

## WIND AN!

DER DLR-FORSCHUNGSPARK  
WINDENERGIE WIVALDI

### Weitere Themen:

- ▶ **EINE KLEINE PROBE ZUKUNFT**  
Prescreening beschleunigt die Zulassung alternativer Treibstoffe
- ▶ **WELCH SCHÖNHEIT!**  
Mission Mars Express:  
20 Jahre DLR-Stereokamera

## Das DLR im Überblick

Das DLR ist das Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Wir betreiben Forschung und Entwicklung in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie und Verkehr, Sicherheit und Digitalisierung. Die Deutsche Raumfahrtagentur im DLR ist im Auftrag der Bundesregierung für die Planung und Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten zuständig. Zwei DLR Projektträger betreuen Förderprogramme und unterstützen den Wissenstransfer.

Global wandeln sich Klima, Mobilität und Technologie. Das DLR nutzt das Know-how seiner 55 Institute und Einrichtungen, um Lösungen für diese Herausforderungen zu entwickeln. Unsere 10.000 Mitarbeitenden haben eine gemeinsame Mission: Wir erforschen Erde und Weltall und entwickeln Technologien für eine nachhaltige Zukunft. So tragen wir dazu bei, den Wissens- und Wirtschaftsstandort Deutschland zu stärken.

## Impressum

DLRmagazin – Das Magazin des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt

Herausgeber: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)

Redaktion: Andreas Schütz (V.i.S.d.P.), Julia Heil (Redaktionsleitung), Michael Müller

Kommunikation  
Linder Höhe, 51147 Köln  
Telefon 02203 601-2116  
E-Mail [info-dlr@dlr.de](mailto:info-dlr@dlr.de)  
Web [DLR.de](http://DLR.de)  
Instagram [@germanaerospacecenter](https://www.instagram.com/germanaerospacecenter)

Druck: AZ Druck und Datentechnik GmbH, 87437 Kempten  
Gestaltung: bplust agenturgruppe GmbH, Am Kabellager 11–13, 51063 Köln, [bplust.de](http://bplust.de)  
ISSN 2190-0094

Online lesen:  
[DLR.de/dlr-magazin](http://DLR.de/dlr-magazin)

Onlinebestellung:  
[DLR.de/magazin-abo](http://DLR.de/magazin-abo)

Kontakt:  
[Magazin@dlr.de](mailto:Magazin@dlr.de)

Nachdruck nur mit Zustimmung des Herausgebers und Quellenangabe.  
Die fachliche Richtigkeit der Beiträge verantworten die Autorinnen und Autoren.

Bilder: DLR (CC BY-NC-ND 3.0), sofern nicht anders angegeben.



Gedruckt auf umweltfreundlichem, chlorfrei gebleichtem Papier.



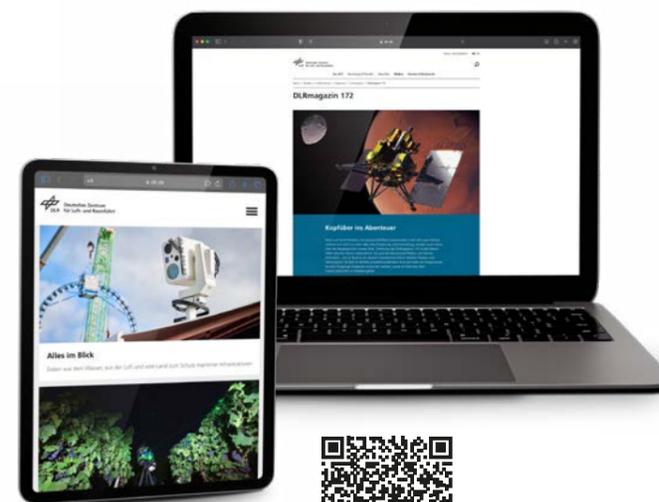
## IN EIGENER SACHE

Wenn Sie in der letzten Zeit auf unserem Internetportal [DLR.de](http://DLR.de) unterwegs waren, haben Sie vielleicht einige Veränderungen festgestellt: Wir haben einen neuen „Look-and-feel“ eingeführt. Dadurch wurde die Website im Sinne der besseren Nutzbarkeit optisch entschlackt und gleichzeitig durch neue Funktionen aufgewertet.

Dies gilt auch für die Darstellung des DLRmagazins. Dessen neuer Online-Auftritt bietet eine Reihe neuer Möglichkeiten mit Mehrwert für Sie. Von der Übersichtsseite aus sind die einzelnen Artikel der Ausgabe einfach anwählbar, Sie müssen also nicht mehr durch das PDF „blättern“. In den Online-Artikeln finden Sie neben den Texten und Bildern der Printausgabe auch Videos und Animationen zum tieferen „Eintauchen“ in die teils komplexen Themen. Alle Bilder und Grafiken aus dem Magazin sind mit einem Klick zum Download verfügbar.

Natürlich können Sie auch nach dem Relaunch das DLRmagazin als PDF herunterladen oder die Printausgabe abonnieren. Wenn Sie jedoch auf die gedruckte Ausgabe verzichten und das Magazin in Zukunft ausschließlich online lesen möchten, können Sie sich gerne unter [DLR.de/dlr-magazin](http://DLR.de/dlr-magazin) für den DLRmagazin-Newsletter anmelden. Dieser informiert Sie, sobald eine neue Ausgabe erscheint.

Ob online oder in gedruckter Form – wir wünschen Ihnen viel Freude mit dem neuen DLRmagazin!



Online-Ausgabe des DLRmagazins 173 unter: [s.dlr.de/dlrmagazin-173](http://s.dlr.de/dlrmagazin-173)

## Liebe Leserinnen und liebe Leser,

„Opus“ steht in der Musik für das Werk einer Künstlerin oder eines Künstlers. Die Anlage, die den Titel des DLRmagazins 173 ziert, trägt ebenfalls diesen Namen. Und sie ist mehr als ein herkömmliches Windrad: Von den Fundamenten bis zu den Blattspitzen ist sie mit zahlreichen Sensoren ausgestattet. Mit den Daten dieser Sensoren möchten die DLR-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler unter anderem untersuchen, wie die „Klänge“ zukünftiger Windkraftanlagen reduziert beziehungsweise vermieden werden können. Deshalb ist OPUS 1 auch nicht allein. Die Anlage ist Teil des neuen DLR-Forschungsparks Windenergie. Er trägt passenderweise den Namen WiValdi, die Abkürzung für Wind Validation. Fachleute aus Wissenschaft und Industrie können hier im Originalmaßstab mit einem bisher unerreichten Detailgrad unter realen Umweltbedingungen forschen. Ziel ist es, die Windenergie mit all ihren Einflussfaktoren besser zu verstehen.

Neben der Windenergieforschung enthält dieses neueste „Opus“ des DLRmagazins viele weitere spannende Beiträge, die unter anderem das Megathema Umweltverträglichkeit aus unterschiedlichen Perspektiven beleuchten: Der Artikel über das sogenannte Prescreening beschreibt ein Verfahren, mit dem unsere Fachleute die Bestandteile von synthetischen Kerosinalternativen analysieren können.

Um den Schutz von Gewässern vor weiterer Vermüllung geht es im Artikel über die Plastikpiraten-Initiative des DLR Projektträgers: Europaweit sammeln Schülerinnen und Schüler Abfälle aus Bächen, Seen und Flüssen. Ihre Aufzeichnungen erweitern das Verständnis darüber, welche Arten von Abfällen ins Ökosystem gelangen und wie diese sich geografisch verteilen. Mehr für die Umwelt zu tun, ist auch einer der zentralen Aspekte des Nachhaltigkeitsgedankens, der am DLR in den letzten Jahren verstärkt Einzug gehalten hat. Im Interview mit Prof. Dr.-Ing. Anke Kaysser-Pyzalla, unserer Vorstandsvorsitzenden, und ihrem Stellvertreter Klaus Hamacher erfahren Sie Weiteres.

Auch für dieses Heft haben wir keine Mühe – auch hierfür steht das lateinische Wort „Opus“ – gescheut, damit Sie die folgenden Seiten wieder mit Freude und Erkenntnisgewinn lesen können.

Viel Vergnügen wünscht

Ihre Redaktion



WIND AN!

8



WAS GEHT MIT 5G?

20



RICHTIG SCHNELLE KNOTEN

40



WELCH SCHÖNHEIT!

34



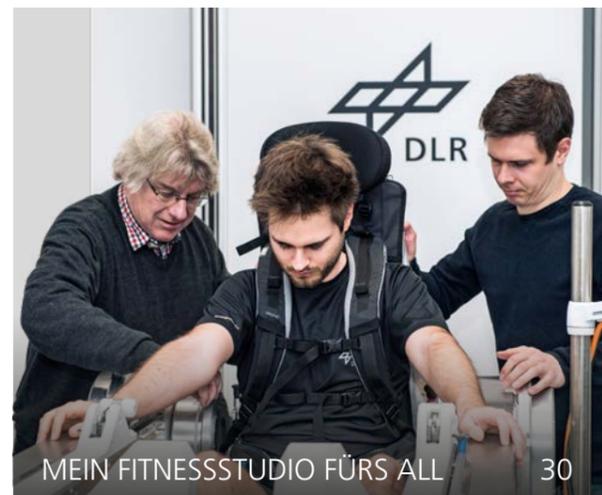
NACHHALTIG FORSCHEN –  
FORSCHEN FÜR DIE NACHHALTIGKEIT

24



WIE EIN „EI“ INS ROLLEN KAM

52



MEIN FITNESSSTUDIO FÜRS ALL

30



EINE KLEINE PROBE ZUKUNFT

14

<b>MELDUNGEN</b>	6
▶ <b>WIND AN!</b> Der DLR-Forschungspark Windenergie WiValdi	8
▶ <b>EINE KLEINE PROBE ZUKUNFT</b> Prescreening beschleunigt die Zulassung alternativer Treibstoffe	14
<b>EINBLICK</b> Geschmeidig wie Schlangenhaut	18
<b>WAS GEHT MIT 5G?</b> Im Reallabor untersuchte das DLR neue Technologien	20
<b>NACHHALTIG FORSCHEN – FORSCHEN FÜR DIE NACHHALTIGKEIT</b> Einblick in einen spannenden Balanceakt	24
<b>HEISSES SALZ</b> Forschung an solarthermischen Kraftwerken	28
<b>MEIN FITNESSSTUDIO FÜRS ALL</b> Trainingsgeräte für Weltraumreisen im Test	30
<b>MELDUNGEN</b>	33
▶ <b>WELCH SCHÖNHEIT!</b> Mission Mars Express: 20 Jahre DLR-Stereokamera	34
<b>DIE MARSIANERIN</b> Im Gespräch mit einer Planetenforscherin	38
<b>RICHTIG SCHNELLE KNOTEN</b> Wie Supercomputer Forschungsprojekte unterstützen	40
<b>DER ERSTE SEINER ART</b> Die DLR Quantencomputing-Initiative	44
<b>SCHUTZ STATT SCHMUTZ</b> Die Plastikpiraten erforschen Müll an und in Gewässern	48
<b>FASZINIERENDE REISE IN DIE WELT DER INFORMATIK</b> Besuch im Heinz Nixdorf MuseumsForum	50
<b>AUS DEM ARCHIV</b> Wie ein „Ei“ ins Rollen kam	52
<b>FEUILLETON</b>	55



Assistenzsysteme können auch bei der Kollisionsvermeidung unterstützen.

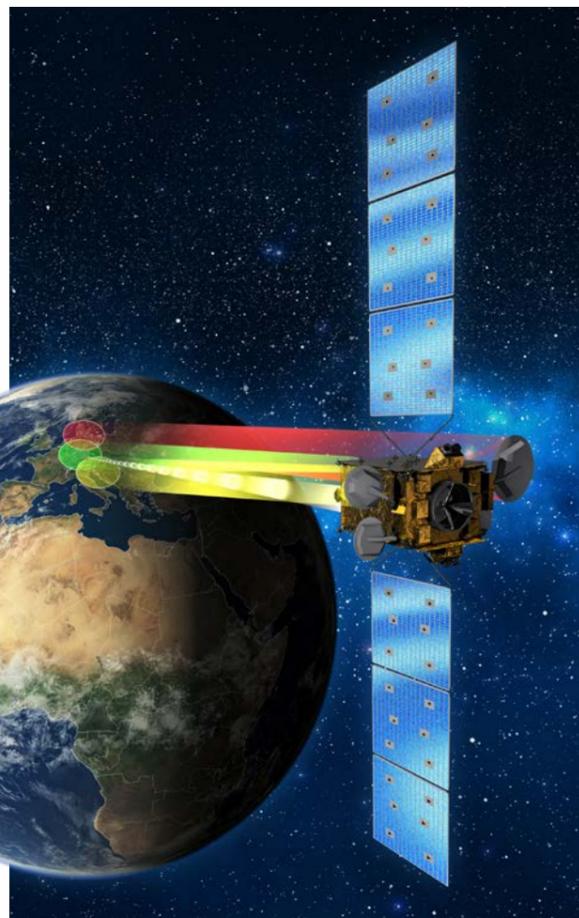
## AUTONOMES FAHREN AUF DEM WASSER

Durch das global wachsende Verkehrsaufkommen auf See steigt die Bedeutung autonomer und automatisierter Systeme. Die Entwicklung und Erforschung solcher Systeme stehen im Mittelpunkt der Forschungsarbeiten des DLR-Instituts für Systems Engineering für zukünftige Mobilität. Ein Beispiel ist das Testfeld eMIR (e-Maritime Integrated Reference Platform). Mit ihm können hochautomatisierte Assistenzsysteme erforscht und getestet werden. Ein weiteres Beispiel ist der Anlegeassistent SmartKai. Die „Einparkhilfe“ für Schiffe hat bereits in diversen Live-Tests überzeugt und kann zukünftig in schwer einsehbaren Hafenbereichen zum Einsatz kommen. Aktuell sind die DLR-Forschenden mit Firmen im Gespräch, um aus dem Projekt ein Spin-off zu gründen.

## MIT HEINRICH HERTZ NEUE KOMMUNIKATIONSTECHNOLOGIEN TESTEN

Die Ansprüche an Kommunikationssatelliten wachsen so rasant, wie die weltweite Kommunikation zunimmt. Daher müssen diese mit sehr viel leistungsfähigeren Technologien arbeiten. Die Heinrich-Hertz-Mission soll unter anderem neue Technologien für die Satellitenkommunikation auf ihre Weltraumtauglichkeit testen. Die Bedingungen, unter denen die Technik im Weltall funktionieren muss, sind sehr anspruchsvoll: Sie ist extremer Hitze und Kälte, Vakuum und Schwerelosigkeit ausgesetzt. Die Heinrich-Hertz-Mission wird von der Deutschen Raumfahrtagentur im DLR in Bonn im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) und unter Beteiligung des Bundesministeriums der Verteidigung (BMVg) geführt. Die Mission startete im Juli vom europäischen Weltraumbahnhof Kourou in Französisch-Guyana an Bord einer Ariane-5-Rakete. Dieser 117. Ariane-Flug war gleichzeitig der letzte dieses Trägersystems. Die Rakete hatte sich in den vergangenen 27 Jahren zu einer der zuverlässigsten und sichersten Trägerraketen entwickelt.

Der deutsche Kommunikationssatellit Heinrich Hertz soll rund 15 Jahre lang in einer Höhe von 36.000 Kilometer um die Erde kreisen.



OHB System AG

## REGIONALMELDUNGEN:

**BERLIN:** Die DLR\_Startup Factory unterstützt und fördert Gründungsteams und begleitet sie auf ihrem Weg von der Geschäftsidee bis zur Etablierung im Markt. Dabei werden Ausgründungen in einem mehrstufigen Prozess eng begleitet und gefördert.

**BRAUNSCHWEIG:** Das Forschungsflugzeug ISTAR (In-Flight Systems and Technologies Airborne Research) hat schon über 400 Flugmanöver absolviert. Dabei messen neuartige Sensoren, wie sich das Flugzeug bei speziellen Flugmanövern verhält. Mit den Ergebnissen entwickelt das DLR den digitalen Zwilling des ISTAR weiter.

**COTTBUS:** In der HepCo-Versuchshalle wird das DLR-Institut für Elektrifizierte Luftfahrtantriebe eine Vielzahl von Prüfständen errichten. HepCo steht für Hybrid Electric Propulsion Cottbus. Antriebskomponenten elektrischer

sowie hybridelektrischer Flugzeugantriebe sowie gesamte Antriebsarchitekturen sollen hier unter realen Bedingungen getestet werden.

**ESSEN:** Der Wasserstoff-Hub H<sub>2</sub>UB vernetzt Forschungseinrichtungen, Unternehmen und Start-ups, um Wasserstoffaktivitäten zu fördern. Das DLR, das am H<sub>2</sub>UB beteiligt ist, ist in vielen Bereichen der Wasserstoffforschung aktiv – von der Herstellung bis zur Nutzung. Mit der Erfahrung aus mehreren Jahrzehnten arbeiten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler daran, Wasserstoff bedarfsgerecht für Gesellschaft und Wirtschaft umfassend nutzbar zu machen.

**KÖLN:** Prof. Dr. Meike Jipp wurde vom DLR-Senat zur Bereichsvorständin für Energie und Verkehr berufen. Die Diplom-Psychologin ist Professorin für Verkehrsnachfrage und -wirkungen an der Technischen Universität Berlin und im DLR Direktorin des Berliner Instituts für Verkehrsforschung.

**LEUNA:** Das DLR hat den Chemiepark Leuna in Sachsen-Anhalt als Standort für die Technologie-Plattform PTL (TPP) ausgewählt. Die Forschungsanlage soll einen entscheidenden Beitrag dazu leisten, zeitnah strombasierte Kraftstoffe – auch Power-to-Liquid-Kraftstoffe (PtL) oder e-SAFs (Sustainable Aviation Fuels) genannt – in industriellem Maßstab herzustellen. Dazu wird das DLR dort mit Unternehmen und weiteren Forschungseinrichtungen die dafür notwendigen großtechnischen Technologien und Verfahren entwickeln und testen. Geplanter Baubeginn ist Januar 2024.

### DLR.DE: MELDUNGEN AUF UNSERER WEBSITE

Alle Meldungen können in voller Länge und mit Bildern oder auch Videos online im News-Archiv eingesehen werden.

[DLR.de/meldungen](https://www.dlr.de/meldungen)



Nach dem Umbau zum Flugversuchsträger wird das neu erworbene Flugzeug Dornier 328-100 Modell 20 unter anderem für die Erforschung von Wasserstofftechnologien in der Luftfahrt eingesetzt.

## EIN FLUGZEUG WIRD ZUM WASSERSTOFFLABOR

Mit dem Forschungsflugzeug D328 UpLift bekommt die DLR-Flotte Zuwachs. Die Dornier 328-100 Modell 20 soll zum fliegenden Testlabor umgebaut und zukünftig am Standort Braunschweig stationiert werden. Das Flugzeug steht technologieoffen und in seiner modularen Bauweise vielen interessierten Partnern zur Verfügung – gerade auch kleinen und mittleren Unternehmen sowie Start-ups ohne eigene Möglichkeit für Flugtests. Auf diese Weise können Antriebs-, Treibstoff- und Systemtechnologien für die Dekarbonisierung der Luftfahrt schnell und unter realen Flugbedingungen erprobt werden. So wird die Entwicklung dieser Technologien maßgeblich beschleunigt. Die Beschaffung, Umrüstung und Nutzung als fliegendes Testlabor für die Erforschung von Wasserstofftechnologien in der Luftfahrt sind Teil des Projekts UpLift.

## TERRABYTE ANALYSIERT GLOBALE ERDBEOBACHTUNGSDATEN

Gemeinsam mit dem Leibniz-Rechenzentrum (LRZ) der Bayerischen Akademie der Wissenschaften hat das DLR im Juli terrabyte in Betrieb genommen – eine der größten wissenschaftlichen Plattformen zur Analyse von Erdbeobachtungsdaten Europas. Sie ermöglicht es Forschenden erstmals, globale Datensätze von Erdbeobachtungssatelliten in höchster Auflösung effizient auszuwerten. Die Rechnerplattform ist mit dem Satellitendatenarchiv des Deutschen Fernerkundungsdatenzentrums am DLR verbunden. Es stellt circa 50 Petabyte Speicherplatz für aktuelle und über fünf Jahrzehnte gesammelte Erdbeobachtungsdaten zur Verfügung. CPU- und GPU-Ressourcen der neuesten Generation ermöglichen den reibungslosen Ablauf in der Cloud-Umgebung. Welches Potenzial in der Big-Data-Analyse von Erdbeobachtungsdaten steckt, zeigen globale Produkte wie der World Settlement Footprint des DLR. Dieser Datensatz beinhaltet die Entwicklung der besiedelten Flächen unseres Planeten. Erzeugt wurde die Karte aus vielen Petabyte Daten der Copernicus- und Landsat-Missionen sowie dem globalen digitalen Höhenmodell der TanDEM-X-Mission.



Tausende von Satelliten umkreisen den blauen Planeten. Mit terrabyte können erstmals globale Erdbeobachtungsdaten in höchster Auflösung analysiert werden.

# WIND AN!

Der DLR-Forschungspark Windenergie WiValdi ermöglicht Wissenschaft im Originalmaßstab

von Denise Nüssle

**Windkraft war laut dem Statistischen Bundesamt 2022 bereits die zweitwichtigste Energiequelle für die Stromerzeugung. Um die Energiewende zu schaffen, soll sie umfassend ausgebaut werden. Das bedeutet mehr, aber auch bessere Anlagen. Ob Effizienz, Wirtschaftlichkeit oder Geräuschkentwicklung – durch Forschung kann die Windkraft noch wesentliche Fortschritte machen.**

In Krummendeich, einer kleinen Gemeinde an der Niederelbe zwischen Cuxhaven und Stade, stehen idyllisch zwischen Feldern und Obstbäumen gelegen seit Mai 2023 zwei Windenergieanlagen des DLR: OPUS 1 und OPUS 2 recken sich 150 Meter in den Himmel. Sie befinden sich in guter Gesellschaft, denn im vorwiegend aus Westsüdwest kommenden Wind drehen sich in der Umgebung bereits mehrere Windräder. Sie nutzen die oft steife Brise, um erneuerbaren Strom zu erzeugen. Auf den ersten Blick unterscheiden sich die beiden DLR-Anlagen nicht sehr von ihren Nachbarn. Doch aus der Nähe wird klar: Hier ist einiges anders, angefangen von den vielen schwarzen Punkten, die sich in Abschnitten über die Rotorblätter verteilen und Messmarkierungen für optische Sensoren sind. Dazu kommen Messmasten, angestrichen in leuchtendem Rot. Die dritte Windenergieanlage OPUS 3 und ein weiterer Messmast sind in Planung, die Leitwarte schon im Bau. Zusammen bilden sie ein ganz besonderes Ensemble: den DLR-Forschungspark Windenergie WiValdi.

## Windenergie als Ganzes besser verstehen und optimieren

Das DLR hat den Forschungspark mit dem Forschungsverbund Windenergie (FVWE) und der Industrie geplant und umgesetzt. Der Name WiValdi steht für Wind Validation und beschreibt das Ziel der Forschenden: Sie wollen auf Basis wissenschaftlicher Methoden möglichst exakt herausfinden und bestätigen, also validieren, was mit der Luft passiert, wenn diese mit dem Wind durch die Anlagen des Forschungsparks gewirbelt wird. Dazu schauen sich die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler über einen längeren Zeitraum ein breites Spektrum an Strömungsvorgängen an, das von der Atmosphäre bis hin zur kleinsten Verwirbelung rund um die Rotorblätter reicht.

## Feldforschung – live, vor Ort und in voller Größe

„WiValdi ermöglicht uns erstmals, Wissenschaft im Originalmaßstab unter realen Umweltbedingungen zu betreiben und so die Windkraft als Ganzes mit all ihren Einflussfaktoren besser zu verstehen“, beschreibt Jan Teßmer das Projekt. Er leitet die DLR-Einrichtung Windenergieexperimente, die den Aufbau und Betrieb des Forschungsparks verantwortet. Das DLR kann so Technologien entwickeln, um die Effizienz, Wirtschaftlichkeit und Akzeptanz der Windenergie weiter zu steigern – gemeinsam



*„WiValdi ermöglicht uns erstmals, Wissenschaft im Originalmaßstab unter realen Umweltbedingungen zu betreiben und so die Windkraft als Ganzes mit all ihren Einflussfaktoren besser zu verstehen.“*

**Dr. Jan Teßmer**

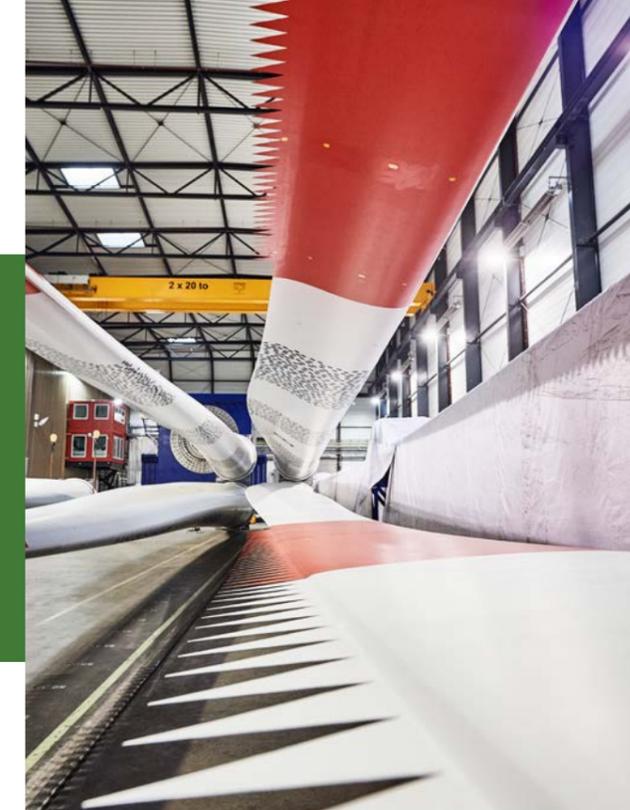
Leiter DLR-Einrichtung Windenergieexperimente

mit Unternehmen und weiteren Forschungseinrichtungen, denen das Testfeld in Krummendeich ebenfalls offensteht. Beim Aufbau des Forschungsparks arbeitet das DLR eng mit Enercon, einem der führenden Hersteller im Bereich Windenergie, zusammen. Von dort stammen auch die beiden großen Windenergieanlagen OPUS 1 und OPUS 2. Beide haben eine Nennleistung von 4,26 Megawatt.

Auch in Zukunft werden die großen Windenergieanlagen in kommerziellen Parks nicht fundamental anders aussehen als heute. „Trotzdem ist die Windenergie weit davon entfernt, ‚ausgeforscht‘ zu sein. Im Gegenteil: Wir stehen bei vielen Fragen erst am Anfang“, ist Dr. Michaela Herr vom DLR-Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik überzeugt. Dort leitet sie die neugegründete Abteilung Windenergie und arbeitet seit Jahren vor allem im Bereich der Aeroakustik. Darunter versteht man Geräusche, die aerodynamisch erzeugt werden. Das ist der Fall, wenn Bauteile um- oder durchströmt werden – wie etwa die Rotorblätter von Windenergieanlagen.

## Leistungstark, aber leise

In der Diskussion um die Windkraft sind die durch Windenergieanlagen entstehenden Geräusche oft ein kritischer Punkt, vor allem für die Anwohnenden. Laut einer Umfrage des Meinungsforschungsinstituts Forsa aus dem Jahr 2022 ist die Akzeptanz für mehr Windenergie an Land mit rund 80 Prozent bereits hoch. Angesichts des geplanten umfangreichen Ausbaus in den nächsten Jahren ist es wichtig, dass



Diese gezackten Hinterkanten an den Rotorblättern nennt man Serrations. Sie reduzieren den Schall.



Vor der Montage wurden alle sechs Rotorblätter von den Fachleuten des DLR-Instituts für Aeroelastik dynamisch vermessen. Außerdem wurde ein Blatt in Zusammenarbeit mit Fraunhofer IWES statisch getestet.



Zwischen Feldern und Obstbäumen liegt der DLR-Forschungspark Windenergie WiValdi an der Niederelbe.



Dr. Yves Govers vom DLR-Institut für Aeroelastik überprüft die Messmarkierungen auf einem der Rotorblätter.

das so bleibt. Aktuell beträgt die Gesamtleistung der Windenergieanlagen an Land knapp 60 Gigawatt. Bis Ende 2030 soll sie auf 115 Gigawatt steigen.

Was den Schall betrifft, gibt es bereits viele Möglichkeiten, diese Emissionen weiter zu verringern. Schon heute ist der Einsatz sogenannter Serrations Standard. Das sind gezackte Hinterkanten an den Rotorblättern – wie man sie auch bei den beiden großen Anlagen OPUS 1 und 2 des Forschungsparks WiValdi sehen kann. Diese Serrations reduzieren den Schall dort, wo er entsteht. Auch bei der Anlagenregelung gibt es einiges an Spielraum, wenn es darum geht, im Betrieb leiser und effizienter zu werden. Genau diesen Aspekten will DLR-Forscherin Michaela Herr mit ihrem Team auf die Spur gehen. Wie lästig man Lärm empfindet, hängt von der Lautstärke ab, aber auch von der Art und Charakteristik des Schalls. Zum Beispiel stört der zeitlich schwankende Schall von sich drehenden Rotorblättern mehr als ein gleichmäßiges Rauschen. „Mit WiValdi können wir unmittelbar vor Ort und über einen längeren Zeitraum untersuchen, wie sich das Wetter und andere örtliche Gegebenheiten auf die Entstehung und Ausbreitung des Schalls auswirken. Gleichzeitig erfassen wir die Leistung der Anlagen und weitere wichtige Parameter“, beschreibt Michaela Herr das Vorhaben. „So können wir bessere Modelle entwickeln und für neue Windenergiestandorte individuelle Analysen erstellen. In Zukunft können dann neue Windparks bereits in der Planungsphase so ausgelegt und Anlagen so zueinander positioniert werden, dass sie unter den gegebenen Bedingungen möglichst effizient, langlebig und leise betrieben werden können.“



Die Rotorblätter sind 57 Meter lang und wiegen jeweils etwa 20 Tonnen.

### Willkommen im Reich der Sensoren und der Messtechnologie

Von den Fundamenten im Erdreich bis zu den Blattspitzen in 150 Meter Höhe sind alle Komponenten von WiValdi mit zahlreichen Sensoren ausgestattet. Diese messen zum Beispiel Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit, Drücke oder selbst kleinste Verformungen der Rotorblätter. Sie erzeugen so einen Datenschatz von bisher unerreich-



Für die Versuche hängte das Testteam die Rotorblätter nacheinander mit Gummiseilen an einen Kran. Dafür kamen am vorderen und hinteren Ende der Blätter jeweils 500 Seile zum Einsatz, wie man sie vom Bungee-Jumping kennt. Dann wurden die Blätter mit einem speziellen Rüttelgerät oder mit Hammerschlägen in Schwingung versetzt. Durch diese spezielle Aufhängung konnten die Forschenden die natürliche Schwingung des Blattes ohne den Einfluss von Umweltbedingungen bestimmen.



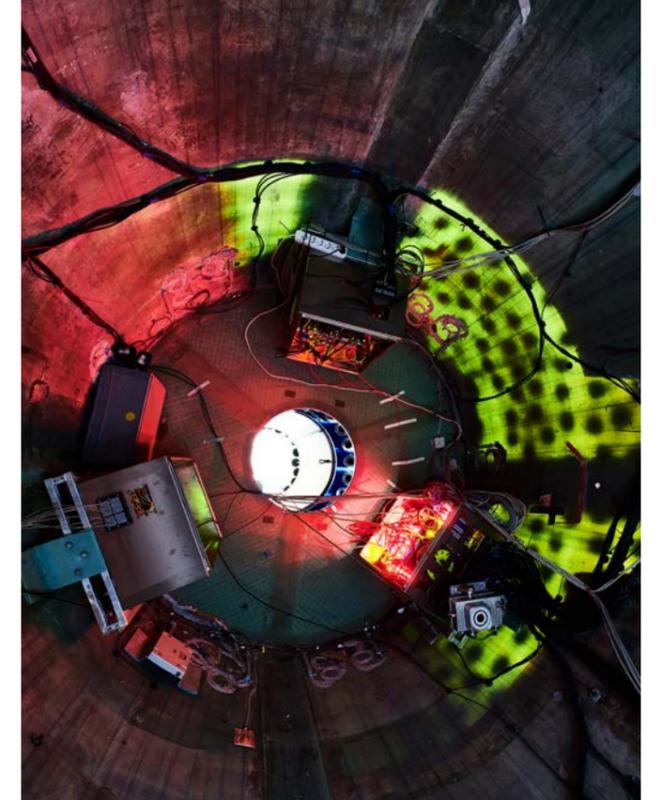
tem Detaillierungsgrad. Forschende weltweit haben sich bereits bei den Kolleginnen und Kollegen des DLR gemeldet, um Einblick in diese einmalige und ständig größer werdende Sammlung zu bekommen.

Allein in den sechs Hightech-Rotorblättern sind rund 1.500 Sensoren verbaut. Sie ermöglichen es erstmals, das Schwingungs- und Belastungsverhalten einer Windenergieanlage im Realmaßstab und Praxisbetrieb umfassend wissenschaftlich zu untersuchen. „Große und leichte Blätter sind gut für die Effizienz, werden aber gleichzeitig sehr elastisch und flexibel. Sie biegen sich durch und schwingen unter Windlast. Damit sind neue technische Herausforderungen verbunden, die wir uns genau anschauen müssen“, erklärt Dr. Yves Govers vom DLR-Institut für Aeroelastik. Gemeinsam mit dem DLR-Institut für Systemleichtbau sowie der zum Zentrum für Windenergieforschung ForWind gehörenden Universität Hannover stattete sein Team die Rotorblätter bereits während der Produktion mit Sensoren aus. „Die Sensoren kann man sich wie das menschliche Nervensystem vorstellen. Sie sammeln Informationen, überwachen und geben Hinweise, wo Probleme auftauchen könnten“, sagt Dr. Lutz Beyland vom Institut für Systemleichtbau. Zum Beispiel können mechanische Belastungen und Materialermüdung frühzeitig erkannt und Konstruktionsweise wie Anlagensteuerung optimiert werden. Vor dem Anbringen der Sensoren trainierte das Team alle Handgriffe im DLR-Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie in Stade.

Auch in Krummendeich starteten schon vor Beginn der Bauarbeiten erste wissenschaftliche Messkampagnen. Mit einem optischen, laserbasierten Messgerät (Lidar) ermittelte das DLR-Institut für Physik der Atmosphäre Informationen zu Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Turbulenzen vor Ort. Dieser Datensatz dient als Vergleichswert. So können etwaige Veränderungen durch die Windenergieanlagen im lokalen Wetter nachgewiesen werden. Eine ebenfalls wichtige Referenz ist die akustische Standortbewertung durch das DLR-Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik.

### Bauprojekt ahoi! – WiValdi wächst

Mit dem Start der Bauarbeiten im Frühjahr 2021 begann eine spannende und gleichzeitig herausfordernde Zeit. In den Händen des dreiköpfigen Teams der DLR-Einrichtung für Windenergieexperimente liefen sämtliche Fäden des Großprojekts zusammen: von der Planung des Forschungsparks über die Koordination von Prozessen und Gewerken bis hin zur Kommunikation mit den Bürgerinnen und Bürgern der umliegenden Gemeinden.



In den Rotorblättern der beiden Windenergieanlagen sind rund 1.500 Messsensoren verbaut.



Im DLR-Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie in Stade testet das DLR-Team die Installation der Sensoren an den Rotorblättern.



Das Lidar am Boden erfasst den Wind in bis zu 2.000 Meter Höhe. Das Mikrowellenradiometer misst Temperatur und Luftfeuchte bis in 10 Kilometer Höhe.

Die DLR-Forschenden Dr. Jakob Klassen und Lukas Firmhofer sowie ihr Chef Jan Teßmer mussten sich dazu in teilweise neue Fachgebiete einarbeiten und die lokalen Gegebenheiten kennenlernen. Zu berücksichtigen gab es beispielsweise die besonderen Voraussetzungen des Bauens auf dem in Küstennähe vorherrschenden weichen Marschboden, oder Maßnahmen zum Schutz der umliegenden Obstplantagen vor Boden-erosion. „Für uns war das etwas ganz Besonderes, weit weg von den Aufgaben im wissenschaftlichen Alltag“, fassen der Gesamt-Projektleiter Dr. Jakob Klassen und Lukas Firmhofer vom Aufbauteam zusammen. Neben viel Begeisterung für die Windenergie forderte das Projekt auch gute Nerven: Es kam zu Verzögerungen im Bauablauf durch die Corona-Pandemie und den Fachkräftemangel. Um die Menschen vor Ort über das Projekt zu informieren und die Fortschritte erlebbar zu machen, führte das Team im Internet ein Baustellen-Tagebuch und organisierte Baustellenbesuche sowie Informationsveranstaltungen.

Im April 2022 wuchs der erste Messmast in die Höhe. Er steht am westlichen Eingang zum Forschungspark, ist 150 Meter hoch und mit über 100 Sensoren bestückt. So kann er den einströmenden Wind vom Boden bis zur Rotorblattspitze vermessen. Ende 2022 folgte das sogenannte Messmasten-Array. Diese Konstruktion verbindet drei Messmasten: zwei 100 Meter hohe außen und einen 150 Meter

Von links: Prof. Dr.-Ing. Anke Kaysser-Pyzalla, DLR-Vorstandsvorsitzende, Falko Mohrs, Minister für Wissenschaft und Kultur des Landes Niedersachsen, Dr. Robert Habeck, Vizekanzler und Wirtschaftsminister, Prof. Dr. Karsten Lemmer, DLR-Vorstandsmitglied und verantwortlich für den Bereich Innovation, Transfer und wissenschaftliche Infrastrukturen, Dr. Michaela Herr, Leiterin der Abteilung Windenergie im Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik, sowie Dr. Jan Teßmer, Leiter der DLR-Einrichtung Windenergieexperimente.



hohen in der Mitte. Sie tragen vor allem Sensoren, die auf Entwicklungen der ForWind-Partner der Universität Oldenburg basieren.

Sie bestimmen genau, wie der Wind durch die erste Anlage verwirbelt wird, bevor er auf die zweite trifft. „Dabei geht es ganz schön holprig zu. Man kann sich das wie ein Kopfsteinpflaster vorstellen, über das die Luft wehen muss, wobei sie ordentlich durchgeschüttelt wird“, beschreibt DLR-Forscher Jan Teßmer. Über den Jahreswechsel begannen die Arbeiten für die Fundamente der Windenergieanlagen und im Frühling 2023 erfolgte die Anlieferung weiterer Komponenten wie Turmsegmente, Gondel und Generator. In der containerförmigen Gondel befinden sich alle elektrischen Komponenten der Windenergieanlage. Auf dem Dach der Gondel ist ein Lidar-System installiert. Es vermisst den einströmenden und hinter dem Rotor wieder austretenden Wind.

#### Montage der Hightech-Rotorblätter

Im April und Mai 2023 war es endlich so weit: Die sechs Rotorblätter waren bereit für die Montage, genauso wie alle Beteiligten vom DLR-Team über die Kranführer und Einweiser am Boden bis hin zu den Per-

sonen, die in der Rotornabe die Blätter in Empfang nahmen und sie mit jeweils mehr als 50 Bolzen festzogen. Bevor es jedoch losgehen konnte, musste einiges an Wartezeit überstanden werden. Denn das Heben und Montieren der 57 Meter langen und 20 Tonnen schweren Blätter mit einem Großkran konnte nur bei ruhigen Windverhältnissen erfolgen. Betrug die Windgeschwindigkeit mehr als sechs Kilometer pro Stunde, was an der Küste oft der Fall ist, hieß es abwarten. Fasste das Montageteam den Entschluss loszulegen, musste es fix gehen. Hing ein Blatt einmal am Haken, gab es kein Zurück mehr. Am frühen Nachmittag des 13. Mai 2023 war das Werk vollbracht und auch OPUS 2 strahlte fertig montiert im fröhlichen Sonnenschein.

#### Alles auf einer Linie: der spezielle Aufbau

Noch ist das WiValdi-Ensemble nicht komplett: OPUS 3, die dritte Windenergieanlage, und der fünfte Messmast werden voraussichtlich im Laufe des Jahres 2024 fertiggestellt. Die Planungsarbeiten, Ausschreibungen und Vorbereitungen dafür sind in vollem Gange. Doch schon jetzt ist gut zu erkennen, dass Aufbau und Zusammensetzung des Forschungsparks einzigartig sind: Alle Komponenten stehen in der Hauptwindrichtung hintereinander. Kommerzielle Windparks würde man heute so nicht planen, weil die zweite Anlage genau im Nach-

lauf – also im Windschatten – der ersten steht. Sie muss dort mit schwächerem Wind und sehr verwirbelter Luft zurechtkommen. Genau das haben die Forschenden beabsichtigt: So können sie untersuchen, wie eng man Anlagen in Zukunft positionieren, vorhandenen Platz besser nutzen und trotzdem noch eine möglichst hohe Effizienz erzielen kann. Simulationen, die mithilfe der in WiValdi gesammelten Daten entstehen, können diese Fragestellungen beantworten und Kommunen als Grundlage dienen, wenn es darum geht, Flächen für die Windkraft auszuweisen. Eine wichtige Unterstützung, denn durch das „Wind-an-Land-Gesetz“ sind alle Bundesländer verpflichtet, bis 2032 zwei Prozent ihrer Fläche für Windenergie zur Verfügung zu stellen. Außer auf dem Bau neuer Anlagen soll der Fokus beim Ausbau der Windkraft auf „Repowering“-Maßnahmen liegen. Darunter versteht man, alte durch neue, leistungsstärkere und effizientere Anlagen zu ersetzen. Auch hier können neue Forschungsergebnisse und Technologien, wie sie mit WiValdi entstehen, weiterhelfen.

#### Einmal durchatmen und weiter geht's

Schon wenige Tage nach der Montage von OPUS 1 und OPUS 2 ging die Arbeit des Teams in Krummendeich weiter. In enger Zusammenarbeit mit dem Anlagenhersteller Enercon starteten die Vorbereitungen für die Inbetriebnahme. Das DLR-Institut für Flugsystemtechnik sorgt dafür, dass die Infrastruktur von WiValdi fit für die Forschung ist, und koordiniert, dass alle wissenschaftlichen Beiträge zusammenlaufen. Zum Beispiel arbeitet Projektleiter Dr. Henrik Oertel mit seinen Kolleginnen und Kollegen daran, dass am Ende alle Daten im synchronisierten Datenmanagement-System landen und den Nutzenden des Forschungsparks zur Verfügung stehen. Im laufenden Probetrieb werden nun alle Anlagen und Installationen auf ihr Zusammenspiel überprüft. Zwischendurch stattete Robert Habeck, Bundesminister für Wirtschaft und Klimaschutz, dem Forschungspark einen Besuch ab, gefolgt von der offiziellen Einweihung von WiValdi am 15. August 2023 mit Partnern und Gästen aus Politik, Wirtschaft, Administration und der Anwohnerschaft. Parallel starteten erste Forschungsprojekte und die Auswertung der bisher gesammelten Messdaten. Projektanträge wurden geschrieben und eingereicht und erste Anfragen zu gemeinsamen Versuchen mit Industrieunternehmen gesichtet.

Den ersten Strom speiste die Anlage OPUS 1 probeweise Anfang August ins Netz ein. OPUS 2 folgte wenige Wochen später – ein weiterer Meilenstein für das WiValdi-Team und

ein Vorgeschmack auf die kommenden rund zwanzig Jahre, in denen der Forschungspark neben einzigartigen wissenschaftlichen Erkenntnissen auch einen Beitrag zur nachhaltigen Energieversorgung leisten soll.

Denise Nüssle ist Presseredakteurin im DLR.

#### KONZERT DER DISZIPLINEN:

Der Bereich Windenergie ist im DLR interdisziplinär aufgestellt und profitiert auch vom Know-how insbesondere der Luftfahrt und vom Austausch mit ihr. Dabei gilt, ähnlich wie in der Musik: Einzelne Instrumente klingen zwar schön, aber erst zusammen im Konzert mit anderen entfalten sie ihre volle Wirkung. Innerhalb des DLR betreibt die Einrichtung Windenergieexperimente am Standort Braunschweig den Forschungspark Windenergie WiValdi. Sie koordiniert außerdem die Windenergieforschung im DLR, zu der insbesondere die DLR-Institute für Aerodynamik und Strömungstechnik, Aeroelastik, Flugsystemtechnik, Physik der Atmosphäre sowie Systemleichtbau beitragen.

#### Gemeinsam erfolgreich: die WiValdi-Partner

Im Forschungsverbund Windenergie (FVWE) hat das DLR den Forschungspark entwickelt und errichtet. Der FVWE bündelt das Know-how von rund 600 Forschenden, um Impulse für die Energieversorgung der Zukunft zu geben. Er besteht aus drei Beteiligten: dem DLR, dem ForWind – Zentrum für Windenergieforschung der Universitäten Oldenburg, Hannover und Bremen sowie dem Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme (IWES).

Gefördert wird WiValdi vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) sowie vom Niedersächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kultur. In den Aufbau des Forschungsparks fließen rund 50 Millionen Euro.



Mitte März wurden der Generator, das über 70 Tonnen schwere Maschinenhaus und die Rotorblätter für die Windenergieanlage OPUS 1 angeliefert. Der Transport der drei über 60 Meter langen Schwertransporter dauerte zwei Nächte. Zahlreiche Straßen mussten temporär gesperrt werden und Schilder, Laternen und Leitpfosten den Spezialfahrzeugen weichen. Im Mai 2023 wurde OPUS 2 montiert.

Bei der Montage der Anlagen darf kein starker Wind wehen. Ist die Entscheidung zum Aufbau einmal getroffen, muss alles ganz schnell gehen. In kürzester Zeit wurden die Blätter an OPUS 2 montiert.

# EINE KLEINE PROBE ZUKUNFT

Prescreening beschleunigt die Zulassung alternativer Treibstoffe

von Anja Tröster



DLR / NASA / Friz

In der ECLIF-Kampagne untersuchten Forschende von DLR und NASA den Abgasstrahl von Flugzeugen. Links fliegt die DC-8 der NASA, daneben der A320 ATRA des DLR.

hilfe von eigens entwickelter Machine-Learning-Modelle. „Sie sind der eigentliche Schlüssel zum Erfolg“, sagt der Ingenieur Dr. Uwe Bauder. „Die Modelle helfen uns, die Eigenschaften zuverlässig vorherzusagen, die aus der Zusammensetzung des Treibstoffs resultieren.“

Die Entwicklung des Prescreenings – auch Technical Fuel Assessment genannt – war ein Meilenstein auf dem Weg zur Marktreife nachhaltiger Treibstoffe. Das Testverfahren ist der Zulassung vorangestellt. Es verhindert, dass Herstellerfirmen Millionen von Euro in den Aufbau einer Produktion für Testchargen von Hunderttausenden Litern investieren müssen, um dann womöglich festzustellen, dass sie einen Treibstoff produzieren, der nicht zulassungsfähig ist. Die Idee des Prescreenings sei 2017 im EU-Projekt Jetscreen entstanden, sagt Dr. Bastian Rauch, der bis Ende Juni als Gruppenleiter für nachhaltige Treibstoffe am Institut tätig war. Er hat das EU-Projekt koordiniert. Zu diesem Zeitpunkt war die Bewertung eines Treibstoffs nur mit aufwändigen Tests in Brennkammern möglich, wie sie am Institut für Verbrennungstechnik auch betreut werden. Dafür hätten sie damals allerdings mindestens 200 Liter benötigt, wie Rauch sich erinnert. Für Firmen, die einen Treibstoff entwickeln sowie eine Produktion aufbauen müssen und deshalb nur wenige Milliliter pro Tag oder gar Woche produzieren können, war diese Anforderung bereits eine große Hemmschwelle.

## Ein effektives Testverfahren aus Stuttgart

In Stuttgart kam man deshalb damals auf die Idee, ein einfaches, aber effektives Testverfahren zu entwickeln und es dem Zulassungsprozess voranzustellen – das Prescreening. Weil zeitgleich auch Josh Heyne im US National Jet Fuels Combustion Program an diesem Problem arbeitete, entschloss man sich, zusammenzuarbeiten. Von dem Erfolg dieser Kooperation profitieren alle Beteiligten noch heute.

Aus dem Projekt heraus wurde in Stuttgart die SimFuel-Datenbank aufgebaut, die inzwischen die Daten von mehr als 15.000 konventionellen Jet-Treibstoffen sowie mehr als 450 neuartigen Treibstoffen und zahlreiche Analysen der wichtigsten Molekülgruppen dieser Kandidaten enthält. Nicht wenige dieser neuen Treibstoffe stammen aus Forschungsprojekten, die ihre Daten zur Verfügung gestellt haben. „Diese Datenbank ist ein wahrer Schatz“, sagt Uwe Bauder, dessen Team an den Machine-Learning-Modellen arbeitet. „Sie ermöglicht es uns, die Methoden und Modelle beständig weiterzuentwickeln und den Treibstoff-, aber auch Triebwerksherstellern immer detaillierteres Feedback zu geben.“

Dazu setzen die DLR-Fachleute selbstlernende Algorithmen ein, um experimentelle Untersuchungen der chemischen Analytik miteinander zu koppeln. Das Team von Uwe Bauder optimierte für die Vorhersage der wichtigsten Stoffeigenschaften eine Serie von Machine-Learning-Modellen. Diese Modelle werden mit den Daten aus der SimFuel-Datenbank trainiert. Anschließend werden sie dazu benutzt, die Eigenschaften eines neuen Kandidaten auf Grundlage der detaillierten Gaschromatografie-Ergebnisse vorherzusagen. Die Visualisierung der Ergebnisse in speziell entwickelten, aufwändigen Diagrammen lässt auf den ersten Blick erkennen, welches Verhalten ein Treibstoff später zeigen wird – und vor allem, ob diese Eigenschaften inner- oder außerhalb der von der Zulassungsbehörde vorgegebenen Grenzen liegen.

Im Analyselabor des DLR-Instituts für Verbrennungstechnik in Stuttgart untersucht Dr. Kathrin Großmann neuartige Treibstoffe.

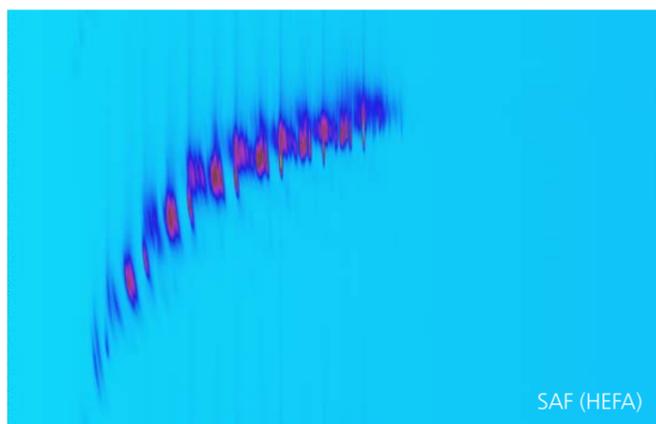
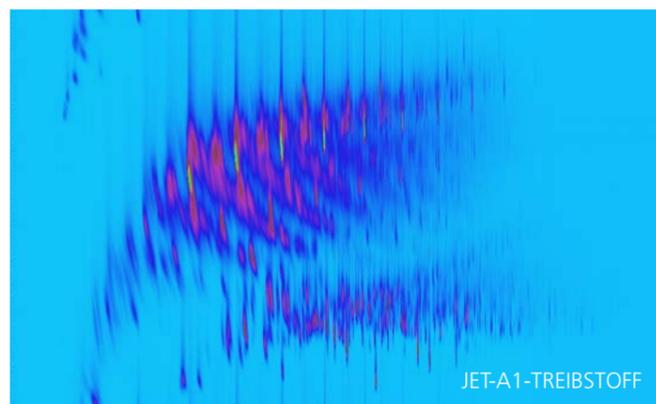
**W**as haben neuartige Treibstoffe für die Luftfahrt und guter Wein gemeinsam? Sie sind vielfältiger und bestehen beide aus mehr Bestandteilen, als den meisten Menschen klar ist – und schon kleinste Abweichungen können alles verderben. Aus diesem Grund haben Forschende am DLR-Institut für Verbrennungstechnik in Stuttgart ein Testverfahren für neuartige Treibstoffe entwickelt, das sogenannte Prescreening. Dank modernen chemischen Analyseverfahren, wie sie auch für Wein verwendet werden, genügt schon weniger als ein Milliliter, um den Treibstoff zu charakterisieren – bevor er mit modernen Machine-Learning-Verfahren detailliert bewertet wird.

Wenn Hannes Lüdtkke einen neuen Treibstoff untersuchen will, greift er nicht zum Zapfhahn oder zum Kanister. Der Doktorand nimmt sich stattdessen eine Pipette und füllt den Treibstoff in Braunglasfläschchen ab. Diese sind halb so lang wie sein kleiner Finger. Die kleine Röhre im Inneren fasst 300 Mikroliter – gerade mal ein Sechstel eines handelsüblichen Röhrchens Backaroma. Das Injektionsvolumen ist noch kleiner: ein Mikroliter. Anhand dieser winzigen Menge der klaren, fast geruchlosen Flüssigkeit kann der Chemiker die Zusammensetzung des Treibstoffs molekulgenau erfassen. „Wir nutzen dazu die zweidimensionale Gaschromatografie. Das ist eine leistungsstarke Methode, mit der sich so komplexe Flüssigkeiten wie Kraftstoffe anhand minimaler Proben analysieren lassen“, sagt Lüdtkke.

## Kraftstoffe im Profil

Allerdings reicht dieser Schritt noch nicht aus, um zu erfahren, ob sich der Treibstoff für den sicheren Betrieb des Flugzeugs eignet. Dazu müssen die Forschenden auch das Verhältnis der Stoffgruppen zueinander bestimmen. Erst daraus ergibt sich – ähnlich wie bei einem Wein der Geschmack – das Profil an Eigenschaften. Entscheidend für die Zulassung sind beispielsweise Viskosität, Dichte, Verhalten bei niedrigen Temperaturen und Wiederzündfähigkeit in großen Höhen. Um die Eigenschaften zu bestimmen, untersuchen die Forschenden am Institut für Verbrennungstechnik die Ergebnisse aus der Gaschromatografie mit-





Diese beiden Chromatogramme zeigen, wie sehr sich Sustainable Aviation Fuels (SAF; hier ein HEFA oder Hydroprocessed Esters and Fatty Acids) in ihrer Zusammensetzung von einem klassischen JET-A1-Treibstoff unterscheiden können. Im HEFA fehlen vor allem die zyklischen Kohlenwasserstoffe (Aromaten) und Schwefel, die bei der Verbrennung Ruß bilden. Die Reduzierung der Aromaten verringert die Rußbildung. In der Folge bilden sich bei Flügen mit SAF in der Atmosphäre weniger Eiskristalle – also auch weniger Wolken.

In den vergangenen Jahren hat das Stuttgarter Team viel Erfahrung in der Bewertung neuartiger Treibstoffe gesammelt. Viele Forschungsprojekte ließen Proben ihrer Entwicklungen am Institut analysieren und konnten mit dem Feedback ihre Verfahren optimieren. Die Bewertung zahlreicher Treibstoffe, Brennkammerversuche und die Zusammenarbeit mit anderen DLR-Instituten haben gezeigt, dass die Vorhersage im Prescreening tatsächlich treffend ist.

#### International gefragt

Pro Jahr nutzen inzwischen etwa vier bis sechs Herstellerfirmen die Chance, ihre Entwicklungen im DLR in Stuttgart testen zu lassen. Ihre Produktionspfade sind dabei äußerst unterschiedlich. Zu den Kunden des Instituts zählen Start-ups, die auf das Fischer-Tropsch-Verfahren setzen, bei dem mithilfe der Elektrolyse Treibstoffe gewonnen werden. Ein Beispiel ist Ineratec, das bisher erfolgreichste Start-up aus Deutschland. Mit der Ausgründung des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) arbeitet das DLR-Team in zahlreichen Projekten zusammen. Andere Start-ups setzen auf Bio-

masse als Ausgangsstoff, wie X-Fuel mit Sitz in Dublin und Produktion auf Mallorca. Aber auch große Konzerne wie Nestle und OMV optimieren ihre Neuentwicklungen mit dem Prescreening-Prozess. Die Beispiele zeigen, was für eine enorme Bandbreite an technischen Lösungen unter dem Begriff Sustainable Aviation Fuels (SAF) zusammengefasst wird.

„Für alle Herstellerfirmen war das Prescreening-Verfahren eine wertvolle Hilfe“, sagt Uwe Bauder, „weil es ihnen Korrekturen am Produkt und am Produktionsprozess in einem sehr frühen Stadium ermöglichte.“ Eine Garantie für die erfolgreiche Zulassung gebe das Verfahren zwar nicht, schränkt Bauder ein. Aber das Prescreening habe die Chancen auf eine erfolgreiche Zulassung der Treibstoffkandidaten deutlich verbessert.

Im Augenblick ist die American Society for Testing and Materials (ASTM) mit Sitz in Pennsylvania, USA, die einzige Organisation weltweit, die alternative Kraftstoffe zulassen kann, und zwar sowohl biobasierte als auch strombasierte Treibstoffe. Sie beteiligt an dem Prozess die Herstellerfirmen aller Flugzeugkomponenten, die mit einem Treibstoff in Berührung kommen – und das sind nicht wenige. Deshalb muss jedes dieser Unternehmen einen Treibstoffkandidaten im Rahmen der Zulassung testen. Würde jedes Land eine eigene Zulassungsstelle betreiben, wäre das ein unüberschaubarer Aufwand. Deshalb hat man sich darauf geeinigt, die Tests an einer Zulassungsstelle zu bündeln. Bis heute ist das DLR die einzige Forschungseinrichtung in Deutschland, die solch einen Zulassungsprozess erfolgreich umsetzen kann.

Allerdings versuchen große Unternehmen mit ausreichenden Kapazitäten laut Bastian Rauch inzwischen das Prescreening bei sich selbst zu etablieren – und aus seiner Sicht ist das auch gut so. „Denkt man Technologietransfer zu Ende, ist das der nächste logische Schritt in der Entwicklung.“

#### Weg von fossilen Vorbildern

Seit der allerersten Zulassung einer Fischer-Tropsch-Herstellungsrouten im Jahr 2009 hat sich also viel getan. Das ist nicht zuletzt dem Prescreening zu verdanken. Anfangs, sagt Dr. Patrick Le Clercq, Abteilungsleiter am DLR-Institut für Verbrennungstechnik, habe man versucht, das Kerosin so genau wie möglich zu imitieren. Jeder neue Treibstoff musste sich am JET A1 messen lassen, dem verbreitetsten Turbinentreibstoff. Inzwischen denken sowohl Forschende als auch Herstellerfirmen viel freier – und die Vorstellung, wie ein Treibstoff auszusehen hat, orientiert sich zunehmend an den Herausforderungen der Zukunft statt am fossilen Vorbild aus der Vergangenheit.



Im ECLIF-Projekt war das DLR-Forschungsflugzeug A320 ATRA mit verschiedenen Kraftstoffmischungen unterwegs.



2018 arbeiteten die DLR-Forschenden bei der ECLIF-Kampagne zum ersten Mal mit einem selbst designten Treibstoff.

Dass sich das Prescreening-Verfahren auch kreativ nutzen lässt, zeigten die Forschenden aus Stuttgart in mehreren erfolgreichen ECLIF-Flugmesskampagnen. Bei diesen Testflügen, die seit 2015 durchgeführt werden, untersuchten sie mit den Kolleginnen und Kollegen des DLR-Instituts für Physik der Atmosphäre die Auswirkung synthetischer Treibstoffe auf das Klima. Dafür wurde 2018 beispielsweise Kerosin mit einem Treibstoff aus Speisefetten, einem sogenannten HEFA (Hydroprocessed Esters and Fatty Acids), in unterschiedlichen Zusammensetzungen gemischt. Der Treibstoff war damals erstmals nach den Vorstellungen der Stuttgarter Forschenden designt, mit reduziertem Aromatenanteil. Die Ergebnisse übertrafen ihre Erwartungen.

Nun will das Team um Patrick Le Clercq einen Treibstoff designen, der nahezu klimaneutral verbrennt. Uwe Bauder arbeitet gleichzeitig mit seinem Kollegen Andreas Meurer aus dem DLR-Institut für Vernetzte Energiesysteme daran, Treibstoffe und deren Herstellung als komplett digitalen Prozess zu entwerfen und zu optimieren. Patrick Le Clercq will im nächsten Schritt nicht nur den Treibstoff neu denken, sondern parallel dazu auch die Triebwerke. Von dieser Co-Optimierung zusammen mit Triebwerksherstellern verspricht er sich große Fortschritte.

Tatsächlich bieten die synthetischen Treibstoffe eine große Chance: Die Ergebnisse der Forschungsflüge im Rahmen der ECLIF-Flugkampagnen zeigten erstmals, dass durch die Reduktion der Aromaten weniger Rußemissionen und dadurch weniger Kondensstreifen entstehen. Diese Einsparung könnte sich auf bis zu 80 Prozent erhöhen – und weil die Nicht-CO<sub>2</sub>-Effekte den größten Teil der Klimawirkung der Luftfahrt ausmachen, wäre hier eine Re-

duktion besonders effektiv. Das gilt vor allem dann, wenn sie in den entscheidenden nächsten Jahren greift. Deshalb ist ein schneller Markthochlauf wichtig. Mit dem Aufbau der Technologieplattform Power-to-Liquid TPP leistet das DLR einen wichtigen Beitrag zur Einführung. Die Anlage wird im Chemiapark Leuna in Sachsen-Anhalt aufgebaut. Sie soll voraussichtlich ab Dezember 2026 im semi-industriellen Maßstab strombasierte Treibstoffe für Forschungszwecke produzieren und dabei den Weg für industrielle Herstellerfirmen bereiten. Gleichzeitig können Forschende dort in einem experimentellen Produktionszweig neue Ideen testen.

Wenn Patrick Le Clercq abends eine gute Flasche französischen Rotwein entkorkt, den Wein dekantiert und sich ein Glas einschenkt, dann denkt er nicht selten an die vielen offenen Fragen seiner Forschungsprojekte – und daran, dass in einem guten Treibstoff mindestens genauso viel Arbeit steckt wie in einem guten Wein.

Anja Tröster ist für die Öffentlichkeitsarbeit am DLR-Institut für Verbrennungstechnik verantwortlich.



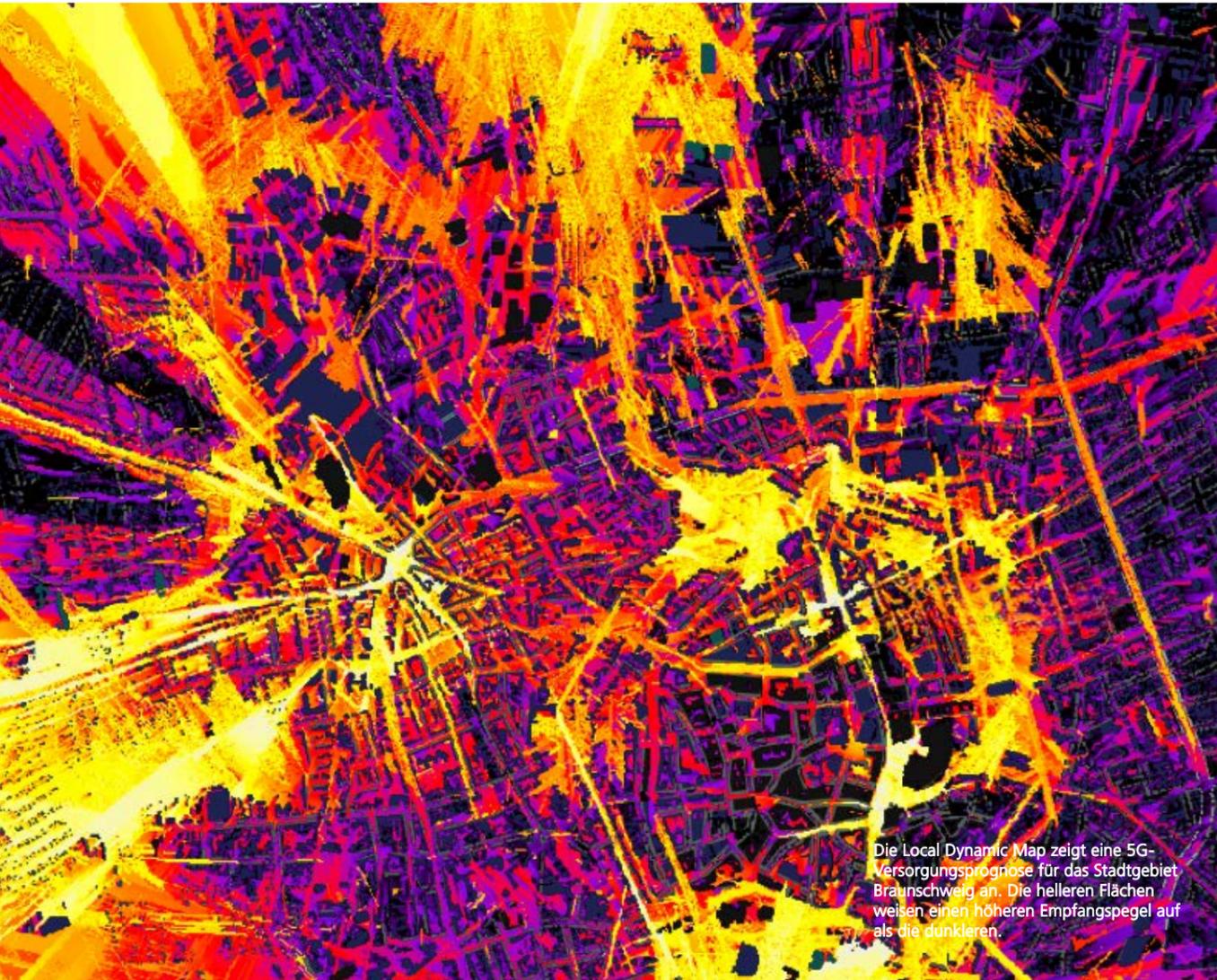
Dr. Patrick Le Clercq (links), Leiter der Abteilung Mehrphasenströmung und Alternative Treibstoffe am DLR-Institut für Verbrennungstechnik und Dr. Uwe Bauder, Leiter der SimFuel-Entwicklung, im Gespräch.



# GESCHMEIDIG WIE SCHLANGENHAUT

Was in diesem Bildausschnitt wirkt wie eine Nahaufnahme aus dem Tierreich, ist in Wirklichkeit eine Triebwerkschaufel aus carbonfaserverstärktem Kunststoff. Sie ist Teil des vom DLR entwickelten CRISP-Triebwerkverdichters. CRISP steht für Counter Rotating Integrated Shrouded Propfan – also einen gegenläufigen, ummantelten Rotor. Er vereint die Vorzüge von offenen und geschlossenen Antrieben: reduzierter Kraftstoffverbrauch und gesteigerte Effizienz bei gleichem oder reduziertem Lärmniveau im Vergleich zu einem konventionellen Turbofan.

Die jüngste CRISP-Messkampagne wurde Anfang 2023 erfolgreich abgeschlossen. In der Auswertung der strukturmechanischen Messergebnisse zeigte sich ein ruhiges Betriebsverhalten der Schaufeln. An dem Projekt waren neben dem DLR-Institut für Antriebstechnik das Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie, das Institut für Aeroelastik, das Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik sowie das Systemhaus Technik des DLR beteiligt.



Die Local Dynamic Map zeigt eine 5G-Versorgungsprognose für das Stadtgebiet Braunschweig an. Die helleren Flächen weisen einen höheren Empfangspegel auf als die dunkleren.

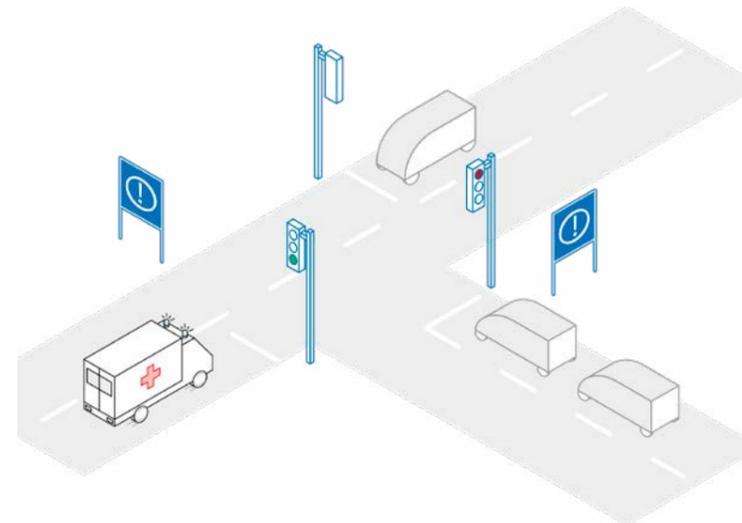
Institut für Nachrichtentechnik, TU Braunschweig

## WAS GEHT MIT 5G?

Im Reallabor untersuchte das DLR neue Technologien, basierend auf dem Mobilfunkstandard 5G

von Anna Schieben

**A**ugmented Reality, vernetzte Fahrzeuge, Telemedizin, Smarthome – alles Begriffe, die mit dem Mobilfunkstandard 5G verbunden werden. Diese fünfte Generation des Mobilfunks ermöglicht eine bis zu zehnmals schnellere Datenübertragung als LTE (4G) und damit Kommunikation in Echtzeit. Das interessiert die Forscherinnen und Forscher des DLR. Sie entwickeln Technologien für eine vernetzte Mobilität – das können intelligente grüne Wellen sein, Rettungsdrohnen oder automatisierte gesteuerte Züge. Doch bevor neue Technologien in die Anwendung kommen, müssen sie umfassend getestet werden. Dazu diente das Projekt 5G-Reallabor in der Mobilitätsregion Braunschweig-Wolfsburg, das vom DLR geleitet wurde.



Konkret erprobten die Forschenden drei Anwendungsfälle: die Verbesserung der Rettungsmobilität auf der Straße, den Einsatz einer Rettungsdrohne und eine automatisierte Zugsteuerung. In allen Anwendungsfällen wurden die Kommunikationssignale über 5G übertragen. Die geringe Latenz der Datenübertragung und die Möglichkeit, große Mengen an Informationen zu übertragen – beides Vorteile der 5G-Technologie – waren wichtige Voraussetzungen für die Szenarien. Der Vorteil eines solchen Reallabors ist, dass die Technologien direkt in der Stadt und mithilfe des öffentlichen 5G-Netzes erprobt werden können.

### Grüne Welle für Rettungskräfte

Im Teilprojekt Rettungsmobilität stattete das DLR-Team verschiedene Ampeln an Kreuzungen in Braunschweig und in Wolfsburg mit einem Empfangs- und Sendemodul aus. Nähern sich Einsatzfahrzeuge der Feuerwehr, können sich die Fahrzeuge automatisch bei den Ampeln

Im Testszenario „Grüne Welle für Rettungskräfte“ waren Fahrzeuge der Feuerwehr über 5G mit den Ampeln verbunden. Diese schalteten automatisch auf Grün, sobald sich im Test ein Feuerwehrauto nähert.



anmelden und diese schalten auf Grün, sobald ein Fahrzeug die Ampel erreicht. Sten Ruppe vom Institut für Verkehrssystemtechnik, der diesen Anwendungsfall im Projekt koordiniert, erläutert: „Die Rettungskräfte können dadurch sicher über die Kreuzung fahren. Das ist besonders wichtig im städtischen Verkehr, denn es erhöht die Sicherheit für alle Beteiligten. Außerdem können die Rettungskräfte durch die intelligente grüne Welle den Verkehr geschickt überholen und sie erreichen schneller ihren Einsatzort.“ Während des Projekts 5G-Reallabor testeten die Forschenden das System im realen Verkehr. Die Tests zeigten, dass eine solche Technologie funktioniert. „Die Mitarbeitenden der Feuerwehren unterstützen unsere Forschung, denn sie erleben im Alltag, wie groß das Risiko im Verkehr für sie selbst und andere oft ist“, ergänzt Ruppe.

Momentan arbeiten die Forscherinnen und Forscher daran, die Technologie so weiterzuentwickeln, dass auch andere Fahrzeuge sowie Personen zu Fuß oder auf dem Rad per App über einen Feuerwehreinsatz auf der Strecke informiert werden. Auch zukünftige automatisierte Fahrzeuge denken die Forschenden mit: Diese würden dann automatisch eine Rettungsgasse bilden, sobald sie über einen Einsatz informiert werden.

### DAS PROJEKT 5G-REALLABOR IN KÜRZE

#### Partnerorganisationen:

DLR (Institut für Verkehrssystemtechnik, Institut für Flugführung sowie Institut für Flugsystemtechnik), TU Braunschweig, Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen, Institut für Automation und Kommunikation, Physikalisch-Technische Bundesanstalt sowie circa 36 Unterauftragnehmer

#### Förderung:

5G-Innovationsprogramm des BMDV, 12 Millionen Euro, Laufzeit Ende 2019 bis Mitte 2023

Website: [5g-reallabor.de](https://www.5g-reallabor.de)

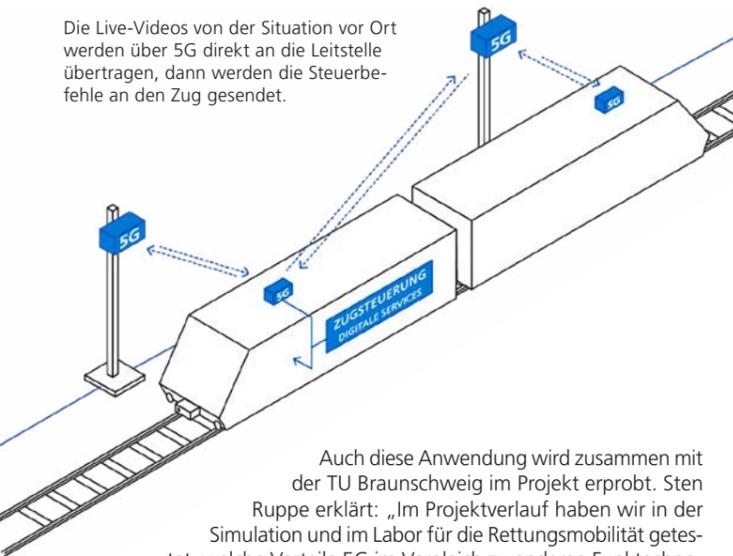




SRC/PPA/Arndt Hecker

Dieser Zug kommt ohne Lokführer oder -führerin aus: Er wird über 5G gesteuert.

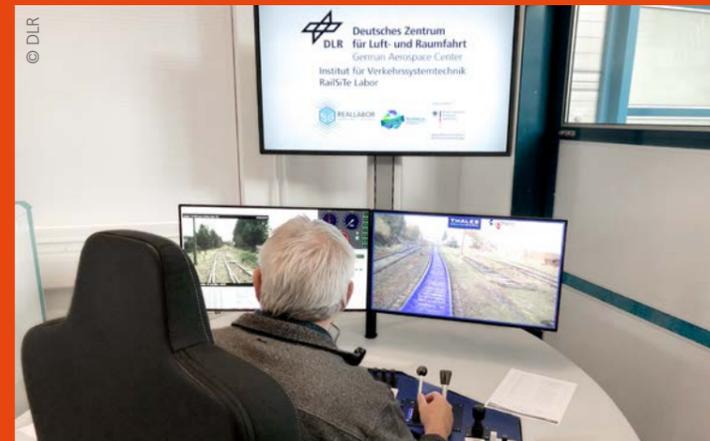
Die Live-Videos von der Situation vor Ort werden über 5G direkt an die Leitstelle übertragen, dann werden die Steuerbefehle an den Zug gesendet.



Auch diese Anwendung wird zusammen mit der TU Braunschweig im Projekt erprobt. Sten Ruppe erklärt: „Im Projektverlauf haben wir in der Simulation und im Labor für die Rettungsmobilität getestet, welche Vorteile 5G im Vergleich zu anderen Funktechnologien für den Anwendungsfall bietet und ob ein automatisiertes Fahrzeug auf Basis der Nachrichten eine Rettungsgasse bilden kann.“

### Züge im Störfall aus der Ferne steuern

Anders als beim Mobilfunkstandard LTE, oder 4G, können über 5G große Datenmengen schnell übertragen werden. Dieses Potenzial nutzten die DLR-Forscherinnen und -Forscher für ein Testscenario mit einem automatisierten und unbemannten Zug im Erzgebirge. Gesteuert wurde der Zug von einem Leitstand am DLR in Braunschweig – aus 340 Kilometer Entfernung. Hier saß ein ausgebildeter Zugführer. Niels Brandenburger, der diesen Anwendungsfall am Institut für Verkehrssystemtechnik maßgeblich koordinierte, sagt: „Eine solche Fernsteuerung ist für den automatisierten Zugbetrieb dann wichtig, wenn wir Zugriff auf gestörte Fahrzeuge erlangen wollen, um diese zu entstören oder zu bewegen. Unser Test hat gezeigt, dass die Technologie funktioniert. Das ist ein Meilenstein für den modernen Bahnbetrieb.“ Über das 5G-Netz wurden in Echtzeit Kamerabilder, Fahrbefehle und Diagnosemeldungen übertragen. Niels Brandenburger untersuchte mit seinem Team die menschliche Leistungsfähigkeit aus der arbeitspsychologischen Perspektive: „Der Zugführer steuert den Zug vor allem über die Videobilder fern, die in Braunschweig eingespielt werden. Deshalb ist es unerlässlich, dass wir große Datenmengen zuverlässig übertragen können. Wir



Der Zugführer in Braunschweig steuerte den Zug im Erzgebirge über 5G.

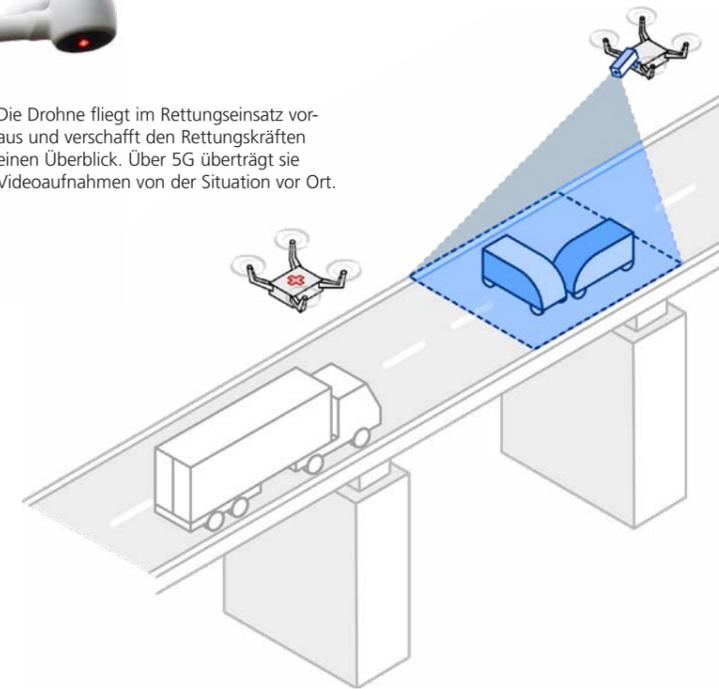
haben in mehreren Studien untersucht, bei welcher Videoqualität der Triebfahrzeugführer im Leitstand den Zug zuverlässig steuern kann“, so Brandenburger. Erste Ergebnisse dieser Studienreihe weisen auf den negativen Einfluss einer einbrechenden Bitrate sowie variierende Latenzen – besonders über 200 Millisekunden – hin. Die 5G-Kommunikationstechnologie übertraf die Anforderungen an die Geschwindigkeit der Datenübertragung im Test jedoch sogar.

### Drohne bereitet Rettungskräfte auf ihren Einsatz vor

Das DLR-Team untersuchte auch den Einsatz einer Rettungsdrohne in enger Zusammenarbeit mit der Feuerwehr Braunschweig. Diese sendete einen Video-Livestream über 5G an die Einsatzkräfte, deutlich bevor sie den Einsatzort erreichten. Die Drohne wurde von einem Leitstand am DLR in Braunschweig aus gesteuert und flog automatisch Wegpunkte ab. Sie war mit einer hochauflösenden Kamera sowie einer Wärmebildkamera ausgestattet und sendete kontinuierlich Videomaterial vom Einsatzort auf das Tablet des Einsatzleiters. Andreas Volkert, der im Institut für Flugführung arbeitet, erläutert: „Spannend war eine simulierte Wasserrettung am Allensee in Wolfsburg. Dort probte die Berufsfeuerwehr Wolfsburg mit ihrer Taucherstaffel für einen Einsatz und wir unterstützten sie mit unserer Droh-



Die Drohne fliegt im Rettungseinsatz voraus und verschafft den Rettungskräften einen Überblick. Über 5G überträgt sie Videoaufnahmen von der Situation vor Ort.



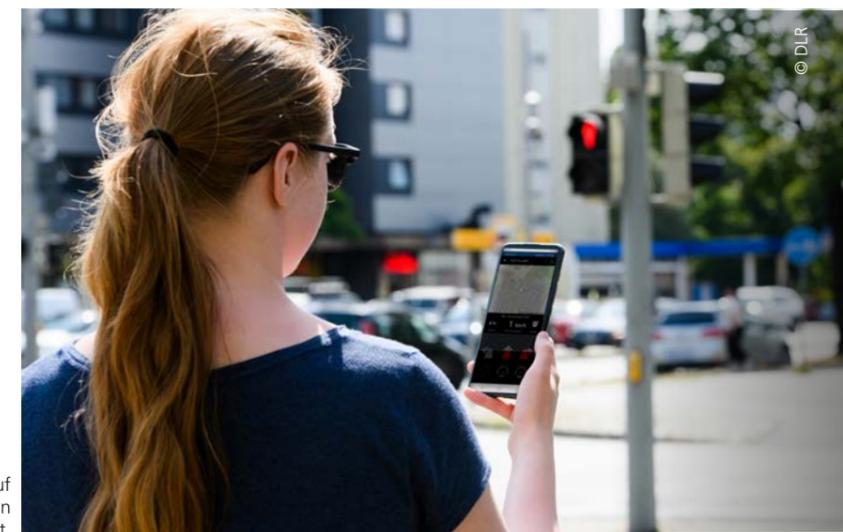
ne. Diese flog in einer Höhe von 30 Meter über dem Wasser und lieferte gestochen scharfes Videomaterial. Dadurch konnten die Einsatzkräfte die Person in Seenot viel schneller entdecken, als es von Land oder von einem Boot aus möglich gewesen wäre. Selbst als sich der ‚Badegast‘, also in unserem Fall der Taucher, in etwa drei Meter Tiefe auf dem Grund des Sees befand, konnten die Rettungskräfte ihn auf den Videos noch gut erkennen.“ Der Einsatzleiter steuerte die Kameraausrichtung während des Einsatzes über eine App. Dadurch konnte er näher heranzoomen oder andere Bildausschnitte wählen. Zudem half eine künstliche Intelligenz bei der Analyse des Bildmaterials und kennzeichnete zum Beispiel Gefahrgutschilder an Fahrzeugen. Mithilfe des Systems können die Rettungskräfte die Einsatzlage schon vor ihrem Eintreffen analysieren und wichtige Entscheidungen sehr früh treffen. Diese Minuten können im Ernstfall entscheidend sein. Aktuell prüfen die DLR-Forschenden gemeinsam mit der Feuerwehr, wie sich ein solches System in die Praxis übertragen lässt, welches Betreibermodell geeignet ist und welche weiteren Anwendungsfälle durch die Drohne abgedeckt werden können.

### Mobilitätsregion ermöglicht praxisnahe Forschung

Damit ein solches Reallabor funktioniert, ist die politisch-regionale Unterstützung unverzichtbar. Während der Laufzeit unterstützten die Städte Braunschweig und Wolfsburg die Forschenden und gewährten ihnen Zugang zu ihrer Verkehrsinfrastruktur. Das 5G-Reallabor profitierte von einer engen Verzahnung mit den bereits in der Region bestehenden Testfeldern wie dem Testfeld Niedersachsen und dem Testfeld Digitale Mobilität. Daten, die in diesen Testfeldern erhoben wurden, wurden im Rahmen des Projekts genutzt. Andersherum stellten die Forschenden die Daten aus dem 5G-Reallabor auch den Testfeldern zur Verfügung. Das waren beispielsweise präzise Karten der Teststrecke für die Rettungsmobilität. Die Städte Braunschweig und Wolfsburg stellten weitere Kartendaten, zum Beispiel zur Bebauung, bereit. Sascha Knake-Langhorst vom Institut für Verkehrssystemtechnik erklärt: „Solche statischen Daten sowie dynamische Daten, wie der Schaltzustand der Lichtsignalanlagen, werden auf einer für das Projekt aufgebauten Softwareplattform abgelegt und zwischen den unterschiedlichen Anwendungsfällen geteilt.“ Die Softwareplattform bildet die Klammer um die oben

beschriebenen Anwendungsfälle im 5G-Reallabor. So nutzte die Rettungsdrohne Daten, die im Anwendungsfall Rettungsmobilität zum Schaltzustand der Lichtsignalanlagen eingespielt wurden. Weiterhin sind auch Baustellenkarten der Städte dort hinterlegt, die sowohl von Rettungsdrohnen zur Flugplanung als auch für die Verbesserung der Rettungsmobilität zur Planung der Fahrtstrecke genutzt werden können. Nach Ende der Förderung wollen die Beteiligten das Netzwerk in der Region und die aufgebauten technischen Systeme erhalten, um das Reallabor weiterzuführen. Dies bietet die einmalige Chance, das Wissen zu erhalten und weitere 5G-Anwendungsfälle zu erforschen.

Anna Schieben arbeitet im DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik und koordinierte das Projekt 5G-Reallabor in der Mobilitätsregion Braunschweig-Wolfsburg.



Der Grüne-Welle-Assistent informiert auf dem Smartphone, ob man noch bei Grün über die Ampel kommt.



# NACHHALTIG FORSCHEN – FORSCHEN FÜR DIE NACHHALTIGKEIT

Einblick in einen spannenden Balanceakt

Interview mit Prof. Dr.-Ing. Anke Kaysser-Pyzalla und Klaus Hamacher

**F**lugzeuge, die wenig Treibstoff verbrauchen, ein Auto, dessen Bremsstaub aufgefangen wird, oder Satelliten, die erkennen, wann Äcker gedüngt werden müssen – das Thema Nachhaltigkeit spielt im DLR eine wichtige Rolle. Das gilt aber nicht nur für seine Forschungstätigkeit, sondern auch für das DLR als Unternehmen. Was Nachhaltigkeit für das DLR bedeutet und welche Aspekte von besonderer Bedeutung sind, darüber sprechen die Vorstandsvorsitzende des DLR, Prof. Dr.-Ing. Anke Kaysser-Pyzalla, und der stellvertretende Vorstandsvorsitzende, Klaus Hamacher.

**Nachhaltigkeit ist zu einem wichtigen Stichwort für Neuerungen geworden. Oft fragt man sich aber, ob überall, wo Nachhaltigkeit draufsteht, auch Nachhaltigkeit drinsteckt. Für das DLR können wir das ganz klar beantworten. Frau Kaysser-Pyzalla, was bedeutet Nachhaltigkeit im DLR?**

**Anke Kaysser-Pyzalla:** Nachhaltiges Denken und Handeln haben für uns im DLR in dreifacher Hinsicht Bedeutung. Zum Ersten für unser Handeln als Institution mit 55 Instituten und Einrichtungen an 30 Standorten und über 10.000 Beschäftigten. Zum Zweiten mit den Beiträgen, die wir mit unserer Expertise in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie und Verkehr wie auch in den Querschnittsthemen Sicherheit und Digitalisierung leisten. Und dann für die Ausrichtung unserer Forschungsthemen, mit denen wir von der Innovation über die Technologie bis hin zum Transfer in die Wirtschaft erfolgreich sein wollen.

**Herr Hamacher, Sie sind für das administrative und technische Management im DLR zuständig. Also auch für die Nachhaltigkeit der Organisation. Da geht es sicher um mehr als darum, die Heizung herunterzudrehen und das Licht auszumachen.**

**Klaus Hamacher:** Es geht selbstverständlich auch darum. Aber der Nachhaltigkeitsbegriff ist heute deutlich weiter gefasst. Das reicht von nachhaltiger Organisationsführung über nachhaltiges Personal- und Energiemanagement bis hin zu nachhaltigen Infrastrukturen – natürlich auch bei den wissenschaftlichen Infrastrukturen. Bei Neubauten achten wir zum Beispiel darauf, dass wir nachhaltig bauen. Wir nutzen Konzepte, die zu unserer Strategie von nachhaltigem Arbeiten beitragen.

**Der Betrieb der wissenschaftlichen Infrastrukturen ist mit den Forschungsaufgaben verbunden, zum Beispiel in der Luftfahrt. Das DLR forscht für eine klimaverträgliche Luftfahrt, das emissionsfreie Fliegen ist eine Vision für die Zukunft. Was macht das DLR hier genau?**

**Kaysser-Pyzalla:** Das DLR forscht am gesamten Luftverkehrssystem. Das beginnt mit der Herstellung des Luftfahrzeugs. Unsere Forscherinnen und Forscher entwickeln Designs, die möglichst wenig Treibstoff verbrauchen. Dieses beinhaltet Wartung, Reparatur, Modifikation. Es geht um Fragen der Streckenplanung, des entsprechenden Antriebssystems und der notwendigen Infrastrukturen an den Flughäfen. Und unsere Forschung betrifft die Flugrouten, insbesondere im Hinblick auf die Klimafreundlichkeit der Verkehrsführung. Die Folgen des Klimawandels und auch der Globalisierung fordern konsequentes Handeln – in der Forschung, in der Luftverkehrsindustrie und in der Luftverkehrswirtschaft.

*„Die Folgen des Klimawandels und auch der Globalisierung fordern konsequentes Handeln – in der Forschung, in der Luftverkehrsindustrie und in der Luftverkehrswirtschaft.“*

**Prof. Dr.-Ing. Anke Kaysser-Pyzalla**  
Vorstandsvorsitzende des DLR

**Das neue DLR-Forschungsflugzeug ISTAR hat seine ersten Messflüge absolviert. Der ISTAR wird zur Entwicklung von Flugzeugen, Antrieben und Assistenzsystemen beitragen. Ein digitaler Zwilling wird den ISTAR über seine gesamte Lebensdauer begleiten und ergänzen. Was haben Digitalisierung und Nachhaltigkeit miteinander zu tun?**

**Kaysser-Pyzalla:** Die Digitalisierung führt einerseits dazu, dass wir Entwicklungen deutlich beschleunigen können. Das heißt, dass wir mit neuen Flugzeugen, aber auch mit anderen Verkehrsträgern früher zu Prototypen und so mit der Industrie gemeinsam früher in den Markt kommen. Flottenerneuerungen können zügiger stattfinden. Digitalisierung bedeutet, dass die Qualität der entsprechenden Flugzeuge oder anderer Mobilitätsträger schneller besser wird – insbesondere was Kraftstoffverbräuche und Emissionen betrifft. Digitalisierung ist hier ein Enabler für den Klimaschutz.

**Die Digitalisierung spielt auch innerhalb des DLR eine zentrale Rolle. Herr Hamacher, inwiefern wird das DLR so nachhaltiger?**

**Hamacher:** Digitalisierung hat schon in den letzten Jahrzehnten zu einer erheblichen Steigerung der Effizienz von Prozessen geführt. Wenn man sich einmal 30 Jahre zurückversetzt – was wir da noch mit

Papier gemacht haben ... Da hat sich schon viel verändert. Digitalisierung spielt beim Thema neue Arbeitsformen eine große Rolle, weil wir virtuelle Formate schaffen und damit Homeoffice ermöglichen. Was man allerdings nicht außer Acht lassen darf, sind die „Abers“ der Digitalisierung. Unsere größten Energieverbraucher sind inzwischen die IT-Infrastrukturen, etwa durch High-Performance-Computer. Zum anderen muss man darauf achten, dass der Mensch beim Thema Digitalisierung weiter im Fokus bleibt.

**Kaysser-Pyzalla:** Ich denke, auf der anderen Seite schafft Digitalisierung aber auch Partizipationsmöglichkeiten für Gruppen, die sonst nicht in dem Maße die Möglichkeit haben, an der Arbeitswelt teilzuhaben.

**Durch die Möglichkeit, digitaler zu arbeiten, werden außerdem Fahrtwege der Mitarbeitenden verringert.**

**Hamacher:** Das gehört zum Thema nachhaltige Mobilität dazu. Im Bereich der dienstlichen Mobilität gilt: CO<sub>2</sub> vermeiden vor CO<sub>2</sub> verringern oder kompensieren. CO<sub>2</sub> vermeiden heißt konkret, dass wir Formate schaffen, wo virtuell zusammengearbeitet werden kann. Im Bereich der Mitarbeitenden-Mobilität entwickeln wir eine Reihe von Maßnahmen, zum Beispiel durch das Einrichten von E-Zapfsäulen an den DLR-Standorten oder indem wir Jobtickets fördern. Das ist für die Nachhaltigkeit insgesamt relevant.



Mit dem Prototyp ZEDU-1 (Zero Emission Drive Unit – Generation 1) haben das DLR und das Automobilunternehmen HWA ein Elektroauto entwickelt, das auch den Ausstoß von Feinstaub und Mikroplastik weitestgehend reduziert.

**Nachhaltige Mobilität und eine ebensolche Energiegewinnung sind auch Themen der Forschungsbereiche Verkehr und Energie. Wo stehen wir da genau?**

**Kaysser-Pyzalla:** Im Programm Verkehr beschäftigen wir uns schon lange mit nachhaltigen Verkehrsträgern, Verkehrskonzepten und Raumkonzepten. In all diesen Bereichen haben wir erfolgreiche Projekte. Ein Beispiel ist das ZEDU, das erste wirklich emissionsfreie Fahrzeug. Beim ZEDU werden auch die Emissionen durch Bremsvorgänge vollständig aufgefangen. Oder das Thema Mobilitätskonzepte im



Das DLR-Forschungsflugzeug ISTAR (In-Flight Systems and Technologies Airborne Research) ist ein fliegender Simulator. Voll ausgebaut ist er in der Lage, die Flugeigenschaften neuer Flugzeugentwürfe real oder virtuell, bemannt oder unbemannt, unter realen Betriebsbedingungen zu testen.



Auf der Évora Molten Salt Platform in Portugal forscht das DLR gemeinsam mit der Universität Évora daran, wie geschmolzenes Salz als Wärmeträgermedium in Solarkraftwerken eingesetzt werden kann. Bislang wird Öl als Wärmeträgermaterial in solchen Kraftwerken genutzt.

Sinne einer klimafreundlichen Mobilität von Tür zu Tür – das ist schon lange Teil der Projekte im Verkehrsbereich. Wir beschäftigen uns damit, wie man Räume so gestalten kann, dass sie für den Menschen lebenswert sind. Es gibt viele Projekte auf regionaler Ebene, gemeinsam mit Kommunen. Sie tragen erheblich dazu bei, unser Wissen in die Anwendung zu bringen.

**Wie Energie gewonnen werden kann, unter anderem für die urbane Mobilität, erforscht das DLR zum Beispiel im Forschungspark Windenergie. Was machen wir in Krummendeich?**

**Kaysser-Pyzalla:** Mit dem Forschungspark Windenergie untersuchen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Nutzung erneuerbarer Energie. Wir sind bereits extrem erfolgreich im Bereich der Solarenergieforschung, was das Konzept für Kraftwerke angeht. Das reicht von der Optimierung im Labor bis hin zum wirklichen Kraftwerk und zu dessen Betrieb. Wir haben ein Parabolrinnenkraftwerk in Portugal in Betrieb genommen und vor Kurzem haben wir den Windpark in Krummendeich eröffnet. Windenergie ist das zweite große Standbein der Erneuerbaren. In Krummendeich werden wir weitere Verbesserungen für die Zukunft von Windparks entwickeln. Wir erforschen, wie schnell man sich auf Veränderungen der Wetterbedingungen einstellen kann, wie



**Prof. Dr.-Ing. Anke Kaysser-Pyzalla** ist Vorstandsvorsitzende des DLR und damit die Chefin von 10.000 DLR-Mitarbeitenden. Sie hat in Bochum und Darmstadt Maschinenbau und Mechanik studiert, anschließend promovierte und habilitierte sie an der Ruhr-Universität Bochum. Anke Kaysser-Pyzalla lehrte an verschiedenen Universitäten, war Geschäftsführerin von Forschungseinrichtungen und Präsidentin der Technischen Universität Braunschweig, bevor sie 2020 als Vorstandsvorsitzende ans DLR wechselte.

man den Lärm möglichst weit reduziert, wie man Wirkungsgrade erhöht und wie man die Aufstellung der Windkraftanlagen optimiert. All das natürlich mit der Kompetenz, die wir aus der Luft- und Raumfahrt mitbringen.

**Gerade der Raumfahrt wird gelegentlich unterstellt, wenig nachhaltig zu sein. Die Veränderungen auf der Erde werden dabei aber von Satelliten aus dem Weltraum erkannt. Wie trägt die Erdbeobachtung zu einer nachhaltigen Entwicklung bei?**

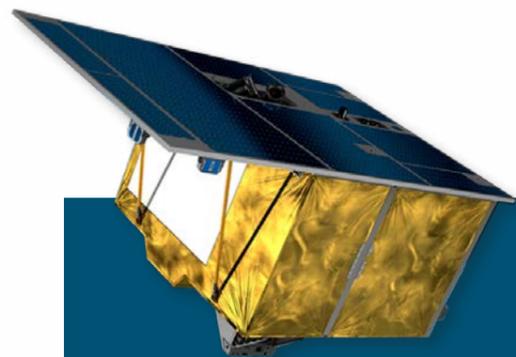
**Kaysser-Pyzalla:** Sie ist zum Beispiel für moderne Methoden der Landwirtschaft unverzichtbar geworden. Die Erdbeobachtung wird es zukünftig erlauben, landwirtschaftliche Flächen viel präziser zu bearbeiten. Das betrifft etwa das Ausbringen von Düngern, aber auch den Anbau geeigneter Pflanzen, der abhängig ist von den Bodenzusammensetzungen. Diese können wir aus dem All erkennen. Wir gehen davon aus, dass wir außerdem durch entsprechende Satellitenaufnahmen Pflanzenkrankheiten deutlich schneller bemerken können. Wir beobachten die Biomasse und werden künftig Dürren, das heißt Feuchtigkeitsmangel in den Böden, bis zu einer gewissen Tiefe präziser erkennen können.

**Herr Hamacher, innovative Ideen und neue Wege sind unerlässlich für eine nachhaltige Entwicklung. Die Forschung im DLR ist darauf ausgerichtet, drängendste Zukunftsfragen zu lösen. Ist das auch etwas, was dazu motiviert, im DLR zu arbeiten?**

**Hamacher:** Wir wissen aus Umfragen der letzten Jahre, dass das DLR zu den beliebtesten Arbeitgebern in Deutschland zählt – nicht nur bei Forschungseinrichtungen, sondern auch im Vergleich mit Unternehmen. Das gilt für den Berufseinstieg, aber ebenso bei Kolleginnen und Kollegen, die schon lange im DLR sind. Aber wir machen uns nichts vor:



**Klaus Hamacher** ist stellvertretender Vorsitzender des DLR-Vorstands. Er ist zuständig für das administrative und technische Management. Dazu zählen Personal, Finanzen, Unternehmenscontrolling, Unternehmensstrukturen, Qualitäts- und Produktsicherung, Revision und Unternehmensbeteiligungen, Großprojekte und Berufungsverfahren. Außerdem ist er zuständig für die Projektträger. Klaus Hamacher studierte Betriebswirtschaftslehre an der Universität zu Köln. Er arbeitet seit 1987 mit kurzen Unterbrechungen im DLR.



EnMAP (Environmental Mapping Analysis Program) ist die erste deutsche Hyperspektral-Satellitenmission. Mit seinen beiden Spektrometern analysiert der Satellit die von der Erdoberfläche reflektierte Sonnenstrahlung vom sichtbaren Licht bis hin zum kurzwelligen Infrarot in einer bisher nicht verfügbaren spektralen Auflösung. Das Bild zeigt den Bosphorus in der Türkei. Links ist eine Echtfarben-Darstellung zu sehen, in der Mitte werden im nahen Infrarot-Bereich Unterschiede in der Vegetation deutlich, rechts können Boden- und Gesteinsmerkmale unterschieden werden.

*„Wir haben eine Reihe von Maßnahmen entwickelt, was Work-Life-Balance, Diversity oder Familienfreundlichkeit angeht und die das DLR zu einem attraktiven Arbeitgeber machen.“*

**Klaus Hamacher**  
Stellvertretender Vorstandsvorsitzender des DLR

Wir haben eine Reihe von Maßnahmen entwickelt, was Work-Life-Balance, Diversity oder Familienfreundlichkeit angeht und die das DLR zu einem attraktiven Arbeitgeber machen. Das wird ja in den veröffentlich-

ten Studien immer gerne hervorgehoben. Aber unsere Attraktivität als Arbeitgeber liegt natürlich auch an der Faszination, die von unseren Forschungsaufgaben ausgeht. Und da sind wir wieder bei der nachhaltigen Entwicklung der Gesellschaft.

**Kaysser-Pyzalla:** Alle unsere Themen zahlen auf die großen Herausforderungen der Gesellschaft ein, sei es in wirtschaftlicher oder politischer Hinsicht. Auch Sicherheitsforschung ist aus unserer Sicht nachhaltig. Denn wir können nur nachhaltig in einem Gesellschaftssystem wie diesem leben, wenn es sich gegenüber anderen Einflüssen entsprechend zur Wehr setzen kann.

Das Interview führte **Katja Lenz**. Sie ist Presseredakteurin im DLR.

**NACHHALTIGKEIT STÄRKER IM FOKUS**

Drei Fragen an Prof. Dr. Martin Wiedemann, Vorsitzender des Wissenschaftlich-Technischen Rats (WTR) im DLR und Direktor des Instituts für Systemleichtbau.

**Herr Wiedemann, als WTR-Vorsitzender sind Sie eine Stimme der Institute und Einrichtungen im DLR. Wie richten die Institute und Einrichtungen ihre Forschung in Richtung Nachhaltigkeit aus?**

- Unsere Institute und Einrichtungen sind schon lange mit dem Thema Nachhaltigkeit verbunden. Im Forschungsbereich Energie geht es beispielsweise um die Gewinnung regenerativer Energien, im Bereich Verkehr etwa um die Optimierung von Verkehrswegen und in der Luftfahrt um Energieeffizienz. Das gilt auch für die Raumfahrt, zum Beispiel mit der Erdbeobachtung. Das sind alles Forschungsarbeiten, die der Nachhaltigkeit dienen. Aber wir haben es nicht immer explizit so genannt.

**Verändert das die Forschungsaufgaben?**

- Neue Fragen kommen dazu und es ist notwendig, diese ganzheitlich zu



bewerten: Wann ist eine Maßnahme in einem größeren Kontext nachhaltig? Wie gehen wir zum Beispiel mit verbauten Rohstoffen um, wenn die Nutzungsdauer eines Flugzeugs oder einer Windkraftanlage endet – und wenn dank der Werkstoffe viel Energie im Betrieb gespart oder erzeugt werden konnte? Wir brauchen Analysen über den gesamten Lebenszyklus eines Produkts. Das erfordert Fachwissen und wissenschaftliche Herangehensweisen. Damit sind wir bei den Kernkompetenzen des DLR.

**Ganz ohne Verbrauch von Ressourcen wird es in der Forschung nicht gehen, oder?**

- Unsere wertvollste Ressource ist das Wissen. Um Wissen zu generieren, müssen wir andere Ressourcen einsetzen. Forschung kostet immer auch Material und Energie. Wir sind Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die viel praktisch erproben. Ja, dabei verbrauchen wir Ressourcen, dessen sind wir uns bewusst. Aber wir schauen natürlich sehr genau hin – auf unsere Forschungsergebnisse und auch auf unseren Ressourceneinsatz.

**DER WISSENSCHAFTLICH-TECHNISCHE RAT**

Dem Wissenschaftlich-Technischen Rat (WTR) gehören Institutsbeziehungsweise Einrichtungsleitende und wissenschaftliche Mitarbeitende aus den Forschungsbereichen und den wissenschaftlich-technischen Betriebseinrichtungen an. Der WTR berät den Vorstand und den Senat in allen wissenschaftlich-technischen Angelegenheiten.

# HEISSES SALZ

Forschung für die nächste Generation solarthermischer Parabolrinnen-Kraftwerke

**SONNENSTRAHLUNG**  
Trifft auf die Parabolspiegel und erwärmt die Salzschnmelze auf bis zu 565 Grad Celsius.

## PARABOLRINNEN-KOLLEKTOREN

Gekrümmte Spiegel, durch deren Mitte Rohrleitungen laufen. In herkömmlichen Kraftwerken sind diese mit Thermoöl gefüllt, bei der EMSP mit Salz.

## FLÜSSIGSALZKREISLAUF

## WASSERDAMPFKREISLAUF

## TURBINE UND GENERATOR

## NETZEINSPEISUNG

## ELEKTRISCHE ZUSATZHEIZUNG

Diese kann in den Kreislauf eingeschaltet werden, wenn die Sonne nicht scheint. Dadurch wird verhindert, dass das Salz erkaltet und erstarrt.

## THERMISCHES SPEICHERSYSTEM

Gefüllt mit Salzschnmelze. Falls gerade kein Strom benötigt wird, kann der Speicher die Wärme bei Temperaturen von bis zu 560 Grad Celsius für etwa zwölf Stunden halten.

## DAMPFKRAFTWERK

## AUFBAU EINES ABSORBERROHRS

**Flüssiges Salz** nimmt die Sonnenenergie in Form von Wärme auf.

**Solarglas** lässt mehr Sonnenstrahlung durch als herkömmliches Glas, eine spezielle Beschichtung verringert außerdem die Reflexion.

**Vakuum** zwischen Glas und Stahlrohr zur Isolation.

Speziell beschichtetes **Stahlrohr** nimmt die Sonnenstrahlung auf und sorgt dafür, dass kaum Wärme entweichen kann.

**„Getter“-Material** saugt Kleinstmengen von Gasen auf.

In Portugal betreiben das DLR und die Universität Évora eine Parabolrinnen-Testanlage: die Évora Molten Salt Platform, kurz EMSP. Anders als bei kommerziellen Parabolrinnenkraftwerken fließt bei der EMSP Salzschnmelze statt Thermoöl durch die Rohrleitungen. Solarkraftwerke mit Salzschnmelze können besonders hohe Temperaturen und damit höhere Wirkungsgrade erreichen.

Das erhöht die Stromausbeute und senkt so die Stromgestehungskosten. Die Entwicklung und der Bau der Anlage war Teil des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) geförderten Forschungsprojekts „High Performance Solar 2“. Begleitet wird das Projekt durch den Projektträger Jülich. Die Grafik zeigt, wie ein zukünftiges Parabolrinnen-Kraftwerk aussehen könnte, das mit Salz betrieben wird.

# MEIN FITNESSSTUDIO FÜRS ALL

Trainingsgeräte für Weltraumreisen im Test

von Katja Lenz

© DLR



**W**er sich nicht bewegt, wird schnell schlapp. Wer sich im All nicht bewegt, wird noch schneller noch schlapper. Das liegt unter anderem daran, dass die Schwerkraft fehlt: Wenn man auf der Erde läuft oder einen Arm hebt, muss man dabei mit Muskelkraft zumindest die Erdanziehung überwinden. Und die fehlt den Weltraumreisenden. Sie müssen sich deswegen ganz besonders anstrengen, damit sie leistungsfähig bleiben. Und das ist nicht alles: Der Muskelschwund in der Schwerelosigkeit verändert den gesamten Stoffwechsel des Körpers. Außerdem lässt das Fehlen der Kräfte die Stabilität der Knochen schwinden. Betroffen sind vor allem die Beine, die im All so gut wie gar nicht beansprucht werden. Gegenmaßnahme auf der Internationalen Raumstation ISS: tägliches Training auf einem Laufband, einem Fahrradergometer und einem Kraftgerät, etwa zwei Stunden lang. In kleinen Raumfahrzeugen, zum Beispiel Richtung Mars, ist aber kein Platz dafür. Hier kommen NEX4EX und ATHLETIC ins Spiel – zwei mögliche Konzepte für ein universales Fitnessstudio fürs All. DLR-Redakteur Andi Ellmerer hat die beiden Prototypen unter sehr irdischen Bedingungen im DLR-Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin getestet.



Der Prototyp von ATHLETIC (Astronaut Health EnhancementT Integrated Countermeasure) steht im DLR-Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin. Das Gerät in Form eines Exoskeletts soll später ein hoch intensives Kraft- und Sprungtraining gegen eine passiv erzeugte Kraft in der Schwerelosigkeit ermöglichen.

## ATHLETIC – Springen im Liegen

Bitte einsteigen ins Exoskelett. Nicht so einfach, denn für den Weltraum-Testeffekt wird das Sprungtraining nicht im Stehen, sondern im Liegen gemacht. „Dieses Trainingsgerät soll den Abbau der Beinmuskulatur sowie der Knochenmasse reduzieren“, erklärt Jonas Böcker vom DLR-Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin, der die Gerätestudie gemeinsam mit Dr. Jochen Zange leitet. Auf der ISS gibt es zwar Laufband- und Hanteltraining, „aber reaktive Übungen, die neben dem Muskel die Federeigenschaften des Muskel-Sehnen-Komplexes trainieren, können damit kaum durchgeführt werden“, sagt Jonas Böcker. Außerdem wären die ISS-Geräte zu wuchtig für eine lange Mission. Zierlich wirkt das ATHLETIC (Astronaut Health EnhancementT Integrated Countermeasure) allerdings auch nicht. „Das ist ein Prototyp“, erklärt Jochen Zange. „Zusätzlich müssen wir ja hier die Schwerkraft austricksen.“ Deswegen der ausladende schwere Stützrahmen. Und die Rollen darunter ergeben im All selbstverständlich auch keinen Sinn.

Im Weltall könnten die Astronautinnen und Astronauten in das Gerät hineinschweben. Im Kölner Labor klettern die Testpersonen von unten durch den Rahmen. Die Füße werden über Fahrradschuhe in Halterungen fixiert, ein handelsüblicher Fahrradsattel sorgt für Sitzkomfort und

eine Art Rucksack hält den Oberkörper an der Rückenlehne fest. Das alles ist wichtig, damit sich in Schwerelosigkeit niemand aus dem ATHLETIC-Gerät herauskatapultiert. Oder das ganze Gerät durch das Raumschiff schießt. Andi ist nach einigen Minuten im Exoskelett justiert. Er macht zuerst ein kleines Warm-up, um sich mit den Bewegungsabläufen anzufreunden. Dann wird es ernst: Kniebeugen, zehn ... zwanzig ... , anschließend Sprünge im Liegen. „Das Gerät ist jetzt so eingestellt, dass beim Sprung quasi 100 Prozent des Körpergewichts wirken“, sagt Jonas Böcker. Es wäre auch mehr drin. Für Fitnessprofis: In der Beinpresse sind maximal 300 Kilogramm möglich.

Selbst für jemanden mit Fitnessgeräte-Erfahrung ist der ATHLETIC-Prototyp zuerst ungewohnt: Das Brett am Fußende schwingt mit, die Rückenlehne schiebt von hinten. Der Beugungswinkel und die Hüftposition dürfen nicht vernachlässigt werden, damit die Muskeln an Beinen, Hüfte und Rücken wie gewünscht arbeiten. „Die Koordination ist in Schwerelosigkeit einfacher“, beruhigt Jochen Zange. Auf einem Bildschirm erscheinen derweil die ersten Parameter: Kräfte, Wege und Winkel, elektrische Aktivität der Beinmuskeln und Herzfrequenz. Die Übungen zeigen offensichtlich Wirkung. Andi gerät allmählich außer Atem, es ist richtig anstrengend. Kein Wunder, es geht gerade um die Sprungleistung und verschiedene Formen von Krafttraining gleichzeitig.



Das :envihab ist eine medizinische Forschungsanlage des DLR-Instituts für Luft- und Raumfahrtmedizin. Hier werden die Wirkung verschiedener Umweltbedingungen auf den Menschen und mögliche Gegenmaßnahmen erforscht.

## DIE DLR-PROBANDENSUCHE

Das DLR-Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin benötigt regelmäßig Teilnehmerinnen und Teilnehmer für verschiedene Studien. Diese Studien untersuchen die Auswirkungen von Umweltbedingungen auf Gesundheit, Lebensbedingungen und die Leistungsfähigkeit des Menschen. Die Themen sind vielfältig. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler erforschen die Auswirkungen der Schwerelosigkeit auf den Menschen, aber auch die Konzentrationsfähigkeit bei Müdigkeit oder wie der Körper in großen Höhen mit weniger Sauerstoff auskommt.

Zu den bekanntesten Studien im :envihab, der Forschungseinrichtung des DLR-Instituts für Luft- und Raumfahrtmedizin, zählen die Betruhestudien. Dabei verbringen Probandinnen und Probanden längere Zeit liegend in einer Sechsstufigen Kopftieflage. So wird die Wirkung der Schwerelosigkeit auf den menschlichen Körper simuliert.

🔗 [Übersicht über alle Studien: dlr-probandensuche.de](https://www.dlr-probandensuche.de)

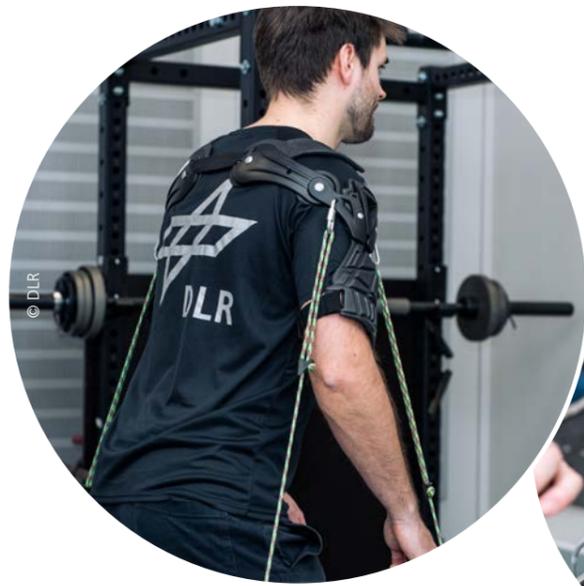
# MELDUNGEN

## DER STÄDTISCHE LUFTVERKEHR DER ZUKUNFT



Design eines Tiltrotor-Lufttaxis mit sechs schwenkbaren Rotoren

Drohnen und hochautomatisierte Flugtaxi haben das Potenzial, den urbanen Luftverkehr mit neuen Möglichkeiten zu bereichern. Im Forschungsprojekt HorizonUAM (Urban Air Mobility) beschäftigte sich das DLR damit, welche Voraussetzungen erfüllt sein müssen, damit wir in einigen Jahren die urbane Mobilität tatsächlich in der Luft nutzen können, und welche Ansprüche an Sicherheit, Effizienz, Nachhaltigkeit und Bezahlbarkeit für umsetzbare Konzepte erfüllt sein müssen. Dazu entwickelten die Forschenden Konzepte für Fluggeräte, Flugkorridore und Haltepunkte (sogenannte Vertidrome), die sich in die bestehende Infrastruktur integrieren. Sie zeigten, dass zahlreiche Haltepunkte sowie bezahlbare Preise wichtig für die Nachfrage nach Lufttaxi-Verkehrsdiensten sind. Dabei liegt die Preisspanne für einen wirtschaftlichen Betrieb zwischen vier und acht Euro pro Kilometer. Im Nationalen Erprobungszentrum für unbemannte Luftfahrtsysteme am DLR-Standort Cochstedt fanden Flugversuche mit mehreren Drohnen als Modelle für Lufttaxi statt. Hier konnten die Forschenden ihre Konzepte erfolgreich testen.



### NEX4EX-Gerät – Balancieren, Wippen, Kniebeugen

Zweite Station. Im Vergleich zum Exoskelett-Prototyp wirkt NEX4EX (Novel Exercise Training Hardware for Space Exploration) geradezu handlich. Andi zieht zuerst eine Art Schultergurt an und stellt sich auf eine Bodenplatte. Vier Schnüre werden vom Gurt aus an den vier Ecken der etwa einen Quadratmeter großen Bodenplatte eingehakt. In Schwereelosigkeit würden die Seile so gestrafft, dass die Person wie mit dem eigenen Körpergewicht auf die Platte gedrückt wird. Das gilt auf der Erde naturgemäß sowieso. Diesmal geht es außer um das Muskeltraining auch um die Federeigenschaften des Muskel-Sehnen-Komplexes. Der NEX4EX-Prototyp bietet dafür gleich mehrere Übungsszenarien.

**Das Balancetraining:** Die Seile werden eines nach dem anderen nach unten gezogen. Andi soll sich mit leicht gebeugten Beinen dagegenstemmen, um das Gleichgewicht nicht zu verlieren. Die Zugrichtungen werden vom Computer zufällig ausgewählt. Konzentration und schnelle Reaktion sind hier sehr wichtig. Und als zusätzliche Schwierigkeit Lächeln – wegen der Fotos.

**Die Wippe:** Diesmal wackelt die Bodenplatte und irritiert die Standfestigkeit. Wie fühlt sich das an? „Wie auf dem Mountainbike. Nur ohne Lenker.“ Also halbwegs vertraut.

**Kraft- und Sprungtraining:** Das System wird in die Horizontale gekippt, der Rücken auf einer Extraplatte samt Schulterpolstern gelagert.



Über die Schnüre ist Andi mit NEX4EX verbunden (links). Am Bildschirm wird überprüft, wie gut er seinen Körperschwerpunkt in der Mitte der Plattform halten kann (rechts).

Dann werden Kniebeugen und Sprünge gemacht, teils aus der Hocke heraus, teils wird auf dem Vorderfuß gehüpft.

Bei NEX4EX können die Forschenden ebenfalls verschiedene Kräfte und Wege, die Muskelaktivität und die Herzfrequenz über Bildschirme mitverfolgen. „Die Belastung der Strukturen in den Beinen ist recht hoch“, erläutert Jonas Böcker. Deswegen ist eine „Nebenwirkung“ wahrscheinlich: Muskelkater. Wie die meisten Probandinnen und Probanden, die die Geräte beim DLR getestet haben, hatte auch Andi den Eindruck, dass er eine „intensive Trainingseinheit“ absolviert hat.

### Nächster Test im Parabelflug

Als Nächstes müssten die Geräte bei einem Parabelflug erprobt werden. Dabei steigt ein Forschungsflugzeug erst steil nach oben, fällt danach antriebslos auf eine niedrigere Höhe und steigt anschließend wieder auf. Während jeder dieser Parabeln herrscht für rund 20 Sekunden Schwereelosigkeit wie im All. Wenn es so weit ist, werden wieder Freiwillige gesucht, die das Fitnessstudio fürs All testen. Infos und Bewerbung über die DLR-Probandensuche.

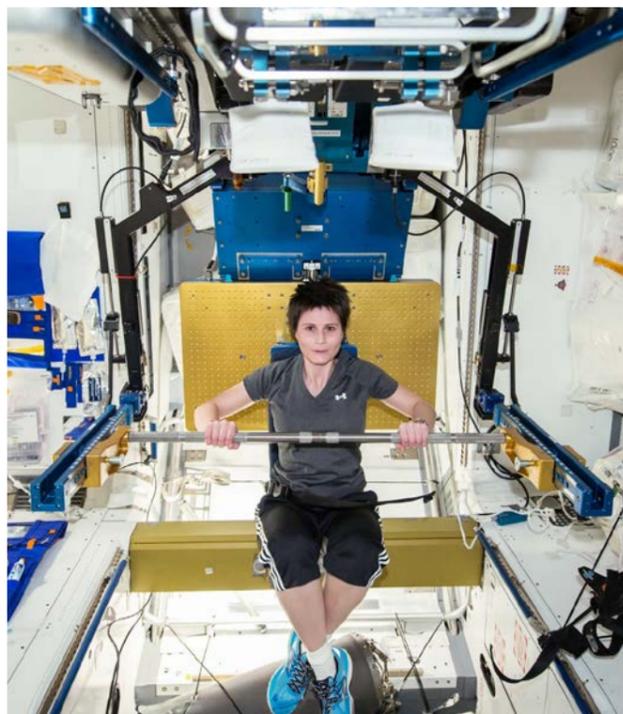
**Katja Lenz** ist Presseredakteurin im DLR.

## SO LIEF DIE AKTUELLE STUDIE

Insgesamt zehn Probandinnen und Probanden haben die neu entwickelten Trainingsgeräte NEX4EX und ATHLETIC getestet. Die Voraussetzungen waren: im Alter zwischen 30 und 60 Jahren, zwischen 1,50 und 2 Metern groß, 50 bis 100 Kilogramm schwer, sportlich.

Die beiden Trainingsgeräte wurden im Auftrag der Europäischen Weltraumorganisation ESA von der Firma Space Applications Services entwickelt. Bei ATHLETIC war zusätzlich die Firma Deuter beteiligt, bei NEX4EX die Unternehmen Novotec und AnyBody Technology sowie die Universität Konstanz. Im DLR-Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin werden die Geräte medizinisch-wissenschaftlich bewertet. Die Forschenden machen außerdem Vorschläge zur Weiterentwicklung.

ESA-Astronautin Samantha Cristoforetti trainierte regelmäßig während ihrer Zeit auf der ISS, um Muskel- und Knochenschwund vorzubeugen. Anders als ATHLETIC und NEX4EX arbeitet das ARED auf der ISS mit einem aktiven Kraftmechanismus, der zusätzliche Energie verbraucht und Wärme erzeugt.



## EUCLID ERFORSCHT DAS DUNKLE UNIVERSUM

Das Weltraumteleskop Euclid ist seit Ende Juli den beiden großen Unbekannten unseres Universums auf der Spur: der dunklen Materie und der dunklen Energie. Diese Bestandteile machen zusammen 95 Prozent unseres Universums aus. Dennoch bergen sie noch viele Geheimnisse. Das Teleskop soll dabei helfen, diese zu lüften. Dafür soll es innerhalb der nächsten sechs Jahre etwa ein Drittel des kompletten Universums beobachten. Das rund zwei Tonnen schwere Teleskop umkreist den zweiten Lagrange-Punkt (L2), der 1,5 Millionen Kilometer von der Erde entfernt liegt. Euclid ist eine Mission der europäischen Weltraumorganisation ESA. Sie startete am 1. Juli 2023 an Bord einer Falcon-9-Rakete des US-Raumfahrtkonzerns SpaceX. Deutschland ist der größte Beitragszahler im ESA-Wissenschaftsprogramm und trägt somit rund 21 Prozent zur Mission bei. Im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) ist die Deutsche Raumfahrtagentur im DLR für die Koordinierung der deutschen ESA-Beiträge verantwortlich.



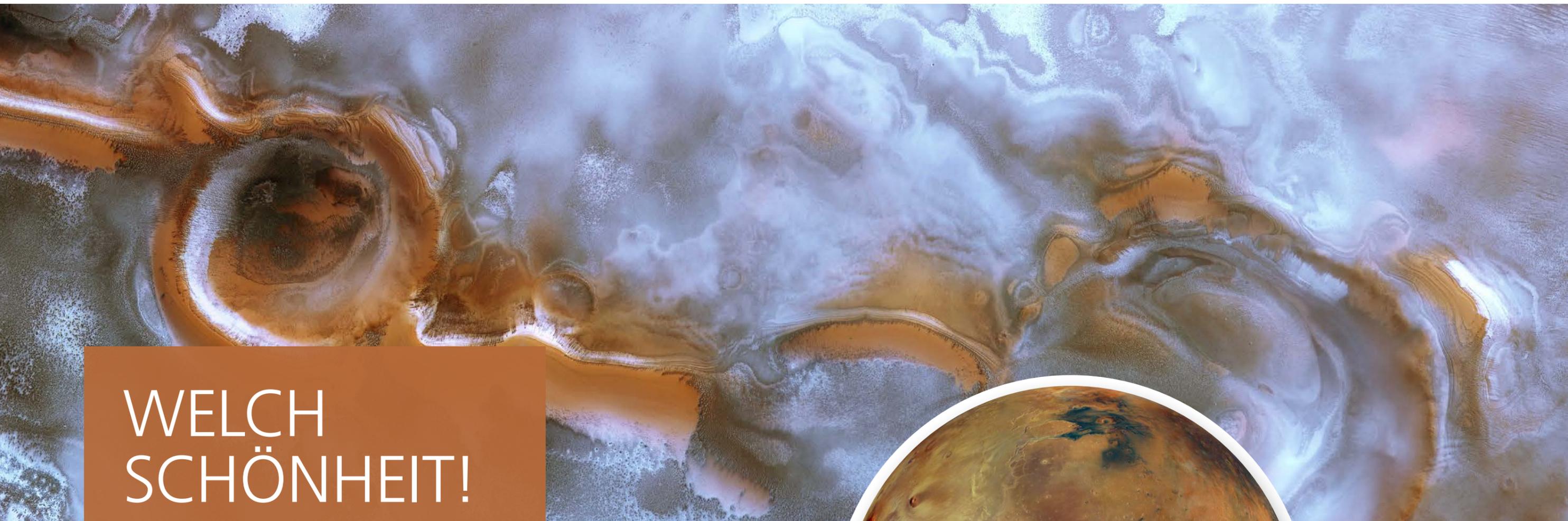
Das Teleskop wird am Adapter für eine Falcon-9-Rakete von SpaceX befestigt.



Dieses Bild wurde im März 2023 von einem Copernicus-Sentinel-3-Satelliten aufgenommen. Es zeigt die geringe Schneedecke im italienischen und Schweizer Teil der Alpen. In diesem Gebiet lag das täglich ermittelte Schneewasseräquivalent deutlich unter dem bisherigen Rekordwert von 2021/22.

## 25 JAHRE ERDBEOBACHTUNGSSYSTEM COPERNICUS

Was im Jahr 1998 unter dem Namen „Global Monitoring for Environment and Security“ (GMES) begann, ist heute das größte und erfolgreichste europäische Erdbeobachtungsprogramm. Copernicus ist ein gemeinsames Programm der Europäischen Union (EU) und der Europäischen Weltraumorganisation ESA. Die Informationen der derzeit sieben Sentinel-Satelliten des Programms sind unter anderem Grundlage für die Erforschung und Überwachung des Klimawandels, aber auch für Anwendungen in der modernen Landwirtschaft sowie den Katastrophenschutz. Die Daten dienen zudem als Grundlage für wichtige internationale Übereinkommen zum Umwelt- und Klimaschutz, etwa im Rahmen der Klimakonferenzen der Vereinten Nationen (UN) und der UN-Nachhaltigkeitsziele. Die Sentinel-Daten und Copernicus-Dienste sind kostenlos – egal ob für behördliche Anwender, die Wissenschaft, kommerzielle Unternehmen, Start-ups oder gemeinnützige Organisationen sowie Bürgerinnen und Bürger.



# WELCH SCHÖNHEIT!

Die DLR-Stereokamera HRSC fliegt seit 20 Jahren um den Mars

von Ulrich Köhler

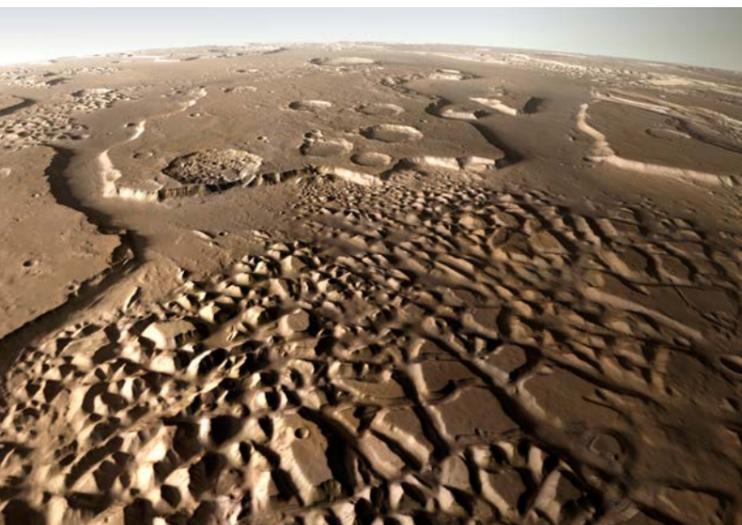
**Z**wei Jahre nur sollte sie unseren Nachbarplaneten umkreisen: die Raumsonde Mars Express der Europäischen Weltraumorganisation ESA. Daraus werden im Dezember 20 Jahre. Eines der sieben Experimente auf dem Orbiter ist die vom DLR gemeinsam mit der deutschen Industrie gebaute hochauflösende Stereokamera HRSC. Bis heute ermöglichen die von dem robusten Instrument aufgezeichneten Bilddaten wichtige wissenschaftliche Erkenntnisse – von den Spuren, die Wasser und Eis zum Teil vor Milliarden Jahren auf dem Mars hinterlassen haben, bis hin zu der Entschlüsselung der rätselhaften Klimageschichte des Planeten und den aktuellen Veränderungen der Marslandschaften durch Wind und Wetter.

Bilder: ESA/DLR/FU Berlin, CC BY-SA 3.0 IGO

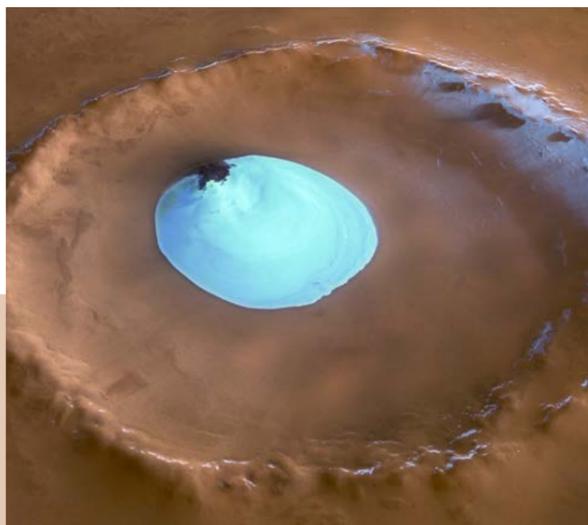


Wenn die Jahreszeiten Bilder auf den Mars malen: Der einsetzende Frühling lässt die eisige Bedeckung der hohen südlichen Breiten sublimieren und zaubert diese fast schon impressionistische Landschaft.

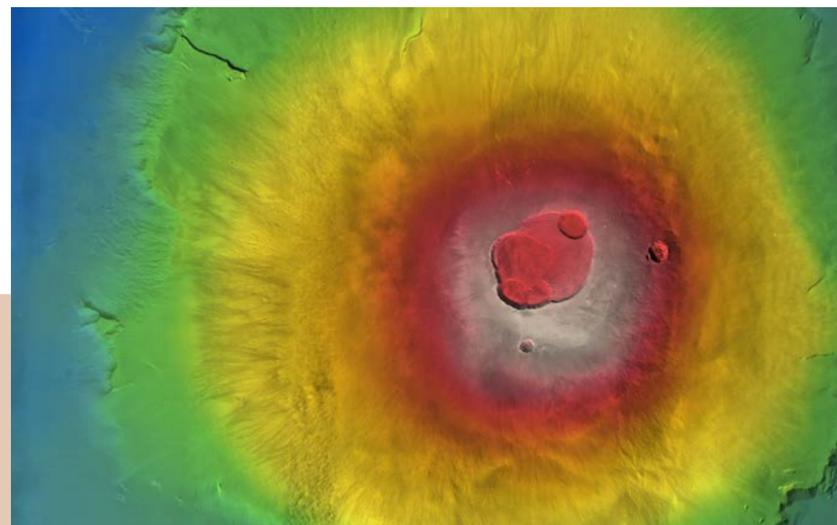
Das hier gezeigte Mosaik einer Hemisphäre des Mars zeigt in der Bildmitte das markante, 4.000 Kilometer lange Grabenbruchsystem der Valles Marineris und am linken oberen Bildrand die riesigen Vulkane der Tharsis-Aufwölbung mit dem höchsten Vulkan des Sonnensystems, Olympus Mons. Welch Schönheit, dieser Mars, der wegen seiner oxidierten eisenhaltigen Minerale auch als Roter Planet bezeichnet wird.



Das Gebiet Hydraotes Chaos, erstmals fotografiert während des 18. Orbits von Mars Express, wurde im Januar 2004 der Öffentlichkeit präsentiert. Seither wurde das Labyrinth aus über 2.000 Meter hohen Tafelbergen immer wieder von der DLR-Stereokamera erfasst.



Dieser Klassiker der Mars-Express-Aufnahmen zeigt Wassereis am Boden eines Kraters in der Nähe des Mars-Nordpols. Der Einschlagskrater hat einen Durchmesser von etwa 35 Kilometer und liegt in der nördlichen Tiefebene Vastitas Borealis.



Digitales Geländemodell von Olympus Mons, dem höchsten Berg unseres Sonnensystems (Die Farben zeigen von Blau nach Grau ansteigende Höhen an). An seiner Basis hat der Riesenvulkan einen Durchmesser von etwa 600 Kilometer. Neben der blau gefärbten Tiefebene Amazonis Planitia im Westen erhebt sich der Vulkangigant über 22 Kilometer in die Höhe.



Mehr über die Mission Mars Express unter: [DLR.de/mars](http://DLR.de/mars)

Am 2. Juni 2003, vor 20 Jahren, an einem herrlichen Sommertag, verfolgten gut zweihundert Augenpaare aus Wissenschaft, Technik, Raumfahrtmanagement und Medien in Berlin-Adlershof auf großen Monitoren den Beginn der ersten europäischen Mission zu einem anderen Planeten: Mars Express. Der Start im fernen kasachischen Baikonur verlief perfekt, die Erleichterung war groß, der Jubel dennoch gebremst. Zu präsent war noch die Enttäuschung nach dem Verlust von zwei DLR-Kameraentwicklungen für die russische Mission Mars 96, die im November 1996 wenige Stunden nach dem Start in den Pazifischen Ozean stürzte.

Bei der Ankunft am 25. Dezember 2003 sollte (fast) alles gut gehen, wieder mit einer DLR-Kamera an Bord. Dieses Mal bremste sich der Mars-Express-Orbiter, den alle Beteiligten nur MEX nennen, in eine Umlaufbahn um den äußeren Nachbarplaneten der Erde ein. Das zuvor abgetrennte britische Landemodul Beagle 2 kam zwar auf dem Mars an, sendete jedoch keine Daten. Aber alle sieben Experimente auf dem

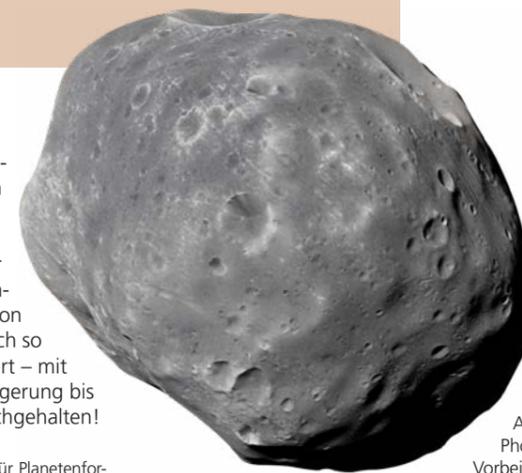
Orbiter funktionierten einwandfrei. Und, ein kleines technisches Wunder, sie tun es mit kleinen Einschränkungen noch heute, 20 Jahre und 25.000 Orbits später.

Die ESA plante für die Mission eigentlich nur mit einem Marsjahr, knapp zwei Erdenjahren. Doch wie der berühmte VW-„Käfer“ ist der MEX unverwundlich. Und mit ihm das am DLR entwickelte und nach wie vor in der Planetenforschung einmalige Kamerasystem HRSC. Das Akronym steht für „High Resolution Stereo Camera“. Die HRSC hat den Mars in den vergangenen zwei Jahrzehnten global in hoher Auflösung, in Farbe und in 3D erfasst – mit einer aus heutiger Sicht völlig veralteten, aber eben absolut zuverlässigen Technik.

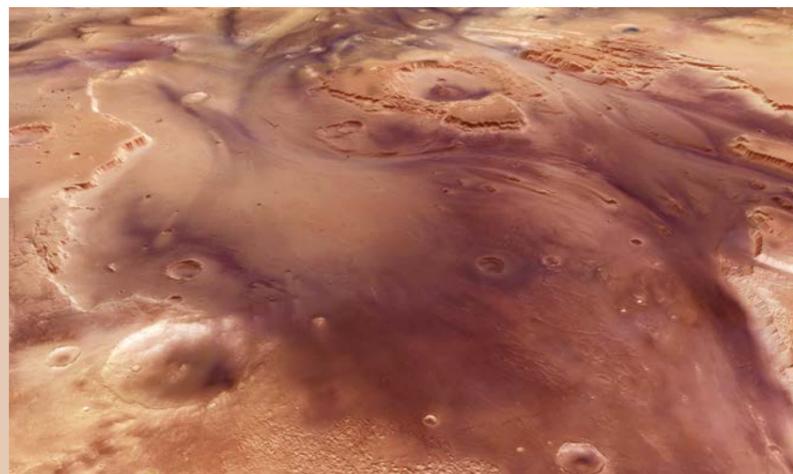
Das Berliner DLR-Institut für Planetenforschung plant die Aufnahmen der HRSC, betreibt ihren Einsatz und verarbeitet gemeinsam mit der Freien Universität Berlin die mit neun Sensoren gescannten Bilddaten der Marsoberfläche zu hochwertigen Datenprodukten. Diese ermög-

lichen erstmals auch die Quantifizierung geologischer Prozesse und Formensätze auf dem Mars. Auch werden die topografischen Daten von der NASA für die Auswahl von Landstellen genutzt – ein für die Wissenschaft und Raumfahrt unvergleichlich wertvoller Datensatz. Darüber hinaus diente Mars Express, wenn erforderlich, für alle Landemissionen der NASA und Chinas als fliegende Funkstation für die Kommunikation mit der Erde. Das wird vorerst auch so bleiben. Die ESA hat die Mission bis Ende 2026 verlängert – mit einem offenen Hintertürchen für eine nochmalige Verlängerung bis Ende 2028. So lange hat nicht einmal jeder „Käfer“ durchgehalten!

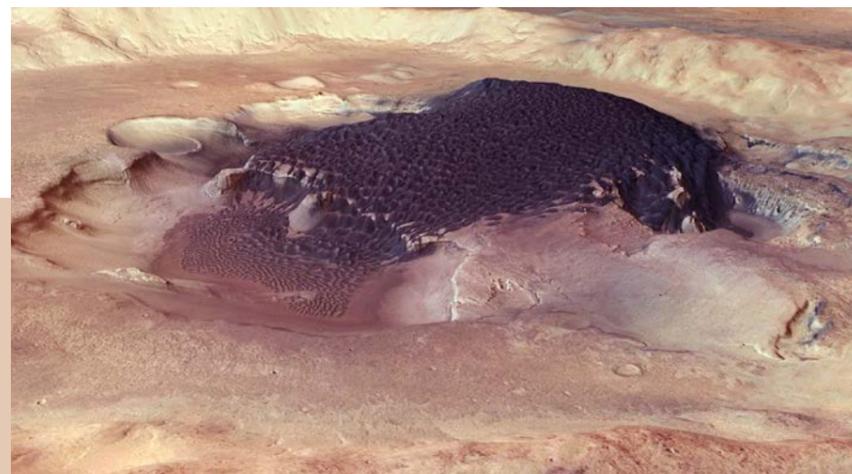
**Ulrich Köhler** verantwortet die Öffentlichkeitsarbeit im DLR-Institut für Planetenforschung und ist als Planetengeologe von Beginn der Mission Mars Express an mit „an Bord“ des DLR-Wissenschaftsteams: Im Laufe der 20 Jahre MEX hat er hunderte Vorträge zur Mission gehalten, um die 250 Landschaftsszenen beschrieben und dabei an die 2.000 Bilder kommentiert.



Aufnahme des Marsmonds Phobos. Die HRSC nutzt die Vorbeiflüge von Mars Express, um diesen Mond näher zu untersuchen. Die Herkunft der Marsmonde Phobos und Deimos ist allerdings bis heute nicht abschließend geklärt. Die Mission MMX (Martian Moons eXploration), die im September 2024 starten soll, hat die Aufgabe, die beiden Monde näher zu erkunden.



Seit den Viking-Missionen der späten 1970er Jahre sind von fließendem Wasser erodierte Flusstäler bekannt. Mit den hoch aufgelösten digitalen Geländemodellen der HRSC sind nicht nur bessere geologische Interpretationen möglich, auch quantitative Aussagen zu Wassermenge und Erosionsraten lassen sich treffen.



Ein dunkles Dünenfeld bedeckt den Boden des Einschlagskraters Rabe, welcher obendrin von Gruben und Aushöhlungen durchbrochen ist. An den Hängen der Gruben sind in dünnen, dunklen Linien die vulkanischen Aschelagen zu erkennen, aus denen das Dünenmaterial entspringt. In diesem kontrastverstärkten Bild wirken die eigentlich grünlich-schwärzlichen vulkanischen Sande bläulich.



Der Podcast ist zu hören auf [DLR.de/Podcast](https://www.dlr.de/Podcast) und allen gängigen Streaming-Plattformen.



# DIE MARSIANERIN

Im Gespräch mit einer Planetenforscherin  
Interview mit Dr. Daniela Tirsch



Daniela Tirsch (Mitte) bei der Feldarbeit auf einer großen, dunklen Düne in Hawaii. Hier werden gerade Sandproben aus verschiedenen Tiefen der Düne entnommen, damit die im Verlauf der Zeit herrschenden Ablagerungsbedingungen entschlüsselt werden können.

**Nur sechs Menschen auf der Welt haben das Privileg, Oberflächenstrukturen auf dem Mars benennen zu dürfen – sie gehört dazu. Das hätte sich Dr. Daniela Tirsch, heute Planetengeologin am DLR-Institut für Planetenforschung in Berlin, als Kind niemals erträumt, denn eigentlich wollte sie Tänzerin werden. Hier spricht die Wissenschaftlerin über ihre Liebe zu schwarzen Dünen auf dem Mars und erklärt, warum es den schönsten Sand trotzdem auf der Erde gibt – und weshalb dieser grün ist.**



Sie sehen wunderschön aus und bestehen aus grünlich-schwarzem vulkanischem Material. Wenn man solche Dünen auf der Erde untersuchen möchte, muss man in Gegenden fahren, wo Vulkanismus und relativ trockenes Klima zusammentreffen. Das sind zum Teil sehr schöne Stellen – ein weiterer toller Aspekt meiner Forschung. Ich selbst hatte beispielweise das Glück, zwei Mal nach Hawaii fliegen zu dürfen, um in der Kaʻū-Wüste Dünen zu studieren, die dort ähnlich wie auf dem Mars entstehen. Das war der Wahnsinn.

**Was ist eigentlich Deine Lieblingssandprobe und warum?**

■ Ach, die Frage ist leicht zu beantworten: Die stammt aus Hawaii und ich liebe sie sehr, weil der Sand grün ist. Er besteht hauptsächlich aus dem vulkanischen Mineral Olivin. Der Sand kommt an einem ganz bekannten Ort auf Big Island vor: dem Green Sand Beach. Dieser Strand ist ziemlich schwer zu erreichen. Wir sind fast zwei Stunden durch die Hitze gelaufen und haben uns viele Blasen geholt. Doch dann hat sich vor uns diese Steilküste aufgetan, ein bildschöner Ort. Und der ganze Sand dort ist grün. So etwas hatte ich bis dahin noch nie gesehen.

**Wie bist Du eigentlich Planetologin geworden? Planetenforschung stand ja ursprünglich nicht auf Deiner Wunschliste ...**

■ Als Kind habe ich ehrlich gesagt nicht von Planetenforschung geträumt. Eigentlich wollte ich Tänzerin werden. Diesen Traum musste ich allerdings aus gesundheitlichen Gründen aufgeben. Also habe ich mein damaliges Lieblingsfach aus der Schule studiert: Geografie, mit Nebenfach Geologie und Ökologie. Und ich habe es geliebt! Bei der Jobsuche bin ich über eine Doktorandenstelle am DLR gestolpert. Die Stelle wurde mir noch während des Vorstellungsgesprächs zugesagt und ich dachte: „Okay, jetzt bin ich also Planetenforscherin!“ An meinem ersten Arbeitstag bekam ich ein Buch über den Mars auf den Tisch gelegt, und so fing alles an.

**... und jetzt bist Du eingebunden in die Mission Mars Express. Deren Kamera HRSC wurde am DLR entwickelt und liefert regelmäßig Aufnahmen des Roten Planeten.**

■ Ja, diese Arbeit macht mir unwahrscheinlich viel Spaß. Mit der High Resolution Stereo Camera (HRSC) können wir digitale Geländemodelle erstellen und Bilder der Marsoberfläche aufnehmen. Somit stellen wir den Mars in Farbe und 3D dar. Ich finde, dass unsere Bilder vom Mars auch eine wunderbare Ästhetik mit sich bringen.

**Du bist außerdem Mitglied eines Gremiums der IAU (International Astronomical Union) zur Benennung von Oberflächenformen auf dem Mars. Gibt es besondere Namen für Dich?**

■ Also, vorweg muss ich sagen, dass ich total stolz bin, eine von sechs Personen weltweit zu sein, die Oberflächenformen auf dem Mars benennen dürfen. Wir denken uns allerdings keine Namen aus, son-

dern bekommen Vorschläge. Besonders gerne benenne ich Einschlagskrater, die weniger als 50 Kilometer Durchmesser haben. Die erhalten nämlich Namen von Dörfern oder kleineren Städten mit einer Bevölkerungszahl von unter 100.000. Ich habe – bevor ich Teil des Gremiums wurde – versucht, einen Krater „Jena“ zu benennen. Zu diesem Zeitpunkt hatte Jena aber bereits 109.000 gemeldete Einwohnerinnen und Einwohner und wurde abgelehnt. Also entschied ich mich für mein Lieblingsdorf in Thailand – Pai. Es gibt jetzt also einen Krater auf dem Mars namens Pai. Bis heute finde ich es sehr schön, dass man die Erde auf den Mars bringen kann, indem man die Namen dort verewigt.

**Vielen Dank für das spannende Gespräch und diesen faszinierenden Blick auf den Roten Planeten!**

Der Podcast DLR-FORSCHtellinggespräch wird produziert von **Daniel Beckmann, Andreas Ellmerer und Antje Gersberg**. Sie alle arbeiten in der DLR-Kommunikation.

**Neben Bildern gibt es seit einigen Jahren auch Tonaufnahmen von unserem Nachbarplaneten. Beispielsweise zeichnete im Februar 2021 der Rover Perseverance den Wind auf, der über den Mars weht. Was geht in Dir vor, wenn Du so etwas hörst?**

■ Dazu habe ich ein ganz besonderes Verhältnis: Mein Lieblingsthema und auch das damalige Thema meiner Doktorarbeit sind die Dünen auf dem Mars. Sie sind besonders schön und dunkel. Damit Dünen entstehen und verlagert werden, braucht es Wind. Als ich das erste Mal so einen direkt auf dem Mars aufgenommenen Ton dieses Windes gehört habe, bekam ich direkt Gänsehaut. Gleichzeitig habe ich mich gefragt, warum nicht schon früher jemand auf die Idee gekommen ist, ein Mikrofon zum Mars zu schicken.

**Für Sand hattest Du immer schon ein Faible: Du sammelst seit vielen Jahren Sand aus aller Welt. Aber was ist aus Deiner Sicht das Besondere an den dunklen Dünen auf dem Mars?**

■ Die meisten von ihnen sind in Einschlagskratern zu finden, weil das Material dort zum Teil eingeweht wurde, vor allem aber aus dunklen Lagen austritt, die von den Kraterwänden angeschnitten worden sind.



Die tägliche Arbeit einer Planetengeologin ist dennoch die Büroarbeit. Diese ist dankenswerterweise aber häufig mit der Betrachtung und Analyse schöner Bilder verbunden.

## DAS DLR-INSTITUT FÜR PLANETENFORSCHUNG

Am DLR-Institut für Planetenforschung in Berlin-Adlershof erforschen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler unser Sonnensystem, insbesondere im Hinblick auf Ursprung, Entstehung und Entwicklung von Planeten, deren Monden und planetaren Kleinkörpern wie Asteroiden und Kometen. Sie beschäftigen sich unter anderem mit der Frage, ob Leben nur auf der Erde existiert oder auch auf anderen Himmelskörpern – wie extrasolaren Planeten, die um andere Sterne kreisen – möglich ist. Dafür entwickeln sie Kameras, Spektrometer, Laseraltimeter sowie Radiometer, die auf Missionen zu den Planeten, Monden und kleinen Körpern des Sonnensystems zur Anwendung kommen.



# RICHTIG SCHNELLE KNOTEN

Die Supercomputer CARA und CARO unterstützen Forschungsprojekte mit ihren außergewöhnlichen Rechenleistungen

von Anja Philipp

Im Jahr 1937 entwickelte Konrad Zuse den ersten frei programmierbaren Rechner der Welt. Mit circa einem Hertz Taktfrequenz und dem Antrieb aus einem Staubsaugermotor ging er als erster Digitalrechner in die Geschichte ein. Die Staubsaugermotoren sind mittlerweile Geschichte. Hinzu kamen dafür Mainboards, Prozessoren, Grafikkarten und Festplatten. Computer können heutzutage mehrere Milliarden Berechnungen pro Sekunde durchführen. Doch gerade in der Wissenschaft stoßen auch sie an ihre Grenzen. Für die Darstellung von Strömungen um einen Flugzeugflügel oder die Simulation des Verhaltens von Treibstoff in einem Raketentriebwerk sind Rechner mit deutlich höheren Leistungen gefragt. Deshalb betreibt das DLR zwei Supercomputer an den Standorten Dresden und Göttingen.

High Performance Computing (HPC) erzielt eine weitaus größere Rechenleistung als herkömmliche Computer. Sie wird durch die Verbindung einzelner Computer, sogenannte Knoten, in einem Netzwerk erreicht, das man als Cluster bezeichnet. Darin interagieren die Rechner und fungieren zusammen als ein einziger, leistungsstarker Supercomputer. Sie verarbeiten gewaltige Datenmengen mit beeindruckender Geschwindigkeit. Zum Vergleich: Ein solches Cluster ist rund 10.000 Mal schneller als ein herkömmlicher Laptop. Zwei der HPC-Superrechner des DLR tragen die Namen CARA und CARO (Computer for Advanced Research in Aerospace). CARA steht in Dresden und CARO in Göttingen. Betrieben werden sie vom DLR-Institut für Softwaremethoden zur Produkt-Virtualisierung, dem HPC-Kompetenzzentrum des DLR. „Nicht alle kennen sich mit den HPC-Clustern im DLR aus, viele haben jedoch den Bedarf, diese zu nutzen. Das Kompetenzzentrum unterstützt die Institute dabei und berät, wenn neue Nutzerinnen und

Nutzer auf das System zugreifen möchten“, sagt Dr. Daniel Molka vom Institut für Softwaremethoden zur Produkt-Virtualisierung. Das Kompetenzzentrum wird von der Abteilung Hochleistungsrechnen betrieben. Den technischen Betrieb gewährleisten Kooperationen mit dem Zentrum für Informationsdienste und Hochleistungsrechnen (ZIH) der Technischen Universität Dresden und mit der Gesellschaft für Wissenschaftliche Datenverarbeitung Göttingen (GWVG).

## Die Leistung der Computer

Über fast 150.000 Prozessorkerne verfügt der Hochleistungsrechner CARA. CARO in Göttingen besitzt sogar rund 175.000 Prozessorkerne. Im Zuge einer Erweiterung wurden einige Knoten mit Grafikkarten (GPUs) ausgestattet. In der Liste der schnellsten Computersysteme der Welt war CARO zum Zeitpunkt der Einweihung im Juli 2022 unter den



CARA steht im Rechenzentrum des Lehmann-Zentrums der Technischen Universität Dresden.

Top 150 vertreten. Dieses Cluster erreicht eine Rechenleistung von 3,46 Petaflops, also 3.460 Billionen Rechenoperationen in der Sekunde.

## Hohe Rechenleistung beim DLR

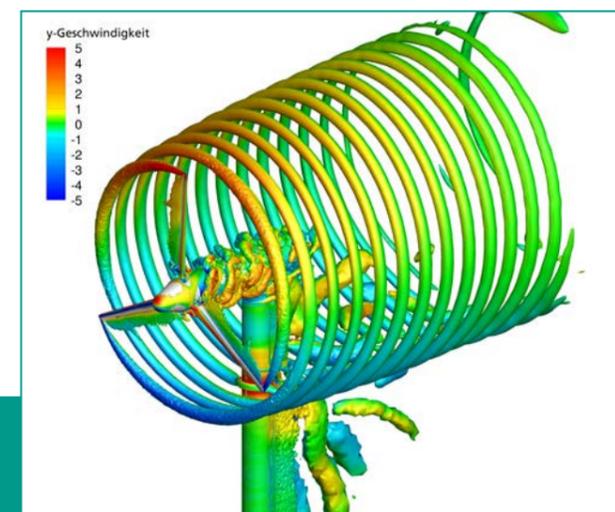
Die Rechenleistung von CARA und CARO nutzen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, um komplexe Simulationen durchzuführen oder um mit Methoden der künstlichen Intelligenz zu arbeiten. Bisher nehmen 25 DLR-Institute die beiden Supercomputer in Anspruch. Weitere haben Bedarf angemeldet. Vor allem die Institute mit dem Forschungsschwerpunkt Luftfahrt, wie das Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik oder das Institut für Aeroelastik, greifen auf die Kapazität der Superrechner zurück.

Besonders oft kommen CARA und CARO bei aufwändigen Simulationen ins Spiel. Auf Basis von physikalischen und mathematischen Modellen werden zum Beispiel Komponenten von Flugzeugen oder Windkraftanlagen in die virtuelle Welt übertragen. Wenn es darum geht, ein besseres Verständnis der Strömungsphysik als Grundlage für

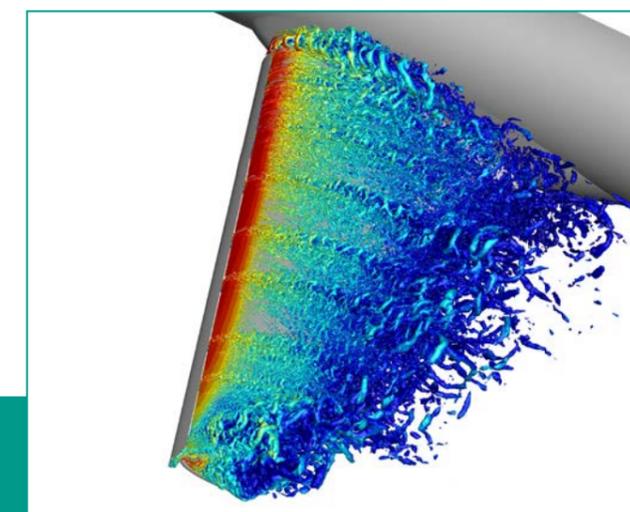
Technologieentwicklung zu gewinnen, können diese Simulationen äußerst komplex werden. „Wenn wir eine Windkraftanlage virtuell abbilden, gehen wir bis ins kleinste geometrische Detail“, sagt Dr. Cornelia Grabe vom Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik. Dadurch können die Forschenden virtuelle Tests zum Strömungsverhalten oder zur Strukturmechanik durchführen und wichtige Leistungsparameter wie die Effizienz, Haltbarkeit oder Schallerzeugung untersuchen und bewerten. Je kleinteiliger die Darstellung ist und je mehr Phänomene berücksichtigt werden, desto größer wird die benötigte Rechenleistung. „Der Vorteil ist, dass wir mit solchen Simulationen im Vorfeld physische Experimente testen können – früher mussten wir Prototypen bauen und Versuche durchführen. Heute geschieht vieles davon virtuell“, sagt Dr. Dirk Schneider vom Institut für Raumfahrtantriebe. Dennoch sind Experimente immer noch unverzichtbar, denn ab einem gewissen Punkt müssen die Ergebnisse aus den Simulationen in der realen Welt nachgewiesen werden.

## Für verschiedenste Forschungsbereiche im Einsatz

Bei CARA und CARO nehmen Strömungssimulationen den größten Anteil an Rechenzeit ein. In einer Anwendung simulierten Forscherinnen



Auch die Aerodynamik und das Strömungsverhalten von Windkraftanlagen werden auf CARO und CARA simuliert.



Die Strömungssimulation zeigt, wie sich die Luft an dem Tragflügel eines Flugzeugs verhält. Diese Ströme variieren je nach Geschwindigkeit und Neigungswinkel.



Der Großrechner CARO steht in Göttingen. Er wird unter anderem für die numerische Simulation künftiger Flugzeuge oder Windkraftanlagen eingesetzt.

Vorgänge in der Brennkammer und der kleinen, turbulenten Wirbel beanspruchen diese Simulationen sehr hohe Rechenleistungen auf dem HPC-Cluster.

Am DLR-Institut für Raumfahrtantriebe in Lampoldshausen werden die Verbrennungs- und Wärmeübergangsprozesse in Flüssigkeitsraketenantrieben modelliert. Wenn Flüssigkeitsraketenantriebe entwickelt werden, ist es wichtig, die thermodynamischen Zustände in der Brennkammer sowie die Kühlungsprozesse vorhersagen zu können. Für diese Simulationen nehmen die Forschenden erhebliche Ressourcen auf dem HPC-Cluster CARO in Göttingen in Anspruch. „Die Simulationen werden immer komplexer“, sagt Prof. Sabine Roller, Direktorin des Instituts für Softwaremethoden zur Produkt-Virtualisierung, und ergänzt:

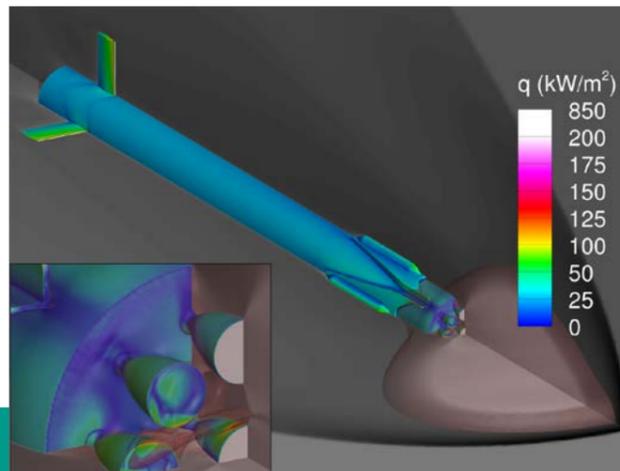
„Das liegt daran, dass mit wachsender Rechenkapazität eine detailliertere Darstellung in der Simulation möglich ist.“ Zudem nutzen Institute mit dem Fokus auf künstlicher Intelligenz immer mehr die Rechenleistungen der Supercomputer. Außerdem greifen auch Bereiche auf CARO und CARA zurück, die mit Big Data arbeiten. Dies ist vor allem der Fall, wenn große Statistiken mit vielen Daten aufgestellt werden.

#### Softwaremöglichkeiten für die Anwendungen

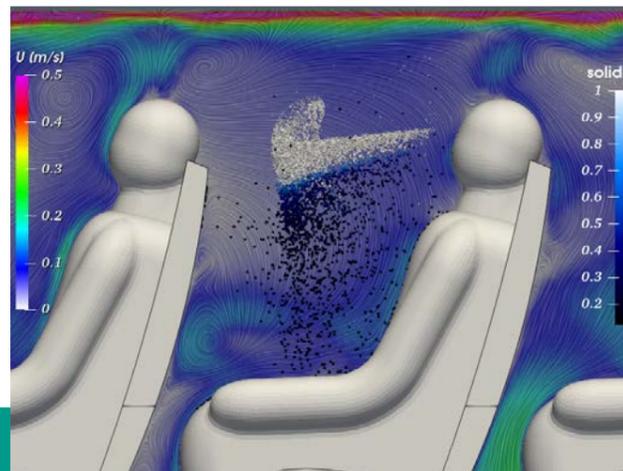
Damit die Simulationen auf CARA und CARO laufen können, benötigen sie bestimmte Software. Diese schreiben die Forscherinnen und Forscher aus den jeweiligen DLR-Fachbereichen. Eine weitere Möglichkeit ist der Zugriff auf Open-Source-Software. Hier ist der Quellcode offen zugänglich, sodass beliebige Änderungen, abhängig von dem Projekt und der Untersuchung, vorgenommen werden können. Bei kommerzieller Software können zwar einzelne Parameter eingestellt werden, jedoch sind die Möglichkeiten begrenzt. Deshalb nutzen die DLR-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler meist eine selbstgeschriebene beziehungsweise anpassbare Software. Unterstützt werden

und Forscher aus dem Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik die Luftumströmung eines Flugzeugflügels während des Starts. Je nachdem, wie sich verschiedene Faktoren wie Neigungswinkel oder die Geschwindigkeit des Flugzeugs veränderten, variierten auch die Strömungsphänomene, die sich am Flügel bildeten. Die japanische Raumfahrtbehörde JAXA führte dazu Messungen in einem Windkanal an einem Modell durch und konnte die Ergebnisse der Simulation und des Experiments vergleichen.

Simulationen werden aber auch im Bereich der Raumfahrt angewendet. Forscherinnen und Forscher aus dem DLR-Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik entwickeln hierzu Simulationsverfahren, um die komplexen physikalischen Vorgänge in Raketenbrennkammern effizient und genau vorhersagen zu können. Zu verstehen, wie Akustik und Wärmefreisetzung miteinander in Verbindung stehen, ist wichtig, um Verbrennungsinstabilitäten vorhersagen zu können. Das sind starke akustische Schwingungen, die in Raketenbrennkammern auftreten können und sogar zur Zerstörung des Antriebs und zum Verlust des Raumfahrzeugs führen können. Aufgrund der komplexen physikalischen



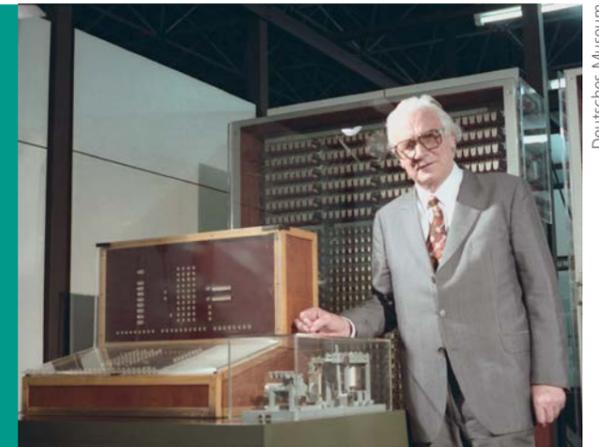
In der Abteilung Raumfahrzeuge in Göttingen wird an der Aerodynamik wiederverwendbarer Trägerraketen geforscht. Das Bild zeigt die Wärmebelastung auf der Raketenoberfläche beim Bremsmanöver im Rückwärtsflug, wenn drei der insgesamt neun Triebwerke eingeschaltet sind. Normalerweise würde sich die Rakete beim Wiedereintritt in die Erdatmosphäre stark aufheizen. Der Abgasstrahl der drei mittleren Triebwerke schirmt die Unterseite der Rakete von der heißen Luftströmung ab und verhindert dies.



Diese HPC-Simulation zeigt eine Kabine, in der Thermo-Dummys sitzen. Mit ihr wurden beispielsweise verschiedene Konzepte der Belüftung untersucht. Unter anderem erforschten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, wie sich ausgeatmete Partikel in der Umgebung verteilen.

## DIE ERSTEN RECHENMASCHINEN

Der Einsatz von Computern in der Luftfahrtforschung geht bereits auf die 1940er Jahre zurück. Konrad Zuse (1910–1995) entwickelte in den 1930er Jahren seine ersten elektronischen Rechenmaschinen. Das Versuchsmodell 2, auch Z2 genannt, stellte er 1939 in der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt (DVL) in Berlin-Adlershof vor – einer Vorgängerorganisation des DLR. Die DVL erkannte das Potenzial, das in der neuartigen Rechenmaschine steckte, und förderte seine Arbeiten. 1941 präsentierte Zuse die Z3, die erste funktionsfähige automatisch programmgesteuerte Rechenmaschine der Welt. Mit dieser ließen sich beispielsweise Berechnungen von Flatterscheinungen an Flugzeugen vornehmen, die händisch anspruchsvoll und langwierig waren. Die weiterentwickelte Z4 konnte Zuse zu Beginn des Jahres 1945 in die Aerodynamische Versuchsanstalt nach Göttingen evakuieren und dort kurzfristig zwischengelagern. Auch hier wurde die Leistungsfähigkeit der Rechenmaschine bei einer Vorführung von den Institutsleitern bestaunt.



Konrad Zuse neben der Z3



Flugzeuge und deren Antriebe zu entwickeln, ist äußerst komplex. Simulationen beschleunigen und erleichtern diesen Prozess.

Die Simulationen laufen meist parallel auf den Supercomputern. Dabei streben die DLR-Fachleute eine kontinuierliche und hohe Auslastung der Computer an. Die meisten Berechnungen nutzen nur einen kleinen Teil der Maschinen, wenige beanspruchen ein Viertel oder die Hälfte der bestehenden Kapazitäten. Außer in der Anzahl verwendeter Knoten unterscheiden sich die von den Nutzenden durchgeführten Berechnungen auch stark in ihrer Laufzeit. Diese reicht von wenigen Minuten bis zu mehreren Tagen. Dabei müssen die Ressourcen möglichst fair auf die Institute und deren Nutzerinnen und Nutzer verteilt werden. Die Auslastung hoch zu halten, erfordert dementsprechend eine gute Planung.

#### Ohne Nachrüsten geht es nicht

Wenn man sich einen neuen Laptop anschafft, kann man sicher sein, dass dieses Modell durch technologische Weiterentwicklungen bald schon überholt sein wird. Dies ist auch bei den Superrechnern nicht anders.

Die Hochleistungsrechner auf dem aktuellen Stand der Technik zu halten, ist für die Forschungsarbeit mit ihren immer komplexer werdenden Simulationen elementar. Daher ist eine fünf- bis sechsjährige Nutzungsdauer pro Supercomputer angestrebt. Danach wird die Hardware nachgerüstet, um mit dem wachsenden Bedarf an Simulationen Schritt halten zu können. „Momentan gibt es keine bessere Alternative zu den Hochleistungsrechnern. Daher kann man davon ausgehen, dass auch noch in 30 Jahren mit ihnen gearbeitet wird“, sagt Dr. Daniel Molka. Aufgrund der stetigen Weiterentwicklungen von Flugzeugmodellen werden auch zukünftig die HPC-Cluster benötigt. Mit dem Fokus auf klimafreundlichem Fliegen ist es vorstellbar, dass Flugzeuge eines Tages anders aussehen werden, als wir es gewohnt sind. Doch bevor die Modelle gebaut sind und mit ihnen experimentiert wird, werden unzählige Simulationen, die unter anderem auf den Superrechnern des DLR laufen, durchgeführt.

sie dabei von Fachleuten aus dem Institut für Softwaremethoden zur Produkt-Virtualisierung. Sie besitzen Wissen zur Informatik sowie Programmierung und kennen die Rechner genau.

#### Hoher Energieverbrauch, sinnvoll genutzt

Die hohe Rechenleistung von CARA und CARO erfordert viel Energie. Mit einer Leistungsaufnahme von bis zu 1.200 Kilowatt (CARA) beziehungsweise 800 Kilowatt (CARO) gehören die Hochleistungsrechner zu den Großverbrauchern im DLR. Die beiden Rechner nutzen eine Warmwasserkühlung mit einer Vorlauftemperatur von 35 Grad Celsius – zum Vergleich: Übliche Kühlwassertemperaturen liegen zwischen 15 und 18 Grad Celsius und sind deutlich energieintensiver. Die Abwärme der Wasserkühlung nutzt das Rechenzentrum Dresden, um die umliegenden Gebäude zu heizen. Zudem gibt es Pläne, das Rechenzentrum künftig in das Dresdner Fernwärmenetz einzubinden. Auch bei CARO in Göttingen wird die Wärme genutzt – hier dazu, die Gewächshäuser der Fakultät für Agrarwissenschaften zu heizen.



CARO in Dresden beinhaltet fast 150.000 Recheneinheiten.

Anja Philipp arbeitet in der Standortkommunikation für die Region Ost.

# DER ERSTE SEINER ART

Die DLR Quantencomputing-Initiative bringt Quantencomputer in die Anwendung

von Felix Knoke



eifertfotodesign.de

XQ1i ist der erste Quantencomputer der DLR Quantencomputing-Initiative. Im Mai 2023 wurde er an das DLR-Innovationszentrum Ulm geliefert.

**Ob neue Materialien, verbesserte Routen, komplexe Optimierungsprobleme oder ultraeffizientes maschinelles Lernen: Quantencomputer sollen Probleme lösen, an denen herkömmliche Supercomputer scheitern. Als quantenmechanisches Universalwerkzeug bieten sie Forschung, Industrie und Wirtschaft enorme Chancen. Doch noch hat diese spannende Technologie den Sprung von der Grundlagenforschung in die Anwendung nicht ganz geschafft. Die DLR Quantencomputing-Initiative wird das ändern: Gemeinsam mit Partnern aus Industrie, Wirtschaft, Start-ups und Forschung entwickelt sie prototypische Quantencomputer sowie die dafür notwendigen Technologien und Anwendungen. Die ersten Projekte sind bereits gestartet.**

Diamanten sind eine vielversprechende Plattform für Quantenprozessoren. Der elektronische Zustand von Stickstoff-Fehlstellen (NV-Zentren) zeigt sich bei einer Anregung mit grünem Licht. Das System antwortet mit einer roten Fluoreszenz.

Advanced Quantum



## DAS ENORME POTENZIAL VON QUANTENCOMPUTERN

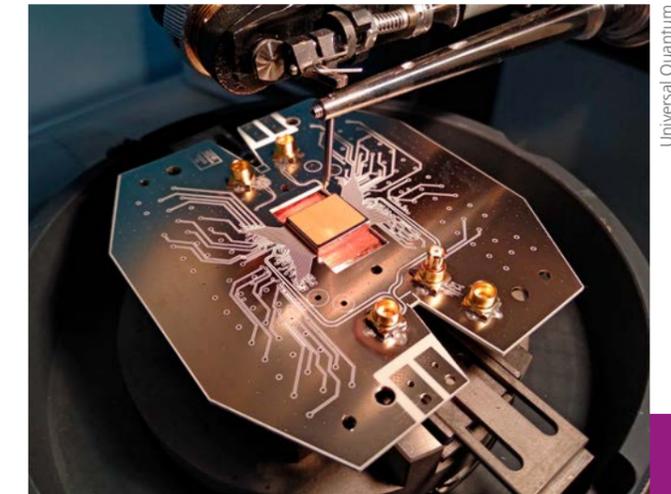
Es gibt besonders komplexe Rechenprobleme, die nur Quantencomputer effizient lösen können – mit enormen positiven Folgen für Forschung, Wirtschaft und Gesellschaft. Durch ihre besondere Rechenweise ermöglichen Quantencomputer zum Beispiel Durchbrüche bei der Optimierung schwieriger Logistikaufgaben, bei der Entwicklung neuartiger Materialien und der Simulation von chemischen Prozessen und physikalischen Systemen. Und als quantenmechanisches Universalwerkzeug unterstützen sie die Entwicklung innovativer Quantentechnologien wie extrem sensibler Sensoren und absolut abhörsicherer Kommunikation. Doch bevor wir vom enormen Potenzial der Quantencomputer profitieren können, müssen wir weiterhin die Hardwarebasis und die möglichen Anwendungen erforschen sowie entwickeln und dazu ein Ökosystem für die industrielle Nutzung aufbauen.

Als der unscheinbare Transporter am DLR-Innovationszentrum in Ulm vorfährt, deutet kaum etwas darauf hin, dass hier gerade Geschichte geschrieben wird. Die Luke öffnet sich und gibt den Blick auf eine spärlich beladene Pritsche frei: Palette und Palettenheber, ein bisschen Krimskrams und irgendwo rechts ein in Folie gewickelter Kasten im Format eines Kühlschranks.

Tatsächlich ist dieser vermeintliche Kühlschrank ein Quantencomputer. Das Leipziger Start-up XeedQ hat ihn für die DLR Quantencomputing-Initiative (DLR QCI) gebaut. Er ist ein kleines System mit vier Qubits und einem etwas sperrigen Namen: XQ1i. Es ist das erste Gerät seiner Art. Zwar kann XQ1i noch keine ernsthaften Probleme lösen, dafür verschafft es DLR-Forschungsteams jedoch erste Erfahrungen mit echter Quantencomputing-Hardware – und damit einen Vorsprung, sobald größere, komplexere Maschinen zur Verfügung stehen.



© DLR



Universal Quantum

Das DLR hat bisher neun Quantencomputer-Projekte und zwei Hilfsttechnologien bei Start-ups in Auftrag gegeben. In Hamburg werden vorwiegend Quantencomputer auf Basis der Ionenfallen-Technologie entwickelt, in Ulm vor allem auf Basis von Neutralatomen, Photonen und NV-Zentren. Dazu kommt ein Analogrechner als komplementäre Plattform für hybrides Rechnen. Dieses Bild zeigt einen Ionenfallen-Quantenprozessor von Universal Quantum aus dem QCI-Projekt Toccata.

„Als DLR Quantencomputing-Initiative sind wir dafür angetreten, Quantencomputern den Weg von der Grundlagenforschung in die industrielle Anwendung zu ebnen“, sagt Robert Axmann, Leiter der DLR QCI. „Das geht nicht von heute auf morgen. Und noch immer gibt es viele Herausforderungen bei der Entwicklung der notwendigen Technologien und strukturellen Voraussetzungen, bis Quantencomputer in der Breite kommerziell genutzt werden können.“

### Technologietransfer an zwei Standorten

Für einen effektiven Technologietransfer hat das DLR zwei Innovationszentren an den Standorten Ulm und Hamburg etabliert. Dort stehen den beauftragten Firmen und Forschungsteams Reinräume, Büros, Werkstätten und Labore zur Verfügung. Vor allem aber treffen hier DLR-Forschungsprojekte, Industrie, die Gründerszene und zukünftige Anwenderinnen und Anwender von Quantencomputing zusammen. Und indem das DLR Infrastrukturen und Kompetenzen bündelt, können Deeptech-Start-ups ohne eigene Labore und Fertigungsanlagen sich entwickeln und eigene Hardware sowie eigene Technologien auf industriellem Niveau fertigen. Die im Rahmen der DLR Quantencomputing-Initiative aufgebauten Quantencomputer stehen schließlich über eine Quantencomputing-Plattform den DLR-Instituten und interessierten Kooperationspartnern zur Verfügung. Mit dieser engen Anbindung von Forschung und Wissenschaft an Industrie und Wirtschaft unterstützt das DLR das Ziel der Bundesregierung, Deutschland und Europa an eine internationale Spitzenposition zu bringen und diese zu festigen. Das DLR beauftragt Komplettsysteme, die es selbst nutzen kann, und ermöglicht Start-ups gleichzeitig, ihre Ideen zur Marktreife zu entwickeln. Das geistige Eigentum, das dabei entsteht, verbleibt beim DLR. Damit wird eine strategische Weiterentwicklung dieser Technologien in Europa möglich, ohne dass die Gefahr besteht, dass Know-how ins Ausland abfließt.

Dieser vermeintliche Kühlschrank trägt den Namen XQ1i und ist ein Quantencomputer, der erste seiner Art. Hier zieht er ins DLR-Innovationszentrum in Ulm ein.

Diatope



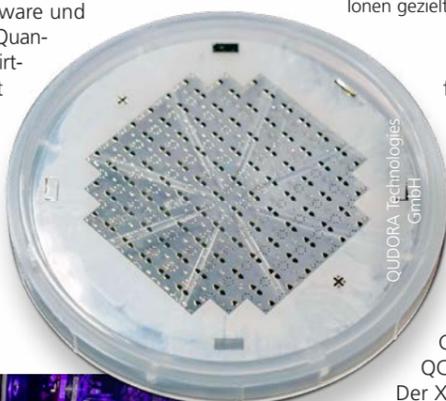
Auf solchen winzigen Diamantblättchen werden gezielt Qubits durch die Implantation von Stickstoff hergestellt.

Deswegen ist die Lieferung des XQ1i auch ein wichtiger Meilenstein für das DLR. Unabhängig von fremden Quantenressourcen und völlig selbstbestimmt können DLR-Forschende direkt mit den Qubits des XQ1i interagieren, sie messen, verändern und zu Rechenoperationen verschalten. „Das sind experimentelle Erfahrungen, die man am Simulator nicht machen kann“, sagt Robert Axmann. „Damit werden unsere Forschungsteams zukünftige, viel komplexere Quantencomputer dieser Art für ihre Forschungs- und Entwicklungsarbeit nutzen können.“

### Ein enormes Potenzial für Unternehmen und Forschung

„Quantencomputer bieten enorme Chancen für Unternehmen und Forschung“, sagt Karla Loida, Projektleiterin Hardware bei der DLR QCI. „Aber noch ist völlig unklar, welcher technologische Ansatz das Rennen machen wird.“ Anstatt sich auf eine Technologie zur Verwirklichung von Quantencomputern festzulegen, setzt die DLR QCI deshalb auf Vielfalt: „Der XQ1i von XeedQ ist eines von derzeit zwölf Hardware-Projekten, die wir bei Start-ups und Industrieunternehmen in Auftrag gegeben haben“, sagt Karla Loida. Gemeinsam mit DLR-Forschungsteams entwickeln diese Unternehmen an den DLR-Innovationszentren in Hamburg und Ulm Quantencomputer mit unterschiedlichen technologischen Grundlagen. Dazu arbeiten gut zwei Dutzend Forschungsteams des DLR an weiterer Hardware sowie Software und weiteren Anwendungen für den Einsatz von Quantencomputern in Forschung, Industrie und Wirtschaft. „Indem wir uns technologisch so breit aufstellen und vom Zulieferer bis zur Anwendung die gesamte Wertschöpfungskette mitdenken, stärkt die DLR QCI das ganze Spektrum an Know-how im deutschen Ökosystem Quantencomputing.“

So entsteht in Hamburg ein Schwerpunkt für die industrielle Fertigung und Nutzung von Quantencomputern auf Basis von Ionen-



Ein Ionenfallenchip des Braunschweiger Start-ups QUDORA. Auf solchen Strukturen werden einzelne Ionen gezielt platziert und als Qubit genutzt.

fallen. In Ulm stehen hingegen Qubits aus NV-Zentren, Neutralatomen und photonischen Systemen im Fokus.

### Vom Labor in die Welt

Auf dem Weg vom Transporter zum Labor im DLR-Innovationszentrum muss der XQ1i jedoch zunächst einige Hindernisse überwinden: Mit gemeinsamen Kräften bugsieren XeedQ-Gründer Gopi Balasubramanian und das Hardware-Team der QCI den schweren Rechner in einen Personenaufzug. Der XQ1i ist ein robustes System, das auch bei Raumtemperatur und nach einer Ruckelfahrt noch funktioniert. Das unterscheidet ihn von anderen Ansätzen für das Quantencomputing, die zum Beispiel riesige Kühlanlagen oder komplexe Steuer- und Messeinheiten benötigen. Im DLR-Innovationszentrum Ulm hat das Team von XeedQ im zweiten Stock bereits ein Büro bezogen.

Von dort aus wird XeedQ mit zwei Firmen am Standort Ulm zusammenarbeiten, die sogenannte Enabling-Technologien bereitstellen: Hilfsmittel, die für die Entwicklung des Ökosystems Quantencomputing nötig sind. Das Start-up Diatope aus Ummendorf bei Ulm stellt beispielsweise spezielle Diamanten für NV-Zentren-Quantencomputer her. Und Advanced Quantum entwickelt im Rahmen der DLR QCI eine Analyseplattform zur Qualitätssicherung von solchen Diamant-Qubits. Mithilfe der Expertise beider Unternehmen möchte XeedQ ihre NV-Zentren-Plattform auf eine industrietaugliche Größe ausbauen. Für Firmen wie XeedQ – aber auch SaxonQ, die ebenfalls einen mobilen NV-Zentren-Quantencomputer für die DLR QCI entwickeln –, bedeutet das nicht nur eine technologische Weiterentwicklung, sondern auch Unabhängigkeit:

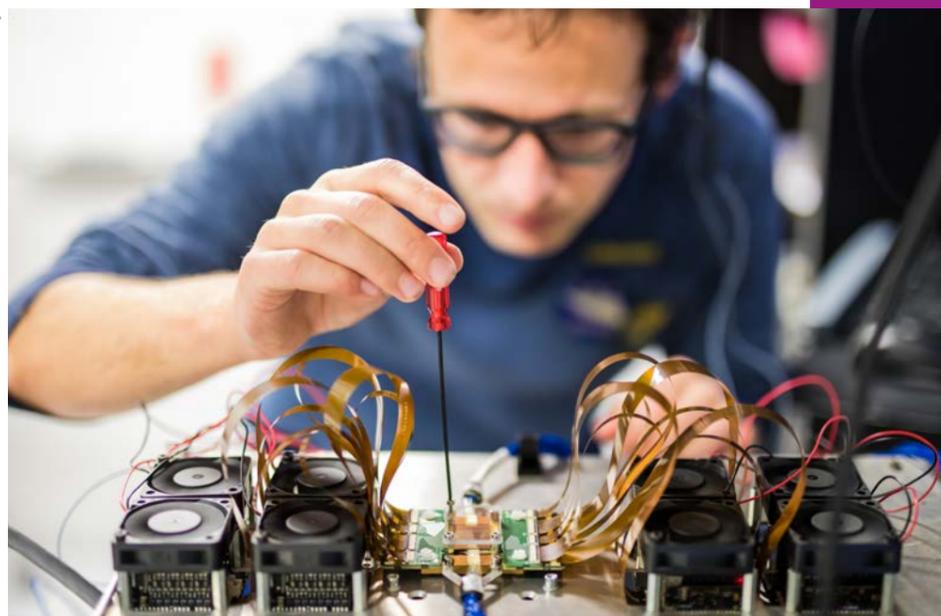
Das Startup Planqc aus Garching bei München entwickelt für die DLR QCI einen fortschrittlichen Quantencomputer mit Neutralatomen.



Das Ummendorfer Start-up Diatope dampft im Reinraum genau definierte Diamantschichten auf ein hochreines Diamantblättchen auf.

Diatope

QuiX Quantum / Daniël Verkijk



Bei der Entwicklung dieses photonischen Quantencomputers aus optisch integrierten Schaltkreisen ist noch viel Handarbeit gefragt.

Quantentechnologien sind noch so neu, dass manche Bausteine bisher nur von einem einzigen Zulieferer zur Verfügung stehen: eine Abhängigkeit, die einem souveränen Hardware-Zugriff der deutschen High-tech-Branche entgegensteht.

### Gemeinsam zum Ökosystem Quantencomputing

In Deutschland herrschen hervorragende Voraussetzungen für einen Durchbruch des Quantencomputings: Es gibt eine starke akademische Quantenforschung, hoch technologisierte mittelständische Zulieferfirmen, eine Großindustrie in forschungsintensiven Branchen und eine Deeptech-Start-up-Szene, die den Technologietransfer von der Spitzenforschung in die Anwendung vorantreibt. Außerdem nimmt die Politik das Thema ernst: Zum Beispiel wird die DLR QCI, die im Mai 2021 startete, über vier Jahre durch 740 Millionen Euro vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz finanziert. 80 Prozent der Gelder fließen in die Industrie, 20 Prozent der Mittel setzt das DLR für eigene Forschungs- und Entwicklungsarbeiten ein. Damit Quantencomputing aus Deutschland ein Erfolg wird, muss all das in einem lebendigen Ökosystem zusammengefügt werden: Gute Ideen aus der Forschung, die von einer innovativen Start-up-Szene in Produkte umgesetzt werden, sind das eine. Auf der anderen Seite braucht es aber auch Anwendungsfälle in Industrie und Wirtschaft, um aus guten Ideen gute Geschäftsmodelle zu machen. Diese Brücke zu schlagen, ist die Aufgabe der Innovationszentren. „Deshalb ist uns der direkte Austausch vor Ort so ausgesprochen wichtig“, sagt Kathrin Höppner, die Leiterin des Innovationszentrums Ulm. „Durch die enge Zusammenarbeit von Forschung, Entwicklung, Zulieferindustrie und Anwendungen unterstützen wir nicht nur Innovation, sondern schaffen auch die Strukturen für eine nachhaltige Entwicklung von konkurrenzfähigen Quantencomputern mit Know-how und Wertschöpfungsketten, die in Deutschland verbleiben.“

Noch ist unklar, welcher Ansatz – oder welche Kombination aus Ansätzen – einmal das Quantencomputer-Rennen machen wird. Vielleicht ist es gerade nicht der gigantische, schillernde Quantencomputer, sondern ein kleines System, das einmal als vermeintlicher Kühlschrank auf einer Transporterpritsche seine Karriere als gute Idee begann.

Felix Knoke ist verantwortlich für die Kommunikation der DLR Quantencomputing-Initiative.



Das Projekt KLIM-QML verbessert Klimamodelle mithilfe von Quantum-Machine-Learning und untersucht dabei unter anderem, wie Schiffemissionen zur Wolkenbildung beitragen.



Blick in das Columbus-Kontrollzentrum. Wie Quantencomputer komplexe Logistikaufgaben lösen können, erforscht das Projekt QMPC mit DLR-Quantencomputern. Das gilt für den Raumflugbetrieb genauso wie für das Container-Terminal oder für die Fahrplanoptimierung.



Alle QCI-Projekte unter [qci.dlr.de/projekte](https://qci.dlr.de/projekte)



# SCHUTZ STATT SCHMUTZ

Die Initiative Plastikpiraten geht der Vermüllung der Gewässer auf den Grund von Nina Wünsche und Stefanie Huland

**Zerrissene Plastiktüten und Einwegflaschen am Rheinufer, Zigarettensammel am Strand, ein Joghurtbecher, der im Meer treibt – vor allem der Anteil an Plastikmüll in Ozeanen, Meeren, Flüssen und Bächen steigt weltweit. Woher kommt dieser Müll? Wie viel ist es und was genau? Diese Fragen beantworten die Plastikpiraten – eine Initiative, die der DLR Projektträger in Europa ausrollt.**

Obwohl wir Menschen und alles Leben auf dieser Erde vom Wasser abhängig sind, nimmt die Verschmutzung unserer Ozeane, Meere, Flüsse und Bäche immer weiter zu. Vor allem der stetig steigende Anteil von Mikro- und Makroplastik verändert unsere hochkomplexen Wassersysteme. Doch noch wissen wir viel zu wenig über diesen Plastikmüll: Woher kommt er und wo geht er hin? Welche Arten von Müll finden sich an und in unseren Gewässern? Wo ist die Belastung durch verschmutzte Flüsse und Meere besonders hoch? Und wie viel Mikroplastik befindet sich bereits in den Gewässern?

## Die Plastikpiraten räumen auf

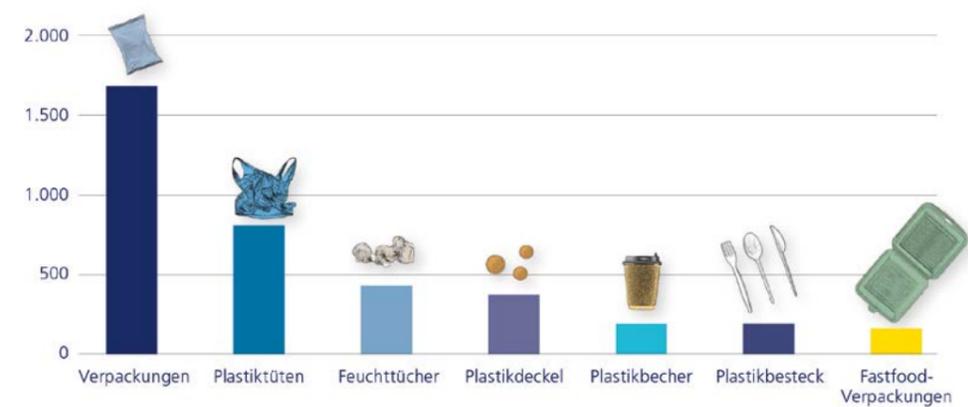
Diesen Fragen gehen die Plastikpiraten auf den Grund. Junge Menschen, Schulklassen oder Jugendgruppen sammeln Müll an und in Gewässern. Das Besondere: Sie tun dies nach wissenschaftlichen Vorgaben und dokumentieren ihre Ergebnisse. Die gesammelten Informationen werden online auf einer Karte zur Verfügung gestellt. So entsteht nach und nach ein riesiger Datenschatz, von dem wiederum Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler weltweit profitieren.

## Der DLR Projektträger bringt die Plastikpiraten nach Europa

Auf Empfehlung des DLR Projektträgers hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung das Projekt „Plastic Pirates – Go Europe!“ ins Leben gerufen. Die Europäische Kommission stellt Mittel zur Verfügung, um die Teilnahme von mehr und mehr europäischen Ländern zu ermöglichen. Für diese europaweite Umsetzung der ursprünglich rein deutschen Initiative ist der DLR Projektträger im Auftrag der Kommission verantwortlich. Als Teil der EU-Mission „Restore our Oceans and Waters by 2030“ sind die Plastikpiraten mittlerweile in zwölf Ländern aktiv, der Startschuss fiel im Sommer 2022. Fast 300 untereinander

## Henry, 14 Jahre, Plastikpirat des Albert-Schweitzer-Gymnasiums in Hamburg

» Plastikmüll ist wirklich überall in der Umwelt, sogar als unsichtbares Mikroplastik im Wasser. Und dieser Müll schadet allen Lebewesen, also Menschen und Tieren. Dank der Plastikpiraten weiß ich jetzt auch, wie die Arbeit von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern funktioniert. Wirklich jeder kann einen Beitrag zur Wissenschaft und damit zum Umweltschutz leisten. Was ich besonders gut finde, ist, dass ich die Flüsse in meiner Umgebung besser kennengelernt habe. «



Anzahl an Einwegartikeln, die bei den Probenahmen im Herbst 2019 und im Frühjahr 2020 gefunden wurden

abgestimmte Sammelaktionen und rund 5.000 junge Plastikpiratinnen und -piraten waren von Portugal bis Bulgarien unterwegs. Die Initiative ist zum bürgerwissenschaftlichen Vorzeigeprojekt der Europäischen Kommission herangewachsen und zeigt ein großes Potenzial, weiter in die Welt hinausgetragen zu werden. „Die größte Herausforderung zu Beginn war es, innerhalb weniger Monate weitere europäische Länder dafür zu begeistern und – passend zum European Year of Youth 2022 – Sammelaktionen in ganz Europa auf die Beine zu stellen. Wir

als DLR Projektträger sind stolz darauf, dass wir mit der Europäisierung der Plastic Pirates dazu beitragen, die Jugend Europas für die Wissenschaft zu begeistern und gleichzeitig Daten zu Grad und Ursprung der Verschmutzung unserer Flüsse und Gewässer zu erheben“, sagt Philip Ackermann, Koordinator der Initiative im DLR Projektträger.

Nina Wünsche arbeitet im Bereich Europäische und internationale Zusammenarbeit beim DLR Projektträger, Stefanie Huland in der Unternehmenskommunikation.

## Janne, 14 Jahre, Plastikpiratin des Albert-Schweitzer-Gymnasiums in Hamburg

» Ich war überrascht, wie viel Müll wir gefunden haben und wie viele Menschen ihren Müll wegwerfen anstatt in den Mülleimer. Um Plastik einzusparen, möchte ich die plastikfreie Variante kaufen: zum Beispiel im Supermarkt den Honig im Glas statt in der Tube. Als andere Möglichkeit kann man Obst und Gemüse auf dem Markt kaufen anstatt in Plastik verpackt. Denn der beste Weg ist es, Müll zu vermeiden und Plastik einzusparen. Wenn mehr Menschen darauf achten, weniger Müll zu produzieren, kann man einen großen Unterschied für die Umwelt machen. «

**MAKROPLASTIK:** Als Makroplastik bezeichnet man alle Plastiktteile, die größer als fünf Millimeter sind. Dazu gehören zum Beispiel Fischernetze, Deckel von Wasserflaschen, Feuerzeuge oder Flipflops. Treibendes Makroplastik wird für Meerestiere zur Gefahr, weil es leicht mit Nahrung verwechselt und verschluckt werden kann. Zudem können sich Schildkröten, Robben, Wale und andere Lebewesen in abgerissenen Netzen, sogenannten Geisternetzen, verfangen und sich dabei verletzen.

**MIKROPLASTIK:** Mikroplastik ist kleiner als fünf Millimeter. Es entsteht, wenn beispielsweise Makroplastiktteile im Ozean durch die Sonneneinstrahlung, den Salzgehalt und die Wellenbewegung in immer kleinere Teile zerbrechen. Viele Mikroplastikpartikel entstehen auch durch den Abrieb von Autoreifen auf der Fahrbahn. Diese Partikel gelangen dann über Abwässer und Flüsse in den Ozean. Auch Mikroplastik wird von Tieren mit Nahrung verwechselt und gelangt so in ihren Organismus – und beim Verzehr dieser Meerestiere dann auch in den menschlichen.

Quelle: Bundesministerium für Bildung und Forschung

## DIE JÜNGSTE AKTION DER PLASTIKPIRATEN



Schülerinnen und Schüler des Albert-Schweitzer-Gymnasiums führten im April am Hamburger Elbstrand eine Plastikpiraten-Sammelaktion durch.

# FASZINIERENDE REISE IN DIE WELT DER INFORMATIK

Besuch im Heinz Nixdorf MuseumsForum in Paderborn

von Michael Müller und ChatGPT

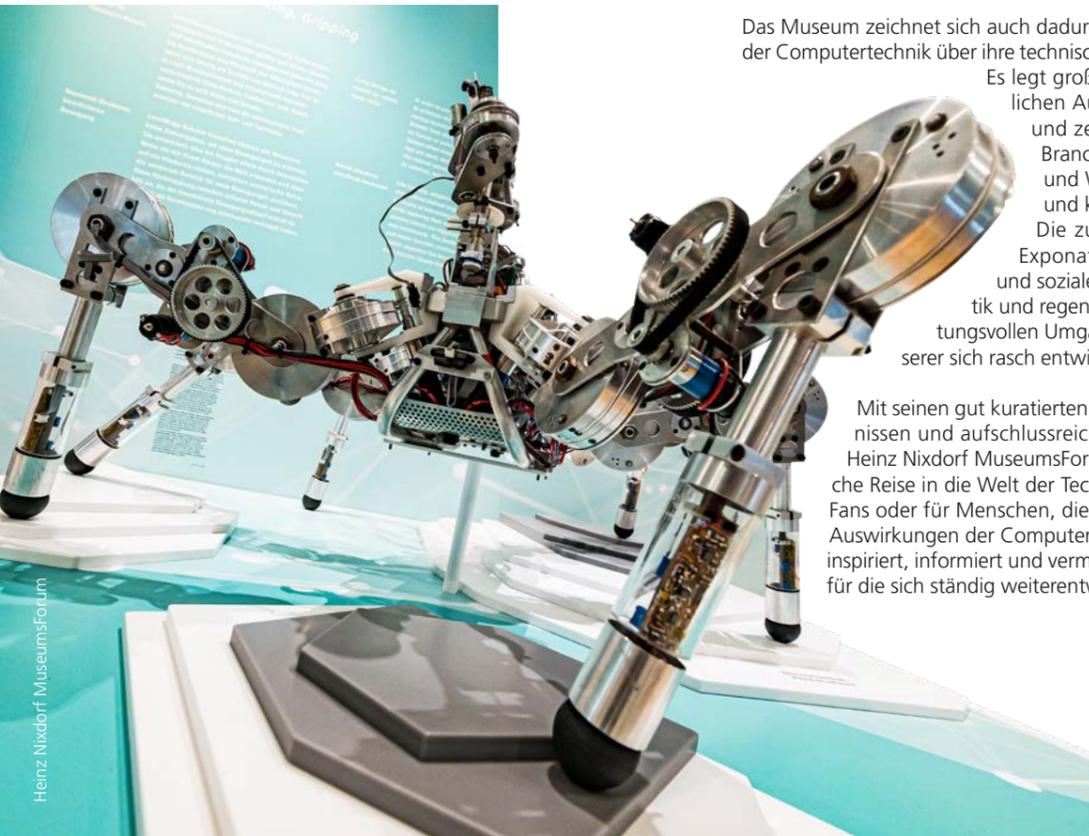


Heinz Nixdorf MuseumsForum

Das Thomas-Arithmometer: Die edle Ausführung der Rechenmaschine war ein Geschenk für den König von Portugal.

**A**n Computertechnik fasziniert die meisten wahrscheinlich nicht nur die Hardware, sondern insbesondere auch die neuesten Anwendungen. Beide sind Gegenstand der großen Dauerausstellung des Heinz Nixdorf MuseumsForums in Paderborn. Hier kann man in die weite Welt der Informationstechnologie eintauchen. Für das DLRmagazin schreibt in diesem Artikel ein besonderes Autorenteam: Ein Text wurde von der KI ChatGPT verfasst, einer von DLR-Redakteur Michael Müller. Entscheiden Sie selbst, welcher von beiden Ihnen mehr zusagt.

Künstliche Intelligenz auf vier Beinen: LAURON bedeutet „laufender Roboter, neuronal gesteuert“.



## Die Geschichte der Computertechnik wird lebendig

Das Heinz Nixdorf MuseumsForum ist ein fesselndes Ziel für Technikbegeisterte, Geschichtsinteressierte und alle, die neugierig sind. Eingebettet in die charmante Stadt Paderborn, nimmt dieses einzigartige Museum die Besucherinnen und Besucher mit auf eine spannende Reise durch die Entwicklung der Computertechnik, von ihren bescheidenen Anfängen bis zu den Spitzentechnologien von heute.

Die umfassende Sammlung zeigt eine große Auswahl an Computerartefakten, darunter alte Rechenmaschinen, frühe Computer und alte Hardware. Erstaunlich sind die unglaublichen Fortschritte, die im Laufe der Jahre gemacht wurden: von den riesigen Großrechnern der Vergangenheit bis hin zu den schlanken und leistungsstarken Geräten, auf die wir uns heute verlassen. Die Liebe zum Detail bei der Präsentation dieser Artefakte, begleitet von informativen Beschreibungen, erweckt die Geschichte der Computertechnik zum Leben.

Das Museum zeichnet sich auch dadurch aus, dass es die Bedeutung der Computertechnik über ihre technischen Aspekte hinaus vermittelt.

Es legt großen Wert auf die gesellschaftlichen Auswirkungen der Technologie und zeigt auf, wie sie verschiedene Branchen revolutioniert und die Art und Weise, wie wir leben, arbeiten und kommunizieren, verändert hat. Die zum Nachdenken anregenden Exponate beleuchten die ethischen und sozialen Auswirkungen der Informatik und regen dazu an, über den verantwortungsvollen Umgang mit der Technologie in unserer sich rasch entwickelnden Welt nachzudenken.

Mit seinen gut kuratierten Exponaten, interaktiven Erlebnissen und aufschlussreichen Kommentaren bietet das Heinz Nixdorf MuseumsForum eine fesselnde und lehrreiche Reise in die Welt der Technologie. Egal ob für Technikfans oder für Menschen, die einfach nur neugierig auf die Auswirkungen der Computertechnik sind – dieses Museum inspiriert, informiert und vermittelt eine tiefe Wertschätzung für die sich ständig weiterentwickelnde digitale Landschaft.

## Auf den Spuren der Bits

Es ist ein Rundgang im wahrsten Sinne des Wortes: Auf zwei Etagen zieht man immer enger werdende Kreise um Hunderte von Exponaten, bis man zum Kern oder Mittelpunkt der Ausstellung vorstößt. Der Einstieg in der ersten Etage versetzt einen in die Antike zurück. Es wird der ganz große Bogen geschlagen: von der Erfindung der Schrift über die ersten Sprossenrad-Rechenmaschinen des Mittelalters mit dem Tübinger Professor Wilhelm Schickard (1592–1635) als deutschem Pionier und den Beginn der Serienfertigung des französischen Arithmometer ab Mitte des 19. Jahrhunderts – das vor allem in der Versicherungsbranche eingesetzt wurde – bis zum Comptometer. Dieser löste in den USA zu Beginn des 20. Jahrhunderts Angestellte ab, die sich auf das blitzschnelle Addieren von langen Zahlenkolonnen spezialisiert hatten. Noch heute übertrifft der Comptometer bei Additionen moderne elektronische Taschenrechner.

Der eigentliche Durchbruch in der Computertechnologie ereignete sich in den 1930er Jahren in den USA, England sowie Deutschland und wird ebenfalls anhand vieler Ausstellungsstücke nachvollzogen. Es entstanden die ersten Maschinen, die automatisch aufwändige Berechnungen durchführen konnten. Mechanische Barrieren wurden durch elektrische

Bauteile wie Relais und Röhren überwunden. Interessantes Detail am Rande: Ein Patent auf den Computer ist nie vergeben worden.

Die Vita und das Gesamtwerk von Heinz Nixdorf – neben Konrad Zuse einer der größten deutschen Computerpioniere sowie ehemaliger Hausherr des in der Nixdorf-Firmenzentrale angesiedelten MuseumsForums – dürfen natürlich in der Hall of Fame, dem Kern der ersten Etage, nicht fehlen. Hier ist auch Alan Turing mit der nach ihm benannten Turing-Maschine vertreten. Der Brite entwickelte in den 1940er Jahren unter anderem ein Testverfahren zur Unterscheidung von menschlicher und künstlicher Intelligenz. Auch hier war er seiner Zeit weit voraus und wirkt bis in die Gegenwart.

Eine Etage höher geht es mit der flächendeckenden Durchsetzung des „Heimcomputers“ für private Nutzende weiter. In deren unmittelbarem Vorfeld spielte die Raumfahrt eine prägende Rolle, konkret die US-amerikanische Weltraumbehörde NASA und deren Mercury-, Gemini- und Apollo-Programme, die 1969 in der ersten Mondlandung gipfelten. Besonders beeindruckend: die Produktionsweise der Rechner für die Apollo-Mission. In einem sehr zeitaufwändigen und fehleranfälligen Verfahren wurden die Programme des Steuercomputers – Kapazität: 600.000 bit – von Weberinnen mit Draht um magnetische Kerne aus Ferrit gelegt. Wenn der Draht durch den Kern verlief, bedeutete das „1“, wenn er am Kern vorbei verlief, „0“. Dies ist nur eine von vielen kuriosen Geschichten rund um die frühe Informationstechnologie, die durch ihre Anschaulichkeit noch lange im Gedächtnis bleiben.

Das Innere der zweiten Etage beschäftigt sich mit den großen Trends der Gegenwart, wobei Quantencomputing hier ausgespart ist. „Was kann künstliche Intelligenz leisten?“, ist die Kernfrage. Doch dies ist nur ein kleiner Ausschnitt dessen, was man im Heinz Nixdorf MuseumsForum bestaunen und ausprobieren kann. Es hilft, viel Zeit mitzubringen – der Besuch in Paderborn lohnt sich auf jeden Fall!

## HEINZ NIXDORF MUSEUMSFORUM

Fürstenallee 7, 33102 Paderborn  
Telefon 05251 306-600

**Öffnungszeiten:**  
di. bis fr. 09:00–18:00 Uhr,  
sa. und so. 10:00–18:00 Uhr

**Eintrittspreise:**  
Erwachsene: 8 €, ermäßigter Eintritt/  
Gruppen ab 10 Personen: 5 €

hnf.de



25 1996 2021  
Heinz Nixdorf  
MuseumsForum  
25 Jahre

H  
N  
F

**ChatGPT** (Generative Pre-trained Transformer) ist ein Chat-Programm, das KI-Verfahren einsetzt, um mit menschlichen Nutzenden über textbasierte Nachrichten zu kommunizieren. **Michael Müller** ist Redakteur in der DLR-Kommunikation.

# AUS DEM ARCHIV

Im Zentralen Archiv des DLR lagern über 50.000 Dokumente. Darunter sind einige Schätze vergraben. Diese Rubrik begibt sich auf Spurensuche mitten hinein in die Flut von Bildern, Schriftstücken, Urkunden und Texten, um diese zu heben. Diese Folge handelt von dem AVA-Versuchswagen, um den sich heute noch zahlreiche Mythen ranken.



## WIE EIN „EI“ INS ROLLEN KAM

Der AVA-Versuchswagen, auch Schlörwagen genannt, war das windschnittigste Auto der Geschichte

von Dr. Jessika Wichner

**A**uch wenn es der Name nicht unbedingt suggeriert, blickt auch die Verkehrsforschung am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt auf eine lange Tradition zurück. Sowohl die Aerodynamische Versuchsanstalt (AVA) in Göttingen als auch die Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt (DVL) in Berlin-Adlershof untersuchten bereits in den 1920er beziehungsweise 1930er Jahren Autos im Windkanal. Doch was passiert, wenn Flugzeugbauer beginnen, Kraftfahrzeuge zu bauen?

Nachdem 1919 der Versailler Friedensvertrag in Kraft getreten war, waren Luftfahrtforschung, das Fliegen mit leistungsstarken Motoren und der Bau von Flugmotoren im Deutschen Reich untersagt. Somit mussten sich sowohl die Luftfahrtforschungseinrichtungen als auch die Konstrukteure von Flugzeugen zunächst andere Erwerbsquellen suchen. Als Konsequenz stiegen eine Reihe von Flugzeugbauern, darunter auch Edmund Rumpler (1872–1940), auf den Automobilbau um. Sie profitierten von ihrem aerodynamischen Wissen, das sich auch auf Kraftfahrzeuge übertragen ließ.

Rumpler konstruierte den sogenannten Rumpler-Tropfenwagen, der, von oben betrachtet, wie ein Tropfen aussah und durch seine Form einen geringen Luftwiderstandsbeiwert ( $c_w$ -Wert) aufwies. Ein Modell des Wagens ließ er um 1920 in der AVA im Windkanal untersuchen. In den nachfolgenden Jahren kamen auch Firmen wie Daimler auf die AVA zu, um Rennwagenmodelle im Windkanal systematisch vermessen zu lassen. Auf diese Weise erarbeitete sich die AVA ein neues Forschungsfeld und erhielt 1935 vom damaligen Reichsverkehrsministerium (RVM) den Auftrag, einen sogenannten Halbstromlinienwagen zu entwickeln, ein Fahrzeug mit stromlinienförmigem Heck.

Nachdem ein entsprechendes Modell im Windkanal in Göttingen eingehend untersucht worden war, erhielt die AVA vom RVM einen Folgeauftrag: die Konzeption und den Bau eines Vollstromlinienwagens als Prototyp. Charakteristisch für einen Vollstromlinienwagen ist, dass sowohl das Heck als auch die Frontpartie des Fahrzeugs stromlinienförmig gestaltet sind. Mit dieser Aufgabe wurde der Ingenieur Karl Schlör (1910–1997) betraut. Erste Experimente mit einem Modell im Windkanal zeigten, dass die neue Karosserieform im Vergleich zu den damals gängigen Kastenwagen einen deutlich geringeren  $c_w$ -Wert aufwies.

### Immer entlang der Stromlinie

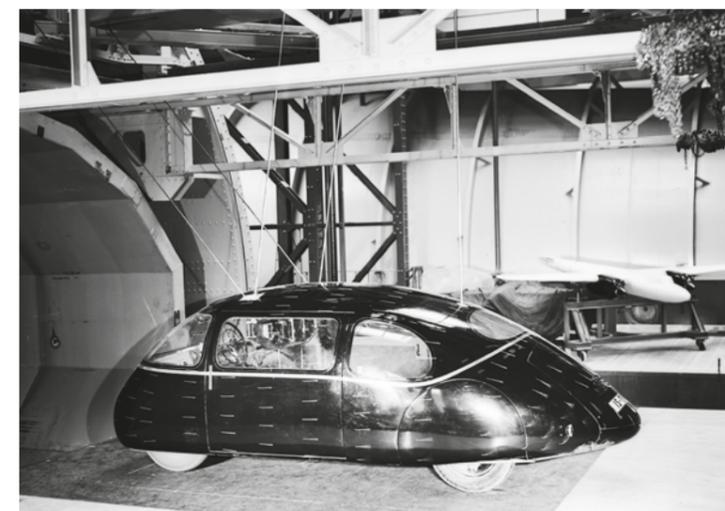
Im nächsten Schritt galt es, das Modell in Großausführung zu bauen. Um den  $c_w$ -Wert so gering wie möglich zu halten, achtete Schlör darauf, dass die Räder des Wagens von der Karosserie umgeben waren und dass alle abstehenden Teile wie Türgriffe, Blinker, und Scheinwerfer in die Karosserie eingelassen wurden. Weil die handelsüblichen Fahrgestelle für die stromlinienförmige Karosserie zu klein waren, entschied sich Schlör, ein Fahrgestell der Firma Mercedes-Benz mit einem 1,7-Liter-Heckmotor auseinanderzunehmen und die Einzelteile in veränderter Anordnung wieder zusammenschweißen. Deshalb befand sich die Lenksäule mittig im Wagen. Im hinteren Teil fanden auf zwei hintereinander angeordneten Sitzreihen bis zu sechs Personen Platz.



Der Ingenieur Karl Schlör entwickelte 1938 den AVA-Versuchswagen. 1942 hatte er einen russischen Beutepropeller mit in die AVA gebracht und diesen zu Versuchszwecken an seinen Wagen montiert.

Da die AVA keinerlei Erfahrung im Karosseriebau hatte, beauftragte sie die Firma Gebrüder Ludewig aus Essen mit dem Bau des sogenannten AVA-Versuchswagens. Dieser wurde in der Folgezeit auch als Schlörwagen bezeichnet und ist aufgrund seiner markanten Form scherzhaft als Göttinger Ei bekannt. Der Wagen wurde Ende 1938 von Schlör aus Essen in die AVA nach Göttingen überführt.

Dort wurde der Wagen im Windkanal vermessen. Sein durchschnittlicher  $c_w$ -Wert lag bei gerade einmal 0,186 – zum Vergleich: Bei modernen Pkw liegt dieser etwa zwischen 0,22 und 0,35 (bei SUV bis 0,4). Auch erste Messungen des  $c_w$ -Werts bei Testfahrten auf der Autobahn



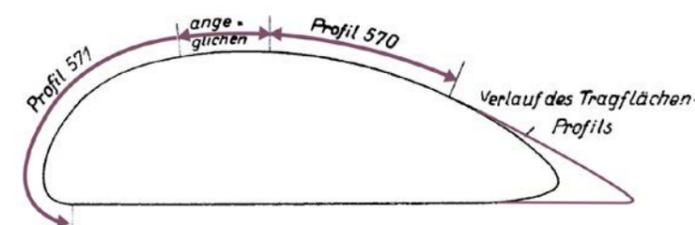
Der Schlörwagen 1938 im Windkanal der AVA. In ihm fanden insgesamt sieben Personen Platz.

zwischen Göttingen und Kassel ergaben Werte um 0,189, was die Fachwelt aufgrund der konsequenten stromlinienförmigen Ausführung des Wagens nicht sonderlich überraschte.

### Wunsch und Wirklichkeit: die Höchstgeschwindigkeit

Zu einer Kontroverse entwickelte sich jedoch die von Schlör ermittelte und in einem Bericht angegebene Höchstgeschwindigkeit von 146 km/h. Insbesondere der renommierte Kraftfahrzeugforscher Wunibald Kamm (1893–1966) zweifelte Schlörs Angabe an. Zudem kritisierte er die aufgrund seiner aerodynamisch günstigen Form bestehende Seitenwindanfälligkeit des AVA-Versuchswagens. Schlör konnte die Zweifel bezüglich der Höchstgeschwindigkeit nicht ausräumen. Auf einer Versuchsfahrt auf der Avus in Berlin kam der Wagen beispielsweise nur auf 110 km/h.

Der AVA-Versuchswagen wurde im Februar 1939 auf der Automobilausstellung in Berlin gezeigt – jedoch nur vor den Toren des Ausstellungsgeländes. Auch ein Modell des Wagens, das auf dem Messegelände gezeigt wurde, musste als reines Versuchsfahrzeug deklariert werden, das nicht in Serie gebaut werden sollte. Hintergrund war, dass auf der Automobilausstellung in Berlin 1939 auch der VW-„Käfer“ erstmals der Öffentlichkeit vorgestellt wurde. Das RVM wollte verhindern, dass der AVA-Versuchswagen als Konkurrenz wahrgenommen werden könnte. Im Vergleich zum „Käfer“ bot der Versuchswagen aus Göttingen deutlich mehr Passagieren Platz, war schneller und hatte einen geringeren Kraftstoffverbrauch.



Schlör wählte, basierend auf dem Modell des Halbstromlinienwagens, eine Karosserieform, die sich aus den Formen der sogenannten Göttinger Flügelprofile 570 und 571 zusammensetzte.

1942 fanden die letzten Fahrten des Schlörwagens statt.



Mit Beginn des Zweiten Weltkriegs wurde die Kraftfahrzeugforschung in der AVA eingestellt. Schlör wurde in der Folgezeit zunächst in die Außenstelle der AVA ins norwegische Finse versetzt und später zum Leiter der AVA-Außenstelle in Riga ernannt. 1942, als er sich auf Heimaturlaub in Göttingen befand, kam der AVA-Versuchswagen letztmalig zum Einsatz.

In den letzten Kriegsjahren wurde der Wagen in seine Einzelteile zerlegt. 1948 versuchte Schlör, der inzwischen im Bayerischen Staatsministerium für Verkehrsangelegenheiten arbeitete, den Wagen, beziehungsweise das, was von ihm noch übrig war, aus der AVA nach Bayern zu transferieren. Er scheiterte jedoch an der britischen Militärregierung, die den Versuchswagen nicht herausgab. Was in der Folgezeit mit dem AVA-Versuchswagen geschah, ist unklar. Es ist zu vermuten, dass er eines Tages verschrottet wurde, da die Karosserie bereits 1942 stark verbeult und somit für weitere Versuchszwecke unbrauchbar war. Aufgrund des ungeklärten Schicksals ranken sich bis heute zahlreiche Mythen um das Fahrzeug. Diese reichen von der Erzählung, dass der Schlörwagen nach dem Krieg nach

England gebracht wurde, bis hin zu der Theorie, dass er im „Feuersturm“ auf Riga verbrannte – beides ist allerdings ausgeschlossen, da der Wagen 1948 noch in Göttingen stand. Seine Faszination hat das Fahrzeug jedenfalls bis heute nicht verloren.

Dr. **Jessika Wichner** leitet das Zentrale Archiv des DLR in Göttingen.

## ZEITGESCHICHTE GREIFBAR MACHEN

Drei Fragen an Horst-Dieter Görg, Mitglied des Vereins Mobile Welten e.V.

**Herr Görg, Sie bauen zusammen mit den anderen Mitgliedern des Vereins Mobile Welten den Schlörwagen nach. Wie kommt man auf eine solche Idee?**

Wir beschäftigen uns seit vielen Jahren mit dem Thema Aerodynamik. Mit seinem bis heute unerreichten Luftwiderstandsbeiwert ( $c_w$ -Wert) ist der Schlörwagen ein spannendes Projekt. Glücklicherweise konnten wir schnell Partner dafür gewinnen und Kontakt zum DLR knüpfen, in dessen Vorgängerorganisation der Schlörwagen damals entwickelt wurde. Ein weiterer Punkt ist der regionale Bezug: Unser Verein ist in Hannover angesiedelt, wo damals Testfahrten stattfanden. Das macht es für uns doppelt spannend. Außerdem sind die Themen

*„Außerdem sind die Themen Energiesparen und Windschnittigkeit heute aktueller denn je. Ich denke, hier können wir viel aus der Vergangenheit lernen.“*

**Horst-Dieter Görg**

Mitglied des Vereins Mobile Welten e.V.

Energiesparen und Windschnittigkeit heute aktueller denn je. Ich denke, hier können wir viel aus der Vergangenheit lernen. Mit diesem Projekt möchten wir Zeitgeschichte greifbar machen.

**Sie haben bereits ein Eins-zu-eins-Modell gebaut. Was sind die weiteren Schritte?**

Das Modell steht noch bis Ende Oktober im August-Horch-Museum in Zwickau. Damit kann man allerdings nicht fahren. 2019 entdeckten wir im Westwald drei originale, wenn auch desolate Mercedes 170 H. Auf Basis dieses Modells entstand damals der Schlörwagen. Mit den Teilen bauen wir – parallel mit der Central Garage in Bad Homburg – aktuell zwei Schlörwagen auf. Weil uns

der pädagogische Wert wichtig ist, möchten wir bei „unserem“ das „Innenleben“ sichtbar machen, vielleicht mit Acrylglas oder mit einer anderen Konstruktion. 2021/2022 wurden die Rahmen umgebaut und vor Kurzem hat unser Karosseriebauer eine Gitterkonstruktion – quasi als „Lehre“ für das noch zu fertigende Holzgerüst – aufgesetzt. Jetzt kann man schon die Außenhülle erahnen. Nun müssen wir erst einmal Geld für den Holzaufbau sammeln, denn bei uns läuft alles über Spenden und Eigenleistungen. Dieser wird sicher eine Herausforderung für den Tischler oder die Tischlerin, denn am Schlörwagen ist alles rund, da passt keine Standardleiste. Parallel möchten wir außerdem den Motor zum Leben erwecken, der ist im Moment nur ein Bausatz.

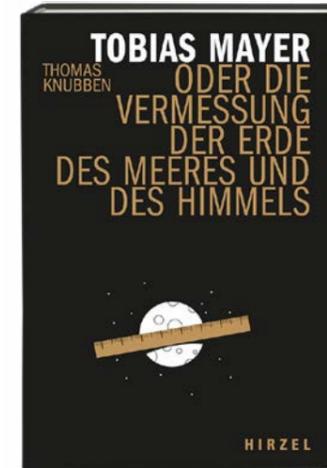
**Und wo werden Sie als Erstes hinfahren?**

Eigentlich würde ich gerne schon nächstes Jahr damit fahren. Genauer gesagt zu einer unserer Veranstaltungen in Dessau zum Thema Stromlinie. Da würde der Schlörwagen auch schon halb fertig reinpassen.



© Holger Eggers

# FEUILLETON



## DER REVOLUTIONÄR DER LANDKARTEN

Tobias Mayer war einer der bedeutendsten Wissenschaftler, die je im deutschsprachigen Raum gewirkt haben. Tobias wer?

Am 17. Februar vor 300 Jahren erblickte im württembergischen Marbach am Neckar ein Kind das Licht der Welt, das, wie so viele damals, in ärmlichen Verhältnissen aufwachsen musste. Tobias Mayer hatte nie eine Universität besucht, hinterließ aber in seinen nur 39 Lebensjahren tiefe Spuren in der Physik und der Mathematik, vor allem aber in der Kartografie, Geografie und Astronomie. Seine Karriere begann neckaraufwärts, in Esslingen, wo er mit 16 Jahren einen Stadtplan entwarf. Bald darauf wirkte er in Nürnberg. Von dort wurde er 1751 als 28-Jähriger vom Kurfürsten von Hannover und König von England an die just gegründete Universität Göttingen berufen.

Seine Leidenschaft galt der Vermessung der Erde, die im frühen 18. Jahrhundert mit der zunehmenden Mobilität der Europäer auf den Weltmeeren an Bedeutung gewann. Karten wurden benötigt! Es war das Zeitalter der Aufklärung und wenn man so möchte, waren es auch die ersten Anfänge einer moderneren Welt, die sich der Vernunft und der in der Natur beobachteten Realität zuwandte: eine Epoche, in der die Naturwissenschaften enorme Fortschritte machten. Dank Kopernikus, Brahe, Kepler und Galilei war die Erde endlich dort, wo sie hingehört, nämlich auf einer Bahn um die Sonne und diese im Zentrum des Planetensystems. Mit Newton funktionierte auch die dazugehörige Himmelsmechanik. Mithilfe der immer leistungsfähigeren Teleskope wurden in dieser Zeit viele kartografische Probleme auf der Erde gelöst.

Mayer befasste sich deshalb auch mit der ökonomisch wichtigen Frage, auf welchem Längengrad ein Schiff gerade auf dem Meer unterwegs ist. Um dies zu berechnen, musste man den Mond von unterschiedlichen Standorten gleichzeitig anpeilen. Mayer muss ungeheuer fleißig gewesen sein: Er beobachtete und berechnete daraufhin entschieden bessere Tabellen, mit denen der Längengrad bestimmt werden konnte. Gleichzeitig erstellte er – begnadeter Zeichner, der er war – die erste selenografisch (mondkundlich) exakte Mondkarte, posthum von Lichtenberg 1775 veröffentlicht. Sie war die erste und für ein halbes Jahrhundert die beste, die es gab. Als er 1762 an Typhus verstarb, erhielt seine Witwe Maria Victoria vom britischen Königshaus in Anerkennung für die Lösung des Längengrad-Paradigmas 3.000 Pfund, ein kleines Vermögen!

Das alles und noch viel, viel mehr aus dieser faszinierenden, aber alles andere als einfachen Zeit – mit Hunger, Krieg und Krankheiten als ständigen Begleitern in oft kurzen Leben – schildert der Historiker und Germanist Thomas Knubben in dem wunderbaren Bändchen **Tobias Mayer oder die Vermessung der Erde, des Meeres und des Himmels (Hirzel)** in großartiger, klarer, immer unterhaltsamer Sprache. Einziges Manko sind die etwas zu kleinen Reproduktionen der historischen Karten. Die Zeit von Tobias Mayer wird auf 210 Seiten lebendig ausgebreitet. Knubben stellt diesen so umfangreichen, aber wichtigen Kontext sowie die komplexen Zusammenhänge mit geradezu spielerischer Leichtigkeit dar. Jede Seite ein wissenschaftshistorischer Genuss!

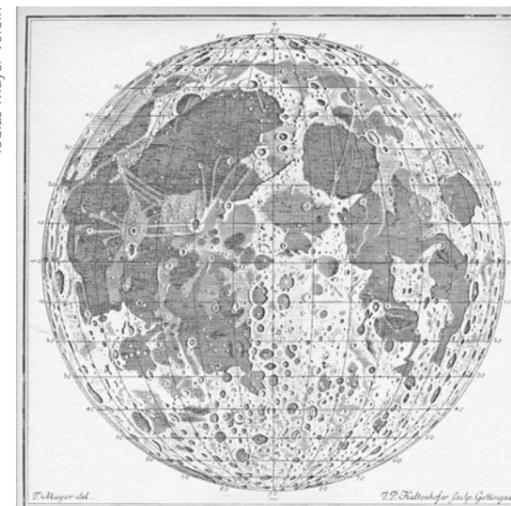
**Ulrich Köhler**

Tobias-Mayer-Verein



Wenn Meile nicht gleich Meile ist: Mit der „Mappa Critica“ legte Mayer die Folgen der deutschen Kleinstaaterei offen.

Tobias-Mayer-Verein



Um signifikante Fortschritte für das Längengradproblem auf den Weltmeeren erzielen zu können, benötigte Mayer eine Mondkarte mit präzisen Breiten- und Längengraden. 1750 war sie vollendet, die beste dieser Epoche.

## DIE REVOLUTION DES KLANGS

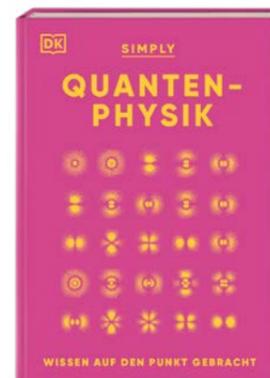
Ein Buch über Klänge, eine akustische Lesereise – kann das funktionieren? Wer sich auf dieses Buch einlässt, wird – so viel sei verraten – staunend und lauschend zwischen den Zeilen verharren. Es scheint, als würden wir beim Lesen plötzlich daran erinnert, dass das Hören der erste Sinn ist, mit dem wir unsere Umwelt wahrnehmen. Denn viel zu oft konzentriert sich heute alles, was wir wissen, glauben und spüren, auf das, was wir sehen. Wer sich mit Michaela Vieser und Isaac Yuen auf die Reise zu den akustischen Wundern der Erde begibt, wird lesen und zuhören zugleich.

In seinem **Atlas der ungewöhnlichen Klänge (Knesebeck Verlag)** erzählt das preisgekrönte Duo uns die Geschichte versteinertes Klangbilder – von singenden Tempelsäulen und summenden Höhlenwänden. Es entführt uns zu Konzerten verliebter Fische und lässt uns den Botschaften von Luft und Wasser, von Wind und Erde lauschen. Es gibt, so scheint es, unendlich viel zu lernen und zu entdecken über den Kosmos des Klangs. Wer mag, springt in diesem Klang-Atlas umher, wählt einzelne Kapitel aus. Doch die Beschreibungen sind so bildhaft, so „hörbar“ und zugleich fachlich fesselnd beschrieben, dass man – einmal aufgehört – nicht mehr so recht davon ablassen kann, immer wissbegieriger und tiefer in die Schichten der akustischen Erfahrung vorzudringen. Wer schon immer erfahren wollte, wie man mittels Fernseher oder Radio eine Spur der Geburt des Universums nehmen kann, wessen Stimme in Londoner U-Bahnen erstmals höflich nuanciert das „Please mind the gap“ sprach oder welcher gefrorene See Geräusche von sich gibt, die an Star-Wars-Filme erinnern, sollte in dieses Buch hineinhorchen. Es ist ein Klangerlebnis!

Yvonne Buchwald



## GEBALLTES WISSEN, SCHICK AUFGEMACHT



**Quantenphysik** – dieses Wort schwebt durch die Gesellschaft wie die Mücken durch eine laue Sommernacht. Als das pinke Buch der Reihe SIMPLY aus dem **Verlag Dorling Kindersley** vor mir lag, hatte ich zunächst Hemmungen, es zu öffnen. Ich hatte Sorge vor dem geballten Wissen, das darin auf mich einprasseln könnte. Ist der innere Schweinehund aber erst einmal überwunden, fliegt man durch dieses Buch. Zitate, Bilder, Vergleiche, einfache Sprache – all das erleichtert das Lesen. Die wichtigsten Begriffe sind auf den Punkt gebracht. Der Verlag wirbt mit dem Slogan „Für alle Wissbegierigen mit wenig Zeit“. Na ja, etwas Zeit und Muße muss man schon haben. Aber mit dem Öffnen des Buches ist der erste Schritt getan. Anschauliche Grafiken geben einen

Einstieg in die Welt des allerkleinsten Maßstabs – ein visuelles Nachschlagewerk zu über 100 zentralen Themen der Quantenphysik. Es lohnt sich und es macht sogar ein bisschen Spaß.

Auch in der Reihe erschienen ist **Astronomie**, eine Entdeckungsreise durch unser unendliches Universum. Ob der Urknall, die Planeten, Galaxien oder Sternbilder – knapp 100 Themen werden in dem übersichtlichen Buch auf jeweils einer Doppelseite erklärt. Viele Bilder und Grafiken sowie die verständlichen Erklärungen machen Lust, immer weiterzublättern. Wer dann noch weiterschmökern möchte: Die SIMPLY-Reihe bietet eine breite Auswahl spannender Themen, vom Gehirn über Klimawandel und Psychologie bis hin zu Mathematik.

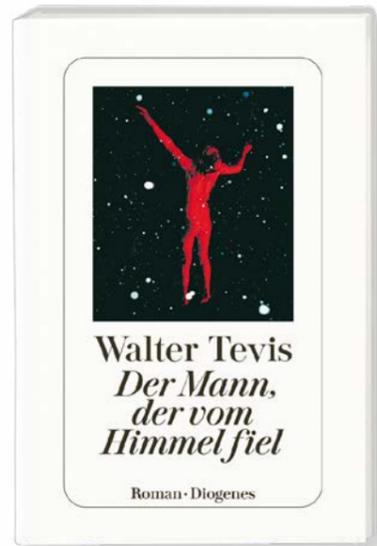
Miriam Poetter und Noemi Bödecker

## DER WEINENDE FREMDE

Der Antheaner stolpert mehr, als dass er geht. Die ungewohnte irdische Schwerkraft lastet auf ihm. Eiserner Wille treibt ihn an. Er muss sein Volk retten. Von seinem heimatlichen, zur Ödnis verkommenen Himmelskörper aus soll er es auf die Erde schaffen. Hyperintelligent und im besten Bemühen, die Bewohnerinnen und Bewohner dieses verheißungsvollen Planeten zu verstehen, gründet er ein Imperium zum Bau einer Raumfähre. Doch Einsamkeit, Hitze und zunehmend die Dummheit menschlichen Tuns machen ihm zu schaffen. Lediglich einen arbeitsamen Ingenieur mit wachem Geist und eine trinkende Sozialhilfeempfängerin lässt der hochgewachsene, feingliedrige Fremde in sein Leben. Aber bald erfassen ihn Zweifel, die er in Gin ertränkt. Denn auch die hochmodernen Technologien seines Volkes und Geld – sehr viel Geld – reichen offenbar nicht aus, um die Erde zur neuen, rettenden Heimat zu machen.

Der Amerikaner Walter Tevis (1928–1984) schrieb **Der Mann, der vom Himmel fiel** 1963. Das Buch wurde 1976 mit David Bowie in der Hauptrolle verfilmt. **Diogenes** hat das kleine Meisterwerk nun in einer Neuübersetzung aufgelegt, um es vor dem Vergessen zu bewahren – dankenswerterweise. Das von Tevis schnörkellos gezeichnete Bild des Lebens auf der Erde macht nachdenklich. Nicht nur, weil er die Gesellschaft so klar und zutreffend beschreibt, sondern auch, weil wir uns eingestehen müssen, dass die Menschen bis heute, sechzig Jahre (!) nach Erscheinen des Buchs, das einzigartige Leben auf der Erde immer noch nicht angemessen schätzen und schützen. Und so geht am Ende die Frage, die sich der Romanheld desillusioniert stellt, unter die Haut: Sind die auf der Erde lebenden Ignoranten es wert, gerettet zu werden?

Cordula Tegen



## UNKONVENTIONELL ZUM MARS



Wie man es schafft, Wort und Bild so zu kombinieren, dass man wie durch ein Wurmloch in eine Story gesaugt wird, zeigen Autor Carlo Palazzari und Zeichner Tristan Wilder in ihrem wunderbaren Comicstrip **Little Spaceoneers**, erschienen in englischer Sprache bei der **Design & Data GmbH**. Fünf Freundinnen und Freunde, zwischen 001 (Laika, der Roboterhund – Lieblingsband Kraftwerk) und zwölf Jahren,

setzen sich das Ziel, zum Mars zu fliegen. Sie gründen dazu ein Space-Start-up. Die fein ausgearbeiteten Charaktere unterscheiden sich prägnant voneinander. So entsteht zu Beginn der Eindruck, dass eine erfolgreiche Zusammenarbeit völlig utopisch ist. Im Laufe der Story wird man jedoch eines Besseren belehrt. Die Diversität der Gruppe und ihre Interaktionen sind eine magische und unglaublich erheiternde Kombination. Alle Phasen einer Geschäftsgründung werden durchlaufen und sehr individuelle Qualitäten ins Spiel gebracht, damit das Ziel Marslandung realisiert werden kann – sei es über Geldbeschaffung durch eine selbstgebaute Limonadenmaschine und eine Musicalaufführung, Teambuilding am Lagerfeuer oder gegenseitige Motivation bei Identitätskrisen. Die fünf halten zusammen und bleiben hartnäckig. Aufgeben ist keine Option! Dieser Comicstrip ist eine Reise in die unkonventionelle und fantasievolle Gedankenwelt junger, raumfahrtbegeisterter Menschen, die überzeugend vermittelt, dass der Weg das Ziel ist. Palazzari und Wilder schaffen es, mit einem fabelhaften Gespür für Understatement und gut platzierten Fun Facts, dass auch Erwachsene großen Spaß an dieser Lektüre finden können. Wahrscheinlich wird es nicht das letzte Abenteuer dieser außergewöhnlichen Truppe gewesen sein!

Antje Gersberg

## LINKTIPPS

WIE VIEL WASSER VERBRAUCHE ICH?

[everylastdrop.co.uk](http://everylastdrop.co.uk)

Wasser wird weltweit knapper. Wir trinken es, waschen uns und kochen jeden Tag damit. Die interaktive Website Every Last Drop zeigt, wie viel Wasser eine Person in Großbritannien tagtäglich verbraucht. Dazu gehört auch der Wasserverbrauch, der für uns als Konsumenten und Konsumentinnen nicht unbedingt sichtbar ist. Ein kurzes Video zeigt, wie wir im Alltag einfach Wasser einsparen können, ohne auf etwas zu verzichten.

KLEIN, ABER GEWALTIG

[planetary.org/defend-earth/asteroid-close-calls](http://planetary.org/defend-earth/asteroid-close-calls)

Ein Asteroid mit einem Durchmesser von nur 20 Meter könnte bei einem Einschlag auf die Erde einen großen Schaden anrichten. Viele Asteroiden passieren unseren Planeten mit geringerem Abstand als der Mond, dennoch kann man sie wegen ihrer geringen Größe mit bloßem Auge nicht erkennen. Wer wissen möchte, welche Asteroiden in der Vergangenheit an der Erde vorbeigeflogen sind und welche es in Zukunft noch tun werden, sollte sich diese Grafik von The Planetary Society anschauen.

3, 2, 1 ...

[countdown.dlr.de](http://countdown.dlr.de)

Kein Raketenstart kommt ohne das berühmte Rückwärtszählen aus. Dem zollt der Titel des Magazins der Deutschen Raumfahrtagentur im DLR Tribut. Das Magazin COUNTDOWN gibt einen tiefen Einblick in den Raumfahrtsektor und die deutsche Raumfahrtspolitik. Hier können Sie das Printmagazin bestellen, das PDF herunterladen oder auch in der umfangreichen Online-Ausgabe schmökern.

SCHÖNER CODE

[s.dlr.de/codestories](http://s.dlr.de/codestories)

Software ist insbesondere aus der Forschung nicht mehr wegzudenken. Sie ermöglicht die Simulation von Wetter- und Klimadaten, hilft bei der Auswertung medizinischer Forschungsdaten oder beim Satellitenbetrieb. In diesem Podcast aus dem DLR-Institut für Softwaretechnologie berichten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler über die breit gefächerten Themen, an denen sie forschen und für die sie sich begeistern.

REISEN IM SONNENSYSTEM

[solarsystemscope.com](http://solarsystemscope.com)

Wie ist eigentlich der Mars aufgebaut? Und wie viele Marsmonde gibt es? Antworten auf diese und weitere Fragen rund um unser Sonnensystem werden auf dieser Website beantwortet. Hier kann man zwischen Planeten, Sternen und astronomischen Objekten umherreisen und in der Enzyklopädie Informationen zu Beschaffenheit, Entstehung und vielem mehr entdecken. Außerdem kann man von der Erde aus in den Nachthimmel schauen.

## Titelbild

An der Niederelbe zwischen Cuxhaven und Stade, genauer gesagt in Krummendeich, reckt sich die Windenergieanlage OPUS 1 150 Meter hoch in den Himmel. Sie ist Teil des DLR-Forschungsparks Windenergie WiValdi (Wind Validation). Dieser wurde Mitte August 2023 offiziell eröffnet. Neben OPUS 1 stehen dort eine weitere Windenergieanlage namens OPUS 2 sowie mehrere Messmasten. Eine dritte Anlage ist in Planung. Die beteiligten DLR-Fachleute stammen aus den unterschiedlichsten Bereichen und arbeiten interdisziplinär. Alle haben ein gemeinsames Ziel: Sie wollen die Windkraft als Ganzes – mit all ihren Einflussfaktoren – besser verstehen. Auf dieser Basis wird das DLR gemeinsam mit Unternehmen Technologien entwickeln, welche die Effizienz, Wirtschaftlichkeit und Akzeptanz der Windenergie weiter steigern sollen.

