruppe Mannheim

Leiter: Dr.-Ing. Erec Fahlbusch

#### Bezirksgruppe München

Leiter: Dr. Peter Hofmann  
Stellv.: Martin Langer

#### Bezirksgruppe Stuttgart

Leiter: Andreas Hornig  
Stellv.: Marcel Frommelt