

ZUKUNFTSTECHNOLOGIEN FÜR DIE GESELLSCHAFT DLR 2030



DAS DLR IM ÜBERBLICK

FORSCHUNG UND TECHNOLOGIE

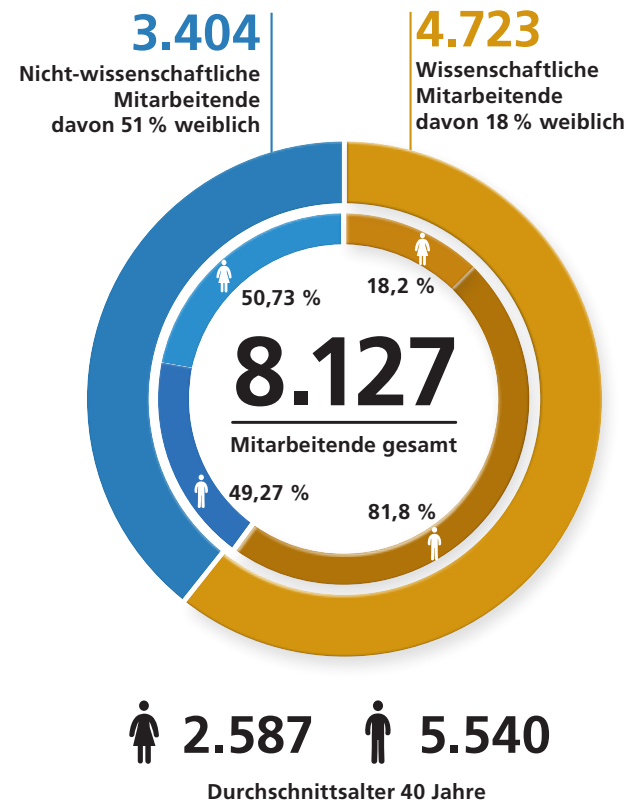
Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) ist in der Kombination seiner Forschungsthemen einmalig in Deutschland und Europa. In den Bereichen Luftfahrt, Raumfahrt, Energie, Verkehr, Sicherheit und Digitalisierung erbringt es Pionierleistungen. Mit seinen wissenschaftlichen und technischen Kompetenzen stärkt das DLR den Wissenschafts- und Wirtschaftsstandort Deutschland.

RAUMFAHRTMANAGEMENT

Dem DLR wurde die Aufgabe der nationalen Raumfahrtagentur übertragen. In dieser Funktion konzipiert das DLR Raumfahrtmanagement im Auftrag der Bundesregierung das deutsche Raumfahrtprogramm und setzt es mit nationalen und internationalen Partnern um.

PROJEKTTRÄGER

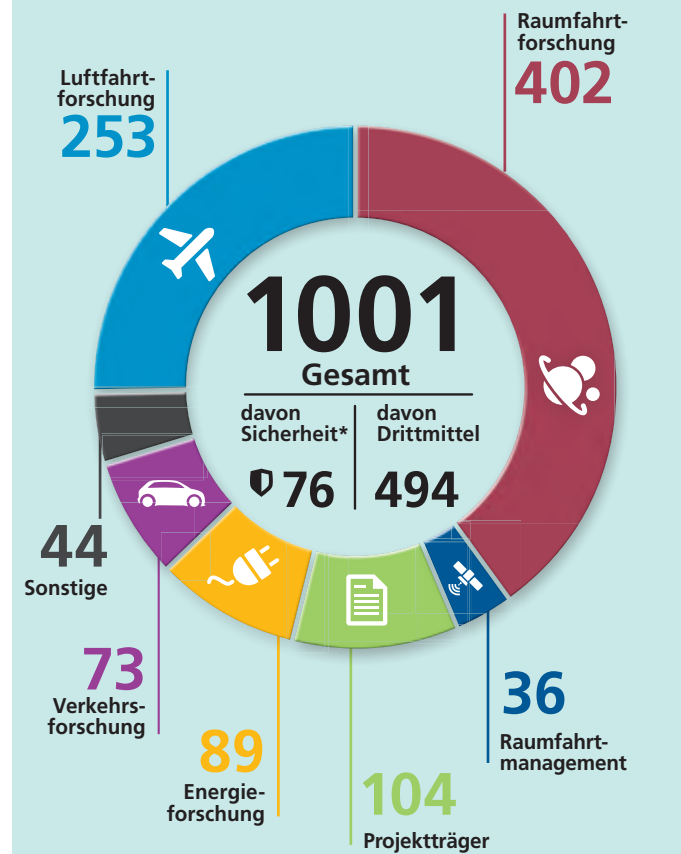
Der DLR Projektträger sowie der Projektträger Luftfahrtforschung und -technologie ergänzen das Portfolio des Forschungszentrums. Sie unterstützen ihre Auftraggeber mit Analysen und Expertisen sowie bei der Planung, Umsetzung und Kommunikation von Förderprogrammen und weiteren Maßnahmen in Forschung, Bildung und Innovation.



Bezugsjahr: 2017

ZAHLEN UND FAKTEN

DLR-FORSCHUNG

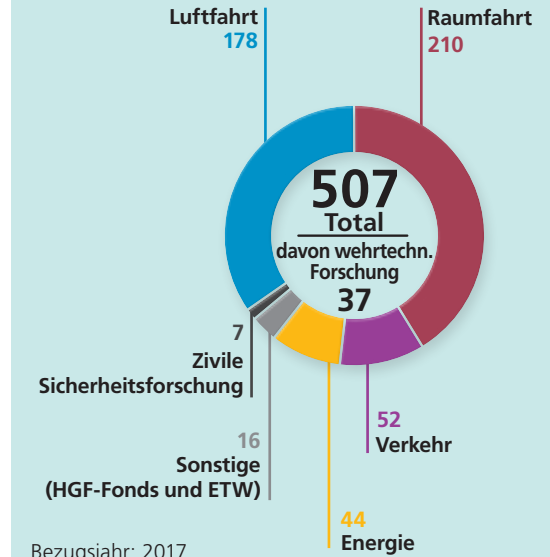


Angaben in Millionen Euro

* Zivil- und Verteidigungsforschung

Bezugsjahr: 2017

INSTITUTIONELLE FÖRDERUNG



Bezugsjahr: 2017

DRITTMITTEL



Bezugsjahr: 2017

178 GROßFORSCHUNGSANLAGEN



**Forschungsfahrzeuge
und -Plattformen**



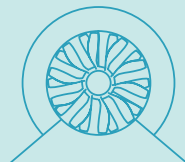
**Energiespeicher-
versuchsanlagen**



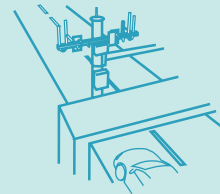
Luftfahrzeuge



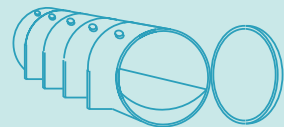
**Hochleistungsrechner-
infrastruktur**



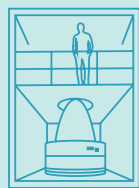
Windkanäle



Versuchsstrecken



**Anlagen der Material- und
Konstruktionsforschung**



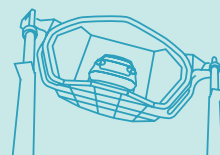
Prüfstände



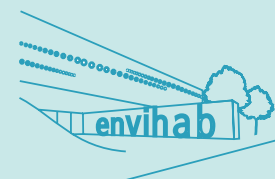
Forschungskraftwerke



**Empfangsstationen
und Kontrollräume**



**Simulatoren und
Systemanalyselabore**



**Medizinische
Infrastruktur**



Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) leistet mit seiner großen Bandbreite an Aktivitäten in der ingenieurwissenschaftlichen Forschung und im Wissenschafts-, Innovations- und Bildungsmanagement einen bedeutenden Beitrag zur Lösung drängender gesellschaftlicher Herausforderungen. Um hierfür den besten Rahmen zu schaffen, haben wir uns mit der „DLR-Strategie 2030“ neu aufgestellt. Ein Beispiel dafür ist die Einrichtung des neuen Querschnittsbereichs Digitalisierung. Dieser bündelt die vorhandenen Kompetenzen, um noch bessere Lösungen für Wirtschaft und Gesellschaft anzubieten. So wollen wir die konsequente Nutzung der bestehenden Synergien fördern und die systematische interdisziplinäre Zusammenarbeit stärken.

In einer zunehmend globalisierten Weltwirtschaft besteht eine Herausforderung in der Stärkung des Wissenschafts-, Innovations- und Wirtschaftsstandorts Deutschland. Hier kommt der Forschung eine herausgehobene Rolle zu, denn sie gibt Innovationsimpulse für die notwendige Einführung neuer Produkte und Dienstleistungen. Das DLR ist in diesem Sinne durch

seine anwendungsbezogene Forschung seit vielen Jahren ein wichtiger Partner für die Luft- und Raumfahrtindustrie, den Energie- und den Verkehrssektor – und optimiert den Transfer seiner Ergebnisse in die Wirtschaft. Zusammen mit seinen Kompetenzen im Wissenschafts-, Innovations- und Bildungsmanagement deckt das DLR die gesamte Innovationskette ab und nutzt dies zum Wohl der Gesellschaft. Eine weitere Herausforderung sehen wir im DLR in der Erfüllung des zunehmenden gesellschaftlichen Bedürfnisses nach einer sauberen und sicheren Mobilität. Die Fähigkeit, verschiedene Transportmittel in ihrem systemischen Zusammenhang zu betrachten, versetzt das DLR in die Lage, hierzu neue Lösungen anzubieten. Diese Fähigkeit ist gleichzeitig die Grundlage für diejenigen Forschungsaktivitäten, mit denen wir die Herausforderungen Nachhaltigkeit und Sicherheit adressieren.

Die Basis aller Beiträge des DLR sind seine historisch gewachsenen Kernkompetenzen in der Luft- und Raumfahrt- sowie in der Energie- und Verkehrsforschung. Das DLR wird diese Kompetenzen stärken und ausbauen. So hat es 2017 insgesamt sieben neue Institute gegründet, mit denen die Forschung im Hinblick auf die Herausforderungen Digitalisierung, Sicherheit und Energie-wende vorangebracht wird.

Auf den folgenden Seiten stellen wir dar, wie im DLR interdisziplinäre Kompetenzen in der ingenieurwissenschaftlichen Spitzenforschung zusammenwirken, um kreative Konzepte und Technologien zur Lösung einiger der großen gesellschaftlichen Herausforderungen unserer Zeit zu erarbeiten. Ich wünsche Ihnen viel Freude bei der Lektüre.

Prof. Dr. Pascale Ehrenfreund, Vorstandsvorsitzende des DLR



FÜR EINEN STARKEN WISSENSCHAFTS-, INNOVATIONS- UND WIRTSCHAFTSSTANDORT DEUTSCHLAND

STANDORT DEUTSCHLAND

In einer globalisierten Welt braucht es einen starken Standort Deutschland für Wissenschaft, Innovation und Wirtschaft. Die Bundesregierung gibt in der Hightech-Strategie 2025 das Ziel vor: „Wir wollen, dass Deutschland weiterhin zu den führenden Wissenschafts- und Innovationsstandorten gehört.“ Um diese herausragende Position zu halten, benötigt Deutschland exzellente Forschung und einen wirkungsvollen Transfer von Ideen, Erkenntnissen und Ergebnissen in die Anwendung. Nur dadurch kann es gelingen, kreative Antworten auf die großen gesellschaftlichen Herausforderungen zu finden und die deutsche Wirtschaft zu stärken. Das DLR leistet in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie, Verkehr, Sicherheit und Digitalisierung hierzu wesentliche Beiträge. Denn es vereint Forschung, Forschungsförderung und den Wissens- und Technologietransfer in die Wirtschaft – und deckt damit zentrale Aspekte des Innovationssystems in Deutschland ab.

EXPERTISE ÜBER DIE GESAMTE SPANNWEITE DER INNOVATIONSKETTE HINWEG

Mit seiner Expertise über die gesamte Spannweite der Innovationskette hinweg erzeugt das DLR einen hohen Nutzen für die Gesellschaft und wird so seinem satzungsgemäßen Auftrag gerecht. Um seinen Beitrag zur Stärkung der Innovationsfähigkeit in Deutschland weiter zu erhöhen, stellt das DLR sein internes Innovationsökosystem besser auf. Dazu optimiert es einerseits

Intelligente und effiziente Robotik für die Industrie 4.0

seine Strukturen, um Synergien systematischer nutzen zu können. Andererseits entwickelt das DLR kontinuierlich die eigenen Instrumente weiter, um den Transfer seiner Forschungsergebnisse in die Wirtschaft zu verbessern.

INNOVATIONSIMPULSE FÜR EINE STARKE INDUSTRIE

Das DLR verfolgt das Ziel, die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie sowie des Energie- und Verkehrssektors zu stärken. Es bringt wichtige Innovationsimpulse in diese Wirtschaftszweige ein und erhöht damit ihre Fähigkeit, den geschilderten Herausforderungen besser zu begegnen. Ein Großteil der DLR-Forschungsprojekte wird in Kooperationen durchgeführt. So hat sich das DLR als wichtiger Partner der Forschung, Wirtschaft und Industrie etabliert. Dazu unterhält es





auch große Forschungsinfrastrukturen in Luft- und Raumfahrt sowie Energie und Verkehr – stets auf dem neuesten wissenschaftlichen und technischen Stand. Diese umfassen beispielsweise eine Versuchsanlage für thermische Energiespeicher, eine Forschungsflotte oder Reallabore im Verkehr. Die Raketenprüfstände des DLR in Lampoldshausen oder das Deutsche Raumfahrtbetriebzentrum (GSOC) in Oberpfaffenhofen bilden das Rückgrat des Raumfahrtstandorts Deutschland. In diesen und weiteren bedeutenden Test- und Betriebseinrichtungen erbringen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des DLR technologische und operative Beiträge in nationalen und internationalen Raumfahrtmissionen sowie in Forschungsprojekten in Zusammenarbeit mit Partnern aus Forschung und Industrie.

SPITZENFORSCHUNG IM DLR – JETZT UND IN ZUKUNFT

Die historisch gewachsenen Kernkompetenzen des DLR in der Luft- und Raumfahrt- sowie in der Energie- und Verkehrsforschung bilden das Fundament aller Beiträge zu den gesellschaft-

**Versuchsanlage für thermische Energiespeicher
Test von Raketentriebwerken für die Ariane 6
Produktvirtualisierung in der Luftfahrt**

lichen Herausforderungen. Daher wird das DLR auch zukünftig diese Kernkompetenzen weiter stärken und ausbauen. So werden sieben neue Institute die Forschung im Hinblick auf Lösungen für die Herausforderungen Digitalisierung, Sicherheit und Energiewende weiter voranbringen. Darüber hinaus engagiert sich das DLR in vielfältiger Weise für die Nachwuchsförderung, um Begeisterung und Interesse junger Menschen für Naturwissenschaften und Technik nachhaltig zu wecken. Beispielsweise können Kinder und Jugendliche in den DLR_School_Labs die faszinierende Welt der Forschung selbst entdecken.



FORSCHUNG, FORSCHUNGSFÖRDERUNG UND WISSENSTRANSFER UNTER EINEM DACH

Neben seinen eigenen Forschungsaktivitäten und dem Wissenstransfer in die Wirtschaft ist das DLR gleichzeitig in seinen Funktionen als nationale Raumfahrtagentur und Projektträger im Forschungs- und Innovationsmanagement erfolgreich unterwegs.

Ein Kernbereich liegt in der Umsetzung der nationalen Luft- und Raumfahrtstrategien.

WISSENSCHAFTS-, INNOVATIONS- UND BILDUNGSMANAGEMENT – DIE DLR PROJEKTTRÄGER

In der Funktion als Projektträger unterstützt das DLR seine überwiegend öffentlichen Auftraggeber aus Bund und Ländern bei der Planung und Umsetzung von Förderprogrammen



und verwaltet treuhänderisch Fördermittel von circa 1,5 Mrd. Euro pro Jahr. Der DLR Projektträger und der Projektträger Luftfahrtforschung bieten darüber hinaus vielfältige Dienstleistungen des Wissenschafts-, Innovations- und Bildungsmanagements entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Sie unterstützen Akteure aus Politik, Wissenschaft und Wirtschaft sowie die Bildungsträger – von der Analyse und Beratung bis hin zur Entwicklung, Umsetzung, Erfolgsbewertung und Kommunikation von Strategien und Maßnahmen – regional, national, europäisch und international. Damit hilft das DLR, die Zielgruppen der Forschungs-, Innovations- und



Bildungspolitik zu erreichen und dabei zu unterstützen, den Standort Deutschland zukunftsfähiger zu machen.

DAS RAUMFAHRTMANAGEMENT IM DLR

Im Auftrag der Bundesregierung konzipiert das Raumfahrtmanagement im DLR das deutsche Raumfahrtprogramm, führt es durch und integriert alle deutschen Raumfahrtaktivitäten auf nationaler und europäischer Ebene. Hierzu gehören das Nationale Programm für Weltraum und Innovation und die deutschen Beiträge zur Europäischen Weltraumorganisation ESA sowie zu internationalen Organisationen wie EUMETSAT und OECD.

Die Kombination „Forschungseinrichtung – Raumfahrtagentur – Projektträger“ ist in Europa einzigartig. Die Stärke des DLR liegt in der ganzheitlichen Betrachtung der ideellen Wertschöpfungskette von der Konzeptionierung von Bildung, Forschung und Innovation über das Forschungsmanagement und den Wissenstransfer in die Wirtschaft bis hin zur eigenen Forschung.

**Intelligenter persönlicher Assistent in der Raumfahrt
Begeisterung für Wissenschaft und Technik wecken:
Die DLR_School_Labs
Aufbau von Datenautobahnen durch Laserkommunikation**

MOBILITÄT IST EINE VORAUSSETZUNG FÜR PERSÖNLICHE FREIHEIT, GESELLSCHAFTLICHE TEILHABE UND WOHLSTAND.

MOBILITÄT

Mobilität besitzt eine Schlüsselfunktion in unserer Gesellschaft – sie ist wesentliche Voraussetzung für persönliche Freiheit, gesellschaftliche Teilhabe und Wohlstand. Doch um den Mobilitätsbedarf heute und in Zukunft weiterhin zu decken, sind viele ineinandergreifende Maßnahmen nötig. Neben der Versorgung unserer Gesellschaft mit Technologien für Transportmittel stellen die Mega-Trends der Globalisierung, Urbanisierung, Digitalisierung und des demografischen Wandels sowie die in Deutschland eingeleitete Energiewende ganz neue Anforderungen an unsere zukünftigen Transport- und Verkehrssysteme. Höhere Auslastung bei gleichzeitiger Umweltverträglichkeit und Sicherheit – das gilt es miteinander zu vereinen. Das DLR trägt hierzu Lösungen bei, indem es neue Ansätze der Hoch-Technologie mit einer ganzheitlichen Betrachtung dieser Systeme kombiniert.

sionsarmen Antrieb über aerodynamische, feste Strukturen bis hin zu effizienten Betriebskonzepten und komfortablen Fahrgasträumen entwickelt.

DER LUFTVERKEHR DER ZUKUNFT: UNBEMANNT UND AUTOMATISIERT

Das Konzept der unbemannten, automatisierten und vernetzten Mobilität stellt eine erfolgsversprechende Antwort auf die geschilderten Herausforderungen dar. So arbeitet das DLR in diesem Kontext an unbemannten und automatisierten Luftfahrtssystemen für den Transport von Gütern und Personen und ihrer Integration in den bestehenden Luftraum. Gemäß der Prognose der europäischen Luftfahrtvision „Flightpath 2050“ wird Mitte des 21. Jahrhunderts Luftfracht global zunehmend über unbemannte Transporter abgewickelt werden. Das verspricht geringere Kosten bei hoher Zuverlässigkeit. Um den Standort Deutschland im Hinblick auf dieses Zukunftsthema zu positionieren, plant das DLR im Bereich des unbemannten Fliegens die Forschung zu intensivieren und die Erprobungskompetenzen auszubauen. In der internationalen Expertengruppe JARUS (Joint Authorities for Rulemaking on Unmanned Systems), die die Erfordernisse für den künftigen Betrieb unbe-

SICHERE UND EFFIZIENTE FLUGZEUGE, AUTOS UND ZÜGE DER NÄCHSTEN GENERATION

Im Hinblick auf die Entwicklung neuer Technologien für Transportmittel arbeitet das DLR am elektrischen Fliegen und an Entwürfen für leise, effiziente und saubere Flugzeuge. Für den sicheren Transport der Zukunft auf Straße und Schiene konzipiert das DLR die nächsten und übernächsten Generationen von Autos und Zügen. Hierfür werden Technologien vom emis-

Güter und Personen transportieren ohne Pilot –
Urban Air Mobility





mannter Lufttransportsysteme ausarbeitet, stellt das DLR den nationalen Vertreter, wodurch die Forschungsergebnisse des DLR Eingang in internationale Gremien finden können.

PASSGENAUE STEUERUNG DES VERKEHRS AM BODEN UND IN DER LUFT

Je automatisierter die Mobilität wird, desto komplexer wird das Management der daraus resultierenden neuen Transport- und Verkehrssysteme. Dies gilt insbesondere, wenn wir uns der Zukunftsvision einer nahtlosen Verknüpfung unterschiedlicher Verkehrsträger, also einem intermodalen Verkehrssystem, nähern. Es gilt, zukünftige Verkehrsmanagementsysteme sowohl für den boden- als auch für den luftgebundenen Verkehr zu entwickeln. Genau daran arbeitet das DLR.

Im Bereich des Luftverkehrsmanagements trägt die Forschung des DLR dazu bei, durch eine geschickte Verkehrsführung klimawirksame Effekte des Luftverkehrs zu reduzieren, die Luftverkehrskapazität durch neue operationelle und Manage-

E-Mobilität für den emissionsarmen Verkehr
360°-Towersimulator
Management des automatisierten und vernetzten Verkehrs

mentverfahren zu erhöhen und gleichzeitig die Sicherheit im Luftverkehr zu steigern. Ebenso muss der Luftverkehr gegenüber internen und externen Störungen robust sein. Beispiele für diesbezügliche Forschungsaktivitäten sind durch Künstliche Intelligenz unterstützte Lotsenassistenzsysteme und die Zukunftsvision der „4D-Trajektorie“. Letztgenanntes Konzept sieht für die Flugdurchführung eines Flugzeugs vor, dass seine



Position zu jedem Zeitpunkt einem zuvor festgelegten und abgestimmten Plan entspricht. 4D-Trajektorien bergen ein großes Potenzial für die Effizienz und Umweltfreundlichkeit der Luftfahrt, weil sie mit hoher Genauigkeit auf spezielle Flugeigenschaften, Wetterbedingungen und Umwelteinflüsse optimiert werden können.

INTELLIGENTE MOBILITÄT AM BODEN

Die Zukunft der Mobilität zeichnet sich aus durch ein verändertes Mobilitätsverhalten, eine zunehmende Automatisierung von Fahrzeugen und den Bedarf einer integrierten Verkehrsplanung. Für zukünftige intelligente Fahrzeuggenerationen forscht das DLR transdisziplinär, unter anderem an der Akzeptanz automatisierter Systeme. Für die Entwicklung und praktische Erprobung von Lösungen für den bodengebundenen Verkehr entsteht mit dem Testfeld Niedersachsen eine einzigartige Forschungsinfrastruktur für Autobahnen und Bundesstraßen, die die städtische Versuchsumgebung

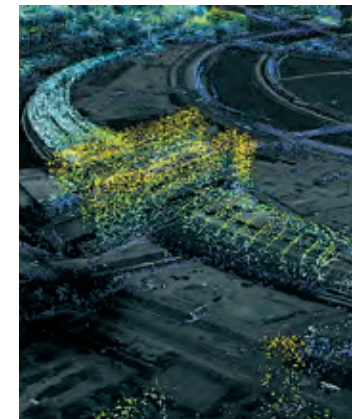
der Anwendungsplattform intelligente Mobilität (AIM) zu einem Gesamtbild ergänzt. Neue Methoden des Verkehrsmanagements werden hier genauso erprobt wie automatisierte und vernetzte Fahrzeuge, in Simulation und Realität.

NEUARTIGE MOBILITÄTSKONZEPTE FÜR EINEN EFFIZIENTEN UND EMISSIONSARMEN TRANSPORT

Grundlegend für die Steigerung der Kapazität und Produktivität intermodaler Verkehrsknoten wie Flughäfen, Bahnhöfe und Häfen ist ein effizientes Verkehrsmanagement. Wie dieses gestaltet werden kann, erforscht das DLR in zahlreichen Projekten.



Über das Verkehrsmanagement hinaus untersucht und entwickelt das DLR neue Konzepte der Mobilität. Im Fokus stehen hierbei die systemischen Zusammenhänge zwischen der flexiblen Nutzung und Kombination von unterschiedlichen Verkehrsmitteln der einzelnen Menschen, neuen Mobilitätskonzepten und dem städtischen Raum. Energie- und Verkehrsforschung des DLR arbeiten gemeinsam an einer ganzheitlichen Analyse und Bewertung von Optionen für eine emissionsarme Mobilität, beispielsweise durch Elektromobilität oder regenerative Kraftstoffe.



NAVIGATIONSLSÖSUNGEN AUS DEM ALL FÜR DIE MOBILITÄT AUF DER ERDE

Den unterschiedlichen Verkehrssystemen und ihrer intermodalen Verknüpfung gemeinsam ist, dass sie Unterstützungstechnologien voraussetzen, die unter anderem eine hochgenaue Ortung der Verkehrsteilnehmer ermöglichen. In diesem Zusammenhang entwickelt das DLR in der Raumfahrt-forschung technologische Lösungen zur besseren Positionsbestimmung, Zeitmessung und Übertragung von Zeitsignalen im Hinblick auf die nächste Generation eines Satellitennavigationssystems (GNSS). So betreibt und überwacht die DLR Gesellschaft für Raumfahrtanwendungen das europäische Satellitennavigationssystem Galileo im Auftrag der Europäischen Weltraumorganisation ESA und der Europäischen Kommission. Darüber hinaus entwickelt das DLR satellitenbasierte Informationsprodukte für einen automatisierten, sicheren und nachhaltigen Verkehr, wie beispielsweise hochpräzise Karten für automatisiertes Fahren.

Das europäische Satellitennavigationssystem Galileo
Konzepte für die Hochgeschwindigkeitszüge der Zukunft
Radarsatelliten-Aufnahme des Berliner Hauptbahnhofs

DER DIGITALE WANDEL VERÄNDERT ALLE LEBENSBEREICHE UND STELLT EINE ENORME HERAUSFORDERUNG FÜR UNSERE WIRTSCHAFT UND GESELLSCHAFT DAR.

DIGITALISIERUNG

Der digitale Wandel verändert unsere Wirtschaft und Gesellschaft weitreichend und stellt eine enorme Herausforderung dar. Kein Lebensbereich, der nicht davon betroffen wäre. Grundlage der Digitalisierung ist die wesentliche Erhöhung der Datenverfügbarkeit, der Speicher- und Rechenkapazität sowie der globalen Vernetzung von IT-Systemen. Dadurch ist es nunmehr relativ kostengünstig und zeitsparend möglich, Wissen aus den exponentiell zunehmenden Datenmengen zu extrahieren. Aus dieser Möglichkeit ergeben sich viele neue Forschungsansätze und Geschäftsmodelle. Das ist einerseits eine große Chance, erhöht andererseits aber auch den Wettbewerbsdruck in einer globalisierten Welt. Das DLR stellt sich dieser Herausforderung und entwickelt in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie, Verkehr und Sicherheit Werkzeuge, die es dem Standort Deutschland ermöglichen, in diesem globalen Wettbewerb nicht nur mitzuhalten, sondern den digitalen Wandel aktiv mitzugestalten. Darüber hinaus berät das DLR wissenschaftlich fundiert und neutral Politik und Gesellschaft bei der normativen Ausgestaltung des digitalen Zeitalters.

schungen zur Digitalisierung vorangetrieben. Das DLR kann außerdem große Forschungsinfrastrukturen bereitstellen, wie eine Plattform zur Analyse heterogener großer Forschungsdaten. Satellitenfernerkundung, der virtuelle Zwilling, die zustandsorientierte Instandhaltung oder auch Testfelder und Reallabore zur Automatisierung in der Mobilität erfordern diese Big Data-Ansätze. Doch wie stellt sich der digitale Wandel in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie, Verkehr und Sicherheit konkret dar?

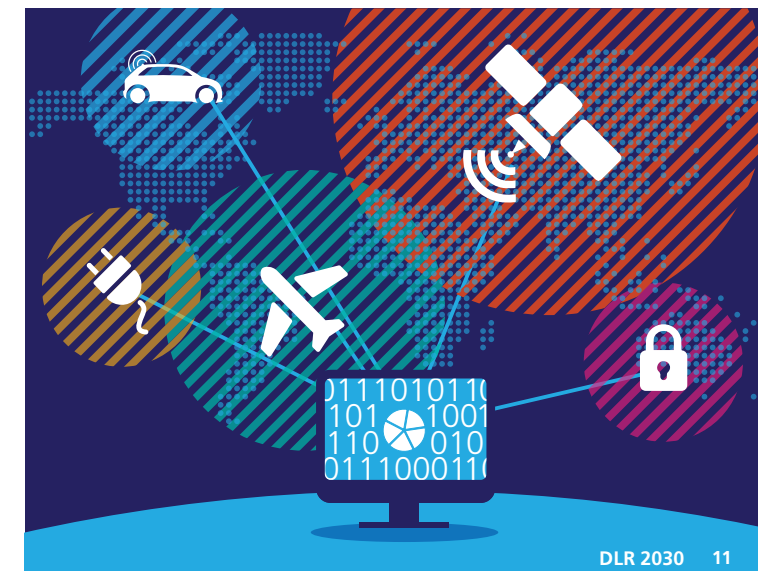
GESAMTFORSCHUNGSZIEL VIRTUELLES PRODUKT

Ein Beispiel dafür ist die sogenannte virtuelle Produktentwicklung in der Luftfahrt. Das virtuelle Produkt bezeichnet die hochgenaue numerische Abbildung eines technischen Geräts mit all seinen Eigenschaften und Komponenten. Mit ihr können neue technische Konzepte oder Komponenten umfassend simuliert werden. Die Virtualisierung ermöglicht so eine schnellere

BÜNDELUNG DER EXPERTISE IM QUERSCHNITTSBEREICH DIGITALISIERUNG

Dafür hat das DLR den neuen Querschnittsbereich Digitalisierung eingerichtet, der die Forschungsaktivitäten und -kompetenzen hierzu zusammenfasst. In fünf neuen Instituten werden die For-

Big Data-Plattform zur Analyse großer Datenmengen
in der Forschung





DIGITALER ZWILLING: DEN LEBENSZYKLUS VON FLUGZEUGEN UND KRAFTWERKEN VIRTUELL BEGLEITEN

Ergebnis eines digitalisierten Produktionsprozesses ist der „digitale Zwilling“ eines Produkts. Das DLR erforscht dieses Konzept mit Blick auf die Vision eines Wartungsprozesses der Zukunft: Bereits heute sind in einem üblichen Verkehrsflugzeug mehrere zehntausend Sensoren verbaut, die entsprechend große Datenmengen erzeugen. Diese werden künftig in ihr virtuelles Abbild eingespeist. Damit können Wechselwirkungen zwischen Abnutzungsprozessen und äußeren Einwirkungen analysiert und



präzise Prognosen über zu wartende oder auszutauschende Komponenten automatisiert erstellt werden. Das DLR nimmt somit die Digitalisierung des gesamten Lebenszyklus eines

Produkts in den Blick – von der Produktion über die Zulassung und Herstellung bis hin zur Wartung. Dieser grundlegend neue konzeptionelle Ansatz greift jedoch nicht nur für Luftfahrzeuge, sondern für jegliche wartungsintensive technische Großanlage, wie beispielsweise Kraftwerke.



NEUE TECHNOLOGIEN FÜR DAS AUTOMATISIERTE UND VERNETZTE FAHREN

Die wachsende Verfügbarkeit von Daten verleiht außerdem den Entwicklungen in der Künstlichen Intelligenz starken Aufwind. Selbstlernende Systeme halten Einzug in die Alltagstechnik, der Traum vom autonomen Fahren rückt in greifbare Nähe. Das DLR forscht in diesem Kontext am intelligenten Verkehrsmanagementsystem und der präzisen dreidimensionalen digitalen Abbildung von Verkehrswegen, um dem autonomen Fahrzeug einen Abgleich seiner sensorgenerierten Umgebungsdaten zu ermöglichen. Damit wird die Sicherheit dieser Systeme erhöht. Ein solcher „digitaler Atlas“ wird unter anderem durch satellitenbasierte Systeme auf dem aktuellen Stand gehalten. Neben die-



ser Synergie mit der Raumfahrtforschung profitiert das DLR beim Thema der autonomen Systeme von jahrzehntelanger Forschungserfahrung in der Weltraumrobotik.

DATENÜBERTRAGUNG PER LASER: AUF DEM WEG ZUM GLOBALEN HIGH-SPEED-INTERNET

Das DLR möchte die Potenziale der Digitalisierung für die Bewältigung großer gesellschaftlicher Herausforderungen nutzbar machen. Mit seiner Systembetrachtungskompetenz kann es Technologiebewertungen vornehmen und helfen, den Nutzen und die Folgen neuer Technologien besser einzuschätzen. Die langjährige Erfahrung im Bereich Digitalisierung ermöglicht es dem DLR ebenso, Politik und Gesellschaft über neue Ansätze und mögliche Prioritäten zu beraten. So hat das DLR beispielsweise ein Konzept zur satellitenbasierten Versorgung von abgelegenen Gebieten mit Breitband-Internet vorgelegt. Dabei greift es auf seine weltweite Spitzenposition in der optischen Datenübertragung per Laser zurück, die sehr hohe Datenraten ermöglicht und als „kabellose Glasfaserverbindung“ gilt.

Erhöhung der Sicherheit beim automatisierten Fahren
Zusätzliche Daten aus dem Weltraum für den automatisierten Verkehr
Optische Highspeed-Datenübertragung per Laser

Einführung neuer Luftfahrttechnologien und die bessere Beherrschung technologischer Risiken. Ebenso lassen sich Alterungs- und Wartungsprozesse eines Produkts über den gesamten Lebenszyklus leicht verfolgen. Basierend auf seinen umfassenden Forschungsaktivitäten zum virtuellen Produkt arbeitet das DLR heute schon am Zukunftskonzept der simulationsbasierten Zulassung von Luftfahrzeugen und deren Komponenten. Dadurch werden die erheblichen Zeit- und Kostenrisiken des Zulassungsprozesses minimiert.

DIGITALISIERTER PRODUKTIONSPROZESS FÜR DIE FABRIK DER ZUKUNFT

Die Digitalisierung der Produktentwicklung und -zulassung findet ihre Entsprechung im nächsten Schritt in der digitalisierten und vernetzten Produktion, der sogenannten Industrie 4.0. In diesem Kontext erforscht das DLR die hochautomatisierte und vernetzte Fabrik der Zukunft. Entwickelt wird hier eine breite Palette an digitalen Produktionstechnologien, Robotersystemen und -anwendungen für flexible und vernetzte Fertigungsprozesse.

Robotersystem in der digitalisierten und vernetzten Produktion
Hochautomatisierte Inspektion von Solarfeldern
Der digitale Zwilling in der Luftfahrt



OFFENE GESELLSCHAFTEN UND MODERNE INDUSTRIENATIONEN SIND BESONDERS ANFÄLLIG FÜR ANGRIFFE AUF IHRE INNERE UND ÄUßERE SICHERHEIT.

SICHERHEIT

Offene Gesellschaften und moderne Industrienationen sind besonders anfällig für Angriffe auf ihre innere und äußere Sicherheit. Sie sind hochgradig vernetzt und technisiert – das betrifft wesentliche Bereiche wie die Mobilität, Kommunikation und Energieversorgung. Angriffe auf diese sogenannten kritischen Infrastrukturen nehmen zu. Damit einher geht eine Erhöhung der Sicherheitsanforderungen für diese komplexen Systeme. Doch wie kann den Menschen mehr Sicherheit geboten werden, ohne die persönliche Freiheit jedes Einzelnen einzuschränken? Das DLR entwickelt für diese Anforderung Lösungen. Gemäß seinem ganzheitlichen und interdisziplinären Ansatz erforscht es in einem eigenen Querschnittsbereich den Schutz dieser kritischen Infrastrukturen ebenso wie die aus diesen Technologien erwachsenen Chancen für einen besseren Schutz der Bürger. Im Fokus der DLR-Forschung zum Schutz kritischer Infrastrukturen stehen die vernetzten und hochtechnisierten Systeme im Weltraum, in der Luft, auf dem Wasser und am Boden.

LASERTECHNOLOGIE SORGT FÜR SICHERHEIT IM ALL

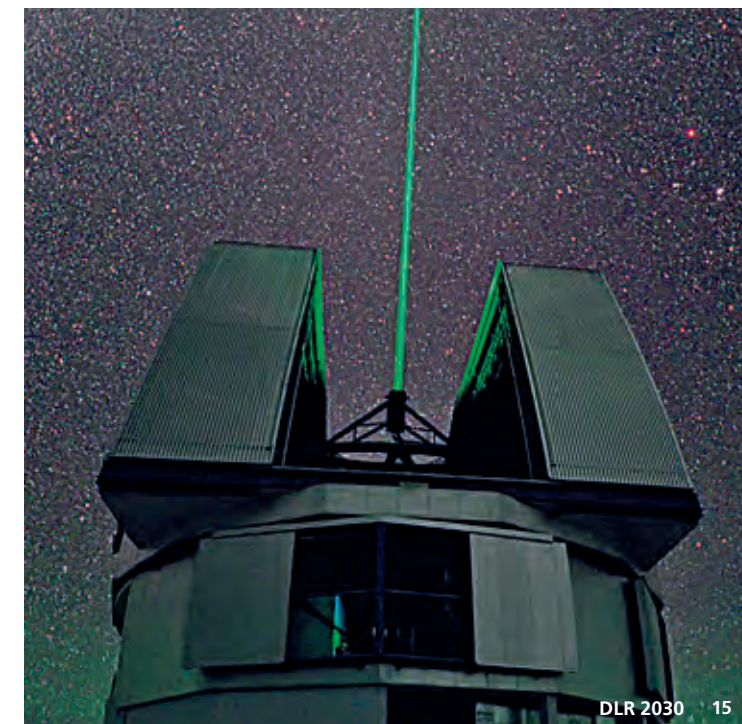
Unsere Gesellschaften sind immer stärker von Weltrauminfrastrukturen abhängig. Ob für Navigations- und Kommunikationsanwendungen – die Zahl der dafür benötigten Satelliten im Erdorbit nimmt zu. Doch damit steigt auch die Menge an Weltraumschrott, beispielsweise durch stillgelegte Satelliten. Dieser

Tracking von Weltraummüll mit Hilfe von Lasern

stellt eine ernstzunehmende Gefahr für die operativen Systeme dar. Das DLR entwickelt daher Technologien zur Weltraumüberwachung mit dem Ziel, ein Weltraumlagebild zu erstellen. Gleichzeitig forscht es an neuen Möglichkeiten, den Weltraumschrott zu beseitigen – etwa durch den Einsatz von Lasertechnologie.

SICHERHEIT VON KOMMUNIKATIONS- UND NAVIGATIONSVERBINDUNGEN

Für weltraum- wie auch für luftgestützte Systeme ist zunehmend die Angriffssicherheit von Kommunikations- und Navigationsverbindungen von Bedeutung. Hier forscht das DLR an Verfahren und Systemen zur Abwehr von sogenannten Cyber-Angriffen und nutzt dafür seine Kompetenzen im Bereich Digitalisierung.





MARITIME SICHERHEIT – FORSCHUNG FÜR EINE SICHERE SEEFAHRT

Für eine Handelsnation wie Deutschland ist die Sicherheit von Logistik- und Warenketten auf den Seewegen und den zugehörigen Infrastrukturen ein hohes Gut. Im Bereich der Maritimen Sicherheit erforscht das DLR in enger Zusammenarbeit mit nationalen Behörden Technologien und Konzepte zur Erhöhung der Sicherheit von Häfen, Schiffen und anderen Infrastrukturen im Küstenbereich und auf hoher See. Die diesbezüglichen Aktivitäten werden durch ein neues Institut, das sich ausschließlich dieser Thematik widmet, vorangetrieben. Schließlich bildet der Schutz intermodaler Verkehrsknoten am Boden, wie Flughäfen und Bahnhöfe, einen Fokus der DLR-Forschung.

SCHUTZ DER BÜRGER – GEFAHRSTOFFE AUS SICHERER ENTFERNUNG ERKENNEN

Ein weiterer Fokus der DLR-Sicherheitsforschung liegt auf dem Schutz der Bürger. In diesem Zusammenhang entwickelt es ein

Erkennung von Gefahrstoffen aus der Ferne
Herausforderung Flughafensicherheit
Schnelle Datenverbindung für den sicheren Schiffsverkehr

neues Verfahren, das chemische, biologische oder explosive Gefahrstoffe mit Hilfe von Laserstrahlung aus sicherer Entfernung erkennt. Die rasche und zuverlässige Bestimmung der gefährdenden Substanz ist für die Wahl der richtigen Schutz- und Hilfsmaßnahmen in Situationen wie bei Industrieunfällen, Naturkatastrophen oder Terroranschlägen sehr wichtig.

ÜBERBLICK AUS DEM ALL: KATASTROPHENHILFE, GROßEREIGNISSE, VERKEHR

Aufgrund seiner Expertise in der weltraum- und luftgestützten Erdbeobachtung ist das DLR sehr aktiv in der Lagebilderfassung und -analyse für den Katastrophenschutz. Erforscht werden unter



anderem die Modellierung von Menschenmengen, zum Beispiel bei Großveranstaltungen, oder von Verkehrsströmen, etwa im Verkehrsmanagement, um automatisiert Handlungsempfehlungen

für Sicherheitskräfte aus den großen Beobachtungsdatenmengen abzuleiten. Gleichzeitig betreibt das DLR für nationale und internationale Partner aus Behörden, Industrie und Wissenschaft das Zentrum für satellitengestützte Kriseninformation. Hier werden Erdbeobachtungsdaten wie Satelliten-, Luftbilder und andere Geodaten beschafft, analysiert und daraus aktuelle Lageinformation erstellt – vor, während oder nach Katastrophen- und Krisensituationen sowie bei planbaren Großereignissen.



IN ENGER ZUSAMMENARBEIT MIT BMI UND BMVG

Die Sicherheitsforschung des DLR dient dem Ziel des sicheren Lebens in einer offenen und modernen Industrienation. Um



zu gewährleisten, dass die Forschungsaktivitäten des DLR auf den gesellschaftlichen Bedarf zugeschnitten sind, arbeitet es eng mit den Bundesministerien des Inneren (BMI) und der Verteidigung (BMVg) sowie mit ihren Behörden, wie der Bundespolizei oder dem Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, und der Bundeswehr zusammen.

WEHRTECHNISCHE FORSCHUNG: LUFTRAUMINTEGRATION UNBEMANNTER SYSTEME

Im Rahmen seiner wehrtechnischen Forschungsaktivitäten liefert das DLR Beiträge zur Bedarfsdeckung und Schließung der Fähigkeitslücken der Bundeswehr durch anwendungsorientierte Forschung. Beispielsweise arbeiten DLR und Bundeswehr gemeinsam an Strategien und innovativen Konzepten zur sicheren Integration unbemannter fliegender Systeme in den Luftraum. Darüber hinaus stellt das DLR eine unabhängige Analyse- und Bewertungskompetenz für das BMVg im Rahmen des DLR-Portfolios zur Verfügung.

Radarsatelliten-Aufnahme nach dem Tsunami in Japan 2011
Analyse der Personendichte bei „Rock am Ring“
Integration von unbemannten Luftfahrzeugen in den Luftraum

**NACHHALTIG IST EINE ENTWICKLUNG,
DIE DEN BEDÜRFNISSEN DER HEUTIGEN
GENERATION ENTSPRICHT, OHNE DIE
MÖGLICHKEITEN KÜNFTIGER
GENERATIONEN ZU GEFÄHRDEN.**

NACHHALTIGKEIT

Nachhaltig ist eine Entwicklung, die den Bedürfnissen der heutigen Generation entspricht, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen und ihren Lebensstil zu wählen (Brundtland-Bericht der UNO). Ursprünglich im Bereich der Forstwirtschaft entwickelt, besteht der Grundgedanke der Nachhaltigkeit darin, dass der Mensch einem natürlichen System nur so viele Ressourcen entnimmt, dass es sich selbst regenerieren kann und somit in einem stabilen Gleichgewicht bleibt. Das gelingt aber nur, wenn sowohl eine genaue Zustandskontrolle des Systems erfolgt als auch dafür gesorgt wird, dass diesem nicht zu viele Ressourcen entnommen werden. Das DLR leistet mit seinen Forschungsarbeiten auf beiden Ebenen der Nachhaltigkeit wichtige Beiträge. Zum einen entwickelt und nutzt das DLR Technologien, die ein globales Monitoring der Erde ermöglichen. Zum anderen steuert es wesentliche Technologien bei, die helfen, natürliche Ressourcen zu schonen, indem diese etwa effizienter genutzt werden.

SATELLITEN ZUR ERDBEOBACHTUNG: DAS SYSTEM ERDE STETS IM BLICK

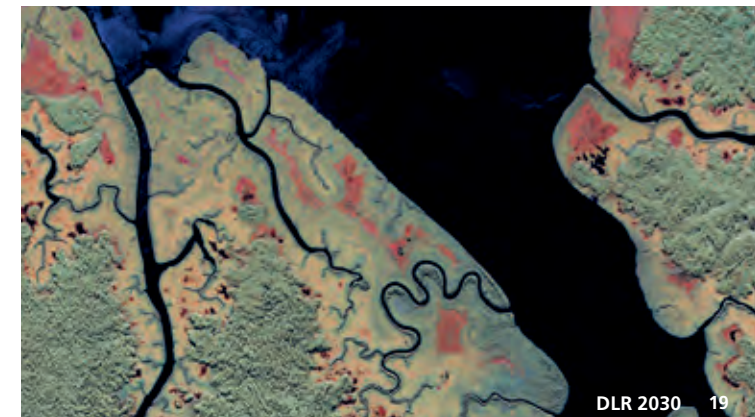
Die besten Möglichkeiten, um den „Gesundheitszustand“ unseres Erdsystems umfassend und langfristig zu überwachen, bietet die weltraumgestützte Erdbeobachtung. Beispielsweise können mittels kombinierter Sensorik von Lidar- und Radar-Satelliten-Technologie klimabedingte Veränderungen im Zeitverlauf erfasst

Radartechnologie ermöglicht Analyse von Waldbeständen

und dynamische Prozesse in der Biosphäre, wie die Veränderung der Biomasse, beobachtet werden. Das Radarsatelliten-Duo TanDEM-X und TerraSAR-X, das vom DLR betrieben wird, liefert seit geraumer Zeit hervorragende Daten hierzu. Noch tiefergehende Erkenntnisse erwartet das DLR aus der geplanten Nachfolge-Mission Tandem-L, die ein hochgenaues und dreidimensionales Abbild unserer sich ständig wandelnden Erde liefern soll. Mit Hilfe der Erdbeobachtung wurde das Problem des vom Menschen verursachten Klimawandels erkannt und der globale CO₂-Ausstoß als ein wesentlicher Treiber dieser Prozesse identifiziert. Um diesen auf der nationalen Ebene zu senken, hat die deutsche Politik die Energiewende eingeleitet. Die im DLR entwickelten Technologien helfen dabei, den notwendigen Wandel mitzugestalten. Dies gilt sowohl für die Umstellung auf erneuerbare Energien als auch für die Deckung des gesellschaftlichen Bedarfs an Mobilität.

SEKTORENKOPPLUNG FÜR EINE NACHHALTIGE ENERGIEWENDE

Aber wie ist der Übergang von fossilen Energieträgern hin zu erneuerbaren Energien zu meistern? Welche technologischen





Herausforderungen bestehen? Und wie kann eine nachhaltige, sichere und bezahlbare Energieversorgung gewährleistet werden? Eine unerschöpfliche Energiequelle bietet die Sonne: Das DLR forscht in diesem Kontext an solarthermischen Anlagen als wichtige Energieproduzenten der Zukunft. Ein Energieversorgungssystem, das sich überwiegend auf erneuerbare Energien stützt, wird aus einer sehr großen Anzahl kleiner Energieerzeuger bestehen und damit dezentral aufgestellt sein. Ein ausgeklügeltes System von leistungsfähigen Energiespeichern wird nötig sein, die Schwankungen in der Energieerzeugung zu überbrücken, die bei erneuerbaren Energien aus Sonne und Wind gegeben sind. Für die Gestaltung dieses zukünftigen, hochkomplexen Energiesystems müssen verschiedene Lösungsansätze analysiert werden – immer unter Berücksichtigung des Gesamtsystems. Ein Beispiel dafür ist der Ansatz der Sektorenkopplung, der die Sektoren Strom, Wärme und Mobilität ganzheitlich betrachtet und – unter der Prämisse der Elektrifizierung des Straßenverkehrs – eine wichtige Grundlage für die Energiewende darstellt. Durch die Kopplung der drei Sektoren kann die Energie zum Beispiel bei einem Überangebot an Strom in die Sektoren

Spiegelfeld des Solarturms in Jülich
Keramikmaterialien für die thermische Energiespeicherung
Künstliche Sonne zur Herstellung von solaren Treibstoffen

Wärme und Mobilität verlagert werden. Umgekehrt kann die Energie bei Bedarf wieder verstromt werden. Dadurch wird das Energiesystem flexibler und umweltfreundlicher. An einer solchen Kopplung sowie an vernetzten Lösungen von Energiesystemen arbeitet das DLR in zahlreichen Forschungsprojekten.

EIN „NEUES LEBEN“ FÜR AUSGEDIENTE KOHLEKRAFTWERKE

Der Ansatz der Sektorenkopplung geht jedoch mit einigen Herausforderungen im Bereich der Stromnetze, der Steuerung und der Speichertechnologien einher. Das vom DLR vorgeschlagene Konzept „Third Life für Kohlekraftwerke“ setzt an dieser Schnittstelle an. Es wird erforscht, wie Kohlekraftwerke in CO₂-freie Wärmespeicherkraftwerke umgewandelt werden können. Statt durch Verbrennung von Kohle wird die Wärme durch die Transformation von Strom aus erneuerbaren Energien erzeugt, in Hochtemperatur-Wärmespeichern gespeichert und bei Bedarf mittels Dampferzeuger, Turbine und Generator in Strom zurückverwandelt. Das Speicherkraftwerk dient dabei als Gegengewicht



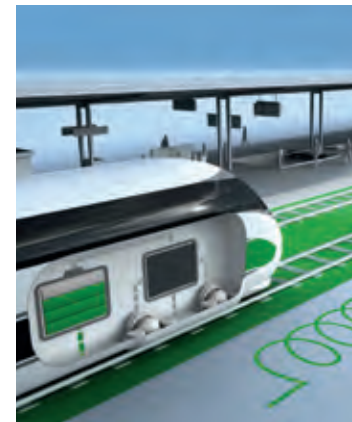
zu stark schwankenden Lasten aus den erneuerbaren Energien. Der Vorteil: Die Kraftwerke verfügen bereits über die technische Infrastruktur zur Umwandlung von Wärme in Energie, den not-

wendigen Netzanschluss und das entsprechende Fachpersonal. Einen weiteren Beitrag zur Sektorenkopplung leistet das DLR durch seine Forschungen zum Thema Energie-Meteorologie, die sich mit dem Systemverhalten der erneuerbaren Energien in Wechselwirkung mit den Wetterbedingungen beschäftigt. Beispielsweise können mit Hilfe von weltraumgestützten Systemen Vorhersagen von Ressourcen für Wind- und Solarenergie gemacht werden. Eine solche Prognosefähigkeit, kombiniert mit Prognosen über Verbrauchskurven, ist unerlässlich zur Steuerung des komplexen Energiesystems der Zukunft.



DAS FLUGZEUG DER ZUKUNFT FLIEGT ELEKTRISCH

Auf der Abnehmerseite des Energiesystems ergeben sich andere Probleme, die sich bei einer zunehmenden Elektrifizierung der Transportmittel zeigen. Das DLR forscht zum Thema Elektrisches Fliegen bereits an einem hybrid-elektrischen Zubringerflugzeug, das kleinere Flughäfen mit den großen internationalen Drehkreuzen verbindet. Hier fließen mehrere DLR-Forschungsthemen ein: Antriebssysteme – von der Brennstoffzelle über Batterien bis hin zur modernen Turbine; und Leichtbau – die Nutzung von hochstabilen Leichtbaumaterialien kombiniert mit einem tief gehenden Wissen über die Flugzeugarchitektur. Das DLR fokussiert insbesondere das System Luftfahrt, in dem Betrieb und Entwicklung neuartiger Flugzeugkonfigurationen integriert



betrachtet werden. Sein breit aufgestelltes Forschungsportfolio versetzt das DLR in die Lage, Kompetenzen, die zur Entwicklung eines elektrischen Flugzeugs genutzt werden, gleichzeitig für die Forschung zum Thema elektrisches Fahren auf Straße, Schiene und Wasser zu nutzen.

FORSCHUNG FÜR EINEN UMWELTVERTRÄGLICHEN VERKEHR

Neben diesen visionären Aktivitäten mit Blick auf ein künftig weitgehend elektrifiziertes Energie- und Verkehrssystem forscht das DLR an kurz- bis mittelfristigen Lösungen für eine umweltverträgliche Mobilität. Ein bedeutender Ansatz für schadstoffarme Luftfahrtantriebe sind alternative Treibstoffe. Das DLR erforscht in diesem Zusammenhang sogenannte Designer-Treibstoffe, die durch Anpassungen der chemischen Struktur bessere Eigenschaften, wie geringere Rußbildung, ermöglichen. Ein weiteres Beispiel ist die Forschung an „Solar Fuels“, das sind Treibstoffe, die mit Hilfe von Sonnenenergie – und damit umweltverträglich – synthetisiert werden.

Das Wasserstoff-Brennstoffzellen-Flugzeug HY4
Visualisierung eines Lastenrads mit neuartigem Brennstoffzellenmodul
Lösungen für eine nachhaltige Mobilität

STANDORTE



20 STANDORTE, 40 INSTITUTE UND EINRICHTUNGEN SOWIE RAUMFAHRTMANAGEMENT UND PROJEKTTRÄGER

Augsburg

- Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie
- Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik
- Institut für Robotik und Mechatronik
- Institut für Systemdynamik und Regelungstechnik
- Institut für Test und Simulation für Gasturbinen

Berlin

- Institut für Antriebstechnik
- Institut für Fahrzeugkonzepte
- Institut für Methodik der Fernerkundung
- Institut für Optische Sensorsysteme
- Institut für Planetenforschung
- Institut für Verkehrsforschung
- Institut für Verkehrssystemtechnik
- DLR Projektträger

Bonn

- Raumfahrtmanagement
- DLR Projektträger
- Projektträger Luftfahrtforschung und -technologie

Braunschweig

- Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik
- Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik
- Institut für Flugführung
- Institut für Flughafenwesen und Luftverkehr
- Institut für Flugsystemtechnik
- Institut für Verkehrssystemtechnik
- Flugexperimente
- Simulations- und Softwaretechnik

Bremen

- Institut für Methodik der Fernerkundung
- Institut für Raumfahrtsysteme

Bremerhaven

- Institut für den Schutz maritimer Infrastrukturen

Köln

- Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik
- Institut für Antriebstechnik
- Institut für Flughafenwesen und Luftverkehr
- Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin
- Institut für Materialphysik im Weltraum
- Institut für Solarforschung
- Institut für Technische Thermodynamik
- Institut für Werkstoff-Forschung
- Raumflugbetrieb und Astronautentraining
- Simulations- und Softwaretechnik
- DLR Projektträger

Dresden

- Institut für Softwaremethoden zur Produkt-Virtualisierung

Göttingen

- Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik
- Institut für Aeroelastik
- Institut für Antriebstechnik

Hamburg

- Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin
- Lufttransportsysteme
- Institut für Instandhaltung und Modifikation
- Institut für Systemarchitekturen in der Luftfahrt

Jena

- Institut für Datenwissenschaften

Jülich

- Institut für Solarforschung

Lampoldshausen

- Institut für Raumfahrtantriebe
- Institut für Technische Physik

Neustrelitz

- Institut für Kommunikation und Navigation
- Institut für Methodik der Fernerkundung
- Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum

Oberpfaffenhofen

- Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme
- Institut für Kommunikation und Navigation
- Institut für Methodik der Fernerkundung
- Institut für Physik der Atmosphäre
- Institut für Robotik und Mechatronik
- Institut für Systemdynamik und Regelungstechnik
- Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum
- Flugexperimente
- Raumflugbetrieb und Astronautentraining

Oldenburg

- Institut für Vernetzte Energiesysteme

Stade

- Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik

Stuttgart

- Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie
- Institut für Fahrzeugkonzepte
- Institut für Solarforschung
- Institut für Technische Physik
- Institut für Technische Thermodynamik
- Institut für Verbrennungstechnik

Trauen

- Institut für Antriebstechnik

Weilheim

- Raumflugbetrieb und Astronautentraining

IMPRESSUM

Herausgeber
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR)
Linder Höhe, 51147 Köln, DLR.de
Telefon: 02203 601-0, E-Mail: info@DLR.de

Gestaltung
CD Werbeagentur GmbH, 53842 Troisdorf, www.CDonline.de

Druck
Meinders & Elstermann GmbH & Co. KG, 49191 Belm
www.me-druckhaus.de

Drucklegung
Januar 2019

Fotos
Seite 2: gettyimages/jpique,
Seite 5, linkes Foto: DLR/T. Bourry/ESA,
Seite 6: gettyimages/loveguli,
Seite 9, links: OHB,

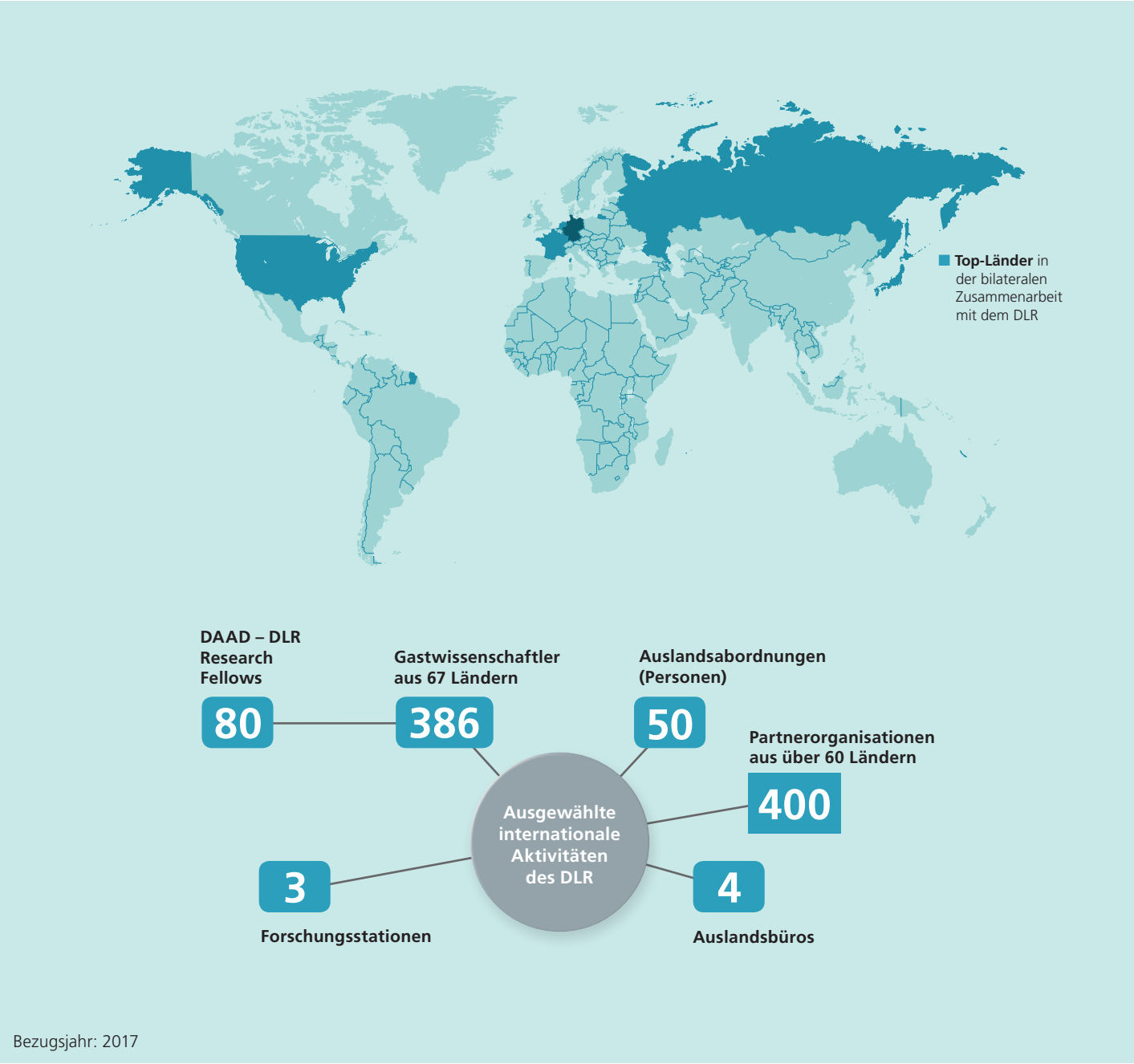
Seite 10: iStock/nadla,
Seite 12, links oben: Fotolia/zapp2photo,
Seite 14: Adobe Stock/your123,
Seite 15: ESO,
Seite 16, zweites von links: gettyimages/Nikada,
Seite 17, rechts oben: Goh Rhy Yan
Seite 18: gettyimages/ bob van den berg photography,
Seite 20, rechts unten: DLR/Hauschild (CC-BY 3.0),
Seite 21, zweites von rechts: DLR/IDBerlin,
alle anderen: DLR, NASA

Nachdruck nur mit Zustimmung des Herausgebers und Quellen-
angabe. Die in den Texten verwendeten weiblichen und männli-
chen Bezeichnungen gelten jeweils für alle Geschlechter.



Gedruckt auf umweltfreundlichem, chlorfrei gebleichtem Papier.

WELTWEITE FORSCHUNGSKOOPERATION





DLR Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages