

## Transformation der Energiesysteme

11  
102  
1004

Leibniz  
Universität  
Hannover



Der Shop der Leibniz Universität Hannover

# LeibnizSHOP

Welfengarten 1, 30167 Hannover

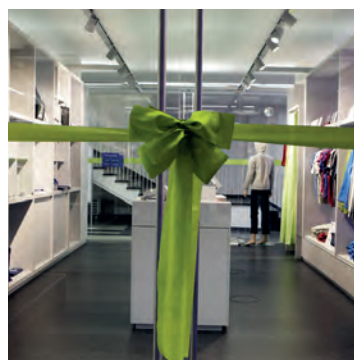


## Öffnungszeiten

während der  
vorlesungsfreien Zeit:

Montag 10 – 14 Uhr

Mittwoch 12 – 15 Uhr



Unser Onlineshop:  
[www.leibnizshop-uni.de](http://www.leibnizshop-uni.de)

# Editorial

Liebe Leserin, lieber Leser,

unsere Energiesysteme fußen seit Jahrzehnten auf fossilen Energieträgern wie Kohle, Öl und Gas. Doch der Klimawandel zeigt uns überdeutlich, dass der daraus folgende CO<sub>2</sub>-Ausstoß eine Gefahr für unsere Biosphäre und damit auch für die Menschheit ist.

Zu dem Problem des viel zu hohen CO<sub>2</sub>-Ausstoßes kam im Februar 2022 der russische Angriffskrieg gegen die Ukraine, der offenbart, wie totalitäre Staaten unsere Abhängigkeit von fossilen Energieträgern auch als Waffe benutzen, um demokratische Ordnungen unter Druck zu setzen.

Die Wissenschaft warnt schon lange und immer eindringlicher vor den Folgen des Klimawandels, mahnt nicht nur Änderungen an, sondern entwickelt auch seit Jahren neue Technologien, die vielfach – wie etwa die Photovoltaik, Windkraft oder Wärmepumpen – auch schon eingesetzt werden. Über 42 Prozent des Stromes wurde 2021 mit erneuerbaren Energien erzeugt. Der Wärmesektor hinkt mit 16,5 Prozent, der Verkehrssektor mit 6,8 Prozent hinterher. Hier muss noch viel getan werden und es reicht nicht, einzelne Energieträger zu ersetzen. Es bedarf einer kompletten Transformation der Energiesysteme. Die verschiedenen Bausteine des Systems müssen klug miteinander verzahnt werden, um die Ziele Klimaneutralität und Versorgungssicherheit zu erreichen. An der Leibniz Universität hat die Energieforschung durch die ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen eine lange Tradition.

Seit 2010 wurden die Energiewissenschaften mit der Gründung einer Forschungsinitiative programmatisch vernetzt und ab 2014 in das Forschungszentrum LiFE 2050 überführt, das das Ziel hat, die Transformation der Energiesysteme mit wissenschaftlicher Expertise zu unterstützen.

Mehr als 50 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus allen neun Fakultäten der Leibniz Universität haben zu diesem Themenheft beigetragen und zeigen vielfältige Fortschritte und Möglichkeiten auf. Klar wird dabei, dass oft ein interdisziplinärer Ansatz notwendig ist. Nicht zuletzt versuchen die Forscherinnen und Forscher aufzuzeigen, wie diese Themen und anstehenden Transformationen gesellschaftliche Akzeptanz finden können. Auch die Leibniz Universität selbst hat sich zum Ziel gesetzt, bis 2031 klimaneutral zu werden. In dem „Reallabor“ der LUH werden Studierende einen Experimentierraum finden, in dem sie Einblicke in die Forschung bekommen und dieses Wissen in die Gesellschaft tragen können.

Ich wünsche eine interessante und erkenntnisreiche Lektüre!



Viel Freude beim Lesen wünscht

A blue ink handwritten signature, appearing to read 'Volker Epping', written in a cursive style.

Prof. Dr. Volker Epping  
Präsident der  
Leibniz Universität Hannover

# Transformation der Energiesysteme

## Unimagazin

Forschungsmagazin der Leibniz  
Universität Hannover • ISSN 1616-4075

Herausgeber  
Das Präsidium der Leibniz Universität  
Hannover

Redaktion  
Monika Wegener (Leitung),  
Dr. Anette Schröder

Anschrift der Redaktion  
Leibniz Universität Hannover  
Alumnibüro  
Welfengarten 1  
D-30167 Hannover

Anzeigenverwaltung/Herstellung  
ALPHA Informationsgesellschaft mbH  
Finkenstr. 10  
D-68623 Lampertheim  
Telefon: 06206 939-0  
Telefax: 06206 939-232  
Internet: www.alphapublic.de

Titelabbildungen  
Tanja Föhr  
Föhr – Agentur für Innovationskulturen

Das Forschungsmagazin Unimagazin  
erscheint zweimal im Jahr. Nachdruck  
einzelner Artikel, auch auszugsweise,  
nur mit Genehmigung der Redaktion.  
Für den Inhalt der Beiträge sind die  
jeweiligen Autoren verantwortlich.

Richard Hanke-Rauschenbach |  
Völker Schöber  
4 .... **Transformation der Energiesysteme**  
Ein kompakter Überblick zur Energie-  
forschung an der Leibniz Universität  
Hannover

Raimund Rolfes | Clemens Hübler |  
Andreas Ehrmann  
8 ..... **Zur Realisierung von Mega-Windturbinen  
auf See**  
Sonderforschungsbereich entwickelt  
digitalen Zwilling

Bernd Ponick et. al  
14 .... **Airborne Wind Energy**  
Flugwindenergieanlagen zur Nutzung  
von Höhenwind

Raimund Rolfes | Michael Breitner |  
Clemens Hübler  
16 .... **Was geschieht mit alten  
Windenergieanlagen?**  
Windenergie onshore und offshore  
nachhaltig weiternutzen

Tobias Bohne et. al  
18 .... **Wie entsteht Lärm bei  
Windenergieanlagen?**  
Untersuchungen zu Schallausbreitung und  
Schallwahrnehmung

Rolf Brendel et. al  
22 .... **Gigawatt-Photovoltaik mit  
Nanometer-Strukturen**  
Forschung für die wichtigste Energiequelle  
der Menschheit

Marcus A. Horn | Nadine Rüppel  
28 .... **Das Leben findet einen Weg**  
Erzeugung von Wasserstoff  
durch Mikroorganismen

Axel Mertens et. al  
30 .... **Keine Angst vor dem Blackout**  
Ein dezentral organisierter Schwarzstart  
ist machbar!

Jörg Seume et. al  
34 .... **Die Flugzeuge von morgen**  
Energieeffizientes und nachhaltiges Fliegen

Stephan Kabelac | Rolf Brendel |  
Gunther Seckmeyer  
40 .... **Die Wärmepumpe**  
Dreh- und Angelpunkt der Wärme

Niklas Maroldt et. al  
44 .... **Wertschätzen statt wegwerfen**  
Energie und Ressourcen sparen durch die  
Reparatur von Investitionsgütern

Richard Hanke-Rauschenbach et. al  
48 .... **Wasserstoff für die Sektorkopplung**  
Wasserstoffforschung verbindet Abwasser,  
Nahverkehr und Wärmeversorgung

Maximilian Heumann et. al  
52 .... **Waren effizient und nachhaltig geliefert:**  
die USEful Webapplikation

Raphael Niepelt et. al  
54 .... **Flexible und robuste Wege zur  
Energiewende**  
Neue Transformationspfade zu einem  
nachhaltigen Energiesystem

Jetzt  
auch mobil  
und online lesen.

<https://online-magazine.uni-hannover.de/>



**Till Bruckermann | Sascha Schanze | Katharina Müller**  
58 ....**Energieforschung macht Schule**  
Das Leibniz4U-Schülerforschungszentrum als bildungsbezogene Transfermaßnahme

**Jan-Hendrik Piel | Tobias Bohne | Raimund Rolfes**  
64 ....**WindGISKI**  
Kann KI neue Flächen für Windenergieanlagen finden?

**Margit Seckelmann**  
60 ....**Rekursive Normenbildung in der Energiewende**  
Projekt untersucht gesellschaftliche und rechtliche Aushandlungen

68 ....**Die Autorinnen und Autoren**

76 ....**Personalia und Preise**

**Christina von Haaren | Hans-Peter Braun | Stephanie Mittrach**  
62 ....**Energiewende konkret:**  
Photovoltaik auf dem Campus der Leibniz Universität



**NEUGIERIG? DAS IST BEI UNS EINSTELLUNGSSACHE.**

**HIGH TECH. HIGH SUCCESS.**

Du suchst eine herausfordernde Aufgabe, die es dir ermöglicht, Hochtechnologien der Zukunft mitzugestalten?

- Lasertechnologie
- Maschinenbau
- Elektrotechnik
- Softwareentwicklung

Du bist interessiert?  
Dann besuche den folgenden Link:  
<https://jobs.lpkf.com>

**LPKF**  
Laser & Electronics

# Transformation der Energiesysteme

Ein kompakter Überblick zur Energieforschung an der Leibniz Universität Hannover



Die Nutzung von Energie in vielfältigen Formen durchdringt unser Leben. Dabei hat der Zugriff auf fossile Energieträger in den letzten 200 Jahren ein beispielloses Wirtschaftswachstum und eine Steigerung der Lebensqualität ausgelöst. Der Energieverbrauch ist dabei eng mit unserem Lebensstandard verknüpft, aber auch mit Krisen, die unsere Gesellschaften zunehmend durchdringen.

Bereits 1972 wurden vom Club of Rome die Grenzen des Wachstums durch endliche Ressourcen in unseren planetare Grenze formuliert [The Limits to Growth]. Dies verstärkte das Bewusstsein, dass allein Ressourcenmangel ein Grund ist, um unsere Energieversorgung auf nachhaltige Quellen umzustellen. Die Erwärmung der Atmosphäre durch den Ausstoß von Klimagasen führt über den Treibhauseffekt zu einem anthropogen verursachten Klimawandel und ist ein weiteres Argument, die Nutzung von fossilen Energieträgern einzuschränken. Weltklimakonferenzen unter dem Schirm der Vereinten Nationen haben seit 1979 das Ziel, eine internationale Klimaschutzpolitik abzustimmen und zu vereinbaren. Um die Auswirkungen des Klimawandels einzugrenzen, wurde mit der 21. Konferenz in Paris in 2016 das Ziel vereinbart, unter 2 Grad, vorzugsweise bis 1,5 Grad Erderwärmung zu bleiben, vergli-

chen mit der Temperatur des vorindustriellen Zeitalters [The Paris Agreement]. Dieses führt zur einer weiteren Verschärfung der Anstrengungen zum Umbau des Energiesystems. Verschiedene Szenarien gehen davon aus, dass die Budgets für den Ausstoß von Klimagasen in Deutschland bis 2035 aufgebraucht sind.

Die Mitgliedsstaaten der Vereinten Nationen haben zudem 17 Ziele für eine nachhaltige Entwicklung (Sustainable Development Goals, SDG) ausgearbeitet, die in 2016 beschlossen wurden. Mit SDG-7 und SDG-13 werden die Ziele „bezahlbare, saubere Energie“ sowie „Klimaschutz“ verfolgt, zu der die Energieforschung an der Leibniz Universität Hannover Lösungen erarbeitet. Neben den Risiken bieten sich aber auch vielfältige Chancen durch die Umstellung auf nachhaltige Energie- und Stoffströme. Ist Deutschland aktuell weitgehend vom Import von fossilen Energieträgern abhängig, könnte dies mit der Nutzung erneuerbarer Energiequellen geändert werden. Schon heute werden die erneuerbaren Energien in Deutschland vor Ort produziert. Auch ist zu erwarten, dass sich ein weltweiter Markt für erneuerbare Energien durch die vielfältigen möglichen Standorte nicht auf wenige Produzenten konzentrieren wird, wie es aktuell bei fossilen Energieträgern der Fall ist. Mit wettbewerbsfähigen

PV- und Windstrom bieten sich in Deutschland zudem Chancen für neue Industriezweige zur Ausrüstung von Produktionsanlagen, Herstellung von Komponenten, aber auch die wettbewerbsfähige Produktion von Energie am Industriestandort selbst.

Mit dem sogenannten energiepolitischen Dreieck wird das Spannungsfeld beschrieben, dass beim Aufbau und Umbau eines Energiesystems drei gegensätzliche Ziele in Einklang gebracht und ständig neu bewertet werden müssen: Versorgungssicherheit, Umweltverträglichkeit und Bezahlbarkeit. Gerade aktuell sieht man eine dramatische Veränderung in der Bewertung, da Rohstoffe und Energieträger zunehmend als politisches Instrument zur Einflussnahme in kriegerischen Auseinandersetzungen genutzt werden. Nicht nur hier, bei vielen Konflikten spielen fossile Rohstoffe eine wichtige Rolle. Diese Entwicklungen zeigen die Notwendigkeit zu dramatisch schnellen Veränderungen bei der Nutzung von endlichen Energiereserven in unserer Gesellschaft, die mit dem energiepolitischen Dreieck im Einklang stehen.

Die Energieforschung an der Leibniz Universität Hannover verfolgt die Mission, die Umgestaltung von Energiesystemen, der Mobilität und Stoffwandlungsketten hin zur Nut-

zung erneuerbarer Energiequellen zu ermöglichen und wissenschaftlich mit Grundlagenforschung, anwendungsorientierter Forschung, Wissenschaftskommunikation und Wissenstransfer zu begleiten sowie zu fördern. Hierzu hat sich ein Netzwerk von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern gebildet und wird über das Leibniz Forschungszentrum Energie 2050 (LiFE 2050) gebündelt. Wichtigste Ziele sind, interdisziplinäre Forschungsfragen zu identifizieren, zu präzisieren sowie Verbundprojekte anzustoßen, auch um die Vernetzung innerhalb der Universität und darüber hinaus weiter zu stärken, um dann die nächsten Schritte der Transformation des Energiesystems zu erforschen, Szenarien für Pfade der Energiewende zu entwickeln und deren Bedeutung sichtbar zu machen.

Dazu haben sich interdisziplinäre Fokusbereiche in der Komponentenforschung für Windenergie, Solarenergie, elektrische Energietechnik, thermische und elektrochemische Energietechnik sowie nachhaltige Antriebe entwickelt. Weitere Fokusbereiche befinden sich in der Gesamtsystem- und Transformationsforschung sowie die Digitalisierung des Energiesystems. Neben den Fokusbereichen gibt es noch viele andere Forschungsthemen, die den Weg zur einer nachhaltigen Energieversorgung beleuchten. Möglich ist die Vielfaltigkeit der interdisziplinären Forschung auch, weil die LUH mit ihren neun Fakultäten und über 300 Professuren fachlich breit aufgestellt ist, die alle durch die Energiewende und den Klimawandel beeinflusst sind und die ihrerseits Beiträge leisten können. Die Energieforschung an der Universität arbeitet dabei im LiFE 2050 eng mit dem Institut für Solarforschung Hameln (ISFH) zusammen.

Darüber hinaus wurden Forschungsinfrastrukturen aufgebaut und verbessert, sodass Erprobungen und Validierungen von Modellen und Simulation in umfangreichen Verbundprojekte ermöglicht werden, auch um Lösungen im Techniksmaßstab zu erforschen.

Mit den folgenden Artikeln wollen wir Einblicke in die Vielschichtigkeit der Energieforschung an der Leibniz Universität geben. Es soll Neugierde auf die nächsten möglichen Schritte zu einem nachhaltigen Energiesystem wecken. Für die einzelnen Artikel haben wir uns folgende Leitfragen gesetzt:

- Welche gesellschaftliche Relevanz ist mit einer Forschungsfrage zur Transformation in ein nachhaltiges Energiesystem verbunden?
- Wie trägt ein Projekt zur Lösung einer Forschungsfrage bei und welche interdisziplinäre Kompetenz und Forschungsinfrastrukturen wurden dazu eingesetzt?
- Wie können technische Lösungen in gesellschaftlich akzeptierte Anwendungen überführt werden, um beispielsweise Klimaschutz, geringer Ressourcenverbrauch, Kosten und Versorgungssicherheit zu berücksichtigen?

Bleiben Sie zuversichtlich und folgen Sie uns auf eine kleine Reise durch die aktuelle Energieforschung an der Leibniz Universität Hannover. Wir hoffen mit diesem Magazin Ideen für mögliche Antworten und damit Einblicke in die aktuelle Forschung zu geben.

**Prof. Dr.-Ing. Richard Hanke-Rauschenbach**  
**Dr.-Ing. Volker Schöber**

→ Infos und Kontaktdaten  
ab Seite 68



The Limits to Growth:  
<https://www.clubofrome.org/publication/the-limits-to-growth/>

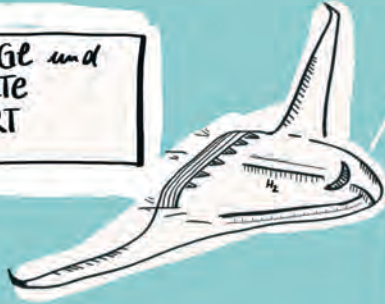
The Paris Agreement:  
<https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>

# ENERGIE

ENERGIEFORSCHUNG  
ALS MOTOR FÜR  
ENERGIEWENDE



NACHHALTIGE und  
EFFIZIENTE  
LUFTFAHRT



ERZEUGUNG  
VERTEILUNG

ERNEUERBAR  
ENERGIE

KI-GIS

ENTWICKLUNG eines  
KI-Geoinformationssystems für  
die Auswahl von  
Windenergiepotenzialflächen

AIRBORNE WIND  
ENERGY

OFFSHORE  
MEGASTRUKTUREN



NUTZUNG

NACHNUTZUNGS-  
STRATEGIEN

GIGAWATT-  
PHOTOVOLTAIK mit  
NANOMETER-STRUKTUR



REPARATUR-  
VERFAHREN



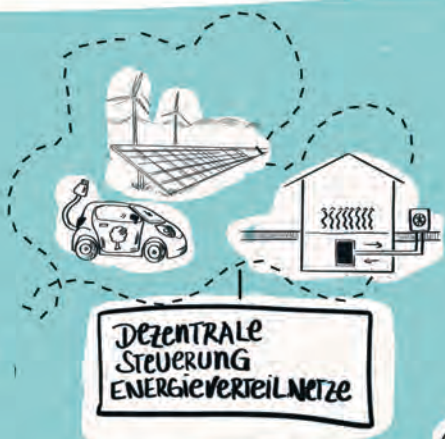
# die FORSCHUNG

SICHT ↑

e v

SYSTEMASPEKTE + SETZUNG

NUTZUNG



ENERGIEWENDE  
NEUE NORMATIVE BASIS

GELINGT DIE ENERGIEWENDE?



REALLABOR: PV + WÄRMVERSORGUNG CAMPUS

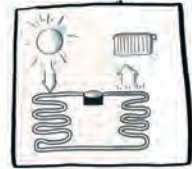
LEIBNIZ UNIVERSITÄT HANNOVER

BILDUNG und ENERGIEWENDE

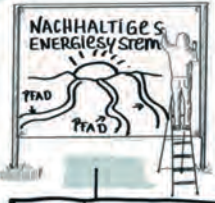


SCHALLWELLEN-WAHRNEHMUNG

H<sub>2</sub>ERZEUGUNG mit MIKROORGANISMEN



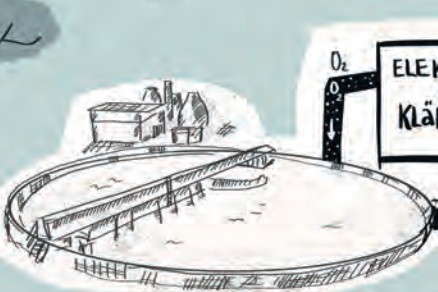
WÄRMVERSORGUNG MITTELS WÄRMEPUMPE



TRANSFORMATIONSPFADE



NACHHALTIGE LOGISTIK UND MOBILITÄT



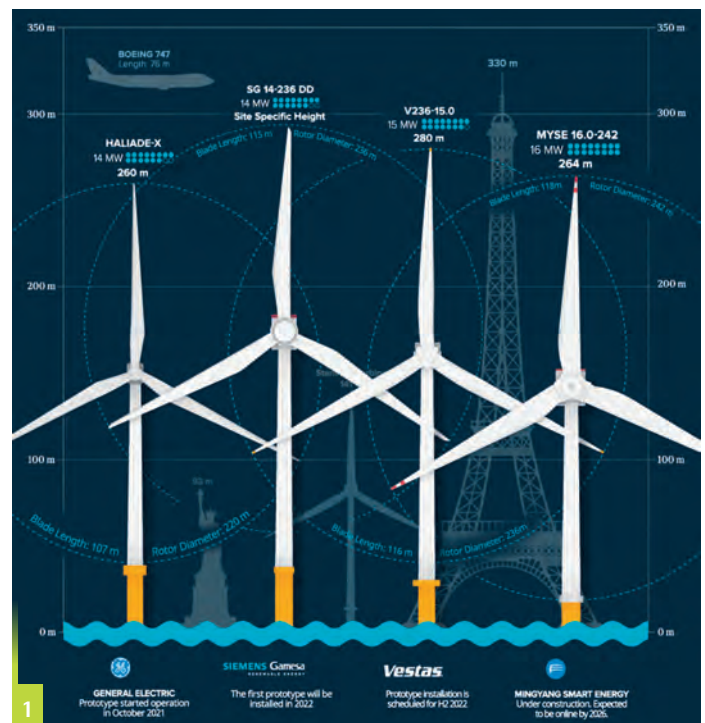
# Zur Realisierung von Mega-Windturbinen auf See

Sonderforschungsbereich entwickelt digitalen Zwilling

## OFFSHORE MEGASTRUKTUREN



In Anbetracht der Herausforderungen durch den menschengemachten Klimawandel und die geopolitisch bedingte Volatilität der Verfügbarkeit fossiler Energien werden sowohl auf nationaler als auch internationaler Ebene große Anstrengungen zur Dekarbonisierung der Energieerzeugung und europäischen Vernetzung der Versorgungssicherheit ergriffen. Im Rahmen der deutschen Energiewende und des Green Deal der Europäischen Kommission soll ein wesentlicher Anteil der zukünftigen Stromversorgung durch die Windenergie abgedeckt werden, insbesondere durch auf See erzeugten Strom. Um den benötigten Ausbau der Stromerzeugungskapazitäten zu realisieren, sind größere und leistungstärkere Offshore-Windenergieanlagen (OWEA) notwendig als die aktuell errichteten. Solche Offshore-Megastrukturen sind effizienter bei der Stromerzeugung und somit wirtschaftlicher als heutige kleinere Anlagen, sodass die Entwicklung bereits seit vielen Jahren in Richtung größerer Anlagen geht. Lagen noch vor dreißig Jahren typische Turbinenleistungen von Windenergieanlagen an Land (onshore) bei 0,6 MW und einem Rotor Durchmesser von 40 Meter, so sind diese Werte beim 2021 installierten Prototypen einer Offshore-Anlage von General Electric auf 14 MW und 220 Meter angewachsen (*Haliade-X*). Dabei erreicht ein einzel-



nes Rotorblatt eine Länge von 107 Meter und die Blattspitze eine Höhe von 260 Meter über dem Meeresspiegel. Im Laufe des Jahres 2022 werden noch größere Offshore-Turbinen von Siemens Gamesa (*SG 14-236 DD*) und Vestas (*V236-15.0*) installiert und der chinesische Hersteller Mingyang Smart Energy hat bereits die Installation einer 16 MW-Turbine für das Jahr 2026 angekündigt (*MYSE 16.0-242*).

Der Zukunftstrend zeigt in Richtung noch größerer Anlagen mit 20 bis 30 MW Leistung und darüber hinaus. Die heutigen Entwurfswerkzeuge

und Konstruktionsprinzipien nähern sich allerdings bereits den Grenzen ihrer Möglichkeiten, sodass der technischen wie wirtschaftlichen Realisierung zukünftiger, noch deutlich größerer Anlagen zurzeit noch unbeantwortete Fragen hinsichtlich Auslegungsrandbedingungen, Entwurfsprinzipien, Regelung und Strukturüberwachung gegenüberstehen. Der seit seinem Projektstart im Januar 2021 durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderte Sonderforschungsbereich *SFB 1463 Offshore-Megastrukturen* adressiert genau diese Herausforderungen an ein weite-

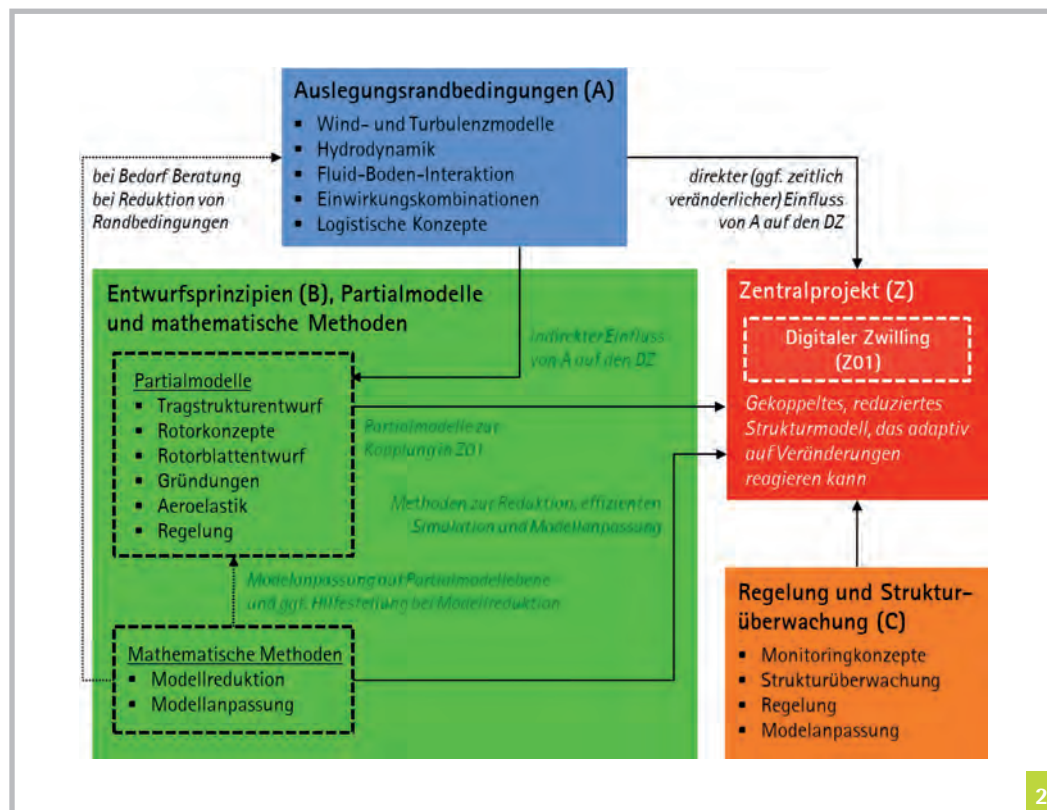
Abbildung 1  
Die größten Windturbinen der Welt, Stand 2022  
Quelle: VS Elements

res Größenwachstum von Windenergieanlagen auf See. Unter der Projektleitung von Prof. Raimund Rolfes (Institut für Statik und Dynamik) arbeiten Forscher standortübergreifend und multidisziplinär zusammen, darunter mehrere Mitglieder von *ForWind* – dem gemeinsamen Zentrum für Windenergieforschung der Universitäten Oldenburg, Hannover und Bremen (siehe Infobox). Die physikalischen, konzeptionellen und methodischen Grundlagen für die integrierte Entwurfs- und Betriebsmethodik werden in Teilprojekten untersucht und anhand des „**Digitalen Zwillinges**“ – eines über alle Lebensphasen der Anlage hinweg lernenden digitalen Abbilds einer Offshore-Windenergieanlage – zusammengeführt. Die Herangehensweise im Projekt ist modular und gleichzeitig miteinander vernetzt und betrachtet dabei ganzheitlich Entwurf, Installation, Betrieb und Rückbau der Megastruktur.

Die Vision des SFB 1463 ist es, mithilfe des Konzepts des Digitalen Zwillinges eine integrierte Entwurfs- und Betriebsmethodik für Offshore-Megastrukturen zu entwickeln und an einem Demonstrationsbeispiel einer Offshore-Windenergieanlage mit einer Leistung von mehr als 20 MW mit Fokus auf Tragstruktur und Rotorblätter umzusetzen. In der **ersten Förderperiode des SFB** (2021 bis 24) liegt der Fokus auf der Konzept- und Methodenentwicklung und dem Entwurf der großen Strukturkomponenten und relevanter Kopplungseffekte. Die umfassende Verifizierung und Validierung dieser Methoden soll in der **zweiten Förderperiode** (2025 bis 28) erfolgen. In der abschließenden **dritten Förderperiode** (2029 bis 32) soll der Schwerpunkt in der Erforschung der Interaktion der einzelnen Konzepte und Methoden im Gesamtsystem liegen. Daher liegt in

der ersten Förderperiode der Fokus auf den Auslegungsrandbedingungen, während Fragen hinsichtlich Fertigung, Materialien und Rückbau ebenso wie eine noch weitergehende Betrachtung der Regelung und Strukturüberwachung in den möglichen späteren Förderperioden behandelt werden sollen.

Offshore-Megastrukturen. Da die Einflüsse und Wechselwirkungen der an den Prozessen beteiligten Parametern vielfach unbekannt sind, erfolgt zunächst eine umfassende Modellierung aufgrund von Mess- und Simulationszeitreihen sowie experimenteller Versuche. Für eine Integration dieser Modelle in



Im Projektbereich **Auslegungsrandbedingungen (A)** konzentrieren sich die Untersuchungen auf bisher nicht oder unzureichend erforschte Auslegungs- und Installationsrandbedingungen. Die deutliche Zunahme der Abmessungen gegenüber vergleichbaren bestehenden Strukturen, komplexe aeroelastische, hydrodynamische und bodenmorphologische Wechselwirkungen untereinander sowie mit der zunehmend flexiblen Tragstruktur, erfordern ein vertieftes Verständnis bisher unerforschter Prozesse und ihrer Ursachen in den Randbedingungen von

einen echtzeitfähigen Digitalen Zwilling ist in einem nächsten Schritt eine Vereinfachung der wirklichkeitsnahen komplexen Partialmodelle geplant, wobei die wichtigsten zuvor identifizierten Effekte trotz der Vereinfachung erhalten bleiben. Dabei ist die Modellierung der Interaktion von Auslegungsrandbedingungen untereinander, des Zusammenspiels von Auslegungs- und Installationsrandbedingungen sowie der Kopplung mit reaktiven und dynamischen OWEA essentiell für eine ganzheitliche Entwurfs- und Betriebsmethodik.

Abbildung 2 Anbindung der Projektbereiche A – C an den Digitalen Zwilling (Z01)  
Quelle: SFB 1463

Im Projektbereich **Entwurfsprinzipien (B)** stehen integrierte Entwurfsprinzipien für zukünftige Offshore-Megastrukturen und deren Komponenten sowie die Interaktion von Komponenten der Megastruktur und ihrer Umgebung im Vordergrund. Die Integration der untersuchten Auslegungsrandbedingungen hat hierbei ebenso wie die Modellreduktion eine besondere methodische Bedeutung. Die Modellreduktion ist entscheidend für ganzheitliche Entwürfe im frühen Entwurfsprozess, wo keine detaillierten strukturmechanischen Modelle vorliegen. Die innerhalb von Offshore-Windparks auftretenden aerodynamischen Interaktionen werden zunächst in den Lastannahmen der Offshore-Megastrukturen vereinfacht berücksichtigt.

Die Verknüpfung zwischen realer Struktur und Digitalem Zwilling ist existenziell für die Thematik des Sonderforschungsbereichs. Hierzu sind präzise und robuste Monitoringkonzepte und geeignete Modellanpassungsverfahren erforderlich. Diese Konzepte und Verfahren werden mit Hilfe konventioneller und bereits erprobter Messtechnik und Sensorik umgesetzt. Der geplante Fokus vom Projekt-

bereich **Regelung und Strukturüberwachung (C)** ist die Untersuchung der Verknüpfung des Realen Zwillings mit dem Digitalen Zwilling, wobei ein Realer Zwilling allerdings erst in zukünftigen industriellen Anwendungen existieren wird. Dabei wird der Ausfall und die zeitliche Änderung von Sensorsignalen über die Lebensdauer bei gleichzeitig zunehmender Kenntnis des Strukturverhaltens, die Schadensdetektion und -lokalisierung und die intelligente und adaptive Regelung von Offshore-Megastrukturen betrachtet.

Die Partialmodelle aus den Projektbereichen A bis C werden im **Teilprojekt Digitaler Zwilling einer Windenergieanlage (Z01)** in einem reduzierten Gesamtmodell zusammengeführt. Der zentrale Schwerpunkt ist die Erforschung und Weiterentwicklung von Kopplungsmethoden, die in der Lage sind, mit unterschiedlichen zeitlichen und räumlichen Diskretisierungen umzugehen. Innerhalb von zwei Jahren soll ein echtzeitfähiger initialer Digitaler Zwilling für eine OWEA mit mehr als 20 MW entwickelt werden, der aber noch nicht die Beiträge aus allen Teilprojekten enthält. Am Ende der ersten Förderperiode

nach vier Jahren soll der Digitale Zwilling als Gesamtmodell einer Offshore-Megastruktur für Vorauslegungen und Lastrechnungen wie auch für Regelungsprozesse und Optimierungsvorgänge zur Verfügung stehen. Dieses Modell soll in dem Sinne echtzeitfähig sein, dass alle eingehenden Mess- und Simulationsdaten, die vom Realen Zwilling generiert werden, zeitlich und räumlich erfasst werden können.

Die beteiligten Institutionen haben eine weltweit einzigartige Forschungsinfrastruktur, auf die der Sonderforschungsbereich in unterschiedlichen Teilprojekten zurückgreifen kann. Hierzu gehören das Testzentrum für Tragstrukturen Hannover (TTH) und der Große Wellenkanal (GWK+) am Forschungscampus Hannover-Marienwerder sowie das Forschungslabor für Turbulenz und Windenergiesysteme (WindLab) in Oldenburg.

**Prof. Dr.-Ing. habil.  
Raimund Rolfes  
Dr.-Ing. Clemens Hübler  
Dipl.-Ing. Andreas Ehrmann**

→ Infos und Kontaktdaten  
ab Seite 68



ForWind – das Zentrum für Windenergieforschung vereint die Forschungsvorhaben im Bereich der Windenergie an den Universitäten Oldenburg, Hannover und Bremen. In Kooperation arbeiten derzeit 30 Gruppen in der Grundlagenforschung und der anwendungsnahen Forschung.

ForWind ist in das Energieforschungszentrum Niedersachsen (EFZN) eingebunden und arbeitet eng mit dem Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme (IWES) und dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) im Forschungsverbund Windenergie (FVWE) zusammen. Für großskalige statische und dynamische Untersuchungen steht an der LUH seit 2014 das Testzentrum Tragstrukturen Hannover (TTH) zur Verfügung, hydrodynamische Versuche erlauben der Große Wellenkanal und das Wellen-Strömungs-Becken in Hannover, aerodynamische Versuche im Windkanal das WindLab an der Universität Oldenburg. Erfolgreiche Beispiele für die standortübergreifende Zusammenarbeit in den letzten Jahren sind die Projekte *GIGAWIND*, *GIGAWIND alpha ventus*, *LENAH*, *HANNAH*, *Ventus Efficiens*, *SONYA* sowie der DFG-Sonderforschungsbereich *SFB 1463 Offshore Megastrukturen*.

Die Forschungsschwerpunkte von ForWind-Hannover (15 Forschungsgruppen an 5 Fakultäten) liegen auf den Gebieten:

- Strukturkomponenten – Tragstruktur und Rotorblatt
- Gesamtsimulation, Struktur-Fluid-Interaktion und Strukturüberwachung (Monitoring)
- Antriebsstrang und Netzanbindung
- Interaktion mit der Umwelt, sozio- und techno-ökonomische Aspekte

## Studierendenjob oder Berufseinstieg

Entwickle mit uns zusammen neue  
Technologien für Windenergie und Wasserstoff



 **Fraunhofer**  
IWES

**Wir suchen dich!**

Bewirb dich online  
[www.iwes.fraunhofer.de/de/jobs\\_karriere](http://www.iwes.fraunhofer.de/de/jobs_karriere)



# INVITING BRIGHT MINDS

„Mehr Windkraft, mehr Spaß an der Sache ...“

sagt Klimaminister Robert Habeck – und das finden wir auch.

Windenergie ist die Antwort auf viele globale Herausforderungen: Klimawandel, net-zero, Versorgungslücken. Und Windkraft boomt: in den nächsten zehn Jahren werden global über 200 GW installiert.

Ramboll ist einer der Pioniere im Bereich Windenergie und gehört zu den führenden Ingenieurberatungen weltweit. Seit über 30 Jahren entwickeln wir Konzepte für Offshore- und Onshore-Windkraftanlagen und kombinieren dabei erstklassige Ingenieurdienstleistungen mit wirtschaftlichem Know-how.

Neben außergewöhnlichen Projekten auf der ganzen Welt, arbeiten wir kontinuierlich an neuen Technologien, um die Grenzen des Machbaren täglich neu zu definieren.

Join Ramboll – make an impact!

[www.ramboll.com/wind-career](http://www.ramboll.com/wind-career)

**RAMBOLL**

Bright ideas.  
Sustainable change.



Can you crack this code?

[www.bosch.de/karriere](http://www.bosch.de/karriere)

```
1 def wrapper(f):
2     return lambda x : f(x)
3 def reverse(s):
4     return ''.join(reversed(s));
5 wrapper = wrapper(wrapper(wrapper))
6 string = wrapper(reverse)
7 print(string('lppa') + string('wony'))
```



## Job mit Sinn gesucht?



Gemeinsam die Energiewende voranbringen – das ist das Ziel. Wir suchen Menschen, die mit ihrer Energie etwas verändern möchten. Jetzt. Gemeinsam. Mit uns.

**JUWI GmbH | [www.juwi.de](http://www.juwi.de)**



Folge uns auf:



**starting BUSINESS**  
GRÜNDUNGSSERVICE DER  
LEIBNIZ UNIVERSITÄT HANNOVER



[WWW.STARTING-BUSINESS.DE](http://WWW.STARTING-BUSINESS.DE)

# TRÄUMEN ODER MACHEN?

JETZT EIGENES **STARTUP** GRÜNDEN  
UND FÖRDERUNG SICHERN!

# Airborne Wind Energy

## Flugwindenergieanlagen zur Nutzung von Höhenwind



Der russische Angriffskrieg auf die Ukraine hat der Notwendigkeit einer schnellen Dekarbonisierung der Energieversorgung nicht nur in Deutschland, sondern in ganz Europa neue Dringlichkeit verliehen. In Deutschland wird daher der Ausbau der Gewinnung elektrischer Energie aus Sonne und Wind deutlich beschleunigt werden müssen.

Da gute Standorte für Windenergieanlagen an Land nur begrenzt verfügbar sind, wurden bereits in den vergangenen Jahren Windturbinen zunehmend offshore vor den Küsten gebaut. Mit zunehmender Wassertiefe wird jedoch die Gründung am Meeresboden immer aufwendiger und teurer. Eine weitere Herausforderung ist die Volatilität der Energiegewinnung aus Wind und Sonne, denn gerade in Bodennähe kann die Windgeschwindigkeit stark schwanken.

Eine mögliche Lösung besteht darin, Wind in größeren Höhen zwischen 300 Metern und 1000 Metern zur Gewinnung elektrischer Energie zu nutzen, da die Windgeschwindigkeit dort größer und beständiger ist als in Bodennähe. Allerdings ist es nahezu unmöglich und zumindest unwirtschaftlich, Windenergieanlagen herkömmlicher Bauart, also mit einem Turm, an dessen Spitze die Windturbine und der Generator installiert

sind, mit derartigen Höhen zu errichten.

Im Projekt Sky-Power100 verfolgt ein Konsortium bestehend aus der Hamburger Firma SkySails, den Energieversorgungsunternehmen EnBW und EWE sowie dem Institut für Antriebssysteme und Leistungselektronik (IAL) der Leibniz-Universität ein komplett anderes Konzept, das im Bild links oben auf der Marginalie schematisch dargestellt ist.

Es basiert auf einem flexiblen Flugdrachen, einem sogenannten Kite, wie er zum Beispiel vom Kite-Surfen bekannt ist. Das Kite wird vom Wind angetrieben und über ein Seil und eine Winde mit einer elektrischen Maschine in einer Bodenstation verbunden. Im Auswindschbetrieb wird der Flugdrachen im Wind

durch eine kleine, mitfliegende Aktorik so gesteuert, dass er dynamisch fliegt. Die Flugbahn gleicht dabei einer liegenden Acht. Dabei rollt der Flugdrachen das Seil von der Seiltrommel ab und treibt die elektrische Maschine an, die nun als Generator arbeitet und elektrische Energie erzeugt.

Wenn die maximale Seillänge – dies können bis zu 1000 Meter sein – erreicht ist, wird der Flugdrachen in die sogenannte neutrale Position gelenkt, bei der er im Wind stillsteht, und von der nun als Motor arbeitenden elektrischen Maschine am Seil wieder zur Seiltrommel hingezogen, bis er eine untere Flughöhe von etwa 200 Meter erreicht hat. Dann beginnt der Zyklus von neuem. Im Auswindschbetrieb wird dabei deutlich mehr elektrische Energie erzeugt, als in der Einwindschphase

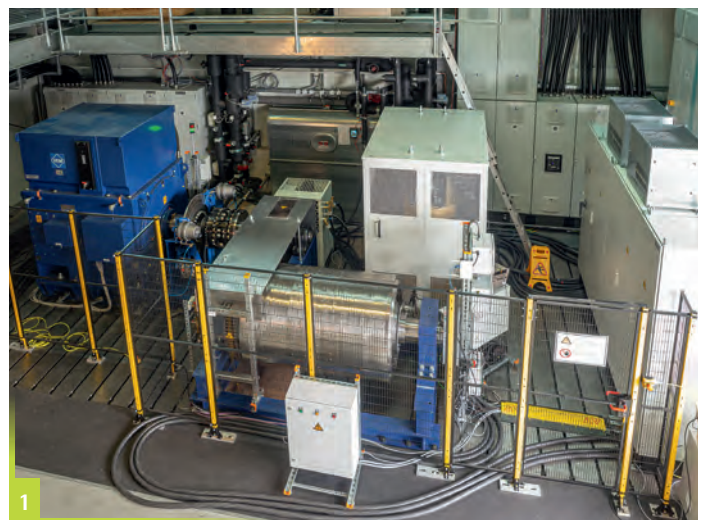


Abbildung 1  
Systemtest des Energiewandlungssystems von SkyPower 100 am GeCoLab des IAL  
Foto: Volker Schöber



verbraucht wird, da der Flugdrachen beim dynamischen Fliegen circa fünfmal so viel Kraft auf das Seil ausübt als in der neutralen Position in der Einwischphase.

Das Projekt SkyPower 100 soll demonstrieren, dass der vollautomatische Betrieb und die Stromerzeugung mittels derartiger Flugwindkraftanlagen einschließlich automatisierter Starts und Landungen des Kites möglich und zuverlässig sind. Das IAL verantwortet dabei die systematische Konzeption, Dimensionierung, Simulation und vergleichende Bewertung verschiedener möglicher Varianten für die elektromechanische Energieumwandlung zwischen Seiltrommel und Netzanschluss, wobei auch die Umweltfreundlichkeit der Komponenten selbst, beispielsweise der Verzicht auf kritische Materialien wie Selten-Erd-Metalle, ein wichtiges Bewertungskriterium darstellt.

Dabei muss das Energieumwandlungssystem so konzipiert sein, dass es hohe Wirkungsgrade über einen weiten Betriebsbereich besitzt und Überlastbarkeit, Stabilität, Redundanz und eine lange Lebensdauer insbesondere für Offshore-Anwendungen bietet. Im Rahmen des Projekts wurde schließlich ein Pilot-Generator mit Ferritmagnet-Rotor und einer Spitzenleistung von mehr als 300 kW realisiert.

Eine besondere Herausforderung liegt bei Flugwindenergieanlagen in den Materialien für das Seil und den Flugdrachen selbst, die gleichermaßen besonders leicht, besonders winddicht und besonders reißfest sein müssen. Aber die ungleichförmigen Drehmoment- und Drehzahlverläufe und die fluktuierende Leistung haben auch direkte Auswirkungen auf die thermische Dimensionierung des

Motor-Generators und besonders der leistungselektronischen Komponenten, die den Motor-Generator mit dem Netz verbinden und, kombiniert mit einer Pufferbatterie, eine gleichmäßige Energieabgabe an das Netz und die Einhaltung der üblichen Netzanschlussbedingungen gewährleisten. Auch die Synchronisation mehrerer Anlagen in einem Windparkzenario erfordert besondere Vorkehrungen in der Steuerung und Regelung des Energiewandlungssystems.

Ein wesentliches Ziel des Projekts SkyPower 100 ist, die Funktionsfähigkeit und den Nutzen von Flugwindenergieanlagen auch praktisch zu untersuchen und nachzuweisen. Im Sommer 2020 wurde das Energiewandlungssystem selbst, das heißt der Motor-Generator und die leistungselektronischen Komponenten am Großprüfstand des IAL, dem sogenannten GeCoLab (Generator Converter Laboratory), aufgebaut und umfangreichen Systemtests unterzogen (siehe Bild 1).

Nach dem Einbau des Antriebs in die Seilwinde wurde im Juni 2022 die gesamte vollautomatische Flugwindenergieanlage mit einer durchschnittlichen Netzeinspeiseleistung von 100 kW in der Nähe von Klixbüll (Nordfriesland) erfolgreich in Betrieb genommen und unter realen Bedingungen auch im Dauertestbetrieb erprobt (siehe Bild 2). Dabei wurden als Begleitforschung auch Umweltverträglichkeitsaspekte wie Schallemissionen sowie mögliche Auswirkungen auf die Vogelwelt untersucht, beides mit ermutigenden Ergebnissen: Die Schallemissionen sind gering, und Vögel lassen sich durch die Flugdrachen offenbar nicht stören.

Die im Projekt gewonnenen Erfahrungen zeigen, dass



Flugwindenergieanlagen insbesondere für die Stromerzeugung an abgelegenen Stellen (zum Beispiel auf Inseln) oder offshore geeignet sind, da gerade offshore auf aufwendige Gründungen für schwere und hohe Strukturen am Meeresgrund verzichtet werden kann. Stattdessen passt die Gesamtanlage in einen handelsüblichen Überseecontainer und kann beispielsweise auf einem schwimmenden Ponton installiert werden. Derzeit werden mit Unterstützung des IAL Anlagen im für die kommerzielle Energieerzeugung interessanten Leistungsbereich zwischen 1 MW und 5 MW konzipiert und dimensioniert.

Abbildung 2  
Im Probebetrieb: Die erste Höhenwindenergieanlage Deutschlands bei Klixbüll in Schleswig-Holstein.  
Foto: Skysails

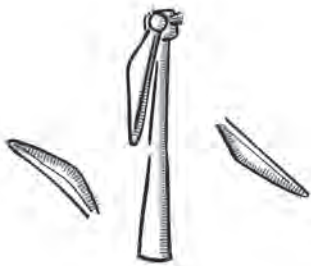
**Prof. Dr.-Ing. Bernd Ponick**  
**Daniel Heide, M.Sc.**  
**Bakr Bagaber, M.Sc.**  
**Dr.-Ing. Jörn Steinbrink**  
**Prof. Dr.-Ing. Axel Mertens**

→ Infos und Kontaktdaten ab Seite 68

# Was geschieht mit alten Windenergieanlagen?

Windenergie onshore und offshore nachhaltig weiternutzen

## NACHNUTZUNGS- STRATEGIEN



Die Windenergie stellt einen wichtigen Grundpfeiler für das Erreichen der Energiewende in Deutschland dar und trägt außerdem – höchst aktuell – signifikant auch zur Versorgungssicherheit mit Strom bei. In der Regel wird hauptsächlich über den Ausbau der Windenergie in den kommenden Jahren gesprochen, das heißt über die nächste Generation an modernen, leistungsfähigeren, leiseren und wirtschaftlicheren Anlagen. Ohne einen massiven Um- und Zubau der onshore – und offshore – Windenergie wird Deutschland seine Klimaschutzziele und die Versorgungssicherheit mit Strom nicht erreichen können. Obwohl der Windenergiesektor noch immer eine relativ junge Branche ist, erreichen bereits viele bestehende Windenergieanlagen (WEA) ihr geplanten Lebenszeitende. In Deutschland fallen allein zwischen 2021 und 2025 über 13.000 onshore WEA mit einer Gesamtleistung von mehr als 16 GW aus der Förderung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG). Auch für offshore WEA wird das Thema Rückbau in den kommenden Jahren relevant, wie *Abbildung 1* zeigt. Ein unbedachter Rückbau alter WEA führt zu großen Herausforderungen. Hier ist unter anderem die entstehende Leistungslücke zu nennen. Die mehr als 16 GW Stromerzeugungsleistung onshore müssen zunächst durch Neuanla-

gen ersetzt werden, bevor es zu einem Ausbau der onshore Windenergie kommt. Außerdem stellt sich die Frage der Nachhaltigkeit eines solchen Rückbaus. Ist es nicht möglich, diese Anlagen betriebswirtschaftlich, aber vor allem auch gesellschaftlich gewinnbringend teilweise weiter zu betreiben? Laufzeitverlängerungen werden schließlich auch bei anderen „Kraftwerkstypen“ diskutiert. Im Zusammenhang mit der End-of-Life Thematik von onshore WEA ergeben sich daher folgende Fragen: Was passiert mit alten Anlagen? Können diese durch Umbau – so genanntes „Repowering“ oder „Retrofit“ – weiterbetrieben werden oder ist es technisch notwendig beziehungsweise betriebswirtschaftlich sinnvoll, die Anlagen stillzulegen?

Mit diesen Fragen befassen sich LUH-Forscher\*innen intensiv in enger Zusammenarbeit mit der Industrie. Eine der größten Herausforderungen ist die Interdisziplinarität von Bauingenieurwesen, Betriebswirtschaftslehre und Mathematik. Rein technische Lösungen sind genauso wenig zielführend wie eine rein betriebswirtschaftliche Betrachtungsweise. Das *Verbundprojekt TransWind*, das sich mit der Gestaltung optimaler Nachnutzungsstrategien für in die Jahre gekommene onshore WEA beschäftigt, wird seit Ende 2020 vom Bundesministerium für

Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) gefördert. Weitere Verbundprojekte, in denen die End-of-Life-Thematik für offshore WEA untersucht werden soll, sind ab 2023 geplant. Die Relevanz dieser Themen für die Industrie zeigt sich durch die aktuelle und geplante Beteiligung von zentralen Akteuren der Windenergiebranche, wie EnBW, TenneT oder der Deutschen Windguard, genauso wie von zukunftsorientierten Start-Ups im Bereich der Digitalisierung der Windenergieberatung, wie zum Beispiel Nefino.

Doch was sind – abgesehen von der Interdisziplinarität – die konkreten disziplinspezifischen Herausforderungen bei der Entwicklung optimaler Strategien, um onshore und offshore WEA ökologisch, ökonomisch und sozial nachhaltig weiter zu betreiben? Die Herausforderungen lassen sich in drei große Problemfelder einteilen. Technisch ist eine schnelle und zuverlässige, wahrscheinlichkeitbasierte Restlebensdauervorhersage erforderlich. Nur wenn sichergestellt werden kann, dass eine in die Jahre gekommene Anlage sicher weiterbetrieben werden kann, ist dies eine effiziente Option. In diesem Forschungsfeld können Forscher\*innen umfassend vom Forschungsverbund ForWind profitieren, siehe Infokasten, indem Synergien zu anderen Forschungsvorhaben genutzt werden, die probabi-

listische Lebensdauermodelle für einzelne Komponenten, zum Beispiel für Rotorblätter aus Faserverbunden, erforschen. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht geht es vor allem um die Entwicklung von probabilistischen Investitions- und „Cash-flow“-Modellen zur Wahl und Ausgestaltung optimaler Nachnutzungsstrategien. Hierbei muss permanent neu bewertet werden, ob ein Weiterbetrieb, der gegeb-

geln weniger relevant. Hier sind umfassendere regulatorische Rahmenbedingungen, die aktuell zum Beispiel nur einen Weiterbetrieb von fünf Jahren über die laut Genehmigung veranschlagte Lebensdauer erlauben, zu beachten. Durch die Berücksichtigung dieser verschiedensten Aspekte sollen im Rahmen aktueller und geplanter, meist interdisziplinärer Forschungsprojekte optimale Strategien für die

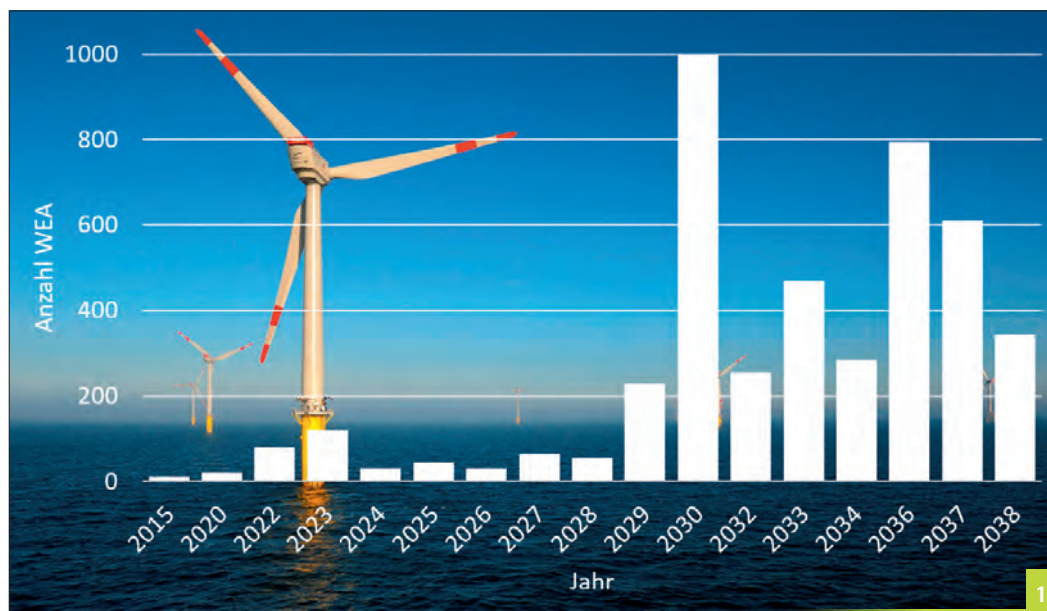


Abbildung 1  
Prognose der Anzahl zurückzubauender offshore Windenergieanlagen in der Nordsee nach Daten.  
Quelle: Kruse, M. (2019), Market Analysis Decom Tools 2019

nenfalls mit hohen Kosten für „Retrofits“ verbunden ist, noch sinnvoll ist. Die aktuell hohen Strompreise sorgen dafür, dass eine immer größere Anzahl an in die Jahre gekommenen WEA länger rentabel bleibt. Auch regulatorische, raumplanerische und umweltspezifische Aspekte gewinnen an Bedeutung. Für onshore WEA sind insbesondere diverse Abstandsregeln zu bewohnten Gebieten zu beachten, die ein „Repowering“ mit größeren WEA verhindern. Diese Abstandsregeln ergeben sich anhand verschiedenster Einflussfaktoren, beispielsweise die Lärmbelastung durch die WEA, die im BMWK-geförderten Verbundprojekt WindGISKI (siehe Seite 64) erforscht wird. Für offshore WEA sind Abstandsre-

End-of-Life Thematik von onshore und offshore WEA gefunden werden.

**Dr.-Ing. Clemens Hübler**  
**Prof. Dr.-Ing. Raimund Rolfes,**  
**Prof. Dr. habil. Michael H. Breitner**

→ Infos und Kontaktdaten ab Seite 68

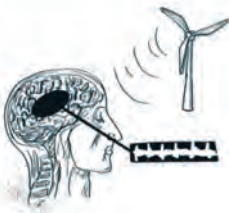


Abbildung 2  
Das Verbundprojekt TransWind beschäftigt sich im Bereich der Digitalisierung der Energiewende mit der End-of-Life-Thematik von onshore Windenergieanlagen schwerpunktmäßig mit den Themenfeldern Rückbau, Repowering und Weiterbetrieb.  
Quelle: LUH

# Wie entsteht Lärm bei Windenergieanlagen?

## Untersuchungen zu Schallausbreitung und Schallwahrnehmung

### SCHALLWELLEN- WAHRNEHMUNG



Die Windenergie an Land ist eine zentrale Säule der deutschen Energiewende. Um die damit verbundenen Ausbauziele zu erreichen, werden kontinuierlich neue Windenergieanlagen (WEA) gebaut und alte Anlagen durch leistungsfähigere ersetzt. Mit dem zunehmenden Ausbaurücken die Standorte der Windenergieanlagen unweigerlich näher an bewohntes Gebiet. Welche Faktoren bei der Standortauswahl eine Rolle spielen und wie mit modernen Methoden der künstlichen Intelligenz dieser Prozess verbessert werden kann, wird im KI-Leuchtturmprojekt WindGISKI genauer untersucht. Trotz hoher allgemeiner Zustimmungswerte in der Bevölkerung in Bezug auf die Energiewende stößt das

Heranrücken der Anlagen an bewohntes Gebiet unter den betroffenen Anwohnern nicht selten auf Ablehnung. Abhängig von den örtlichen Gegebenheiten reicht diese von einer allgemeinen Verunsicherung bis hin zu lautstarken Protesten durch Bürgerinitiativen. Ein häufig genannter Grund für die Ablehnung des Ausbaus der Windenergie vor Ort sind die als störend empfundenen Schallemissionen der Anlagen, die als Lärm empfunden werden.

Schall entsteht bei einer Windenergieanlage einerseits infolge der turbulenten Luftumströmung des Rotorblatts und andererseits durch mechanische Schwingungen im Generator. Insbesondere letztere führen zu einem eher tonalen

Charakter des Schallsignals. Wie die Schwingungen in einem WEA-Generator reduziert werden können und somit schon die Entstehung des Schalls vermieden werden kann, wird im Verbundprojekt DampedWEA untersucht. Der abgestrahlte Schall breitet sich in der Umgebung aus. Dies geschieht nicht kugelförmig, wie es in einem ruhenden homogenen Medium der Fall wäre, sondern auf gekrümmten Bahnen, deren Verläufe bedingt sind durch die Topografie und lokale atmosphärischen Bedingungen wie beispielsweise die Windgeschwindigkeits- und Temperaturverteilung. Im Ohr eines Menschen angekommen wird die physikalische Teilchenbewegung in, für das Gehirn verständliche, Nervenimpulse übersetzt.



Abbildung 1  
Foto einer WEA-Szene im  
Immersive Media Lab  
Quelle: Abschlussbericht des Projekts  
WEA-Akzeptanz

Diese werden im Anschluss interpretiert und lösen beim Menschen eine Empfindung aus.

Im Ganzen betrachtet ist eine Wirkungskette von der Entstehung des Schalls, über die Ausbreitung bis hin zu seiner subjektiven Wahrnehmung verantwortlich dafür, dass der Schall einer Windenergieanlage beim Anwohner ankommt und als Lärm empfunden

den. An der hochgradig interdisziplinären Aufgabenstellung arbeiteten unter der Koordination des Instituts für Statik und Dynamik (ISD) fakultätsübergreifend Forschungspartner der LUH aus den Bereichen der Schallausbreitung (ISD), der Meteorologie (Institut für Meteorologie und Klimatologie, IMUK) und der Psychoakustik (Institut für Kommunikationstechnik, IKT) mit dem Windturbinen-

und Hörbarmachung von Szenarien in der Umgebung von Windenergieanlagen für die Durchführung von Probandenversuchen erlaubt. Um die entwickelte Prozesskette und die zugehörigen Teilbereiche unter realistischen Gegebenheiten zu erproben, wurden fünf umfangreiche Messkampagnen an unterschiedlichen Windenergieanlagen zu unterschiedlichen Jahreszeiten

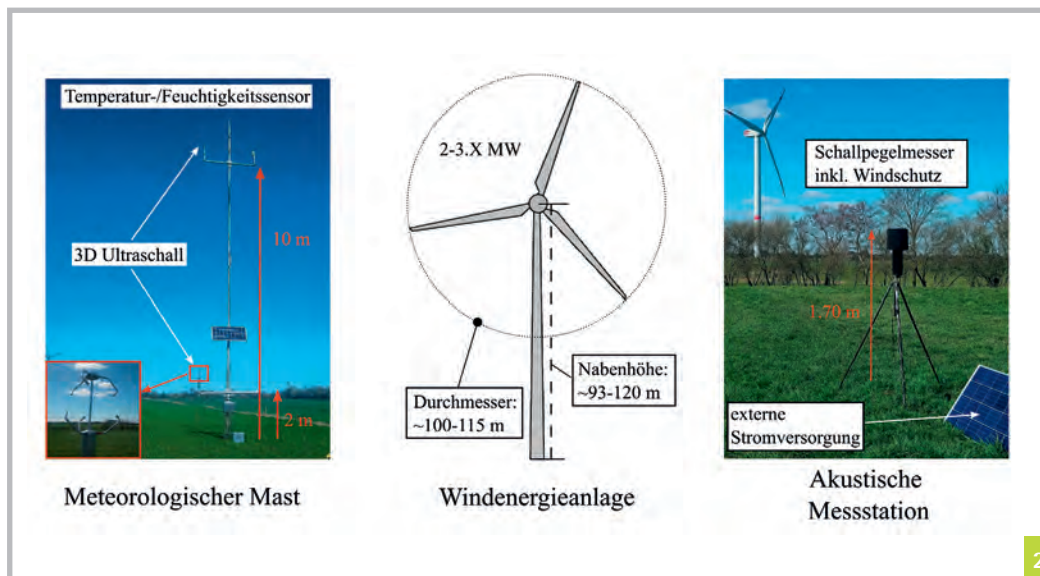


Abbildung 2  
Messaufbau für akustische & meteorologische Messungen  
Quelle: Abschlussbericht des Projekts WEA-Akzeptanz

wird. Unter dem Motto „Von der Schallquelle zur psychoakustischen Bewertung“ hat sich das Verbundprojekt WEA-Akzeptanz, gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) zum Ziel gesetzt, durch die Entwicklung einer Prozesskette (Schallentstehung, Schallausbreitung, Schallperzeption am Immissionsort) die Geräuschwirkung von Windenergieanlagen beim Anwohner vorhersagbar und objektivierbar zu machen.

Durch die damit angestrebte audio-visuelle Simulation einer geplanten Anlage soll die Akzeptanz der Windenergie bei der betroffenen Bevölkerung schon im Planungsstadium einer Windenergieanlage maßgeblich verbessert wer-

hersteller Senvion, dessen Fokus auf der Schallquelle liegt, zusammen.

Im Bereich der Schallausbreitung wurde im Projekt ein effizientes Modell entwickelt, das es ermöglicht die Ausbreitung von Schall unter komplexen atmosphärischen Bedingungen bei spezifischen Bodeneigenschaften zu simulieren. Für die Berücksichtigung von lokal- und zeitabhängigen Wind- und Temperaturfeldern wurden die Simulationsdaten eines Modells der bodennahen Atmosphäre integriert. Im Bereich der Schallwahrnehmung wurde eine immersive audiovisuelle Simulationsumgebung im Immersive Media Lab (IML) des IKT (Abbildung 1) entwickelt, die eine realistische Visualisierung

durchgeführt. Ein beispielhafter Messaufbau ist in *Abbildung 2* dargestellt. Dabei wurde ein Datensatz aufgenommen, der akustische, psychoakustische, meteorologische und anlagenspezifische Daten enthält und in seinem Umfang einzigartig ist.

Im Nachfolgeprojekt WEA-Akzeptanz-Data gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), wird derzeit hierzu eine Plattform geschaffen, die es ermöglichen soll den Datensatz internationalen Forschungspartnern zur Verfügung zu stellen. Hierzu steht die LUH über die Internationale Energieagentur (IEA, Wind Task 39) mit unterschiedlichen internationalen Partnern im Kontakt.

**Tobias Bohne M.Sc.**  
**Prof. Dr.-Ing. habil. Raimund Rolfes**  
**Dr.-Ing. Stephan Preihs**  
**Prof. Dr. Jürgen Peissig**

→ Infos und Kontaktdaten ab Seite 68

Unterstützen  
Sie junge Talente!  
Geben Sie Ihre  
Erfahrungen weiter!  
Stiften Sie  
Bildungserfolge!

## Das Deutschlandstipendium

- Zeigen Sie Ihre Anerkennung studentischer Leistungen mit einer Förderung
- Wählen Sie selbst den Studienschwerpunkt, den Sie fördern wollen
- Lernen Sie leistungsstarke Studierende kennen
- Nutzen Sie Austausch und Netzwerk
- Nehmen Sie an der Stipendienvergabe teil, und lernen Sie die Stipendiaten kennen
- Gestalten Sie das Begleitprogramm mit
- Setzen Sie die Förderung als Spende steuerlich ab



Haben Sie Interesse? Wir beraten Sie gern.

Dr. Stefanie Beier, Referentin für Fundraising | Tel. 0511-762 5597 | E-Mail [beier@zuv.uni-hannover.de](mailto:beier@zuv.uni-hannover.de)



  
**magrathea**

**Studentenjobs  
Praktika  
Blöde Ideen**

[www.magrathea.eu](http://www.magrathea.eu)

# Vom Studium zur Karriere. Im Team.

Sie suchen einen spannenden Arbeitsplatz mit starken Perspektiven?

Bei ZÜBLIN gibt es zahlreiche Möglichkeiten für Ihren individuellen Einstieg: Ob Praktikum, Traineeprogramm oder Direkteinstieg – werden Sie Teil eines internationalen Bautechnologiekonzerns und setzen Sie Ihre Stärken gezielt ein.

Denn herausfordernde Projekte brauchen starke Teams.



**Wo liegen Ihre Stärken?  
Bewerben Sie sich jetzt und  
werden Sie Teil unseres Teams!**

Ed. Züblin AG  
Wöhlerstraße 42  
30163 Hannover

[www.karriere.zueblin.de](http://www.karriere.zueblin.de)

**karriere.  
zueblin.  
de**

**ZÜBLIN**  
TEAMS WORK.





**BRANDI**  
RECHTSANWÄLTE

**WIR FREUEN UNS AUF SIE**

[www.brandi.net](http://www.brandi.net)

# Gigawatt-Photovoltaik mit Nanometer-Strukturen

Forschung für die wichtigste Energiequelle der Menschheit

GIGAWATT  
PHOTOVOLTAIK mit  
NANOMETER-STRUKTUR



## Photovoltaik gegen den Klimawandel

Auf der Pariser Klimakonferenz im Jahr 2015 einigte sich die Staatengemeinschaft völkerrechtlich verbindlich darauf, die Erderwärmung auf deutlich unter 2 Grad und möglichst sogar unter 1,5 Grad gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen. Das erfordert eine weitgehende Dekarbonisierung des gesamten Energiesystems schon in den kommenden zwei Dekaden. Photovoltaik (PV) ist global gesehen die wichtigste Technologie, um fossile Energieträger zu ersetzen und wird voraussichtlich mit 69 Prozent mehr als die Hälfte der weltweiten Primärenergie bereitstellen müssen [A1].

Nach der Transformation des fossilen Energiesystems werden in Deutschland etwa 2000 TWh pro Jahr an Energie benötigt [A1], was mit einer Vervielfachung des bisherigen Strombedarfs einhergeht. Legt man eine 25 bis 50 Prozent Versorgung durch PV zugrunde, lässt sich abschätzen, dass wir in Deutschland 500 bis 1000 GW an PV-Anlagen werden aufbauen müssen. Für Niedersachsen müssten 65 bis 130 GW aufgebaut werden, je nachdem wieviel Import von grüner Energie man als darstellbar annimmt. Bei der derzeitigen PV-Ausbaurate von 0,5 GW pro Jahr würde das 120 bis 240 Jahre dauern. Diese Zeit haben wir nicht. Wir brau-

chen also eine um den Faktor 6 bis 12 beschleunigte PV-Ausbaurate in Form von Dach-, Freiland- oder Agri-PV. Die beiden blauen Quadrate in Abbildung 1 zeigen die Größe der gesamten Modulfläche für 500 und 1000 GW PV bei 20 Prozent Modulwirkungsgrad.

Durch den Klimawandel werden sich Änderungen in der Temperatur [A2] und des Windes [A2] ergeben, was aber nur zu geringfügig geringeren Erträgen führen wird. Es gibt aber auch langfristige Trends in der Bewölkung und der Staubpartikel, die zu Änderungen von mehr als 10 Prozent bei der Einstrahlung geführt haben [A3]. Das komple-

xe Zusammenspiel zwischen Wolken und Strahlung besser zu verstehen [A4] und den Einfluss des Klimawandels auf die Wolken [A5] und damit für die Solarenergie besser prognostizieren zu können [A6] ist einer der Forschungsschwerpunkte des meteorologischen Instituts in Hannover.

## Nanostrukturen für die Massenfertigung besserer Solarzellen

Solarzellen wandeln Sonnenstrahlung in elektrische Leistung. Sie bestehen aus 160  $\mu\text{m}$  dickem kristallinen Silizium (c-Si) und haben einen Wirkungsgrad von etwa 22 Pro-

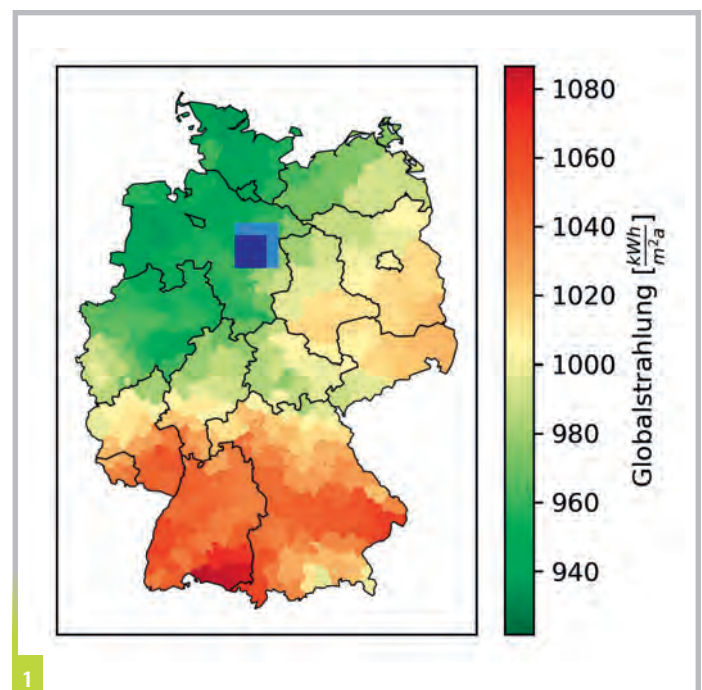


Abbildung 1  
Grob geschätzter Flächenbedarf für Solarmodule in Deutschland für 500 und 1000 TWh jährlicher Stromerzeugung. Einstrahlungskarte: Weltbank 2019.  
Quelle: LUH



zent. Silizium wird aus Quarz hergestellt und ist damit verfügbar „wie Sand am Meer“. Das im c-Si absorbierte Licht erzeugt Elektronen und Löcher. Die Solarzelle soll den Großteil der Energie dieser Elektronen und Löcher in elektrische Energie wandeln. Dafür ist die Solarzelle so gebaut, dass die Elektronen auf ihrem Weg zum Minuspol nur einen kleinen elektrischen Widerstand zu überwinden haben, während der gleiche Weg für die Löcher durch einen hohen elektrischen Widerstand blockiert ist. Diese selektive Wirkung erreichen heutige Solarzellen durch den Einbau von Phosphor (P)-Atomen in die Vorderseite der c-Si-Scheibe. Eine höhere Konzentration an P-Atomen bewirkt einen selektiveren Kontakt, der die Elektronen besser und die Löcher schlechter durchlässt. Wir haben uns die Frage gestellt und beantwortet, wie die Selektivität der Kontakte beider Polaritäten theoretisch beschrieben [B1] und im Experiment verbessert werden kann.

Die elektronenmikroskopische Aufnahme in Abbildung B-1 zeigt die Lösung [B2, B3]: Auf der Oberfläche der c-Si-Scheibe ist eine etwa 2 nm dünne Siliziumoxidschicht und darauf eine extrem hoch mit Phosphor dotierte 0,1  $\mu\text{m}$  dicke Poly-Siliziumschicht. Das Erhitzen dieses POLO genannten Schichtsystems auf etwa 1000 °C führt zur Bildung von 2 bis 10 nm kleinen Löchern im Oxid. Durch diese kleinen Löcher können die P-Atome in den Si-Wafer eindiffundieren und durch sie fließt dann auch der Solarstrom [B4]. Die Löcher im Oxid machen nur etwa ein Millionstel der Solarzellenfläche aus. Die P-Konzentration im Poly-Silizium ist viel höher als die in der Oberfläche heutiger Solarzellen und verbessert dadurch die Selektivität der Kontakte. Unvermeidbare negative Begleiterscheinungen der hohen

Konzentration werden durch den kleinen Flächenanteil der Löcher begrenzt.

Mit den neuen POLO-Kontakten haben wir im Labor schon einen Wirkungsgrad von 26,1 Prozent erreicht [B5]. Das ist ein großer Fortschritt, weil die PV-Aufstellflächen und der Materialverbrauch im Vergleich zum heute üblichen Wirkungsgrad um 18 Prozent reduziert werden. Für eine

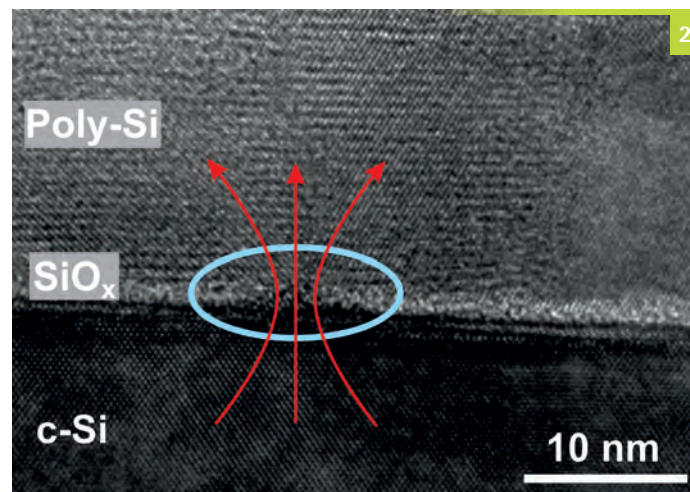


Abbildung 2  
Elektronenmikroskop-Aufnahme eines POLO-Kontaktes: An der blau eingekreisten Stelle ist ein Loch im dünnen Oxid, welches das Poly-Si von der Siliziumscheibe trennt. Durch die kleinen Löcher fließt der Solarstrom.  
Quelle: ISFH

Übertragung der Laborergebnisse in die weltweite Massenfertigung sind aber noch schwierige Entwicklungsfragen zu lösen an denen wir derzeit arbeiten: In welche Solarzellenstruktur sollen die neuen POLO-Kontakte integriert werden? Mit welchen Prozessen und Maschinen stellen wir das Poly-Silizium am besten und am günstigsten her? Was ändert sich für die Photovoltaikmodule, wenn sie aus neuen leistungsfähigeren POLO-Zellen bestehen? Derzeit werden erste Fertigungslinien für POLO-Zellen mit einigen GW an Jahreskapazitäten in Asien gebaut. Wir arbeiten dafür, dass bald auch in Deutschland große Fabriken für die Herstellung neuer Solarzellen entstehen, damit wir unsere Abhängigkeit von russischem Gas nicht durch neue Abhängigkeiten von anderen autokratischen Staaten ersetzen.

Die Forschung an den POLO-Solarzellen wird am Institut für Solarenergieforschung, am Institut für Materialien und Bauelemente der Elektronik, am Laboratorium für Nano- und Quantenengineering und am Institut für Festkörperphysik in Kooperationen mit zahlreichen Maschinenbauunternehmen durchgeführt und wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz in Verbundprojekten [B6] gefördert.

### Vollintegrierte und systemoptimierte Elektroniklösungen im Solarmodul

Seit Jahrzehnten verfolgen Wissenschaft und Industrie das Ziel einer direkt ins Solarmodul integrierten Elektronik, um die Installation, die Planung, die Anlagensicherheit und den Ertrag zu steigern. Trotz marktverfügbarer Produktlösungen konnte bisher keine Konkurrenzfähigkeit zu konventionellen Anlagenkonzepten erreicht werden. Die LUH forscht an neuen Solarmodulen mit integrierter Elektronik für Anwendungen wie zum Beispiel Einfamilienhäuser und kleinen Balkon-Systemen damit diese konkurrenzfähig werden. Hierfür müssen die PV-Module im Vergleich zum heutigen Stand „intelligent“ werden, damit sie Systemdienstleistungen im Stromnetz erbringen können

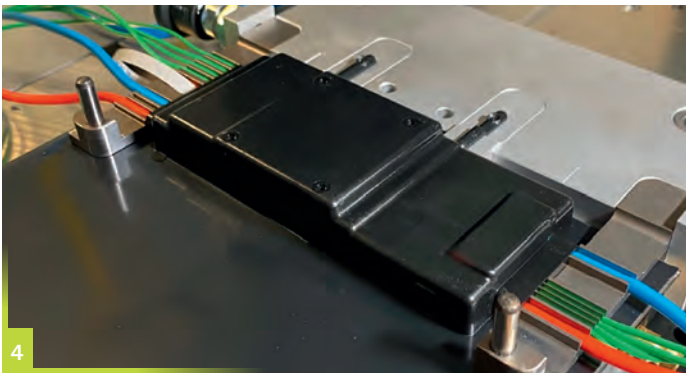
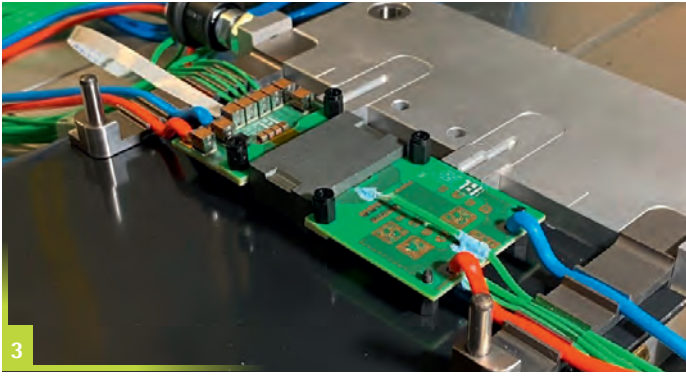


Abbildung 3  
Elektronik am Testmodul vor dem Vergussprozess  
Foto: IAL

Abbildung 4  
Elektronik am Testmodul nach dem Vergussprozess  
Foto: IAL

und benutzerfreundlich in die Steuerungen von „Smart Home“-Systemen integrierbar werden. Idealerweise geschieht das unter Beachtung weltweiter Standards.

Das alles soll mit einer Elektronik erreicht werden, die mittels eines neuartigen Vergussprozesses verkapselt und direkt am PV-Modul befestigt

wird. Dadurch entfällt ein Teil der elektrischen Verkabelung und die Zuverlässigkeit wird erhöht. Zusätzlich wird durch eine angepasste Antenne eine fehlertolerante kabellose Kommunikation mit einem sogenannten IoT-Mesh (IoT = Internet of Things, Mesh = dynamisches Kommunikationsnetz) umgesetzt und im Verbund mehrerer PV-Module an einem Testdach des ISFHs über mehrere Monate getestet und ausgewertet. Elektronische Schaltungskonzepte werden untersucht, die nicht nur mit weniger Materialien auskommen, sondern auch andere als die heute üblichen Lieferketten zu verwenden erlauben. Das soll dazu beitragen, die Auswirkungen einzelner Krisenregionen auf unsere Energiewende zu reduzieren. Die hier skizzierten „intelligenten“ Solarmodule eignen sich nicht nur für die Hausdächer, sondern auch für andere städtische Flächen, wie zum Beispiel Fassaden. Ein Testaufbau, bestehend aus Elektronik und PV-Modul, ist in *Abbildung 3* vor- und in *Abbildung 4* nach dem Vergussprozess dargestellt.

In diesem Themenfeld kooperieren das Institut für Antriebssysteme und Leistungselektronik, das Institut für Mi-

kroelektronische Systeme, das Institut für Hochfrequenztechnik und Funksysteme und das ISFH in enger Abstimmung mit mehreren Industriepartnern. Die Forschungsarbeiten werden neben Projektförderung durch das BMWK auch durch Mittel der DBU unterstützt und durch internationale studentische Aktivitäten in Fachverbänden mit hoher Sichtbarkeit (IEEE) ergänzt.

### Schnelle Rechenmethoden für eine genaue Ertragsvorhersagen in Städten

Photovoltaik kann im Unterschied zur Windenergie auch in urbanen Gebieten für die dezentrale Energieversorgung eingesetzt werden. Die urbane Verdichtung und der hohe städtische Strombedarf werden geeignete Flächen für PV-Anlagen zu einem knappen Gut machen. Genaue Ertragsprognosen sollten die reale städtische Umgebung berücksichtigen und auch die Gebäudedefassaden einschließen. Für die Auslegung dezentraler Energiesysteme muss die solare Einstrahlung in der Ebene der Gebäudeflächen unter Berücksichtigung von komplexer und zeitabhängiger Verschattung sowie Lichtreflexionen

Abbildung 5  
Jahressumme der solaren Einstrahlung für einen Bereich des LUH-Campus dargestellt.  
Quelle: CC-BY-4.0, Landeshauptstadt Hannover, Bereich Geoinformation

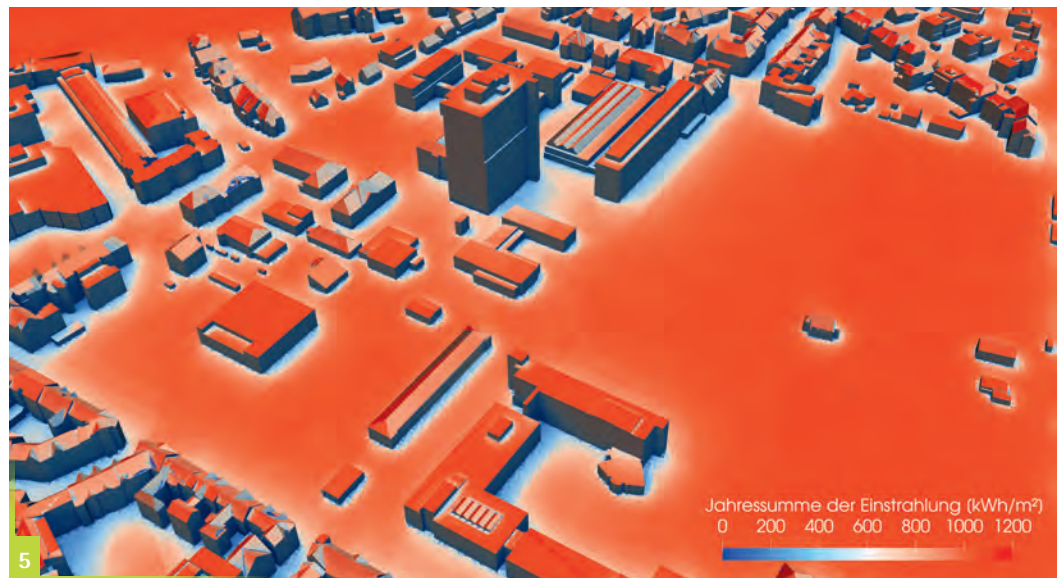




Abbildung 6  
Aufgebautes Demonstrator-  
Fahrzeug mit Leichtbau-Solar-  
modulgeneration  
Foto: ISFH

in der Umgebung berücksichtigt werden [D1].

Um das zu ermöglichen, führen wir Geoinformationen aus mehreren Quellen zusammen und bereiten diese zu einem 3D-Stadtmodell auf. Dieses Stadtmodell bildet die Grundlage für optische Strahlverfolgungssimulationen, welche durch einen hochgradig parallelisierten Ansatz stark beschleunigt werden. Das Ergebnis ist ein zeitlich aufgelöstes Solarkataster für sowohl Dach- als auch Fassadenflächen des gesamten Stadtgebietes. Durch die zeitliche Auflösung können Einsparungen durch die stündliche Bilanzierung von PV-Ertrag und Stromverbrauch bereits in der Planungsphase einer PV-Anlage berechnet werden.

Die Simulationsarbeiten werden vom Institut für Festkörperphysik durchgeführt und werden Strahlungsverteilungen nutzen, die derzeit mit neuen Messtechniken des Instituts für Meteorologie und Klimatologie gewonnen werden [A4].

#### Fahrzeugintegrierte Photovoltaik für größere Reichweiten

Die Emissionen des Transportsektors sind mittlerweile der drittgrößte Beitrag an Treibhausgasemissionen in Deutschland, wobei die Emissionen dieses Sektors seit län-

gerer Zeit stagnieren. Die Elektromobilität kann einen großen Beitrag zur Emissionsreduktion leisten, wenn die elektrische Energie erneuerbar bereitgestellt wird. Fahrzeugintegrierte Photovoltaik ist ein attraktiver Ansatz mit hohem Nutzerkomfort. Die Forschungspartner haben ein PV-Lieferfahrzeug aufgebaut, das die Leistung über einen DCDC-Wandler in die Hochvoltbatterie einspeist. Mehr als 8000 km Testfahrten im Weserbergland wurden absolviert, wobei an sonnigen Sommertagen Reichweitenverlängerungen von bis zu 36 km nachgewiesen wurden [E1]. Eine weitere Steigerung auf über 50 km pro Tag wäre mit schon jetzt umsetzbaren Maßnahmen, zu denen zum Beispiel einer weiteren Steigerung der Ketteneffizienz der Leistungselektronik und des Pufferspeichers von derzeit 69 % [E1], möglich. Parallel dazu wurde anhand systematischer Einstrahlungsmessungen mit hoher Zeitauflösung, in Verbindung mit dynamischer Modellierung der Solarmodule, die notwendige Nachregel-frequenz des optimalen Arbeitspunktes unter transienter Teilverschattung zu 50 Hz bestimmt [E2].

Diese Arbeiten wurden vom Institut für Bauelemente der Elektrotechnik, dem Institut für Solarenergieforschung und weiteren Partner aus Industrie und Forschung im Rahmen eines BMWK-gefördert Projek-

tes durchgeführt und haben in die Arbeit des „International Energy Agency Photovoltaic Power System Programm“ namens „Task 17 - PV for Transport“ Eingang gefunden.

#### Zusammenfassung

Die Photovoltaik ist bei uns in Deutschland und weltweit eine ganz zentrale Komponente der zukünftigen zunehmend vernetzten Energiesysteme. Die Photovoltaikforschung an der LUH erstreckt sich über die Fachbereiche der Meteorologie, der Physik, der Elektrotechnik und Informatik, des Maschinenbaus, der Bauphysik, und der Landschafts- und Umweltplanung. Unsere Forschung trägt dazu bei, Photovoltaik noch kostengünstiger und noch ressourcenschonender zu machen als sie heute schon ist. Solche Forschung erleichtert den globalen „PV-Roll-Out“, den wir für eine lebenswerte Zukunft der Menschheit dringend brauchen. „PV made in Europe“ ist zudem eine große Chance für unsere Wirtschaft, für spannende neue Arbeitsplätze [A1] und für die Reduktion der politischen Abhängigkeit von Autokratien.

Auf Literaturangaben musste leider verzichtet werden. Eine Version dieses Textes mit Referenzen stellen die Autoren hier bereit: <https://www.energie.uni-hannover.de/de/information/downloads>.

Prof. Dr.-Ing. Rolf R. Brendel  
Prof. Dr.-Ing. Jens Friebe  
Dr. Robby Peibst  
Dr. Dennis Bredemeier  
Prof. Dr. Gunther Seckmeyer

→ Infos und Kontaktdaten  
ab Seite 68

## Meine Mecklenburgische

So gut.  
So sicher,  
weil ...



[Esther U./Mitarbeiterin Schadenabteilung]

hier Menschen mit Herz arbeiten.

Wir bieten interessante **Perspektiven** und **Karrieremöglichkeiten** für Absolventen und Absolventinnen betriebswirtschaftlicher und juristischer Fachrichtungen sowie Absolventen und Absolventinnen der MINT-Fächer.

Individuell zugeschnitten auf Ihre Fähigkeiten und Kenntnisse kann der Einstieg direkt in einen Fachbereich oder durch ein Traineeprogramm erfolgen. Zudem unterstützen wir Ihre Ausbildung durch unser praktisches Know-how im Rahmen von Praktika oder der Betreuung Ihrer Bachelor- und Masterarbeit.

Als Arbeitgeberin bieten wir Ihnen attraktive Arbeitsbedingungen, großzügige Sozialleistungen und ein gutes Betriebsklima.

Wir freuen uns auf den Kontakt mit Ihnen:  
Mecklenburgische Versicherungs-Gesellschaft a. G.  
Direktion Hannover  
Platz der Mecklenburgischen 1 · 30625 Hannover  
karriere@mecklenburgische.de  
www.mecklenburgische.de/karriere



**Mecklenburgische**  
VERSICHERUNGSGRUPPE

**Tchibo**



Hier erfährst du mehr!

**STUDIERN &  
TCHIBO GEHT? JA!**

**BEWIRB DICH JETZT ALS WERKSTUDENT\*IN  
ODER PRAKTIKANT\*IN!**

MINT

LOGISTIK

WIWI

IT

tchibo-karriere.de



Deutschkurse für  
Studium und Beruf  
Online und Präsenz

25 Jahre  
ISK



**ISK**


Institut für Sprachen und Kommunikation  
Lützowstraße 7 | 30159 Hannover  
0511-12 35 63 60 | www.isk-hannover.de



iskhannover



**H** HAHNE  
HOLDING

 hahneholdingjobs



**Aufgepasst!**

Unsere Angebote für Werkstudenten,  
Praktikanten und Minijobber!

Wir freuen uns auf deine Bewerbung unter

[www.hahne-holding.de/jobs/aushilfe/](http://www.hahne-holding.de/jobs/aushilfe/)

# Heimat ist da, wo man gerne hinfährt

Finden Sie Ihre berufliche Heimat bei der VGH. Sie haben den Abschluss in der Tasche und brennen darauf, Ihr Wissen anzuwenden? Dann packen Sie es an – bei uns!



Finden Sie bei uns Ihre berufliche Heimat. Die VGH ist mit über 1,9 Millionen Privat- und Firmenkunden der größte regionale Versicherer in Niedersachsen. Mehrfach ausgezeichnet als Top-Arbeitgeber bieten wir Ihnen spannende Aufgaben, tolle Entwicklungsmöglichkeiten und einen sicheren Arbeitsplatz.

Gemeinsam mit Ihnen realisieren wir für Ihre künftigen Aufgaben einen maßgeschneiderten Karriereeinstieg. In unserem 18 Monate dauernden Traineeprogramm werden Sie ressortübergreifend eingesetzt und durch individuelle Fördermaßnahmen gezielt und professionell auf Ihren beruflichen Weg in unserem Unternehmen vorbereitet. Hierbei bieten wir Ihnen einen verantwortungsvollen Freiraum, Ihr Können zu entfalten und sich fachlich und persönlich weiterzuentwickeln.

Die VGH Versicherungen suchen engagierte und qualifizierte

## Trainees (m/w/d)

### Ihr Profil:

- ✓ abgeschlossenes Masterstudium mit sehr gutem Leistungsbild in rechtlichen, wirtschaftlichen, mathematischen, Ingenieur- oder IT- Studiengängen
- ✓ gerne (versicherungsnah) Praxiserfahrung durch Praktika
- ✓ eine selbständige, strukturierte und eigenverantwortliche Arbeitsweise
- ✓ Bereitschaft zu partnerschaftlicher Zusammenarbeit

### Ihre Aufgaben:

- ✓ praktische Mitarbeit in verschiedenen, zu Ihnen passenden, Bereichen unseres Hauses
- ✓ Kennenlernen der wesentlichen Prozesse, Methoden und Verfahren des Unternehmens

### Wir bieten Ihnen:

- ✓ individuell auf Sie angepasste spannende Praxisphasen und begleitende Schulungen
- ✓ ein unbefristetes Arbeitsverhältnis
- ✓ ein gutes Betriebsklima und flexible Arbeitszeiten
- ✓ die Möglichkeit im Homeoffice zu arbeiten
- ✓ gute Karriere- und Entwicklungsmöglichkeiten
- ✓ ein attraktives Gehalt nach Tarifgruppe VI PVT
- ✓ einen attraktiven Standort im Herzen von Hannover

### Ihre Bewerbung

Haben wir Ihr Interesse geweckt? Wir freuen uns auf Ihre Bewerbung! Geben Sie Ihre persönlichen Daten im Online-Bewerbungsformular an und laden Sie Anschreiben, Lebenslauf und Zeugnisse in wenigen Minuten hoch.

### Für Vorabinformationen:

VGH Versicherungen  
Christiane Besa-Schmidt  
Telefon 0511 362-2152  
[www.karriere.vgh.de](http://www.karriere.vgh.de)



# Das Leben findet einen Weg

## Erzeugung von Wasserstoff durch Mikroorganismen



Abbildung 1

Große Moleküle aus organischem Material, wie Maisstroh und Gülle werden zunächst durch hydrolytische Enzyme in kleinere Bausteine zersetzt. Diese können als Substrate für primäre Gärungen dienen. Es entstehen organische Säuren wie Essigsäure, Propionsäure, Milchsäure und Buttersäure, Alkohole,  $H_2$  und  $CO_2$ . Die kurzen, organischen Säuren werden vor allem von syntrophen Gärern abgebaut. Diese Reaktionen sind thermodynamisch von der Aktivität von Methanogenen abhängig, welche  $H_2$  und  $C_1$ -Verbindungen (z.B.  $CO_2$ ) oder Essigsäure zur Synthese von Biogas verwenden und damit ständig aus dem Reaktionsgleichgewicht entfernen.

Quelle: eigene Darstellung

Wasserstoff als Energieträger könnte ein wichtiger Baustein der Energiewende werden. Durch mikrobielle Vergärung von organischem Material, kann er vorgeschaltet zur Biogasproduktion in zweistufigen Anlagen dezentral gewonnen werden. Doch was sind die mikrobiologischen Grundlagen der Synthese von Wasserstoff ( $H_2$ ) und wie kann man sich dieses Potential nutzbar machen?

$H_2$  wird unter Ausschluss von  $O_2$  (Sauerstoff) beim Abbau von organischem Material durch bestimmte mikrobielle Gärungen produziert, die meist Bestandteil der anaeroben Fütterungskette sind (Abb. 1). In diesem Prozess verstoffwechseln hochdiverse Mikroorganismengemeinschaften komplexe organische Verbindungen zu einfacheren Intermediaten, welche wiederum von anderen Gruppen von Bakterien als Substrate verwendet werden. Als Endprodukt entsteht durch die Interaktion verschiedener Mikroorganismen Biogas, eine Mischung aus  $CH_4$  (Methan),  $CO_2$  und Wasserdampf ( $H_2O$ ).

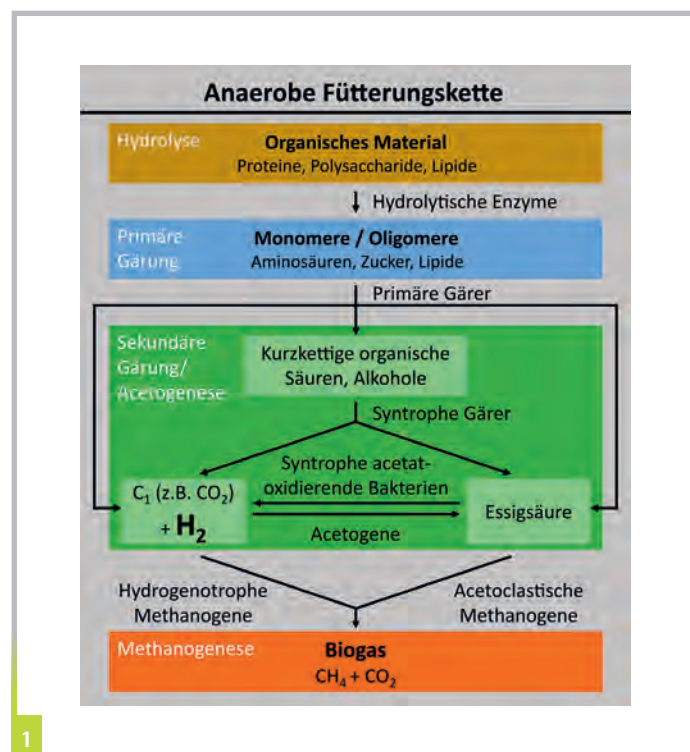
Die mikrobielle Bildung von  $H_2$  aus Protonen und Elektronen wird enzymatisch durch Hydrogenasen katalysiert. Man unterscheidet [NiFe]-Hydrogenasen und [FeFe]-Hydrogenasen. [NiFe]-Hydrogenasen sind sehr divers und katalysieren die Reduktion, Oxidation oder die reversible

Reaktion von  $H_2$ , wohingegen [FeFe]-Hydrogenasen vor allem an der Produktion von  $H_2$  beteiligt sind. Gebildetes  $H_2$  kann direkt von methanogenen Archaeen zur Synthese von  $CH_4$  aus  $CO_2$  verwendet werden.

Biogasproduktionsverfahren sind etabliert, wobei die exakte Zusammensetzung und Interaktion der beteiligten Organismen nicht vollständig aufgeklärt sind. Detailkenntnisse sind hier aber entscheidend, um Prozessinstabilitäten im laufenden Betrieb frühzeitig erkennen und vermeiden zu können. Temperatur, pH-Wert

und Ammonium müssen in Biogasanlagen kontrolliert werden, um ein optimales Wachstum der Mikroorganismen zu gewährleisten. Sinkt der pH-Wert zu stark oder akkumuliert zu viel Ammonium ist dies für sekundäre Gärer und Methanogene toxisch und der Prozess kommt zum Erliegen. Durch frühzeitiges Gegensteuern nach erkannter Prozessstörung kann eine verringerte Biogasausbeute vermieden werden.

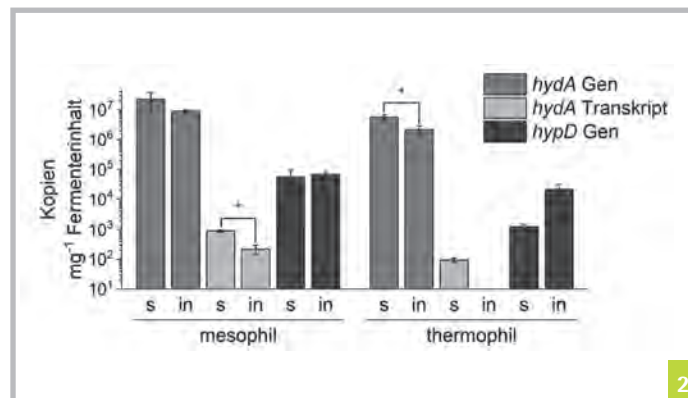
Im Verbundprojekt MODISTO, MODell des Intermediatstoffwechsels von Biogasprozessen, wurden daher Vor-



gänge im Fermenter nach experimenteller Störung unter mesophilen (37°C) und thermophilen (50°C) Bedingungen untersucht. Wird die Menge an Substrat erhöht (Überfütterung) kommt es zur Prozessinstabilität durch einen Anstieg an sauren Intermediaten, Absenkung des pH-Wertes und Reduktion der CH<sub>4</sub>-Produktion. Im mesophilen Zustand wurde durch die induzierte Instabilität intermediär Milchsäure gebildet. Es erfolgte eine Akkumulation von Essigsäure und Propionsäure, aber nur ein geringer Anstieg an H<sub>2</sub>. Die absolute Häufigkeit des Markergens *hypD* für [NiFe]-Hydrogenasen und der Gene der [FeFe]-Hydrogenasen sowie deren Expression war nicht erhöht (Abb. 2). Vorkommen und Expression von [FeFe]-Hydrogenasen assoziiert mit sekundären Gärern des Phylums Cloacimonetes waren im Vergleich zu stabilen Bedingungen reduziert (Abb. 3). Unter thermophil instabilen Bedingungen akkumulierten vor allem Essigsäure und Buttersäure in Antwort auf die Störung. Der Anteil an H<sub>2</sub> stieg auf 10 bis 44 Prozent in der Gaspase an, bei ausbleibender Produktion von CH<sub>4</sub>. Eine Expression von [FeFe]-Hydrogenasen war nicht nachweisbar (Abb. 3). Die Häufigkeit des Markergens für [NiFe]-Hydrogenasen war im Vergleich zum stabilen Betrieb fast 18-fach erhöht, was auf eine wichtige Rolle dieser Hydrogenasen bei der Bildung des H<sub>2</sub> hinweist. Zusammenfassend waren unter mesophilen andere Gärungsreaktionen am Substratabbau beteiligt als unter thermophilen Bedingungen, wobei vor allem bei erhöhter Temperatur und niedrigem pH-Wert H<sub>2</sub> entstand. Spezifische Hydrogenasegene und Mikroorganismen waren im gestörten im Vergleich zum ungestörten Betrieb angereichert. Diese Erkenntnisse liefern die Grundlage zur Entwicklung

diagnostischer molekularbiologischer Verfahren zur Früherkennung von Prozessinstabilitäten und werden Anla-

Stufe werden dann die verbliebenen gelösten organischen Säuren, Alkohole und anderen Intermediate unter

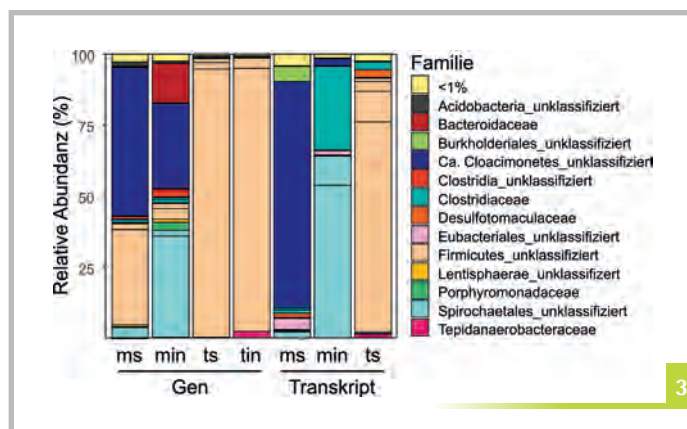


2

Abbildung 2 Häufigkeit des Transkripts (Hinweis für Genexpression und Aktivität) und Gens für das H-Cluster *hydA* der [FeFe]-Hydrogenasen und des Gens *hypD* als Marker für [NiFe]-Hydrogenasen des stabilen (s) und instabilen (in) Prozesses des mesophilen und thermophilen Fermenterbetriebes. Transkriptabundanz des thermophil instabilen Zustandes waren unterhalb der Nachweisgrenze. Fehlerindikatoren zeigen die Standardabweichung an. Die statistische Auswertung erfolgte mittels gepaartem T-Test. \*  $p \leq 0.01$  Quelle: eigene Darstellung

genbetreibern so ermöglichen, frühzeitig zu reagieren.

Während der Biogasbildung im einstufigen Prozess (alle Reaktionen laufen in einem Gärbehälter ab) wird H<sub>2</sub> schnell weiter zu CH<sub>4</sub> umgesetzt, weshalb Biogas nur Spuren an H<sub>2</sub> enthält. Der Schlüssel ist die Erhöhung des H<sub>2</sub>-Anteils in der Gaspase durch eine Entkopplung der eng verzahnten anaeroben Fütterungskette, d.h. die Trennung der H<sub>2</sub>-Produktion von der H<sub>2</sub>-Konsumption. Dies wird durch zweistufige Prozessführung ermöglicht. Dabei werden die Hydrolyse und primären Gärungen von den sekundären Gärungen und der Methanogenese räumlich getrennt. In der ersten Stufe läuft unter sauren Bedingungen die Hydrolyse optimal ab. Primäre Gärer sind säuretolerant und fermentieren freigesetzte Monomere wie Zucker zu H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, organischen Säuren sowie Alkoholen. Da sekundäre Gärer und methanogene H<sub>2</sub>-Konsumenten aufgrund des niedrigen pH-Wertes fehlen, können H<sub>2</sub>-Konzentrationen um die 40 Prozent in der Gaspase erreicht werden. H<sub>2</sub> aus der Gaspase kann leicht einer direkten weiteren Nutzung zugeführt werden. In der zweiten



3

neutralen bis leicht alkalischen pH-Werten zu CH<sub>4</sub> umgesetzt. Die Reste der Vergärung können als Dünger in der Landwirtschaft verwendet werden.

Zur Veredlung von Abfallstoffen aus der Landwirtschaft, wie Maisstroh, Gülle, oder Biomüll aus Haushalten ist die Wasserstoff- und Biogaserzeugung für die optimale Nutzung dieser energiereichen Ressourcen von weitreichender Bedeutung. Die Herstellung von H<sub>2</sub> während der Biogaserzeugung bietet eine zusätzliche Möglichkeit zur nachhaltigen Energiegewinnung und stellt somit einen wichtigen Baustein einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft dar.

Abbildung 3 Relative Abundanz in (%) von Genen und Transkripten der [FeFe]-Hydrogenasen der Fermenterzustände (ms: mesophil stabil; min: mesophil instabil; ts: thermophil stabil; tin: thermophil instabil). [FeFe]-Hydrogenasen wurden durch Sequenzierung des Gens für das H-Cluster *hydA* ermittelt. Quelle: eigene Darstellung

Prof. Dr. Marcus A. Horn  
M.Sc. Nadine Rüppel

→ Infos und Kontaktdaten ab Seite 68

# Keine Angst vor dem Blackout

Ein dezentral organisierter Schwarzstart ist machbar!



Die moderne Gesellschaft stützt sich nahezu vollständig auf die permanente Verfügbarkeit von elektrischer Energie. Beim derzeitigen Trend einer ständig wachsenden Abhängigkeit der Stromversorgung von Informations- und Kommunikationssystemen nimmt leider auch die Anfälligkeit des Energieversorgungssystems stetig zu. Die aktuelle Situation zunehmender Konfrontation der verschiedenen politischen Systeme macht die Wahrscheinlichkeit eines provozierten großflächigen Ausfalls der Stromversorgung nur noch größer.

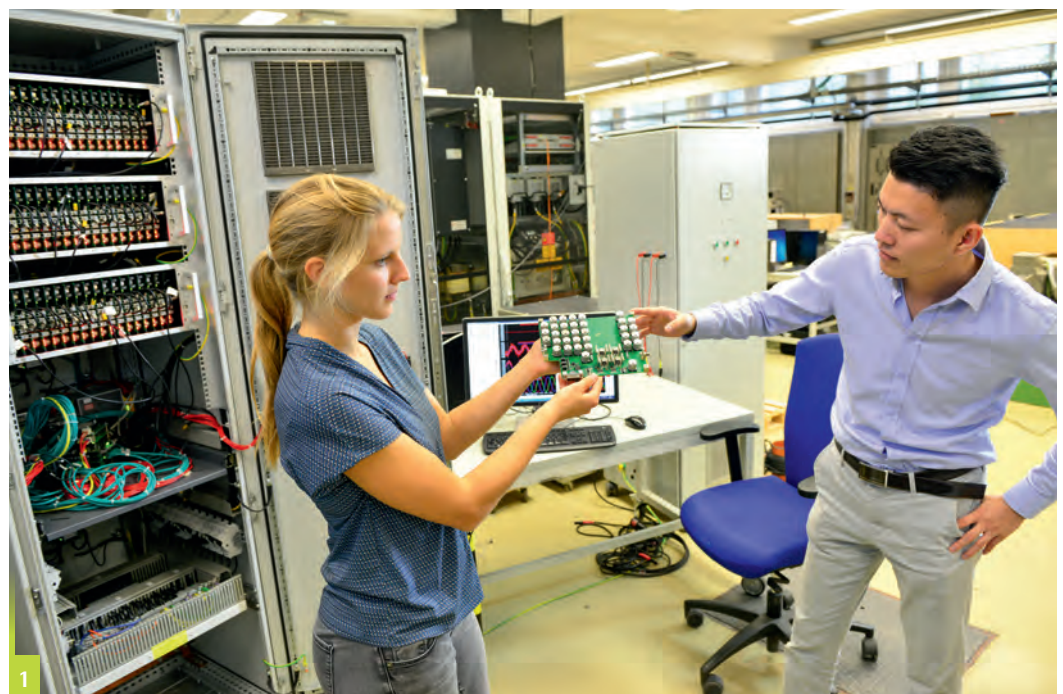
Aktuell werden bei einem langandauernden und groß-

flächigen Stromausfall nur noch einzelne wichtige Institutionen wie Krankenhäuser, Feuerwehren, Polizei, Rathäuser etc. über ihre Notstromgeneratoren versorgt. Nach und nach werden im Rahmen des Katastrophenschutzes zusätzliche Dieselgeneratoren zum Betrieb kleinerer Teilnetze aufgestellt. Selbst ein flächendeckender Ausbau stationärer und mobiler Notstromerzeugungskapazitäten würde aber angesichts des immensen Bedarfs sowie zunehmender Konkurrenz um Treibstoff allenfalls punktuell und zeitlich begrenzt eine verbesserte Durchhaltefähigkeit der kritischen Infrastrukturen bewirken. Im Bericht des Bundes-

tagsausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung wird daher eine Inselnetzbildung für eine nachhaltige Steigerung der Robustheit der (Not-) Stromversorgung vorgeschlagen [DBT\_2011]. Hierbei sollen lokale, dezentral vernetzte Stromerzeugungsanlagen (zum Beispiel erneuerbare Energien) genutzt werden. Dies stellt besondere Anforderungen an Verfahren für eine frequenz- und spannungsstabile Inselnetzführung in unterschiedlichen Einspeise- und Belastungsszenarien. In den aktuell verfügbaren Netz-wiederaufbaukonzepten ist eine solche lokale Inselnetzbildung nicht vorgesehen, sie

Abbildung 1  
Das Institut für Antriebstechnik und Leistungselektronik forscht intensiv an leistungselektronischen Schaltungen. Sie sind ein unverzichtbarer Baustein für eine dezentrale und nachhaltige Energieversorgung und bilden eine Schlüsselkomponente im RuBICon Projekt.

Quelle: IAL





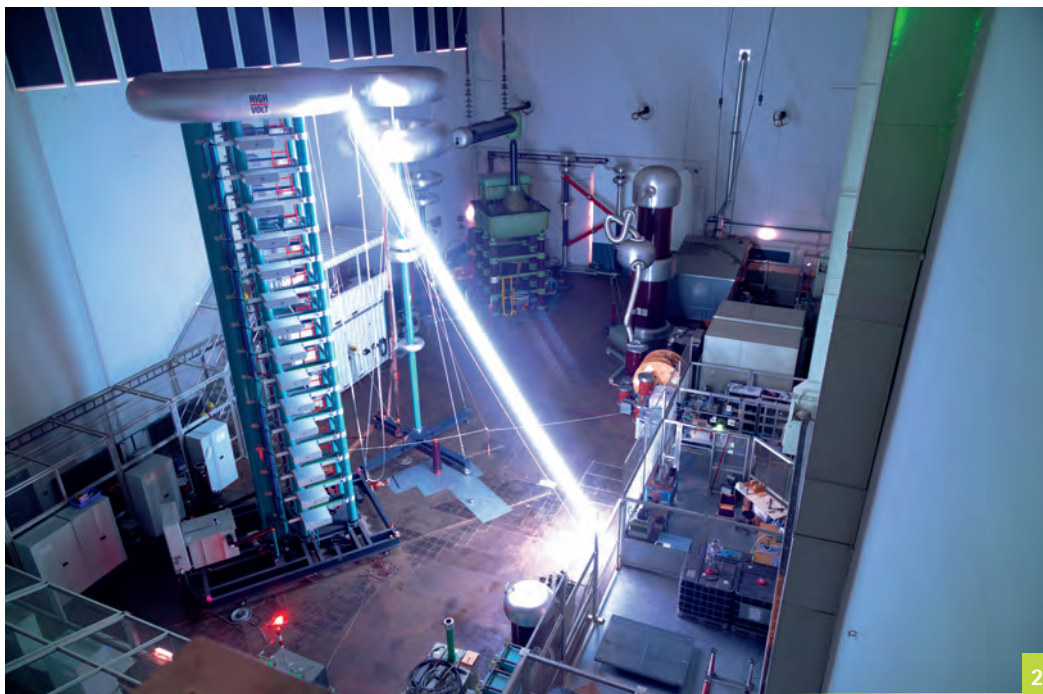


Abbildung 2

In den Laboren des Schering-Institut für Hochspannungstechnik konnten in umfangreichen Versuchsreihen verschiedene Grundvoraussetzungen bestätigen. So musste für das Projekt überprüft werden, ob klassische Schutzgeräte, wie Sicherungsautomaten und FI-Schutzschalter, mit den größeren Varianzen von Spannung und Frequenz zurecht kommen.

Quelle: Schering-Institut

wird jedoch zukünftig bei einer immer höheren Durchdringung mit erneuerbaren Energien und dezentralen Erzeugungsanlagen relevant.

Das Projekt „Rule Based Initialisation of Converter Dominated Grids“ (RuBICon) adressiert diese Lücke, indem die Schwarzstartfähigkeit und Inselnetzfähigkeit von Verteilnetzen mit einem hohen Anteil von Erneuerbaren Energien untersucht wird. Ziel des Projekts ist die Entwicklung und Validierung von robusten Abläufen zum Netzaufbau kleiner Inselnetze auf der Nieder- und Mittelspannungsebene, die keine zentrale übergeordnete Steuerungs- oder Kommunikationsinfrastruktur erfordern. Hierbei wird davon ausgegangen, dass im Black-out-Fall die zentrale Steuerung des Netzes und alle Kommunikationssysteme (Internet, Mobilfunk etc.) ausgefallen oder nicht mehr erreichbar sind. Dazu sind regelbasierte dezentrale Abläufe für die Umrichter der dezentralen Stromerzeugungsanlagen und Batteriespeicher sowie für intelligente Verbrau-

cher erforderlich. Die lokalen Verteilnetze sollen dabei so lange als autarke Inselnetze arbeiten, bis übergeordnete oder benachbarte Stromnetze aktiv sind und sich mit den Verteilnetzen verbinden wollen. Die erforderlichen Abläufe zur Verknüpfung von Teilnetzen untereinander sind ebenfalls Gegenstand dieses Vorhabens.

Ein mögliches Szenario sieht wie folgt aus: Im Krisenfall (Netzausfall) wird ein Verteilnetz zunächst isoliert, größere (schaltbare) Verbraucher sowie Ortsnetzstationen werden abgeschaltet und danach wird das Netz mit den vorhandenen Erzeugungsanlagen auf Basis von erneuerbaren Energieträgern (zum Beispiel PV-Anlagen, BHKW und Biomassekraftwerke, Windenergieanlagen) und Energiespeichern zunächst als Inselnetz schrittweise wieder hochgefahren. Hierbei werden die Eigenschaften der Umrichter zur automatischen Aufteilung der Lasten anhand der im Netz vorliegenden Spannungen und Frequenzen ausgenutzt, wie sie aus der Forschung zu

autonomen Microgrids bekannt sind. Dabei muss mindestens eine beziehungsweise vorzugsweise mehrere leistungselektronische Erzeugungsanlagen netzbildend wirken. Dies können sowohl mittels Speicher ertüchtigte Umrichtersysteme auf Niederspannungsebene als auch zum Beispiel ein Solarpark auf Mittelspannungsebene sein.

Bei den Abläufen wird ausgenutzt, dass die Umrichter auch bei bedeutend von den Nennwerten abweichenden Spannungen und Frequenzen arbeiten können. Diese Eigenschaft dient als Ausgangspunkt für eine dezentrale (Selbst-)Organisation der verfügbaren dezentralen Erzeugungsanlagen. Im ersten Schritt synchronisieren sich mehrere netzbildende Umrichter im Verteilnetz bei noch verringerter Spannung, ggf. bei ebenfalls abweichender Frequenz. Dabei muss ausreichend Leistung übertragen werden, um die in Zukunft im Netz weit verbreiteten intelligenten Messsysteme inklusive der Schalteinrichtungen sowie etwaige nicht abschaltbare



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

*Diese Arbeit wurde unterstützt durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz auf Basis einer Entscheidung des Deutschen Bundestags.*

**Projekt: RuBICon**  
**Fördernummer:**  
03EI4003A

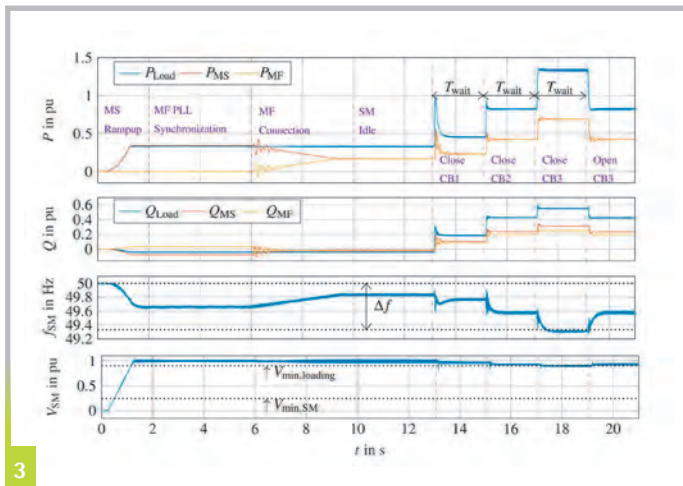


Abbildung 3  
Der Schwarzstart eines Verteilnetzes wurde in einem Laborversuch demonstriert. Zwei dezentrale, netzbildende Umrichter (MS und MF) teilen sich den Bedarf an Wirkleistung ( $P$ ) und Blindleistung ( $Q$ ) gleichmäßig auf. Die gemessene Netzfrequenz ( $f_{SM}$ ) und -spannung ( $V_{SM}$ ) sind Messgrößen für das intelligente Lastmanagement.  
Quelle: IAL

Lasten mit der notwendigen Leistung zu versorgen und um den lokalen Blindleistungsbedarf zu decken. Die intelligenten Messsysteme sowie die damit verknüpften Schalt- und Steuerfunktionen können die über Spannung und Frequenz übermittelte Information über die Leistungsfähigkeit der aktuellen Einspeisung nutzen, um ein (netzdienliches, priorisiertes) Lastmanagement innerhalb ihres lokalen Anschlussbereichs zu betreiben, zum Beispiel um im Wiederanlauf die Last möglichst gering zu halten. Weitere Stromverbraucher werden erst im Anschluss schrittweise und automatisch anhand eines – jedem Netzteilnehmer vorab bekannten – Regelsatzes zugeschaltet, wobei Spannung und Frequenz sukzessive an die Nennwerte herangeführt werden. Im letzten Schritt wird das isolierte Verteilnetz wieder in den Stromverbund zurückgeführt und mit diesem synchronisiert. Hierbei spielen die (regelbaren) Ortsnetzstationen und ihre Ausstattung mit Schaltgeräten und Messeinrichtungen eine wesentliche Rolle.

Das Projekt berücksichtigt, dass in Zukunft nahezu alle Verbraucheranschlüsse über intelligente Zähl- und Messeinrichtungen verfügen, die

mit der Digitalisierung der Energieinfrastruktur ausgerollt werden. Diese Einrichtungen könnten im Krisenfall auch Steuerungsaufgaben übernehmen, beispielsweise eine automatische regelbasierte Trennung größerer Verbraucher vom Verteilnetz mittels Schaltboxen. Im Projekt werden unter anderem die Nutzungsmöglichkeiten der Messvorrichtungen für die Auswertung von Spannung, Frequenz, Leistung und Energierichtung untersucht, um Kriterien zur Steuerung und Priorisierung abzuleiten sowie eine dezentrale Zuschaltung beim Netzwiederaufbau zu realisieren. Aus den Untersuchungen werden Empfehlungen zur Unterstützung der Schwarzstartfähigkeit in Verteilnetzen der Zukunft abgeleitet, insbesondere, wenn wegen eines Ausfalls der Kommunikationsnetze zentrale Steuerungsinstanzen, beispielsweise der Smart Meter Gateway Administrator oder CLS-Manager, nicht zur Verfügung stehen.

Da der Netzaufbau prinzipiell ohne Kommunikation funktionieren soll, können bei der gegebenen dezentralen Entscheidung konkurrierende Entscheidungen auftreten, die zu einer Überlastung oder gar zu einem erneuten Zusammenbrechen des Inselnetzes führen können. Hierfür werden einfache Regeln vorgeschlagen, die einen gleichzeitigen Startversuch mehrerer Umrichter wirkungsvoll verhindern.

Mittlerweile konnte das Konzept in Simulationen und im Labor (siehe Abbildungen 1 und 3) implementiert und untersucht werden. Dabei konnten die Ansätze bestätigt werden. In einem Großversuch im SysTec-Technikum des Fraunhofer-Instituts für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik wird auch die Synchronisation mehrerer

Niederspannungsnetze über die Mittelspannungsleitung experimentell erprobt.

Das Akronym RuBICon wurde bewusst gewählt, weil mit dem beschriebenen Ansatz eine Grenze – im alten Rom der Fluss Rubicon – überschritten wird. Der Netzwiederaufbau zukünftiger Energienetze wird heute fast immer unter der Prämisse definiert, dass eine digitale Informations- und Kommunikationsinfrastruktur zur Verfügung steht und eine mehr oder weniger zentrale Steuerung des Netzwiederaufbaus durch die Netzbetreiber ermöglicht. Jedoch hat sich in vergangenen Projekten die Kommunikation und ihre Verfügbarkeit als Flaschenhals herausgestellt. Genau hier werden in RuBICon entgegen gesetzte Annahmen getroffen. Auf Basis der vielversprechenden Ergebnisse dürften auch die Netzbetreiber ihre bisherige Zurückhaltung in Zukunft langsam aufgeben.

## Literatur

- [DBT\_2011] Deutscher Bundestag, „Technikfolgenabschätzung (TA): Gefährdung und Verletzbarkeit moderner Gesellschaften – am Beispiel eines großräumigen und langandauernden Ausfalls der Stromversorgung,“ Drucksache 17/5672, Berlin, 2011.

**Prof. Dr.-Ing. Axel Mertens**  
**Prof. Dr.-Ing. habil. Lutz Hofmann**  
**Prof. Dr.-Ing. Peter Werle**  
**Dr.-Ing. Marco Munderloh**  
**M.Sc. Mina Mirzadeh**  
**M.Sc. Robin Strunk**

→ Infos und Kontaktdaten ab Seite 68



## Für jeden guten Start gibt es den richtigen Moment.

Mit Traineeprogramm, Praktikum oder Stipendium:  
In der NORD/LB startest du immer in einem Berufsumfeld,  
das in seiner Dynamik und seinem Leistungsumfang  
beste Perspektiven eröffnet.

Weitere Infos unter: [www.nordlb.de/traineeship](http://www.nordlb.de/traineeship)  
oder [www.nordlb.de/praktikanten](http://www.nordlb.de/praktikanten)



[www.instagram.com/nordlb.karrierestart](https://www.instagram.com/nordlb.karrierestart)



# Die Flugzeuge von morgen

## Energieeffizientes und nachhaltiges Fliegen

NACHHALTIGE +  
EFFIZIENTE



LUFTFAHRT

Die zivile Luftfahrt ist verantwortlich für etwa 3,5 Prozent der klimaschädlichen Emissionen. Der resultierende Klimawandel ist ein globales Problem. Wie sieht also das nachhaltige Flugzeug von morgen aus? In der Luftfahrtforschung zeichnet sich derzeit folgendes Bild ab: Während auf Kurzstreckenflügen bereits in naher Zukunft vollkommen elektrisch angetriebene Flugzeuge zum Einsatz kommen könnten, eignen sich diese nach aktuellem Stand der Forschung nicht für höhere Reichweiten. Ein Grund hierfür ist, dass Batterien bei fortschreitender Entladung nicht leichter werden. Im Gegensatz dazu erleichtert der Verbrauch von Treibstoff das Flugzeug kontinuierlich, wodurch sich Langstreckenflüge erst realisieren lassen. Hier sind Alternativen gefragt.

Daran, wie diese Alternativen aussehen können, forschen Wissenschaftler\*innen der Leibniz Universität Hannover im Exzellenz-Cluster 2163 „Sustainable and Energy Efficient Aviation“ (Nachhaltige und energieeffiziente Luftfahrt, kurz SE<sup>2</sup>A), das von unseren Partnern an der Technischen Universität Braunschweig koordiniert wird.

### Nachhaltige und energieeffiziente Luftfahrt

In der deutschen Forschungslandschaft sind Exzellenz-

Cluster eine große Sache: Kaum andere Förderprogramme ermöglichen eine derart breite und transdisziplinäre Erforschung ähnlich umfassender Fragestellungen, wie der nach dem nachhaltigen Luftfahrtsystem von morgen. Dies ist allerdings auch notwendig, da die oben gezeigte Breite an Anwendungsszenarien – und an möglichen Lösungen – Forschung in verschiedensten Bereichen der Ingenieur- und Gesellschaftswissenschaften erfordert. Die verfolgten Lösungsansätze beschränken sich hierbei nicht nur auf den Antrieb der Flugzeuge, sondern umfassen auch den Flugzeugentwurf und infrastrukturelle Überlegungen.

Elektrische Antriebskomponenten, Antriebssysteme für das Fliegen mit Wasserstoff oder eFuels, das Bordnetz des Flugzeugs sowie die Frage, wie sich all dies in ein mögliches leichtes Flugzeug integrieren lässt, nehmen eine ebenso zentrale Rolle ein wie ökonomische Fragen.

### Fliegen mit Wasserstoff

Größere Reichweiten erfordern Energieträger mit hohem Energieinhalt wie beispielsweise nachhaltig erzeugtem Wasserstoff. Aktuell werden zwei verschiedene Ansätze verfolgt: die Nutzung in Brennstoffzellen und die direkte Verbrennung des Wasserstoffs. Was-

serstoff könnte über Brennstoffzellen in elektrischen Strom gewandelt werden, um damit eine elektrische Antriebstechnologie zu versorgen. Brennstoffzellen in den hierfür benötigten hohen Leistungsklassen stellen eine technologische Herausforderung dar, weil für den Einsatz im Flugzeug höhere Leistungsdichten unabdingbar sind und auch Fragen bezüglich der Kühlung oder der Integration mit dem Verdichter noch beantwortet werden müssen. Hieran wird – unter anderem auch in SE<sup>2</sup>A – geforscht. Einen weiteren Ansatz stellt die direkte Verbrennung von Wasserstoff dar. Hier könnten modifizierte Triebwerke in ähnlicher Systemanordnung wie bisher genutzt werden. Aktuelle Forschungsthemen im Bereich der Wasserstoffverbrennung sind beispielsweise die Flammenstabilisierung und die Reduktion der zu hohen Flammentemperaturen. Diese werden künftig von 23 Partnern im EU-HESTIA Konsortium untersucht, inklusive dem Institut für Technische Verbrennung (ITV).

Herausfordernd bleibt auch die Wasserstoff-Speichertechnologie, wobei die kryogene (tief-kalte) Speicherung in flüssiger Form favorisiert wird. Allerdings würden somit etwa ein Drittel der Passagierplätze für die Wasserstofftanks verloren gehen, was wirtschaftlich problematisch ist. Eine Alternative wären

Flugzeugentwürfe mit mehr Fassungsvermögen.

Flüssige Energieträger haben aufgrund der höheren Energiespeicherdichte hier Vorteile gegenüber Wasserstoff. Nah an der Anwendungsbereitschaft ist auf nachhaltige Weise synthetisch erzeugtes Kerosin (*Sustainable Aviation Fuel*, SAF; auch als eFuel bezeichnet). Dessen Vorteile liegen auf der Hand: Bestehende Flugzeuge können unverändert weiter genutzt werden und SAF ist CO<sub>2</sub>-neutral. Allerdings entstehen bei der Verbrennung von SAF weiterhin Schadstoff-Emissionen, wie Rußpartikel und Stickoxide, die etwa doppelt so schädlich sind wie das CO<sub>2</sub>. Deshalb wird in SE<sup>2</sup>A auch daran geforscht, wie man bessere synthetische Energieträger finden kann, die ein ultrasauberer Brennverfahren (*Lean Premixed Prevaporized Combustion*) erlauben. Erste Forschungsergebnisse des ITV und der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt Braunschweig sind vielversprechend, um die Vision der CO<sub>2</sub>-Neutralität und der Schadstoff-Freiheit zu verwirklichen.

Eine Verfügbarkeit von Wasserstoffantrieben für Kurz- und Mittelstreckenflüge wird für frühestens 2030 prognostiziert. Für Langstreckenflugzeuge gilt der Einsatz von nachhaltig erzeugten synthetischen flüssigen Kraftstoffen (eFuels) als wahrscheinlich.

Neben technologischen Herausforderungen geht der Einsatz von Wasserstoff als Energieträger mit umfassenden volkswirtschaftlichen Implikationen einher, denn Wasserstoff muss produziert, gelagert, verflüssigt und transportiert werden, was wiederum mit Kosten, aber auch mit Aspekten wie Beschäftigungseffekten zusammenhängt. Diese Auswirkungen werden

am Institut für Umweltökonomik und Welthandel (IUW) untersucht. Auch auf der Verbrauchenseite kann es zu makroökonomischen Anpassungen kommen: Der Flugsektor ist an eine Vielzahl von Industrien und Sektoren gekoppelt, die ein Wechsel zur wasserstoffbetriebenen Luftfahrt ebenfalls stark beeinflusst.

### Elektrisches Fliegen und Bordelektronik

Im Fokus des Instituts für Antriebssysteme und Leistungselektronik (IAL) stehen die Untersuchung des elektrischen Antriebsstrangs sowie des Bordnetzes für den Einsatz in zukünftigen elektrisch angetriebenen Flugzeugen. Es werden sowohl Systemaspekte, wie beispielsweise verschiedene Schaltungskonzepte, Wärmeabfuhr, Redundanz und Zuverlässigkeit, als auch Grundlagenforschung im Bereich der sogenannten Leistungshalbleiter und Methoden zur anforderungsgerechten Dimensionierung von elektrischen Maschinen entwickelt. Dabei spielt insbesondere eine hohe Leistungsdichte bei gleichzeitig hohen Wirkungsgraden und die optimale Integration der unterschiedlichen Komponenten eine entscheidende Rolle.

### Bordnetz und Antriebe

Hauptverbraucher in elektrisch angetriebenen Flugzeugen sind die Propulsoren. Propulsoren ersetzen beziehungsweise ergänzen herkömmliche Antriebe, die elektrische Energie wird hierbei in Batterien oder Brennstoffzellen gespeichert, ein Elektromotor treibt einen Propeller oder einen Fan an. Zu deren Versorgung werden sowohl ein zentrales als auch ein dezentrales Energieversorgungssystem in enger Abstimmung mit dem Institut

für Elektrische Maschinen, Antriebe und Bahnen (IMAB) der TU Braunschweig, untersucht. Beide Ansätze müssen hinsichtlich ihrer Eignung geprüft werden. Dabei spielen neben Gewicht und Bauraum auch die Zuverlässigkeit eine entscheidende Rolle.

Für das Bordnetz in einem zentralen System ist ein Gleichspannungsnetz besonders geeignet, da hierdurch Blindleistungsverluste vermieden werden und zusätzliches Gewicht durch den Wegfall von den ansonsten nötigen Gleichrichtern eingespart werden kann.

Bei der Dimensionierung elektrischer Systeme in Flugzeugen sind immer auch die besonderen Umweltbedingungen zu beachten. In der typischen Reisehöhe für Kurzstreckenflugzeuge von sechs Kilometern sinkt infolge des reduzierten Luftdrucks die Durchschlagfeldstärke der Luft um über 40 Prozent. Zusätzlich ist der Einfluss von Höhenstrahlung und tiefer Temperaturen auf Halbleiter zu beachten. Beispielsweise löst die Höhenstrahlung sogenannte „*Single Event Effects*“ (SEE) aus, wodurch die Halbleiterelemente bei falscher Auslegung zerstört werden. Bei der genannten Flughöhe ergibt sich eine etwa 70-fache Belastung, verglichen mit Anwendungen auf der Erdoberfläche. Aus diesem Grund werden vom IAL Untersuchungen zur Robustheit von Halbleitern gegen Höhenstrahlung durchgeführt.

Vielversprechende Technologien für elektrische Maschinen sind Direktantriebs-Konzepte, der Einsatz additiver Fertigungsverfahren („3D-Druck“), fortschrittliche Kühlkonzepte und ein Integrationsansatz sowohl von Maschine, Leistungselektronik und Kühlung als auch des Propellers. Es ist ein Kompro-

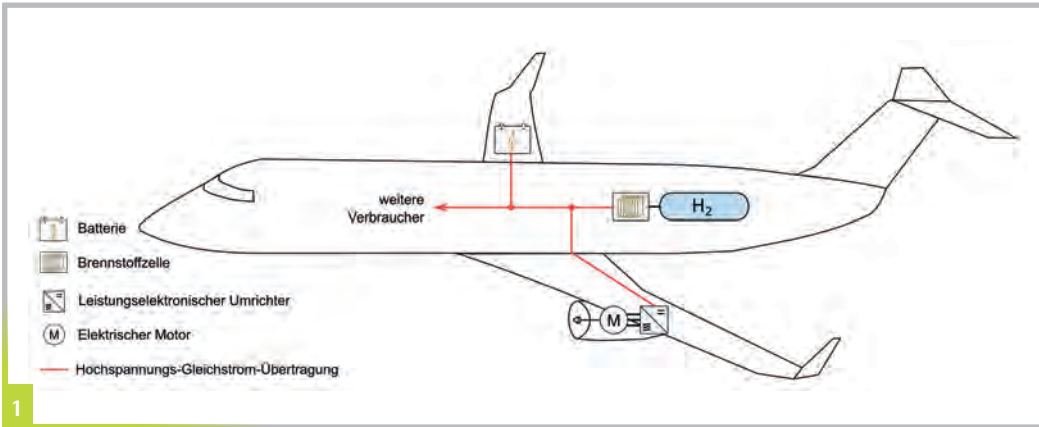


Abbildung 1  
Schematische Struktur eines Bordnetzes mit Batteriespeicher und Brennstoffzelle  
Quelle: eigene Darstellung

miss zwischen hoher Leistungsdichte und einem guten Wirkungsgrad unter dem Aspekt der vielfältigen Dimensionierungsmöglichkeiten elektrischer Maschinen zu finden.

**Systemoptimierung**

Die Erkenntnisse der Untersuchungen werden kontinuierlich mit dem Projektpartner am Lehrstuhl für Elektrische Energiespeichersysteme am Institut für Elektrische Energiesysteme (IfES) zur Optimierung der gesamten Energieversorgung ausgetauscht. Um die erarbeiteten Konzepte für das Energieversorgungssystem messtechnisch zu validieren, werden am IMAB und

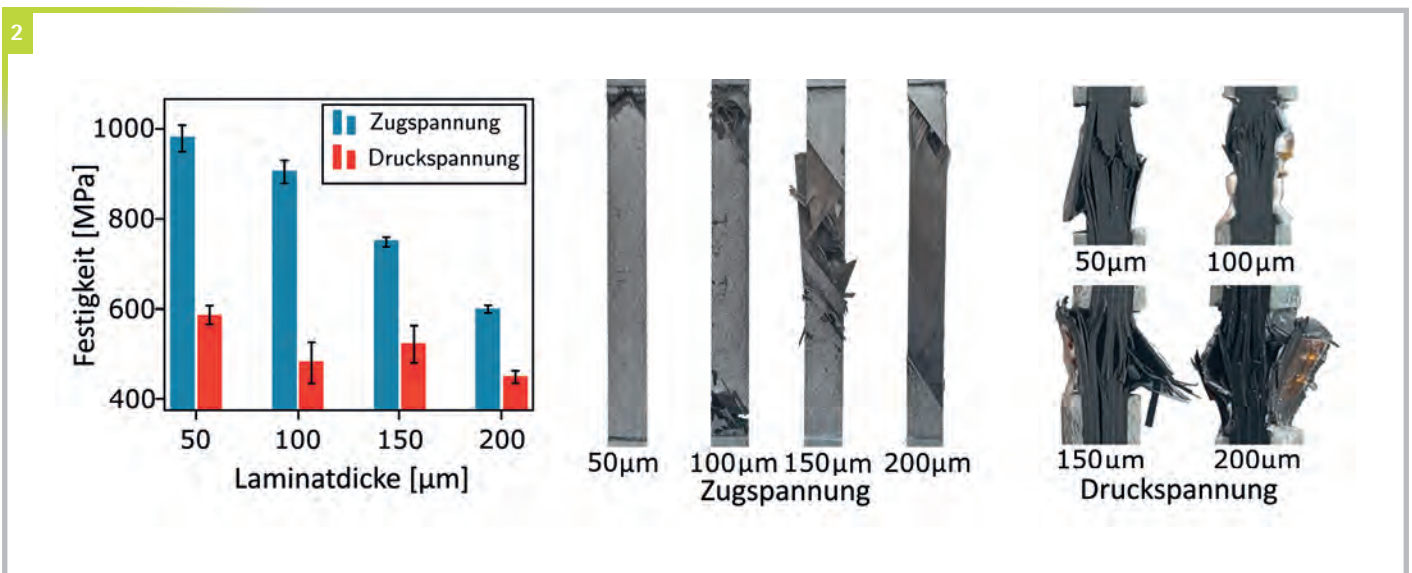
am IAL parallel Laborumgebungen aufgebaut, die jeweils die zentrale und die dezentrale Struktur nachbilden sollen. Ziel ist unter anderem der gemeinsame Betrieb der Komponenten gemäß typischen Flugprofilen, Überlastmanövern und Fehlerszenarien sowie die Untersuchung der elektromagnetischen Verträglichkeit. Von besonderer Bedeutung ist hierbei neben der effizienten Umwandlung der gespeicherten Energie in Batterien besonders die Nutzung von Wasserstoff als Energieträger, der zu weiteren Anforderungen am elektrischen System führen wird. *Abbildung 1* stellt stark vereinfacht die Struktur eines Bordnetzes inklusive Batteriespeicher und einer Brennstoffzelle dar.

**Leichtbau, Aerodynamik und Verdichter**

Zusätzlich zur Frage, ob zum Fliegen elektrisch gespeicherte Energie, Wasserstoff oder SAF eingesetzt werden, ist die Energieeffizienz des Gesamtsystems Flugzeug stets von zentraler Bedeutung. Hinsichtlich Energieeffizienz und Leistungsdichte müssen auch in den Bereichen Leichtbau, Aerodynamik und Antriebskomponenten Fortschritte erbracht werden, um den Anforderungen für eine nachhaltige Luftfahrt gerecht zu werden.

An den beiden „Stellschrauben“ Leichtbau und Aerodynamik wird im Rahmen von SE<sup>2</sup>A durch den Entwurf und die Integration eines „Suction Panels“ in den Tragflügel gedreht. Durch eine aktive Grenzschichtabsaugung wird die laminare Laufstrecke verlängert und damit der aerodynamische Widerstand stark gesenkt. Hierzu wird an der kritischen Stelle eine additiv gefertigte Polymerstruktur mit mikroperforierter Oberfläche in den Flügel eingebettet, durch die dann die Grenzschicht abgesaugt werden kann. Dadurch erhöht sich jedoch das Baugewicht, was wiederum durch eine effi-

Abbildung 2  
Thin-Ply Laminate: Festigkeitssteigerung und Bruchbilder in Abhängigkeit der Lagendicke bei gleicher Materialstärke  
Quelle: eigene Darstellung



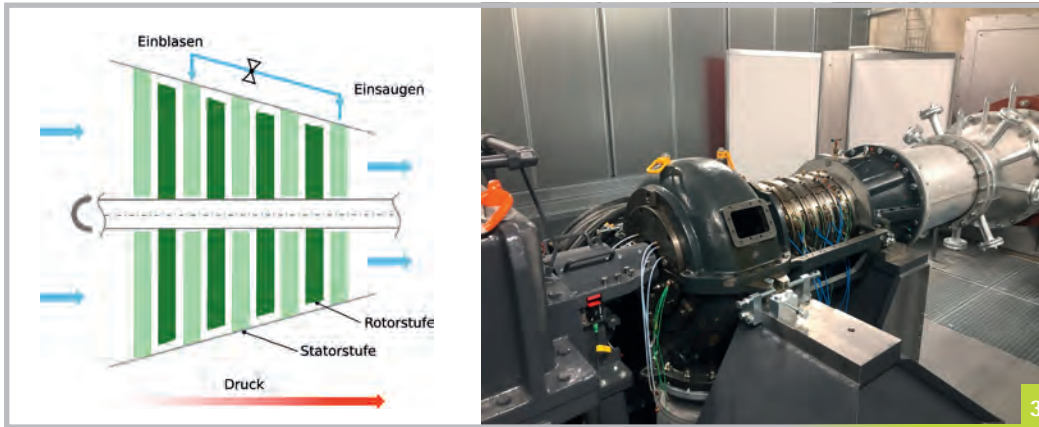


Abbildung 3  
Links: schematische Darstellung von aktiver Strömungsbeeinflussung im Verdichter durch kontrolliertes Ein- und Ausblasen von Luft. Rechts: Vierstufiger Axialverdichter im Forschungsbau  
Dynamik der Energiewandlung  
Quelle: eigene Darstellung

zientere Tragstruktur des Flügels kompensiert werden muss. Das Institut für Statik und Dynamik (ISD) forscht in diesem Zusammenhang an dem statischen und dynamischen Verhalten sogenannter „Thin-Ply“ Laminats. Dies sind Kohlefaserverbundlaminats mit besonders dünnen Einzelschichten. Sie weisen gegenüber konventionellen Laminats überlegene mechanische Eigenschaften hinsichtlich Festigkeit und Ermüdung auf (Abbildung 2). Hierfür werden vom ISD neue Strukturanalysenmethoden entwickelt, die bei dem Design von ultraleichten Tragstrukturen helfen.

Turboverdichter, die mit Hilfe rotierender Schaufeln Luft verdichten, spielen eine zentrale Rolle in den Bemühungen um eine nachhaltigere Luftfahrt, denn sowohl Brennstoffzelle als auch Wasserstoffverbrennung benötigen einen effizienten und flexiblen Verdichter zur Bereitstellung von komprimierter Luft als Arbeitsmedium. Daher forscht das Institut für Turbomaschinen und Fluidodynamik (TFD) im Rahmen von SE<sup>2</sup>A an neuen, innovativen Verdichterkonzepten.

So sollen beispielsweise durch den Einsatz von aktiver Strömungsbeeinflussung dessen Effizienz und Leistungsdichte über einen breiten Betriebsbereich gesteigert werden. Hier-

bei wird energiereiche Luft aus dem hinteren Teil des Verdichters abgesaugt und in den vorderen Stufen wieder eingeblasen, um dort der Strömung zusätzlichen Impuls zu verleihen. Dadurch löst sich die Strömung nicht mehr von den Schaufeln ab und ihr verlustbehafteter Nachlauf wird reduziert. Saugt man die Luft dabei aus Bereichen ab, in denen ohnehin größere Druckverluste auftreten, beispielsweise im Spalt zwischen Schaufel und Gehäuse oder im Bereich effizienzschädlicher Strömungsablösungen, profitiert man gleich doppelt (Abbildung 3).

Mit Hilfe formvariabler Schaufeln, die zusammen mit Wissenschaftler\*innen vom DLR und der Technischen Universität in Braunschweig erforscht werden, soll zusätzlich die Flexibilität des Verdichters verbessert werden. Durch kleine elektrische Aktuatoren können diese Verdichterschaufeln so verformt werden, dass sie in den wichtigen Betriebsbereichen ideal angeströmt werden. Dadurch arbeitet der Verdichter auch außerhalb des eigentlichen Auslegungspunktes, also beispielsweise während des Take-Offs (des Starts), optimal.

Bis zur Umsetzung in die Anwendung müssen noch viele Fragen geklärt werden. Deshalb werden am TFD zahlrei-

che Strömungssimulationen und Experimente durchgeführt, um ein besseres Verständnis der Verdichteraerodynamik zu erreichen und die Grenzen des technisch Machbaren auszuloten. Auch Methoden des maschinellen Lernens werden im Hinblick darauf untersucht, ob sie zu einer Verbesserung des Auslegungsprozesses derartiger, fortschrittlicher Verdichter in Zukunft genutzt werden können.

### Fazit

Nachhaltigkeitsbemühungen haben in der Luftfahrt hohe Priorität. Gerade, weil noch offen ist, welche Technologien sich letztlich durchsetzen werden, ebnet die Forschungsarbeit im Exzellenz-Cluster SE<sup>2</sup>A Wege in eine nachhaltige und energieeffiziente Luftfahrt.

**Prof. Dr.-Ing. Jörg Seume**  
**Prof. Dr. Friedrich Dinkelacker**  
**Prof. Dr.-Ing. Richard Hanke-Rauschenbach**  
**Prof. Dr.-Ing. Axel Mertens**  
**Prof. Dr.-Ing. Bernd Ponick**  
**Dominik Blechschmidt, M. Sc.**  
**Prof. Dr.-Ing. habil. Raimund Rolfes**  
**Prof. Dr.-Ing. Jens Friebe**  
**Dr. Steven Gronau**  
**Dr.-Ing. Dajan Mimic**  
**Dr.-Ing. Sven Scheffler**

→ Infos und Kontaktdaten  
ab Seite 68



11  
102  
1004

Leibniz  
Universität  
Hannover

# Studium fertig?

## Bleiben Sie in Kontakt!

Das Studium ist vorbei, doch die Studienzeit bleibt.  
Nutzen Sie unsere Angebote.

**Profitieren Sie vom Alumninetzwerk.  
Jetzt anmelden:**

[www.uni-hannover.de/alumni](http://www.uni-hannover.de/alumni)



AlumniCampus der Leibniz Universität Hannover  
Das Netzwerk für alle Ehemaligen ■





# Heben Sie mit uns ab



Wir gewährleisten durch die Wahrnehmung von mehr als 100 Zulassungs-, Genehmigungs- und Aufsichtsfunktionen sowohl den hohen personellen, technischen und flugbetrieblichen Sicherheitsstandard der Luftfahrt in Deutschland (Safety) als auch die Sicherheit des Luftfrachtverkehrs und die Einhaltung der Sicherheitsmaßnahmen durch die Luftfahrtunternehmen (Security).

Für die Durchführung und Umsetzung dieser Aufgaben in einem dynamischen und zukunftsorientierten Umfeld suchen wir ständig neue und hochqualifizierte Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter.

### Wir bieten Ihnen

eine abwechslungsreiche Tätigkeit, familienfreundliche und flexible Arbeitszeitmodelle, ein modernes

Gesundheitsmanagement, umfangreiche Sozialleistungen sowie die Sicherheit des öffentlichen Dienstes.

Für unsere Zentrale in Braunschweig sowie unsere Außenstellen in München, Stuttgart, Düsseldorf, Frankfurt, Berlin und Hamburg freuen wir uns auf Bewerbungen auf unsere Stellenangebote von

- **Ingenieurinnen/Ingenieuren (m,w,d), z. B. der Fachrichtung Luft- und Raumfahrttechnik oder Maschinenbau**
- **Pilotinnen/Piloten (m,w,d)**
- **Fachärztinnen/Fachärzte (m,w,d)**
- **Juristen (m,w,d)**

Sie haben Fragen an uns? Dann rufen Sie uns unter Tel + 49 (531) 2355 2222 an oder schreiben uns eine Mail an [RefZ2@lba.de](mailto:RefZ2@lba.de).

## DIK – Kompetenz in Kautschuk und Elastomeren

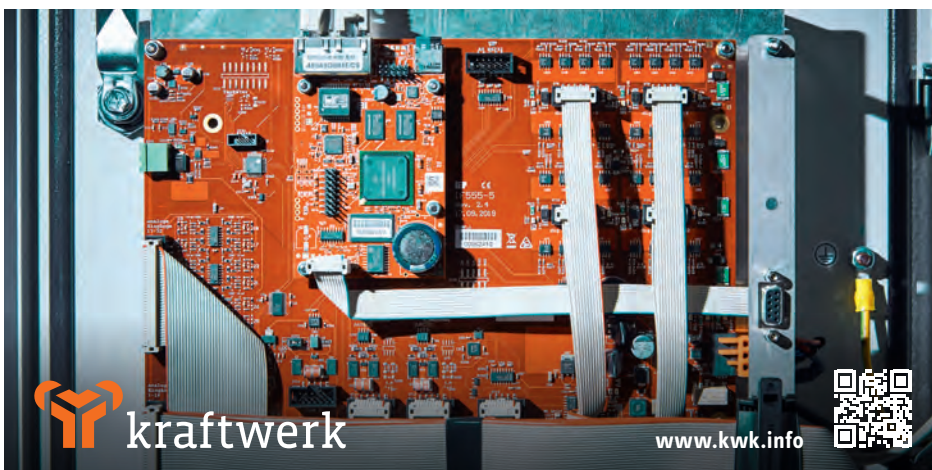


Das DIK bietet ein breites Forschungs- und Leistungsspektrum

- Werkstoffcharakterisierung
- Neue Materialien
- Werkstoffentwicklung
- Lebensdauervorhersage/Alterung
- Simulation
- Umweltaspekte
- „Leachables“ in Polymerwerkstoffen
- Aus- und Weiterbildung

Deutsches Institut für Kautschuktechnologie e. V.

Eupener Straße 33 · D-30519 Hannover · Tel.: +49 (0)511/84201-16  
PR-DIK@DIKkautschuk.de · [www.DIKkautschuk.de](http://www.DIKkautschuk.de)



[www.kwk.info](http://www.kwk.info)



Blockheizkraftwerke für den professionellen Einsatz.

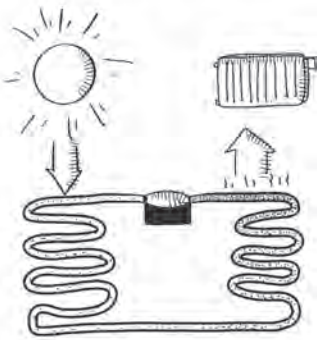
- Leistungsbereich von 8 - 50 kW
- Eigenentwickelte BHKW-Steuerung
- Seit mehr als 25 Jahren in Hannover

Bewirb dich jetzt bei uns für deine Abschlussarbeit.

# Die Wärmepumpe

## Dreh- und Angelpunkt der Wärmewende

### WÄRMEVERSORGUNG mittels WÄRMEPUMPE



Um die Dekarbonisierung unserer Energiewirtschaft umsetzen zu können, muss der Bedarf an Wärme und Kühlung vollständig ohne die Emission von Treibhausgasen gedeckt werden. Nach gegenwärtigem Stand des Wissens und der Technik kann dies nur mit Hilfe von Wärmepumpen geleistet werden, die gerade im Niedertemperaturbereich mit wenig zusätzlicher elektrischer Energie Wärme zum Heizen und zur Warmwasserbereitung bereitstellen können. Der Betrieb der Wärmepumpen kann mit Hilfe von regenerativ erzeugtem Strom erfolgen, was eine sehr wichtige Kopplung zwischen dem Strom- und dem Wärmesektor ermöglicht. Die Wärmepumpen können dabei dezentral oder in Fernwärmenetzen eingesetzt werden. Welche Beiträge zu beiden Einsatzgebieten durch die

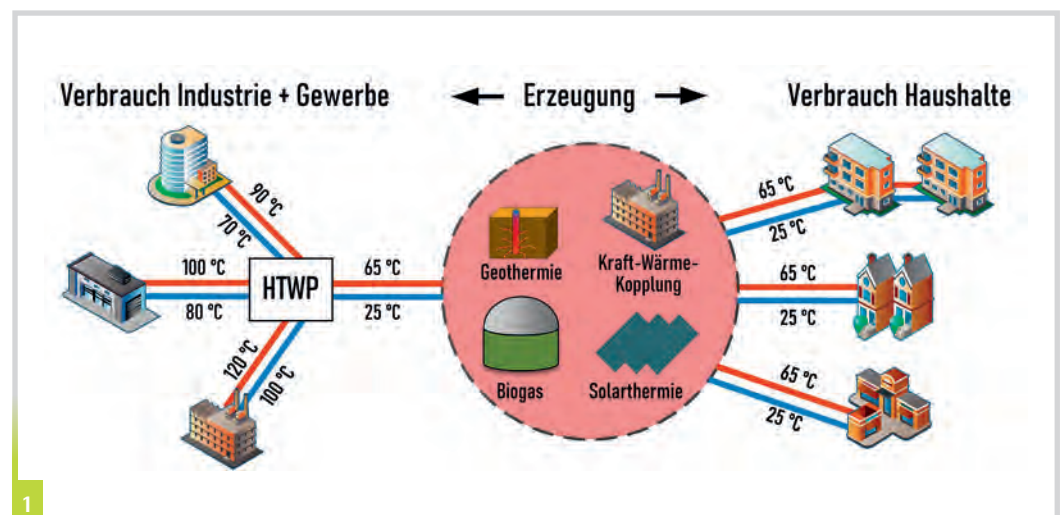
LUH geleistet werden, wird im Folgenden beschrieben. Da Wärme und Kälte bislang aber noch weitgehend durch fossile Energien bereitgestellt werden, was über 30 Prozent der derzeitigen Treibhausgasemissionen verursacht, und da Wärmepumpen und ihre Möglichkeiten sowohl in Industrie, Handwerk und bei privaten Haushalten noch wenig bekannt sind, widmet sich die LUH auch der Verbreiterung der Wissensbasis rund um die Wärmepumpe.

### Das Projekt

Fernwärmenetze sind in vielen Ballungsgebieten eine effiziente Möglichkeit zur Bereitstellung von Wärme zum Heizen und zur Warmwasserbereitung in Gebäuden. Die hierzu notwendige Einspeisung der Wärme stammt der-

zeit aus wenigen Wärmequellen, typischerweise fossil betriebenen Heizkraftwerken, siehe Bild 1. Um die Fernwärmenetze zukünftig mit möglichst vielen klimaneutralen Wärmequellen wie Solarthermie, Erdwärme oder industrieller Abwärme speisen zu können, muss die Betriebstemperatur der Fernwärmenetze von derzeit ca. 100 °C auf zum Beispiel 70 °C abgesenkt werden. Als zusätzlicher Nutzen lassen sich dadurch die Wärmeverluste der kilometerlangen Rohrleitungen des Netzes verringern. Für die Gebäudeheizung und für die Warmwasserbereitung, also für die meisten Nutzer des Fernwärmenetzes sind die geringeren Temperaturen ausreichend, nur einige gewerbliche Nutzer benötigen weiterhin ein höheres Temperaturniveau. Um diese Temperaturlücke zu schließen müs-

Abbildung 1  
Fernwärmenetz schematisch  
Quelle: eigene Darstellung



sen spezielle Hochtemperatur-Wärmepumpen zum Einsatz kommen, welche die vom Netz bereitgestellte Temperatur von zum Beispiel 70 °C auf 120 °C anheben. Das Institut für Thermodynamik (IfT) erforscht für diese Zwecke im Projekt „Untersuchung von zwei Energiewandlern mit geringem Strombedarf zur Versorgung von Hochtemperaturverbrauchern aus Niedertemperatur-Fernwärme-

### Das Prinzip

Die Hochtemperaturwärmepumpe am IfT basiert auf dem gleichen Funktionsprinzip wie ein handelsüblicher und millionenfach eingesetzter Kühlschrank mit mechanischem Verdichter. Aus technischer Sicht sind Kühlschränke und Wärmepumpen sehr ähnlich, die unterschiedliche Bezeichnung wird lediglich zur Unterscheidung des genutzten

koppelt sind merkt man schon bei der Luftpumpe, die sich beim Aufpumpen des Fahrradreifens deutlich erwärmt. Der in *Bild 3* dargestellte weit verbreitete Kalt-dampf-Kompressionskreisprozess einer Wärmepumpe macht dies etwas raffinierter: Zunächst nimmt das Kältemittel bei niedrigem Druck (und somit auch niedrigerer Temperatur) Wärme auf und verdampft. Anschließend



Abbildung 2  
Die Ammoniak/Wasser  
Hochtemperatur-Technikums-WP  
Anlage am IfT  
Foto: IfT

netzen“ die praktische Tauglichkeit einer umweltfreundlichen Ammoniak-Wasser Hochtemperaturwärmepumpe (HTWP), wobei Effizienz, Teillastverhalten und die Optimierung des zugrundeliegenden Kreisprozesses im Fokus der laufenden Untersuchungen stehen. Hierzu finden zum einen umfangreiche Kreisprozess-Simulationen statt, zum anderen experimentelle Untersuchungen an einem Versuchsstand im Technikumsmaßstab, siehe *Bild 2*. Das Fernwärme-Forschungsinstitut in Hannover sowie die Universität Stuttgart sind Partner in diesem Verbundprojekt.

Wärmestroms und Temperaturniveaus verwendet. Kühlschränke befördern Wärme aus ihrem kalten Inneren in die wärmere Umgebung, während Wärmepumpen Wärme aus der Umgebung auf ein höheres Temperaturniveau bringen und hiermit zum Beispiel ein Gebäude beheizen. Ihr Wirkprinzip ist in *Bild 3* zu sehen. Im Inneren einer Wärmepumpe zirkuliert ein Arbeitsfluid (Kältemittel), welches für den Energietransport zwischen den einzelnen, im Bild dargestellten Apparaten des Wärmepumpen-Kreisprozesses zuständig ist. Dass Druck und Temperatur bei einem Gas über dessen Dichte ge-

wird im Verdichter der Druck (und somit auch die Temperatur) erhöht. Nun ist eine Verflüssigung bei höherer Temperatur möglich, bei der Wärme auf der Heizseite abgegeben wird. Durch die anschließende Druckreduzierung (Entspannung) auf den niedrigeren Druck liegt das Kältemittel wieder im Ausgangszustand vor und kann erneut Wärme aufnehmen. Um Wärme, entgegen des natürlichen Temperaturgefälles, von einem niedrigeren auf ein höheres Temperaturniveau zu transportieren („pumpen“), muss also Energie für den Verdichter aufgewendet werden. Wird der nutzbare Heiz-

wärmestrom ins Verhältnis zur am Verdichter eingesetzten elektrischen Leistung gesetzt, erhält man die sogenannte Leistungszahl (engl. coefficient of performance (COP)) der Wärmepumpe. Die Leistungszahl kann Werte deutlich größer als 1 erreichen, dies bedeutet, dass die Wärmepumpe wesentlich mehr Heizwärmestrom bereit-

pumpe durch eine kleine Änderung im Kreisprozess auch zum Kühlen eingesetzt werden, also sowohl als Klimaanlage wie auch als Heizung.

Das eingesetzte Kältemittel entscheidet über zentrale Eigenschaften einer Wärmepumpe, wie zum Beispiel erreichbare Temperaturen oder die hierzu erforderlichen Drü-

Kreisprozess, nur bei Leckagen oder bei der unsachgemäßen Entsorgung tritt Kältemittel aus. Aufgrund des milliardenfachen Auftretens dieser Kreisprozesse als Kühlschrank, Klimaanlage oder als Wärmepumpe spielt aber die Umweltverträglichkeit auch in der Gesetzgebung zu Kältemitteln eine wichtige Rolle.

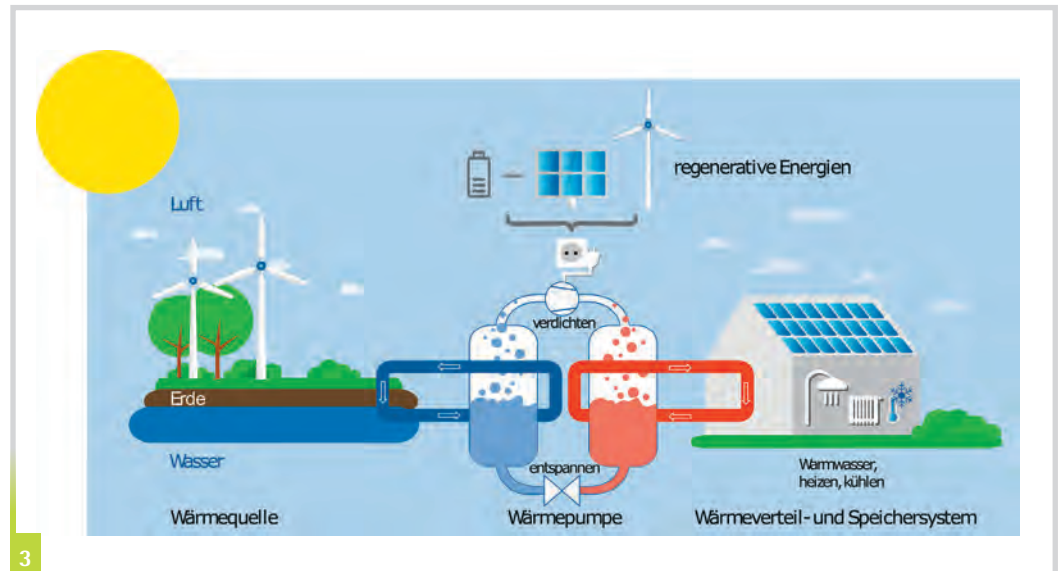


Abbildung 3  
Funktionsschema einer klimaneutralen Wärmepumpe  
Quelle: eigene Darstellung  
(Idee vom BWP e. V.)

stellen kann als dass elektrische Leistung dafür aufgewendet wird. Ein elektrischer Heizlüfter kann nur eine Leistungszahl von maximal 1 erreichen. Entsprechend bieten Wärmepumpen einen starken Hebel, um regenerative elektrische Energie für Heizanwendungen nutzbar zu machen. Aus diesem Grund sind Wärmepumpen eine Schlüsseltechnologie für die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung in Deutschland, wobei neben der in großen Stückzahlen notwendigen Niedertemperatur-WP zur Gebäudeheizung auch viele weitere Varianten entwickelt werden, so zum Beispiel die eingangs beschriebene Hochtemperatur-WP oder die WP zur effizienten Beheizung von Elektrofahrzeugen. Wegen der schon erwähnten Nähe zum Kühlschrank kann eine Wärme-

cke. Neben den thermodynamischen Eigenschaften spielt auch die Umweltverträglichkeit des eingesetzten Kältemittels eine wesentliche Rolle. Das bedeutet, dass es ein möglichst geringes Treibhausgaspotenzial (Global Warming Potential GWP) haben muss, keine ozonerstörenden Substanzen enthalten darf (Ozone Depletion Potential ODP = 0) sowie dass andere Gefahrenpotenziale wie Brennbarkeit und Toxizität beachtet werden müssen. Weder die bisher üblichen synthetischen Kältemittel wie zum Beispiel das noch weit verbreitete R 134a (GWP-Wert von 1600) noch die zukünftig favorisierten ‚natürlichen‘ Kältemittel wie Ammoniak, Wasser, Propan oder auch CO<sub>2</sub> (GWP-Wert von 1) erfüllen alle erwünschten Eigenschaften. Eigentlich verbleibt das Kältemittel im

### Die Wärmepumpen-Forschungslandschaft in und an der LUH

Die Suche nach neuen, umweltfreundlichen Kältemitteln ist eine der Forschungsaufgaben, der sich das IfT unter anderem im eingangs geschilderten Projekt widmet. Das hier derzeit favorisierte Ammoniak/Wasser Gemisch stellt zwar besondere Anforderungen an den Prozess, ist aber thermodynamisch sehr effektiv. Ein weiterer Schwerpunkt am Institut ist der Entwurf möglicher innovativer Kreisprozesse des Kältemittels, welche zukünftigen Wärmepumpen zugrunde gelegt werden können. Hierzu werden die Zustandsänderungen, die das Kältemittel durchläuft, mittels Simulation vorausberechnet und an Experimenten validiert.

Am Institut für Solarenergieforschung (ISFH) werden Wärmepumpen seit 15 Jahren als Bestandteil moderner Wärmeversorgungssysteme untersucht. Zentrale Themenkomplexe sind die optimierte Systemintegration, eine nachhaltige Quellwärmebereitstellung und die unabhängige Bewertung und Qualitätskontrolle von Wärmepumpensystemen. Am Wärmepumpenprüfstand des ISFH (siehe Bild 4) werden Wärmepumpen und -systeme nach etablierten Normen geprüft oder in Hardware-in-the-Loop-Verfahren unter dynamischen Umgebungsbedingungen untersucht. Das Monitoring realer Anlagen ermöglicht die Bewertung von Wärmepumpen im Feld.

Das vom Institut für Meteorologie und Klimatologie durchgeführte Projekt „Demonstrator für die solare Wärmewende (DESWENDE)“ zum Thema „Solare Wärmepumpen – Heizen und Kühlen mit Hilfe der Sonne“ soll Bürger sowie Wirtschaftsunternehmen die Funktionsweise und die Einsatzmöglichkeiten von Wärmepumpen näherbringen. Der Demonstrator des DESWENDE Projektes fand am 20. und 21. August 2022 am Tag der offenen Tür im Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) großen Anklang. Herr Dr. Habeck, Bundesminister für Wirtschaft und Klimaschutz, informierte sich persönlich am Stand, siehe Bild 4. Durch das Ansprechen mehrerer Sinne sollen Wärmepumpen vor allem in Verbindung mit solar erzeugtem Strom direkt erfahrbar werden. Dafür wird durch die reale Anlage, bestehend aus einer Luft-Luft Wärmepumpe mit PV-Anlage, Batterie und gegebenenfalls einem Sonnensimulator, die Funktionsweise des Systems vermittelt. Unterstützt wird das Projekt durch die niedersächsische Klimaschutz- und Energieagentur (KEAN) und

durch das Institut für Didaktik der Physik der LUH.

Das ISFH und das IfT haben zusammen mit dem Energieforschungszentrum Niedersachsen (EFZN) und der Klimaschutz- und Energieagentur KEAN die Wärmepumpen-Initiative Niedersachsen (WIN) gegründet, ein Netzwerk zur Unterstützung der



Abbildung 4  
DESWENDE im Einsatz beim Tag der offenen Tür im Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)  
Foto: IfT

schnelleren Verbreitung von Wärmepumpen. Auch diese Initiative ist aus der Einsicht heraus entstanden, dass aus Sicht der zwingend erforderlichen Dekarbonisierung des wichtigen Wärmesektors die Wärmepumpe eine zentrale Rolle spielt, zur Realisierung der angestrebten Verbreitung dieser interessanten thermodynamischen Maschine aber noch sehr viel Aufklärungsarbeit, aber auch Forschungs- und Förderungsbedarf gibt.

**Prof. Dr. Stephan Kabelac**  
**Prof. Dr. Rolf Brendel**  
**Prof. Dr. Gunther Seckmeyer**

→ Infos und Kontaktdaten  
ab Seite 68

# Wertschätzen statt wegwerfen

Energie und Ressourcen sparen durch die Reparatur von Investitionsgütern

## REPARATUR- VERFAHREN



In der heutigen Zeit ist der Umstieg von fossilen auf erneuerbare Energieträger unumgänglich. Dies stellt uns vor eine große Herausforderung, da neue Technologien entwickelt und bekannte Ansätze zur Energiegewinnung umgedacht werden müssen. Doch wie sieht es mit der gesamten Energiewertschöpfungskette eines Produktes aus? Kann hier der Energieverbrauch über die Lebenszeit eines Produktes verringert werden? Nehmen wir uns ein Flugzeugtriebwerk als Beispiel. Ein Triebwerk sollte natürlich wenig Treibstoff während seines Fluges verbrauchen. Es ist hier aber die Betrachtung des gesamten Lebenszyklus notwendig. Energie wird nicht nur beim Betrieb und bei der Herstellung des Triebwerkes benötigt, sondern auch bei der Reparatur und Entsorgung seiner Komponenten.

### Regeneration komplexer Investitionsgüter

Eine Reduktion des Einsatzes von Ressourcen für den gesamten Lebenszyklus eines Investitionsguts kann somit an verschiedenen Punkten über die gesamte Lebensdauer ansetzen. Der primäre Fokus liegt dabei meist auf dem Neuteil, das bestmöglich entwickelt und ausgelegt werden soll, um ein möglichst effizientes Produkt zu erhalten. Doch auch im Entwicklungs-

prozess selber kann bereits darauf geachtet werden, dass Ressourcen möglichst schonend eingesetzt werden.

Hier setzt der Sonderforschungsbereich (SFB) 871 „Regeneration komplexer Investitionsgüter“ der Leibniz Universität Hannover an, welcher gemäß dem Motto „Wertschätzen statt wegwerfen“ schon seit dem Jahr 2010 an Prozessen forscht, um Investitionsgüter möglichst ressourcenschonend instand zu halten und in die Wertschöpfungskette einzubinden. Dazu werden Produkte so ausgelegt, dass diese möglichst lange genutzt werden können und bei Defekt repariert werden, anstatt sie zu entsorgen. Dies ist besonders bei so genannten komplexen Investitionsgütern und technisch komplexen Produkten von Bedeutung, da diese oft mit hohen Investitionen und ressourcenintensiv wiederbeschafft werden müssen. Nur so kann bei komplexen und damit zumeist teuren Gütern eine Rentabilität im ökonomischen und ökologischen Sinne ermöglicht werden. Deshalb ist gerade bei diesen Gütern eine möglichst lange Lebensdauer und Wertschöpfung von Interesse. Beispiele für solche Investitionsgüter sind in *Abb. 1* dargestellt.

### Alterung mindert Effizienz

Eine Reparatur bietet sich allerdings nicht nur an, wenn

ein Teil defekt ist. Maßgeblich ist hier der Verschleiß der verschiedenen Komponenten, wodurch sich zum Beispiel die Effizienz verringern kann. Ein gutes Beispiel dafür sind Komponenten in Flugzeugtriebwerken, wie Turbinen- und Verdichterschaufeln, die extremen Bedingungen ausgesetzt sind. Aufgrund von hohen Temperaturen und Drücken, der starken mechanischen Beanspruchung durch Fliehkräfte sowie der Beschädigung durch Fremdkörper können solche Bauteile verschiedene Arten von Defekten aufweisen. Dazu gehören plastische Verformung, Verschleiß durch Umwelteinflüsse, Materialabrieb, Rissbildung sowie Korrosion durch Heißgase.

Alleine durch den Verschleiß der Oberflächen der Schaufeln in der Turbine eines Flugtriebwerks kann sich der Kerosinverbrauch eines Airbus A320 in einem Wartungsintervall (20.000 Betriebsstunden) um nahezu 10 Tonnen erhöhen, was die Kosten für den Treibstoff um fast 7000 Euro erhöht. Dies stellt auch gleichzeitig das Potenzial für das Austauschen oder das Reparieren von verschlissenen Schaufeln dar, um die Betriebskosten wieder zu senken. Damit haben der Verschleiß und die damit verbundenen Reparaturen eine hohe Relevanz für den gesamten Ressourcenverbrauch des Investitionsguts und rückt neben der Optimie-

zung der Neuteile mehr und mehr in den Fokus. Dazu sind jedoch fundierte wissensbasierte Entscheidungen notwendig.

### Reparieren oder austauschen?

Ob ein Teil beibehalten, repariert oder ausgetauscht wird, hängt von verschiedenen Faktoren ab. Natürlich stellt sich die Frage: Wie effizient arbei-

Ressourcen werden für die Reparatur benötigt? Und wie groß sind die Durchlaufzeiten bei Reparatur? So kann es gegebenenfalls sogar sinnvoll sein, ein Teil in einem etwas schlechteren Zustand zu belassen, wenn dadurch aber eine deutlich schnellere und/oder ressourcensparende Reparatur möglich ist, was Kapazitäten für die Reparatur weiterer Teile schafft. Daher wurden im Rahmen des SFB

Luftfahrtindustrie und Kraftwerkstechnik eine immer stärker werdende Rolle. Ein Reparaturverfahren für Turbinen aus der Hochdruckturbinen, welches zum Einsatz kommt, ist das Hochtemperaturlöten bei Oberflächendefekten und Mikrorissen. Dies ist mit mehreren aufwendigen Verfahrensschritten verbunden. Die wichtigsten Schritte hierbei sind das Löten im Hochvakuum und das Aufbringen der



tet das reparierte und das vorhandene Teil im Vergleich zu einem Neuteil? Anstatt die verschlissene Schaufel in einem Flugtriebwerk auszutauschen, kann so zum Beispiel auch die Oberfläche regeneriert werden. Werden beispielsweise nur 25 Prozent der Oberfläche repariert, können bereits fast 80 Prozent des Treibstoffmeherverbrauchs wieder eingespart werden, ohne dass eine neue Schaufel gefertigt werden muss, was seinerseits einen hohen Energieaufwand erfordert.

Wichtig ist aber nicht nur das Teil selbst, sondern es muss auch erneut der Herstellungs- und Bearbeitungsprozess berücksichtigt werden, da dies einen wichtigen Teil des Energieverbrauchs darstellt. Wichtig ist somit auch: Wie viele

871 auch Verfahren entwickelt, die die Durchlaufzeiten von Reparaturen deutlich verkürzen.

### Beispiel: Turbinenschaufelreparatur

Aufgrund der steigenden Anforderungen an die Effizienz und Lebensdauer von Triebwerken müssen moderne Turbinenschaufeln gegen die oben genannten Schäden geschützt werden. Hierfür kommen entweder reine oxidationsbeständige Beschichtungen (Heißgaskorrosionsschutzschichten) und/oder Wärmedämmschichten zum Einsatz. Angesichts steigender Kosten für Rohmaterialien sowie Herstellungs- und Energiekosten spielt die Reparatur von Komponenten in der

Heißgaskorrosionsschutzschicht, die einem weiteren Beschichtungsprozess unterzogen wird, sodass der Schutz gegenüber Heißgaskorrosion wesentlich verbessert wird (der sogenannte Alitierprozess). Vor allem der Löt- und Alitierprozess sind jedoch sehr energieaufwendig. Im SFB 871 konnte erfolgreich ein Hybridprozess entwickelt werden, mit dem es möglich ist, die dem Stand der Technik entsprechende Prozesskette zum Reparaturlöten von Turbinenschaufeln zu verkürzen, was *Abb. 2* verdeutlicht.

Nach dem heutigen Stand lassen sich so 3 bis 4 Reparaturzyklen durchführen. Bei der entwickelten Hybridtechnologie erhält die verschlissene Turbinenschaufel eine Repara-

Abbildung 1  
Beispiele für komplexe  
Investitionsgüter  
Quelle: eigene Darstellung

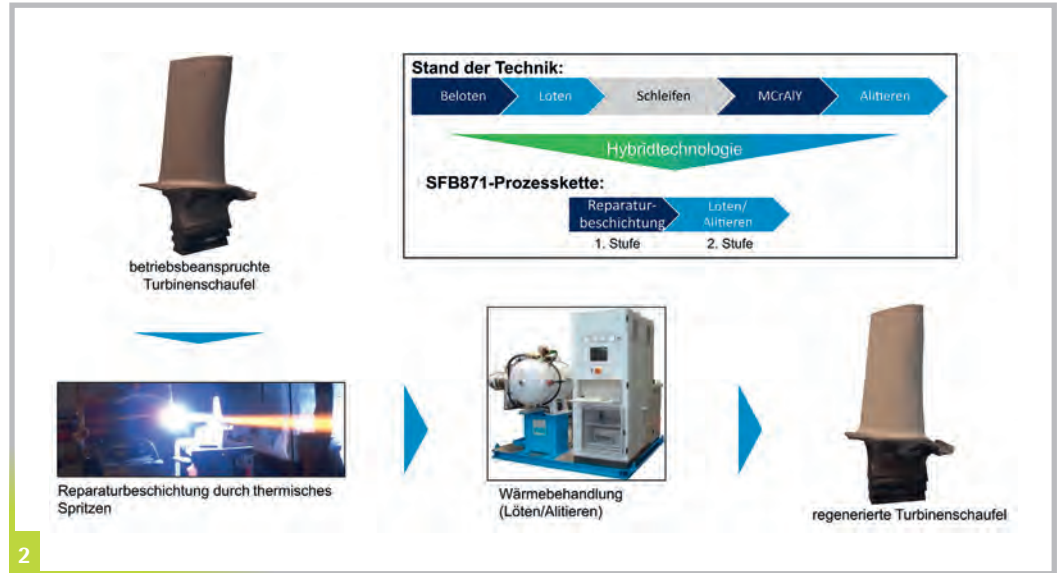


Abbildung 2  
Prinzip der Hybridtechnologie  
Quelle: IW

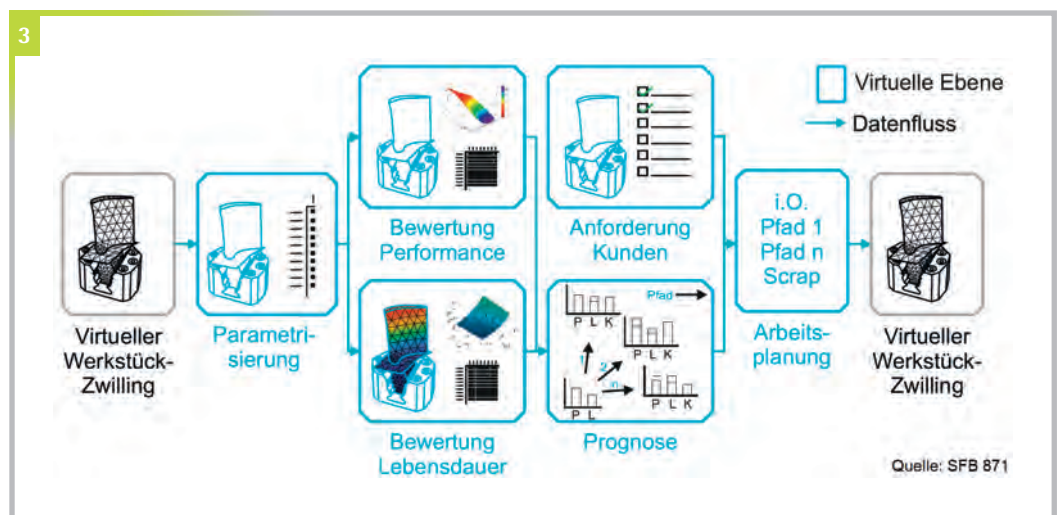
turbeschichtung und wird anschließend einer Wärmebehandlung unterzogen, wobei der Löt- und Alitierprozess simultan durchgeführt werden. Zum einen ergeben sich mechanisch-technologische Verbesserungen (die Reparaturzyklenzahl kann um 50 Prozent erhöht werden und zudem wird die Schichthafung verbessert) bei gleichzeitig wirtschaftlichen Vorteilen. Zum anderen können hierdurch aber auch Energiekosten um etwa 25 Prozent eingespart werden. So kann ein Bauteil länger genutzt und bei Reparaturen der Ressourcenverbrauch zusätzlich deutlich reduziert werden.

**Ganzheitliche Betrachtung**

Sich mit dem Verschleiß und Reparatur von einzelnen Komponenten auseinander zu setzen, hat gleichzeitig aber noch einen weiteren Vorteil. Es können zusätzlich Rückschlüsse darauf gezogen werden, wie sich ein Teil nach längerem Betrieb in der Maschine verhält. Dies kann auch für die Auslegung von Neuteilen genutzt werden. Hierbei hat sich im SFB 871 gezeigt, dass es notwendig ist, die Vielzahl von Teilschritten in einem Regenerationsprozess eines komplexen Investitionsguts zunächst einzeln zu betrachten, um die hohe Komplexität auf

einzelne Teilschritte zu reduzieren. Demnach wird sowohl die Leistungsbewertung der Komponenten im Triebwerk wie Brennkammer, Verdichter und Turbine, als auch die Prozesse der Zustandserfassung und Regeneration, wie Geometrieerfassung und Laserauftragsschweißen, zunächst isoliert betrachtet. Dazu hat sich im SFB 871 anhand eines Systemdemonstrators gezeigt, dass sich ein optimaler Reparaturprozess erst dann ermöglichen lässt, wenn die Planung des Prozesses auf Basis eines digitalen Zwillings erfolgt. Dazu wird das untersuchte Werkstück digitalisiert und mögliche Reparaturpfade und

Abbildung 3  
Ablauf der Bewertung und Entscheidungsfindung für die Reparatur einer Turbinenschaufel  
Quelle: SFB 871





deren Auswirkungen berechnet, siehe Abb. 3.

Darauf aufbauend kann ein optimaler Reparaturpfad ausgewählt werden, der wirtschaftliche und ökologische Ziele bestmöglich erfüllt. Am Ende ist es jedoch wichtig, alle Prozesse wieder zusammenzuführen, da nur so die Auswirkungen einer Reparaturentscheidung auf das Gesamtsystem untersucht werden kann.

### Verallgemeinerung der Methodik: Duale Digitale Zwillinge für Reparaturprozess und Investitionsgut

Dies lässt sich auch auf den Produktionsprozess eines Neuteils übertragen, so dass auch hier ein digitaler Zwilling entscheidende Vorteile bringt. Dieses Grundkonzept soll an der Leibniz Universität Hannover nun in dem Zukunftscluster DualTwins4Industry weiter aufgegriffen und vertieft werden. Hier sollen die digitalen Zwillinge des Produktionsprozesses und des Produktes selber miteinander verknüpft werden. Dieser duale Zwilling soll Daten aus Auslegung und Konstruktion der Produkte, der Fertigung in den Produktionsanlagen und der Zustandsüberwachung während der

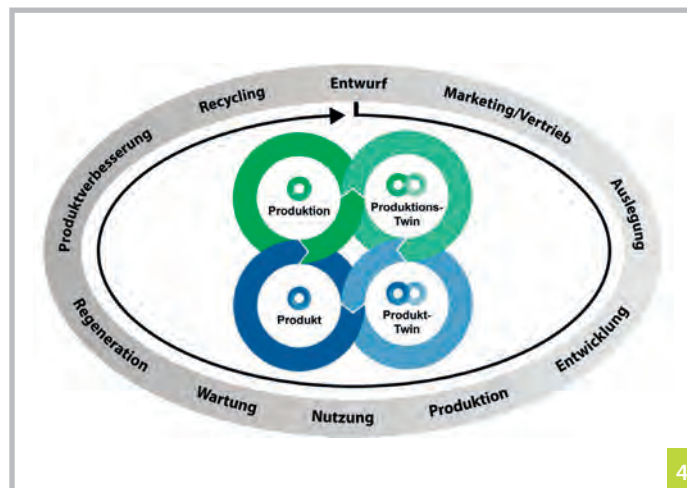


Abbildung 4  
Energieeinsparung und  
Ressourcenschonung durch  
Digitalisierung und Prozess-  
verbesserung  
Quelle: IDS

Nutzungsphase verwenden, um effiziente automatisierte Entscheidungen und Ablaufplanungen zu ermöglichen. Energie und andere Ressourcen können erfolgreich eingespart werden, indem Energie- und Ressourcenaufwand ganzheitlich über den gesamten Produktlebenszyklus bilanziert werden und diese Bilanzen verwendet werden, um die hinsichtlich des Verbrauchs von Energie und anderer Ressourcen sparsamste Lösung zu finden und umzusetzen. Voraussetzung hierfür ist die Digitalisierung sowohl des Investitionsguts als auch der Produktions- und Reparaturprozesse. Diese Methodik wurde am Beispiel der Reparatur einer Turbinenschaufel erprobt. Hier wurde, wie oben

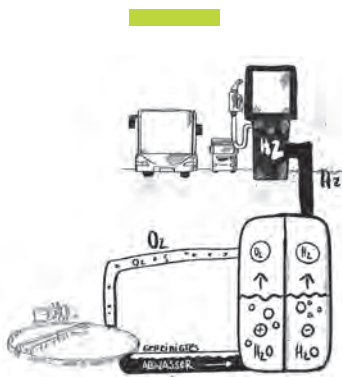
beschrieben, gezeigt, dass zum Beispiel alleine bei der Beschichtung 25 Prozent der Energie dieses Reparaturschritts eingespart werden konnten. Der so erprobte Ansatz soll in Zukunft auf weitere Teile des Produktlebenszyklus erweitert werden.

M.Sc. Niklas Maroldt  
Dr. Martin Nicolaus  
M.Sc. David Elshof  
Apl. Prof. Dr.-Ing. habil. Kai Möhwald  
Prof. Dr.-Ing. Hans Jürgen Maier  
Prof. Dr.-Ing. Jörg Seume

→ Infos und Kontaktdaten  
ab Seite 68

# Wasserstoff für die Sektorkopplung

Wasserstoffforschung verbindet Abwasser, Nahverkehr und Wärmeversorgung



## ELEKTROLYSE AN KLÄRANLAGEN

Wasserstoff kommt künftig eine bedeutende Rolle bei der Transformation unseres Energiesystems zu: Als Roh- und Hilfsstoff für die chemische Industrie und bei der Metallgewinnung, im Kontext des Energietransportes und der Energiespeicherung und eben auch in der Mobilität, wie im vorliegenden Beispielprojekt „SeWAGE PLANT H“, an dem die Leibniz Universität Hannover mit dem Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik und dem Institut für elektrische Energiesysteme beteiligt ist.

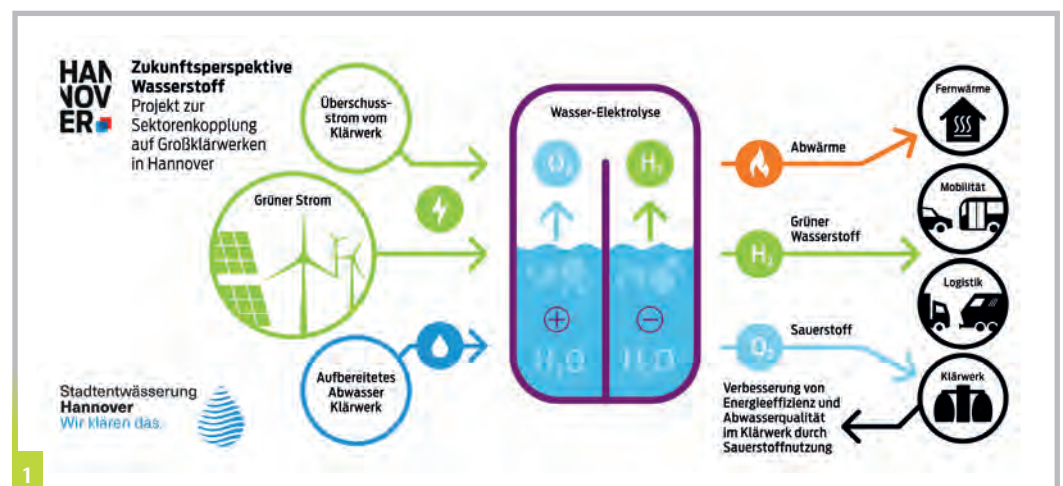
Kern des Vorhabens, das durch die Stadtentwässerung Hannover geleitet wird, ist die Wasserstoffbereitstellung mittels einer Wasserelektrolyse-Anlage im Megawatt-Maßstab am Großklärwerk Herrenhausen und dem anschließenden Einsatz im öffentlichen Personennahverkehr oder zur De-

ckung weiterer künftiger Wasserstoffbedarfe in der Region Hannover. Der besondere Clou des Konzeptes ist aber die hier erreichte Sektorkopplung, also die Wasserstoffherzeugung und -bereitstellung gekoppelt mit der optimalen Nutzung von Sauerstoff und Abwärme, die als Nebenprodukte bei der Wasserstoffherzeugung entstehen. Diese Nebenprodukte sollen direkt auf der Kläranlage Herrenhausen genutzt werden. Insbesondere ist im Vorhaben zu untersuchen, wie der erzeugte Sauerstoff im Klärprozess am effizientesten genutzt werden kann. Dies kann geschehen entweder als Beitrag zur Belüftung der bestehenden biologischen Reinigungsstufe oder als Oxidationsmittel in einer sogenannten 4. Reinigungsstufe mit dem Ziel der Desinfektion und Elimination von Arzneimittelrückständen. Kommunale Kläranlagen sind

aktuell für durchschnittlich 20 Prozent des Stromverbrauchs aller üblichen kommunalen Einrichtungen verantwortlich, wobei die Belüftungsenergie (also die Energie zum Eintrag von Luftsauerstoff) je nach Größe der Anlage und Pumpbedarf zwischen 50 bis 80 Prozent des Gesamtenergieverbrauchs der Kläranlage ausmacht. Der direkte Einsatz des Nebenprodukts Reinsauerstoff kann hier somit zu einer deutlichen Reduzierung beitragen.

Der Einsatz in einer 4. Reinigungsstufe würde die Qualität des Kläranlagenablaufs weiter verbessern und insbesondere die Voraussetzungen dafür schaffen, zum Beispiel gereinigtes Abwasser für die Bewässerung der Herrenhäuser Gärten zu nutzen. Ein weiterer Vorteil der Errichtung der Anlage direkt am Klärwerk ist, dass das Wasser,

Abbildung 1  
Wasserstoff kann zusammen mit anderen grünen Gasen zum Rückgrat der städtischen Energiewende werden. Aus energetischer Sicht ergibt sich ein attraktives Gesamtsystem, durch eine hohe Ausnutzung der eingesetzten Energie und die Kopplung von drei Sektoren (Mobilität, Wärme, Abwasserbehandlung).  
Quelle: Stadtentwässerung Hannover/ BUSCHBRAND grafikdesign



welches für den Wasserelektrolyseprozess kontinuierlich benötigt wird, nicht dem Trinkwassernetz entnommen werden muss, sondern direkt aufbereitetes Wasser aus dem Klärprozess verwendet werden kann. Es wird deutlich, dass die hier verfolgte Sektorkopplung im Hinblick auf den Ressourcen- und Energieeinsatz sowohl bei der Wasserstoffherzeugung als auch auf der Kläranlage ein überzeu-

nehmen oder andere Anwendungen in der Region Hannover reagieren zu können.

Die Abwärme des Elektrolyseurs, die in der Größenordnung von 10-15 kWh pro kg Wasserstoff anfällt, soll künftig mittels einer Wärmepumpenanlage in das Fernwärmenetz des örtlichen Energieversorgers enercity AG eingespeist werden und somit einen Beitrag zur Defossilisierung

von derartigen Systemen auf Kläranlagen unter Berücksichtigung von ökologischen und ökonomischen Aspekten. Mit Hilfe der Toolbox soll es künftig möglich sein, solche Konzepte auf Kläranlagen in ganz Deutschland und darüber hinaus zu übertragen. Die technische Umsetzung der Sektorkopplung im Hinblick auf Belüftungsoptimierung und weitergehende Reinigung wird durch das ISAH und



Abbildung 2  
Mit dem am Klärwerk Herrenhausen produzierten Wasserstoff sollen u.a. ab 2023 Busse der ÜSTRA und regiobus Hannover angetrieben werden, um Emissionen in Hannovers öffentlichem Nahverkehr zu senken.  
Quelle: Stadtentwässerung Hannover/creanovo – motion & media design

gender Ansatz ist und zusätzlich auch zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit beider Prozesse beiträgt.

Durch die Anlage ist eine Wasserstoff-Produktion von anfänglich etwa 400 kg täglich möglich. Dies entspricht dem täglichen Bedarf von circa 15 Wasserstoff-Bussen, die künftig auf Routen der Nahverkehrsunternehmen ÜSTRA und regiobus Hannover unterwegs sein könnten, die sich aufgrund des Strecken- und Einsatzprofils nicht batterieelektrisch betreiben lassen. Der Elektrolyseur und die zugehörige Infrastruktur werden so geplant, dass sie modular erweiterbar sind, um auf eine künftig steigende Wasserstoffnachfrage zum Beispiel durch Logistikunter-

des Fernwärmeangebots leisten. Bis 2035 will die enercity AG die Hälfte ihrer Fernwärme aus erneuerbaren Quellen gewinnen.

Das dynamische Zusammenspiel des Wasserstoffherzeugungsprozesses, der Abwasserbehandlung und der Fernwärmebereitstellung und daraus abgeleitete Betriebsstrategien betrachtet und entwickelt das Institut für elektrische Energiesysteme (IfES) und arbeitet hier sehr eng mit dem Hersteller der Elektrolyse-Anlage, dem Hannoveraner Unternehmen Aspens zusammen. Darüber hinaus befassen sich IfES und das Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik (ISAH) gemeinsam mit der Erstellung einer Toolbox zur Gestaltung

einen weiteren Forschungspartner von der Technischen Universität Dortmund in enger Zusammenarbeit mit der Stadtentwässerung Hannover im halbtechnischen Versuchsbetrieb und am Kläranlagenstandort Herrenhausen im Praxisbetrieb erprobt.

Das vorliegende Projekt wird vom Land Niedersachsen im Rahmen der Wasserstoffrichtlinie gefördert. Es trägt aber nicht nur zur Lösung der mit dem Vorhaben verbundenen Sachfragen bei, sondern bildet auch ein wichtiges Leuchtturmprojekt im Kontext des Wasserstoffprogramms der Region Hannover und dem zugehörigen Netzwerk „Generation H2“ ([www.generationh2.de](http://www.generationh2.de)). Unter diesem Label haben sich

die regionale Wirtschaft, Verwaltung, Forschung und Bildung zusammengeschlossen, um grünen Wasserstoff in der Region Hannover nutzbar zu machen, regionale Wertschöpfungsketten aufzubauen und gemeinsame Projekte zu entwickeln. Die Leibniz Universität ist Gründungsmitglied dieses Netzwerkes.

### Überregionale, nationale und internationale Projekte

Abseits regionaler Projekte, wie zum Beispiel dem hier vorgestellten Projekt „SeWAGE PLANT H“ ist die Leibniz Universität auch in überregionalen, nationalen und internationalen Projekten mit dem Thema Wasserstoff befasst.

Als ein Beispiel aus dem überregionalen Umfeld, ist das vom niedersächsischen Wissenschaftsministerium geförderte Vorhaben „Innovationslabor Wasserelektrolyse (InnoEly)“ zu nennen, in welchen die Universitäten Braunschweig, Clausthal, Hannover und Oldenburg mit ausgewählten niedersächsischen Unternehmen zusammenarbeiten. Ziel ist die Erstellung eines Charakterisierungs- und Modellierungswerkzeugkastens zur Weiterentwicklung von technischen Wasserelektrolyseuren aller drei Technologielinien für die Produktion von grünem Wasserstoff. Ferner ist in diesem Kontext auch das Verbundprojekt „H2-Wegweiser Niedersachsen“ zu nennen, das in diesem Unimagazin ebenfalls näher vorgestellt wird und mit InnoEly eng verzahnt ist.

Auf Landesebene ist die Leibniz Universität noch an weiteren Verbundprojekten beteiligt, die sich unter dem Schirm des Energie-Forschungszentrums Niedersachsen – EFZN im Rahmen des EFZN-Forschungsverbundes Wasserstoff Niedersachsen ergeben

haben. An dessen Einrichtung war die Leibniz Universität federführend beteiligt. Erwähnenswert ist in diesem Kontext, dass sich die Zusammenarbeit auf Landesebene nicht nur auf die Forschung bezieht, sondern kürzlich auch das gemeinsame berufliche Weiterbildungsprogramm „Wasserstoff für Fach- und Führungskräfte“ aus der Taufe gehoben werden konnte, das im September 2022 voll ausgebucht seinen ersten Kursdurchgang gestartet hat.

Auf nationaler Ebene ist die Leibniz Universität gegenwärtig mit einem Fördervolumen von mehreren Millionen Euro in den sogenannten Wasserstoffleitprojekten des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) beteiligt. Zielsetzung dieser Förderlinie ist die Umsetzung der Nationalen Wasserstoffstrategie der Bundesregierung. Hierzu wurde ein großes Bündel von Projekten zwischen einschlägigen Industrieunternehmen und etablierten Akteuren der Wasserstoff-Forschung aufgesetzt. Die Arbeiten an der Leibniz Uni befassen sich in diesem Umfeld beispielsweise mit der Optimierung von Wasserelektrolyseuren, über alle Projekte hinweg mit dem Ziel Materialkosten zu senken, Lebensdauer zu steigern und Energiebedarfe für die Wasserstofferzeugung zu senken. Methodisch verbindendes Element sämtlicher Arbeiten ist der kombinierte Einsatz von Modellierungs-/Simulationswerkzeugen und der experimentellen Charakterisierung und Validierung.

Im Bereich der Sektorkopplung sind die Bereitstellung von grüner Energie über Biogas sowie die synergetische Nutzung der Nebenprodukte besondere Schwerpunkte verschiedener LUH-Institute. So ist das ISAH neben der Fragestellung der optimalen Sauerstoffnutzung im Kläranlagen-

betrieb derzeit im Rahmen des BMBF-Projektes SATELLITE mit der Frage der regionalen Biogasbereitstellung in das „EnZaH2“-Projekt in Steyerberg involviert – ein Projekt zur Produktion klimaneutraler Kraftstoffe nach dem CAPHENIA-Prozess, bei dem Methan in Kohlenstoff und Wasserstoff aufgespalten und anschließend zu Synthesegas verarbeitet wird.

Auf internationale Ebene sei beispielhaft das kürzlich gestartete EU-Projekt „MacGhyver“ genannt. Gemeinsam mit vier weiteren universitären Partnern aus Spanien, den Niederlanden, Polen und Deutschland und einem französischen Unternehmen arbeitet die Leibniz Universität an einem Konzept zur Wasserstoffbereitstellung unter Nutzung von Abwässern. Herzstück ist dabei ein Elektrolyseur-Konzept, welche die Ansätze der Mikrofluidik ausnutzt und modular skalierbar ist. An der Leibniz Universität erfolgt dabei die Gestaltung des Gesamtsystems sowie die Erarbeitung und Erprobung eines elektrochemischen Verdichters zur Nachverdichtung des Produktwasserstoffs.

Zum Thema Wasserstoff wird an der Leibniz Universität Hannover nicht nur zwischen der Fakultät für Elektrotechnik und Informatik und der Fakultät für Maschinenbau intensiv zusammengearbeitet, sondern auch an der Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie (zum Beispiel Unterspeicherung von Wasserstoff, Institut für Geotechnik), an der Fakultät für Architektur und Landschaft (zum Beispiel Umweltanalyse im Kontext der Wasserstoffbereitstellung, Institut für Umweltplanung), an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften (zum Beispiel ökonomische Implikationen bei der Bereitstellung von Wasserstoff für den weltweiten Flugver-

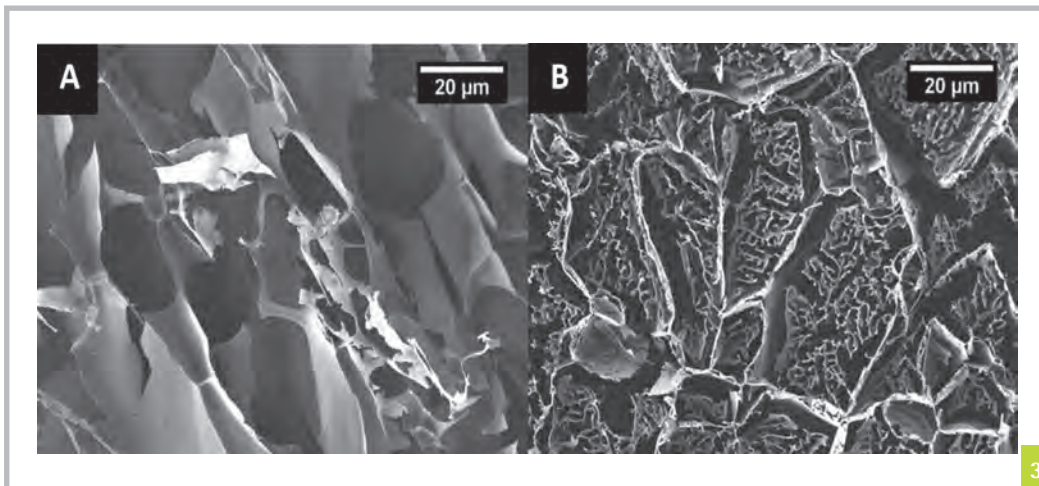


Abbildung 3  
Elektronenmikroskopische Aufnahmen zweier verschiedener Kryogele mit unterschiedlicher Mikrostruktur.

Quelle: Müller et al. (2021), *Langmuir* 37 (17), 5109

kehr, Institut für Umweltökonomik und Welthandel) und an der Naturwissenschaftlichen Fakultät.

Jüngste Aktivität der Wasserstoff-„Familie“ an der Leibniz Universität Hannover ist eine Zusammenarbeit des Instituts für Physikalische Chemie und Elektrochemie und des Instituts für elektrische Energiesysteme. In dieser interdisziplinären Kooperation geht es darum, Elektrodenmaterialien für Brennstoffzellen zu verbessern. Dafür werden neue Materialien mittels eines am Institut für Physikalische Chemie und Elektrochemie entwickelten Kryogelverfahrens entwickelt, welches auf kolloidalen Nanopartikeln

basiert und eine bisher nie da gewesene Kontrolle der Mikro- und Nanostruktur durch gezielte Vernetzung der Nanopartikel erlaubt (Abb. 3).

Die Wasserstoffforschung wird insgesamt weiter an Bedeutung gewinnen, weil Wasserstoff sowohl energiepolitisch als auch industriepolitisch von großer Bedeutung ist. Künftig werden sich zahlreiche Wertschöpfungspotenziale bieten, sowohl bei der lokalen Wasserstoff-Bereitstellung und dessen Anwendung als auch aus Sicht einer Ausrüster-Branche, die künftig einen sich entwickelnden weltweiten Markt mit Komponenten, Apparaten und

Anlagen bedienen wird können. An der Leibniz Universität werden wir diese Entwicklung weiter begleiten und befördern und unsere Kompetenzen einbringen, damit wir als Gesellschaft sowohl aus Sicht des Klimaschutzes als auch aus ökonomischer Sicht vom Thema Wasserstoff profitieren können.

**Prof. Dr.-Ing. Richard Hanke-Rauschenbach**  
**Dr. Maiko Beier**  
**Prof. Dr. Stephan Köster**  
**Prof. Dr. Dirk Dorfs**  
**Prof. Dr. Nadja C. Bigall**

→ Infos und Kontaktdaten ab Seite 68

 Studentenwerk  
Hannover

# Hannoversorgt



[www.studentenwerk-hannover.de](http://www.studentenwerk-hannover.de)   

# Waren effizient und nachhaltig geliefert:

## die USEFUL Webapplikation



Global leben heute bereits 55 Prozent der Gesamtbevölkerung in Städten und urbanen Räumen, teils in Megacities mit mehr als 10 Millionen Einwohnern, und der Anteil wird nach UN Einschätzung bis 2050 auf 68 Prozent steigen. Kontinuierliches Wachstum des elektronischen Handels und Warenlieferungen in urbane Räume führen dabei zu wachsenden Herausforderungen an die urbane Logistik. Fortschreitende digitale Transformation und neue digitale Geschäftsmodelle in der städtischen Lebensmittel-, Getränke- und Paketzustellung und 24/7-Belieferung von Einzelhandel und Unternehmen erfordern ein zunehmend dynamisches Verkehrsmanagement, das durch zeitkritische Lieferungen und Dienstleistungen gekennzeichnet ist. Die globale COVID-Pandemie hat die urbane Logistik zusätzlich verändert und die wachsende Nachfrage nach Paketzustelldiensten weiter verstärkt. Städte sind mit Herausforderungen an ihre Verkehrssysteme und -infrastrukturen konfrontiert, die sich auf Gesundheit und Lebensqualität der Stadtbevölkerung auswirken, zum Beispiel Verkehrsstaus, Lärm, lokale Schadstoff- und Treibhausgasemissionen, Unfälle und Flächenkonflikte. Stadtbild und Lebensqualität hängen von nachhaltigen und effizienten Maßnahmen der Kommunen und Stadtverwaltungen ab, um den zunehmend komplexeren urbanen Verkehr

umwelt-, klima- und menschenfreundlich zu gestalten.

Eine Möglichkeit das zukünftige Verkehrs- und Mobilitätssystem einer Stadt zu optimieren, ist die Förderung innovativer Logistikkonzepte. Da der kostenintensivste Teil der Lieferkette bei Paketzustellungen die „letzte Meile“ ist, sind auch urbane Logistikanbieter stark daran interessiert, ihre Prozesse durch alternative Konzepte zu optimieren. Kommunale Entscheidungsträger\*innen müssen ex-ante strategisch abschätzen, welche urbanen Logistikkonzepte und Maßnahmen nachhaltig und effizient sind. Dabei sind spezifische Merkmale einer Stadt oder eines Stadtteils wichtig und die Abschätzung zukünftiger Auswirkungen ist komplex. Die Erprobung alternativer Logistikkonzepte in konkreten Stadtvierteln mit abgegrenzten Pilotprojekten ist wegen des verbundenen Planungs- und Kostenaufwands teuer. Die Unsicherheit wächst insbesondere mit der steigenden Anzahl von urbanen Dienstleistern und Lieferunternehmen und damit steigt auch der Bedarf an datenbasierter Entscheidungsunterstützung für die strategische Planung von urbanen Logistikinitiativen.

Diese Herausforderungen adressieren das BMBF Forschungsprojekt USEFUL und das Verstetigungsprojekt USEFUL-XT (2018 – 2023): Wie kann

ein webbasiertes Informationssystem Entscheidungsträger\*innen bei der strategischen Planung von urbanen Logistikkonzepten unterstützen und gleichzeitig deren ökonomische, ökologische und soziale Auswirkungen abschätzen? Im Rahmen von USEFUL und USEFUL-XT wird eine Web-Applikation entwickelt, mit der simulierte urbane Logistikszenerarien individuell und spezifisch bewertet werden. Die Simulationen zeigen deren Auswirkungen unter anderem auf das Leben in der Stadt, den Verkehr, die Umwelt und die Lieferkosten. Die USEFUL-Webapplikation ermöglicht kommunalen Entscheidungsträger\*innen, Politiker\*innen und Unternehmen auch elektrifizierte Lieferfahrzeuge inklusive Lastenfahräder zu beurteilen. Interessierten Bürger\*innen bietet sie gut verständliche Informationen über alternative Logistikkonzepte und ihre möglichen Auswirkungen. Kommunen identifizieren mit der USEFUL-Webapplikation nachhaltige und effiziente Maßnahmen, um die innerstädtische Logistik zum Beispiel leiser umzusetzen, geringere Emissionen zu verursachen und Lieferkosten zu senken. Ein USEFUL Ziel ist aber auch, das EU Ziel zu adressieren, die urbane Logistik bis 2030 weitestgehend treibhausgasneutral zu gestalten. Ein Fokus liegt deshalb auf der Förderung von elektrifizierten Flotten, der Nutzung alternativer

Leichtfahrzeuge, wie Lastenfahrräder, oder Sharing Systemen.

Die USEfUL-Webapplikation integriert (1) eine simulationsbasierte mikro- und makroskalige Datenbank für Szenarien urbaner Logistikkonzepte und (2) ein integrales regelbasiertes Expertensystem, um Skalierbarkeit und Übertragbarkeit zu gewährleisten und individuelle Problemspezifika-

ein digitaler Zwilling der Stadt Hannover in Form einer Cubelet-Welt im Vordergrund (3D Ortung, Zeit und Attribute). Die in USEfUL(XT) gesammelten Ergebnisse und Erkenntnisse werden in 5GAPS für die Entwicklung optimierter 5G-basierter Logistik Szenarien dienen. Dabei helfen 5G-Technologien unter anderem Flugkorridore für eine Drohnenbelieferung zu reservieren oder ein digitales Park-

platz-Management System einzuführen, um Verkehrsstaus durch „Parken in zweiter Reihe“ zu reduzieren.

**M.Sc. Maximilian Heumann**  
**M.Sc. Oskar Wage**  
**Dr.-Ing. Udo Feuerhake**  
**Prof. Dr. habil. Michael H. Breitner**  
**Prof. Dr.-Ing. Monika Sester**

→ Infos und Kontaktdaten ab Seite 68



Abbildung 1  
 Emissionsarmer Stadtverkehr durch innovative und nachhaltigere Logistikkonzepte  
 Quelle: fuchsundhase

tionen zu ermöglichen. Ferner sind eine Enzyklopädie der urbanen Logistik und ein interaktives Clustering von städtischen und ländlichen Raumtypen anhand ausgewählter Spezifikationen enthalten.

Neben der Auswahl nachhaltiger und effizienter Logistikkonzepte, müssen Entscheider\*innen zukünftig auch die optimale Umsetzung in der städtischen Planung berücksichtigen. Dabei spielen die Synergien der Projekte USEfUL(XT) und 5GAPS (BMVD, 2022 – 2025) eine große Rolle. Während USEfUL(XT) die urbane Logistik fokussiert, steht in 5GAPS

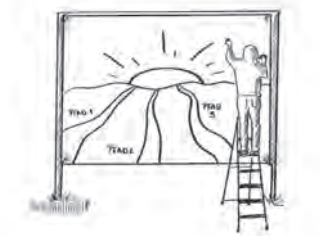


Abbildung 2  
 Entscheidungsunterstützung durch die USEfUL-Webapplikation  
 Quelle: unsplash/Michael Dolejs

# Flexible und robuste Wege zur Energiewende

## Neue Transformationspfade zu einem nachhaltigen Energiesystem

### TRANSFORMATIONS- PFADE



Für den Übergang zu einem nachhaltigen und klimaneutralen Energie- und Wirtschaftssystem benötigen wir überzeugende und robuste Wege zur Zielerreichung. Diese Transformations Szenarien müssen zudem genügend Flexibilität aufweisen, um auf heute noch nicht absehbare Entwicklungen der technologischen, wirtschaftlichen und geopolitischen Randbedingungen reagieren zu können.

### Modellierung der Energiesystemtransformation

Die Energiesystem-Modellierungssoftware „ESTRAM“ (Abk. für engl. „Energy system transformation model“) erlaubt die Beschreibung und Optimierung von Energiesystemtransformationspfaden für europäische Regionen und Länder bis hin zur Betrachtung des gesamten Kontinents. ESTRAM wurde an der Leibniz Universität (LUH) von einem interdisziplinären Team entwickelt. Grundlage sind eine breite Datenbasis zum aktuellen europäischen Energiesystem sowie technische und wirtschaftliche Daten zu heutigen und zukünftigen Technologien und Komponenten des Energiesystems. Durch die enge Anbindung an die LUH-Energieforschung können neue Ergebnisse zu Funktion, Leistungsfähigkeit und Weiterentwicklung von Systemkomponenten schnell

als fachlicher Input in Szenarien einfließen.

Die größte aktuelle geopolitische Herausforderung für die Energiewende ist die durch den russischen Überfall auf die Ukraine verursachte Gas- und Energiekrise in Europa. Erdgaskraftwerke passen aufgrund ihrer Eigenschaften (flexible Fahrweise und weniger Emissionen als Steinkohle) gut zu Energiesystemen mit einem hohen Anteil an fluktuierender Erneuerbarer Energie (EE). Durch den Wegfall des russischen Erdgases tut sich in Europa eine Versorgungslücke auf, die alleine in Deutschland 291 TWh und damit etwa ein Drittel des aktuellen und künftigen Erdgasbedarfs ausmacht. Die Frage ist, ob und wie es gelingen

kann, mit deutlich weniger Erdgas auszukommen, gleichzeitig aber die Energiewende zum Erfolg zu führen.

Mittel- und langfristig werden grüne Energieträger (Wasserstoff, synthetische Treibstoffe) die Rolle des flexibel einsetzbaren Erdgases übernehmen. Für die Gewinnung ebendieser müssen EE-Kapazitäten bereitgestellt werden. Die unterschiedliche Verteilung der weltweiten EE-Potenziale bietet sonnen- und windreichen Regionen die Möglichkeit für eine sehr kostengünstige Produktion. Andererseits fallen insbesondere bei Wasserstoff zu beachtende Transportkosten an, die wiederum eher eine verbrauchernahe Produktion begünstigen. In welchen Mengen grüne gasförmige

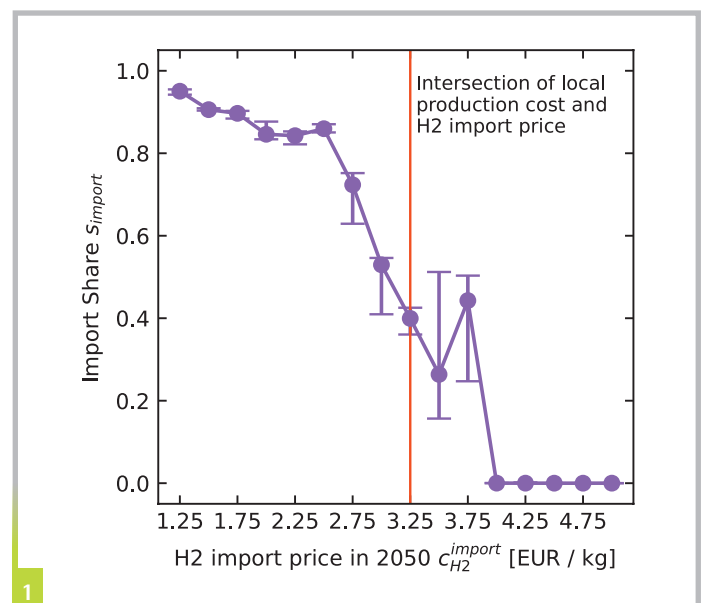


Abbildung 1  
Importanteile von grünem Wasserstoff im kostenoptimierten Energiesystem in Abhängigkeit vom Importpreis.

Quelle: Florian Peterssen/FKP



Energieträger mittelfristig bereitgestellt werden können, ist noch unklar. In den nächsten Jahren wird die Nachfrage das Angebot vermutlich übersteigen. Die aktuelle Situation an den Energiemärkten zeigt deutlich, dass sich die Energiepreise bei Knappheit sehr schnell steigen können.

Am Institut für Festkörperphysik wurde zusammen mit dem Institut für Elektrische Energiesysteme untersucht, wie sich der Importpreis von grünem Wasserstoff auf das Energiesystem auswirkt. *Abbildung 1* zeigt, wie sich der Anteil importierten Wasserstoffs mit dem Preis verändert. Während bei besonders niedrigen Wasserstoffpreisen Importe präferiert werden, schlägt das Modellierungstool für hohe Wasserstoffpreise vor, den gesamten Wasserstoff inländisch zu produzieren. Einhergehend damit findet ein massiver Ausbau von EE statt.

Da das Energiesystemmodell auch den Betrieb des Energiesystems über das Jahr in zeitlicher Auflösung abbildet, können aus der Simulation Rückschlüsse auf die Rolle und das Einsatzprofil von Energiesystemkomponenten gewonnen

werden. So zeigt sich in den Szenarien mit relevanter inländischer Wasserstoffproduktion sehr häufig eine deutliche Korrelation zwischen der Elektrolyse und dem Photovoltaik-(PV-)Einspeiseprofil (siehe *Abbildung 2*). Wasserstoff wird in diesen Szenarien vor allem im Sommer produziert, um die dann reichlich vorhandenen PV-Erträge einzuspeichern für eine Nutzung im Herbst oder Winter. Die starke Korrelation mit der PV hat zur Folge, dass die Elektrolyse künftig mit weitaus weniger (2500) Volllaststunden als heute (5000) betrieben wird.

#### Eine internationale Gemeinschaftsaufgabe

Selbst wenn es günstiger wäre, grünen Wasserstoff ausschließlich in Deutschland zu produzieren, ist es mindestens herausfordernd, im dichtbesiedelten Deutschland genügend EE-Kapazitäten dafür aufzubauen. Besonders für die Länder mit großen EE-Potenzialflächen im nördlichen Afrika, im Nahen Osten und in Südosteuropa, in geografischer Nähe zum wichtigen Energie-Markt Europa, bietet grüner Wasserstoff daher eine Chance für wirtschaftliche

Entwicklung. Der Aufbau von EE-Kapazitäten in Drittländern für den Export von treibhausgasneutralen Energieträgern sollte allerdings ebenfalls nachhaltig erfolgen und mit einer beschleunigten Energiewende vor Ort verknüpft werden. Auch in dieser Fragestellung kann die Energiesystemanalyse eingesetzt werden. Das am Institut für Umweltpolitik entwickelte Modell EE100 unterstützt die nachhaltige räumliche Allokation von EE-Anlagen und berechnet raumspezifische nachhaltige EE-Potenziale für einzelne Regionen oder ganze Staaten. Die für Deutschland so berechneten erzeugbaren Energiemengen würden ausreichen, um einen projizierten Bedarf in 2040 allein mit Windenergie, Dachflächen-PV und biogenen Rests- und Abfallstoffen zu decken. Auf der lokalen Ebene dient das Modell als Grundlage für ein als Planspiel umgesetztes Beteiligungstool, mit dem ein für die Gemeinden oder Regionen berechnetes Energieziel erreicht werden kann.

Der weltweite Übergang zu erneuerbaren Energieträgern hat auch Auswirkungen auf das internationale Wirtschafts- und Handelssystem. Das Institut für Umweltökonomik und Welthandel verwendet makroökonomische Gleichgewichtsmodelle, um die Auswirkungen von volkswirtschaftlichen Veränderungen auf Kennzahlen der wirtschaftlichen Entwicklung (beispielsweise Beschäftigung, BIP, Importe, Produktion in Wirtschaftssektoren, Konsum) zu untersuchen. Dies ermöglicht eine makroökonomische Bewertung hinsichtlich Veränderungen im Energiesektor. Der Aufbau von Energiepartnerschaften mit inner- und außereuropäischen Partnerländern kann so untersucht werden. Ergebnisse können der Politik eine Hilfe sein, um den richtigen Rah-

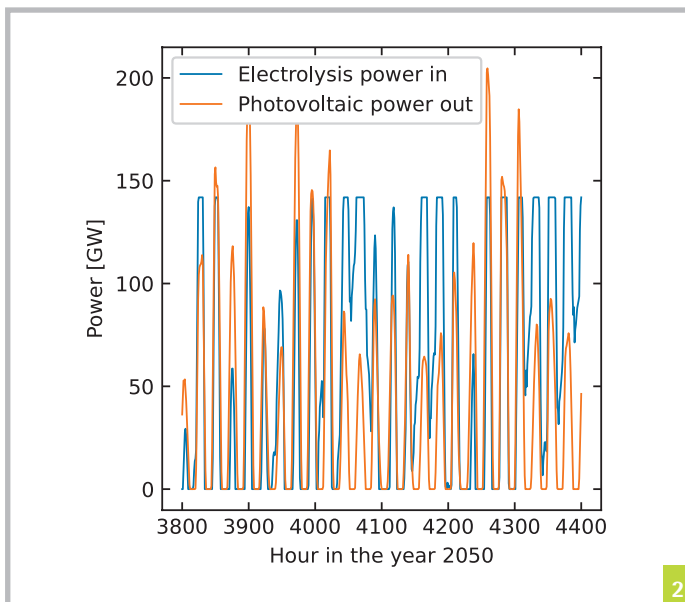


Abbildung 2  
Einsatzprofile von Elektrolyseuren (blau) und PV-Anlagen (orange) während einer Sommerwoche im zukünftigen Energiesystem mit insgesamt 300 GW installierter PV-Leistung.

Quelle: Florian Peterssen/FKP

men zu setzen für eine auch international nachhaltige Energiesystemtransformation und wirtschaftliche Entwicklung.

#### Chancen für die Region nutzen

Innerhalb Deutschlands verfügt Niedersachsen über besonders große Potenziale für die EE-Erzeugung und Speicherung. Die Energiesystemtransformation birgt für unser Bundesland daher besondere Chancen sowohl in der Energieerzeugung als auch beim Aufbau von Wasserstoff-, Bio- und Reststoffenergietechnologien.

Um die EE-Technologien in Niedersachsen auszubauen, bedarf es auch an dezentralen Investitionen in Bestands- und Neubaugebäude und koordinierte Quartiere. Die dafür nötige Perspektive nimmt

NESSI („Nano-Energiesystem-Simulator“) ein, entwickelt am Institut für Wirtschaftsinformatik (<https://nessi.iwi.uni-hannover.de/de/>). NESSI ist webbasiert, „open access“ und intuitiv erlernbar und bedienbar für Eigentümer und Mieter von Gebäuden, Gewerbetreibende, Energieberater und politische Entscheider. NESSI berechnet erforderliche Investitionen und Energieversorgungskosten sowie Beiträge zum Klimaschutz und ermöglicht so, die dreifaltige Nachhaltigkeit (ökologisch, ökonomisch und sozial) zu quantifizieren und dezentrale Transformationsszenarien zu ermitteln.

Was sich mit heutiger Technik schon erreichen lässt, zeigen Messungen in einem niedersächsischen Wärmepumpenquartier. Aufgrund der guten Bedingungen für EE in Niedersachsen ließe sich dieses

schon heute zu 90 Prozent durch EE aus der Region versorgen. Für die restlichen 10 Prozent und für Wirtschaftszweige, die auf chemische Energieträger angewiesen sind, können dann grüner Wasserstoff oder grüne Gase zum Einsatz kommen.

Auf Literaturangaben musste in diesem Artikel verzichtet werden. Interessierten Leserinnen und Leser wird gerne eine Liste mit Hintergrundliteratur zur Verfügung gestellt. Kontakt: [niepelt@solar.uni-hannover.de](mailto:niepelt@solar.uni-hannover.de)

**Dr. Raphael Niepelt**  
**Prof. Dr. Christina von Haaren**  
**Prof. Dr. habil. Michael Breitner**  
**Dr. Steven Gronau**  
**Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel**  
**Prof. Dr.-Ing. Richard Hanke-Rauschenbach**

→ Infos und Kontaktdaten ab Seite 68



**Du suchst eine Praktikumsstelle, eine Studien- oder Abschlussarbeit im Bereich erneuerbare Energien?** Dich reizt die Verbindung von praktischem Arbeiten und theoretischem Verständnis?

Hier findest du spannende Angebote zur erneuerbaren Wärme- und Stromversorgung von Gebäuden und Quartieren und zur Solarzellenentwicklung und -charakterisierung: <https://isfh.de/studierende/>



# Innovation als Tradition

Was wir in Alfeld produzieren, verändert die Welt. Beschichtetes Spezialpapier von Sappi löst immer häufiger Verpackungen aus Plastik und Aluminium ab. Tag für Tag entdecken wir neue, nachhaltige Lösungen. Innovation hat bei uns Tradition. Seit mehr als 300 Jahren. Mitten im Leinebergland.

## Wir bieten:

- vielfältige Karrierechancen
- internationale Netzwerke
- nachhaltige Themen

## Wir suchen:

- Verstärkungen mit Mut
- Impulse für neue Wege
- Bachelor- und Master-Anwärter

[www.sappi.com/de/careers](http://www.sappi.com/de/careers)

sappi

# Machen Sie Ihre Zukunft klar!

Werden Sie Teil unseres Teams,  
zum Beispiel als ...

## » Ingenieur\*in

- Siedlungswasserwirtschaft
- Wasserwirtschaft
- Elektrotechnik
- Verfahrenstechnik
- Umwelttechnik



Stadtentwässerung  
**Hannover**  
Wir klären das.



Jetzt  
bewerben!

# Energieforschung macht Schule

Das Leibniz4U-Schülerforschungszentrum als bildungsbezogene Transfermaßnahme

## BILDUNG und ENERGIEWENDE



### Einführung

Wissen über das Energiekonzept ist wichtig, um informierte Entscheidungen im Alltag treffen zu können. Beispielsweise wird angenommen, dass Wissen über Energietransfer und -umwandlung helfen kann, die Faktoren zu verstehen, die den Treibhauseffekt beeinflussen, und dadurch umweltbezogenes Verhalten zu verändern. Außerdem ist Wissen über das Energiekonzept für die Strukturierung von Wissen über weitere naturwissenschaftliche Konzepte nötig und damit für das Lernen zentral. Allerdings ist das Energiekonzept komplex und kann in seiner wissenschaftlich adäquaten Beschreibung im Widerspruch zu alltäglichen Vorstellungen stehen, wie der Vorstellung, dass Energie stoffähnlich in Kreisläufen statt als Energieflüssen angenommen wird.

Deshalb wird Wissen über das Energiekonzept als Teil einer naturwissenschaftlichen Grundbildung im Unterricht gefördert. Eine besondere Herausforderung sind sozio-wissenschaftliche Problemstellungen wie der Klimawandel. Im Umgang mit ihnen erfordern informierte Entscheidung über das eigene Verhalten nicht nur den Einbezug naturwissenschaftlichen Wissens. Sie erfordern auch das Abwägen von individuellen und gesellschaftlichen Werten und Normen. Insbesondere im

Kontext einer Bildung für nachhaltige Entwicklung haben außerschulische Angebote, welche über schulische Lerngelegenheiten hinausgehen, das Potenzial informierte Entscheidungen zu fördern. Solche Angebote werden allerdings noch zu selten umgesetzt.

### Sensibilisierung für nachhaltige Energiegewinnung außerhalb der Schule

Ein in der Öffentlichkeit und Forschung der Leibniz Universität Hannover relevantes Thema ist der Klimawandel, dem auch mit Hilfe erneuerbarer Energien begegnet werden soll. Beispielsweise werden Wasserkraft, Solarenergie, Windkraft und Elektromobilität an der Leibniz Universität Hannover interdisziplinär und intensiv erforscht, um die Umwelt zu entlasten.

Um dieses Thema weiter in die Öffentlichkeit zu tragen und Schülerinnen und Schüler dafür zu sensibilisieren und zu begeistern, ist das Thema nachhaltige Energiegewinnung Teil des Kursangebots der Gauß-AG.

Der Fokus liegt hierbei auf der Erzeugung von Strom durch Windkraft und die Funktionsweise eines Elektromotors. Interessierte Schülerinnen und Schüler können in der Gauß-AG Energiegewinnung eine Woche lang selbst ausprobieren, experimentieren und diskutieren. Anhand von Aufgaben und Fragestellungen üben sie das wissenschaftliche Arbeiten und tüfteln in Kleingruppen an ihren eigenen Projekten. Pro Ferienkurs werden in der Regel vier verschiedene AGs angeboten. Betreut werden die Teilnehmenden dabei von studentischen Tutorinnen und Tutoren.



Abbildung 1  
In der Gauß-AG arbeiten Schülerinnen und Schüler in Kleingruppen an ihrem eigenen Projekt.

Foto: uniKIK Schulprojekte/LUH

### Wissenstransfer durch außerschulische Angebote

Außerschulische Angebote eignen sich besonders für den Wissenstransfer von aktuellen Forschungsthemen, weil sie im Gegensatz zum Schulunterricht nicht an formale Vorgaben wie Zeitbegrenzungen, Lernstandüberprüfungen und die strikte Einhaltung des Lehrplans gebunden sind. Sie fördern darüber hinaus – anders als in der Schule üblich – fächerübergreifendes Arbeiten. Die Schülerinnen und Schüler beteiligen sich und lernen an realen Problemstellungen aus ihrer eigenen Lebenswelt. Deshalb sind außerschulische Angebote ein Teil des Transfermodells der Leibniz Universität Hannover. In diesem Modell werden die Wissensbereiche identifiziert, die an der Universität aktuell Forschungsgegenstand und von besonderer gesellschaftlicher Relevanz sind. Ein weiteres Element ist die zielgruppenspezifische didaktische Aufbereitung dieses Wissens.

Für das Lernen sind Vernetzung und Kohärenz der außerschulischen Angebote untereinander und zu schulischen Angeboten bedeutsam. In einer solchen *Learning Ecology* vernetzen Schülerinnen und Schüler ihr Wissen und wenden es wiederholt in unterschiedlichen Kontexten an. Die Angebote des Teams Schulprojekte bauen deshalb stufenweise aufeinander auf und reichen vom niedrigschwelligen Einstieg mit Demonstrationsexperimenten im LeibnizLAB bis zu Schülerforschungsprojekten, zum Beispiel in der Gauß-AG plus (s. Bild 2). Ziel ist es, Schülerinnen und Schülern die eigenständige Bearbeitung von Fragestellungen in einem Schülerforschungszentrum (SFZ) zu ermöglichen. Zukünftig werden derartige außerschulische Angebote als Teil des Schülerforschungszentrums

*Leibniz4U-SFZ* konzeptuell in eine Online-Plattform integriert und so die Kohärenz in der Angebotsnutzung und in den Lernprozessen von Schülerinnen und Schülern ermöglicht.

Prof. Dr. Till Bruckermann  
Prof. Dr. Katharina Müller  
Prof. Dr. Sascha Schanze

→ Infos und Kontaktdaten ab Seite 68

#### Die Gauß-AG

Die Gauß-AG des Team Schulprojekte an der *Leibniz School of Education* ist ein Ferienkurs für Schülerinnen und Schüler, die Interesse an der Mathematik, den Naturwissenschaften und Technik haben. Sie wird jährlich angeboten und setzt auf Breitenförderung, indem Schülerinnen und Schülern Themen aus den Bereichen Mathematik, Naturwissenschaften und Technik über den schulischen Lehrplan hinaus bearbeiten können.

→ Radiobericht zur Gauß-AG:  
<http://go.lu-h.de/radiobeitrag>

→ <https://www.lse.uni-hannover.de/de/transfer/schulprojekte/gauss-ag/>

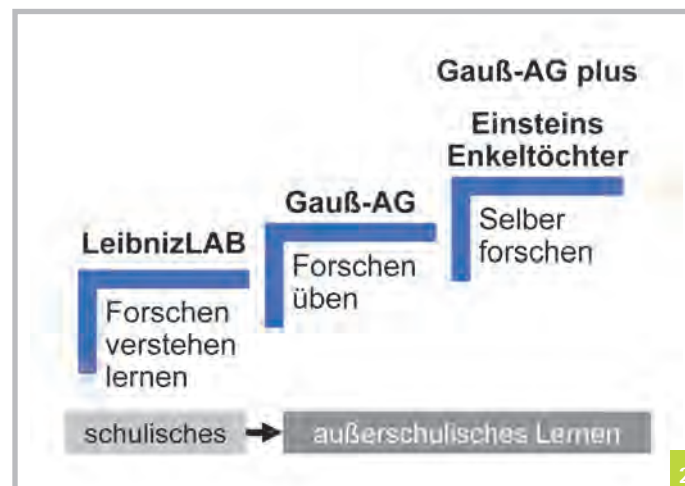


Abbildung 2  
Gestuftes Angebotskonzept zum außerschulischen Lernen im Leibniz4U-SFZ  
Quelle: Till Bruckermann/LSE

# Rekursive Normenbildung in der Energiewende

Projekt untersucht gesellschaftliche und rechtliche Aushandlungen



Erneuerbare Energien haben im Zusammenhang mit dem russischen Angriffskrieg auf die Ukraine eine enorme Aufmerksamkeit erfahren, da sie in Deutschland beziehungsweise in der Europäischen Union produziert werden können. Damit ging eine beachtliche semantische Aufwertung einher. So bezeichnete der deutsche Finanzminister *Christian Lindner* erneuerbare Energien jüngst nicht mehr als teuer und volatil, wie er es noch zu seiner Zeit als Vorsitzender der FDP-Bundestagsfraktion in der letzten Legislaturperiode getan hat, sondern vielmehr als „Freiheitsenergie“.

Diese semantische Umdeutung passt in die Linie unseres DFG-finanzierten Projekts zur Energiewende: **ReNEW: Rekursive Normenbildung in der Energiewende – Zum Wandel der Energieversorgung**. Kennzeichnend für die Transformation der Energieversorgung im Prozess der Energiewende ist nämlich, dass relevante Akteure der Energiewende nicht nur über technische und wirtschaftliche Fragen ringen, sondern auch über die diesen zugrundeliegenden gesellschaftlichen wie rechtlichen Normen.

Das interdisziplinäre Forschungsprojekt „*Rekursive Normenbildung in der Energiewende – Zum Wandel der Energieversorgung*“ (ReNEW) nimmt drei wichtige Prozesse der Energiewende in Deutsch-

land in den Blick: den Prozess, der sich durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) aus dem Jahr 2000 und seinen Novellen entwickelt (1); die Prozesse, die die Folgen der Nuklearkatastrophe von Fukushima im Jahr 2011 aufgreifen (2) und die, welche die aktuellen Prozesse der Digitalisierung der Energiewirtschaft ansprechen (3). Wir erweitern unsere Perspektive nunmehr aber um einen Blick auf die eingangs genannten Ereignisse, in denen Werte wie Versorgungssicherheit und nationale Energieautonomie wieder stärker ins Zentrum gesellschaftlicher Debatten rücken.

Unser Projektleitungsteam besteht aus Prof. Dr. *Cristina Besio* (Organisationssoziologie, Helmut-Schmidt-Universität, Hamburg), Prof. Dr. *Margrit Seckelmann* (Öffentliches Recht, Recht der digitalen Gesellschaft, LUH) und Prof. Dr. *Arnold Windeler* (Organisationssoziologie, TU Berlin). Unterstützt werden wir durch ein interdisziplinäres Team, bestehend aus *Jana-Maria Albrecht* und *Florence Eyok* (TUB), *Timo Hoffmann* und Dr. *Dorothea Steffen* (LUH) sowie *Anna Skripchenko* und *Svenja Bauer* (HSU).

Unsere Grundannahme lautet, dass ein Gelingen der Energiewende wesentlich davon abhängt, ob eine neue normative Basis entstehen kann. In diesem Zusammenhang analysieren wir die fortlaufenden Aus-

handlungen der normativen Ordnung zwischen verschiedenen Wertvorstellungen und Maximen, etwa zwischen Versorgungssicherheit und Nachhaltigkeit, zwischen Marktprinzipien und Gemeinwohl oder auch zwischen Klima- und Naturschutz. Unter den aktuellen weltpolitischen Bedingungen zeigt sich anschaulich, dass die normative Ordnung stetig neu ausgehandelt wird.

Wir untersuchen nicht nur die Veränderungen des Rechtsrahmens an sich, sondern analysieren anhand leitfadengestützter Interviews, wie heterogene Akteure (Nichtregierungsorganisationen (NGOs), Branchenverbände usw.), die normativen Vorstellungen der Energiewende mitprägen. Außerdem fokussieren wir die Hauptadressaten der neuen Normen der Energieversorgung: die Energieversorger selbst. Uns interessiert, wie Energiekonzerne, mittelständische Unternehmen, Stadt- und Regionalwerke sowie Energiegenossenschaften externe normative Anforderungen jeweils unterschiedlich interpretieren und bestehende Freiräume nutzen (etwa durch Investitionen). Theoretisch legen wir dafür die Konzepte „Rekursivität“ und „Respezifikation“ zugrunde, die auf zentrale Mechanismen der Entwicklung der normativen Ordnung der Energiewende verweisen, und möchten diese Konzepte fortentwickeln.

**Prof. Dr. Margrit Seckelmann**  
(Professorin Öffentliches Recht und das Recht der digitalen Gesellschaft an der Leibniz Universität Hannover, LUH)

→ Weitere Informationen unter:  
<https://www.project-renew.org/>

**avacon**

**Alles wie immer? Wir sagen:  
Gern auch mal anders.**

Ob als Trainee oder per Direkteinstieg – deine Ideen sind gefragt. Informiere dich jetzt unter [www.avacon.de/karriere](http://www.avacon.de/karriere).



**Niedersachsen**  
Allianz für Nachhaltigkeit

## **Transformationsstudie zur Dekarbonisierung der nieder- sächsischen Wirtschaft**

### **Jetzt online!**

Die Niedersachsen Allianz für Nachhaltigkeit (NAN) als sozialpartnerschaftliche Kooperation von Landesregierung, Kammern, Gewerkschaften und Unternehmerverbänden hat den Anspruch, den Transformationsprozess der niedersächsischen Wirtschaft hin zur praktischen Klimaneutralität aktiv mitzugestalten.

Im September 2022 hat die NAN eine **Transformationsstudie zur Dekarbonisierung der niedersächsischen Wirtschaft** herausgegeben. Erstmals werden mit der Studie Wissensstand und Handlungsmöglichkeiten für eine zielgerichtete Beschleunigung des Übergangs zur Treibhausgasneutralität für Niedersachsens Wirtschaft erarbeitet.

**Die Studie steht zum Download bereit unter:**  
[www.nachhaltigkeitsallianz.de](http://www.nachhaltigkeitsallianz.de)

# Energiewende konkret:

## Photovoltaik auf dem Campus der Leibniz Universität Hannover



Bereits seit 2017 bezieht die Leibniz Universität Hannover (LUH) 100 Prozent Ökostrom und leistet damit einen Beitrag zur nachhaltigen Energieversorgung. Die bestehenden Photovoltaikanlagen waren ein erster Baustein für eine Energiewende auf dem Campus. Es gilt jedoch, die vorhandenen Potenziale in Zukunft verstärkt und besser auszunutzen, indem die Dachflächen des gesamten Gebäudebestands der LUH, sofern möglich, mit Photovoltaik nachgerüstet werden und Photovoltaik als Baustandard bei Neubauten vorgesehen wird. Ein entsprechender Präsidiumsbeschluss vom Juli 2021 bestärkt dieses Vorhaben. Neben der regenerativen Eigenzeugung ist auch eine größere Unabhängigkeit von marktbedingten Preisschwankungen ein Ziel dieser Bestrebungen, deren Notwendigkeit jüngst durch den Krieg in der Ukraine unterstrichen wurde. Dieser Beitrag zeigt die aktuellen Entwicklungen an der LUH.

Seit November 2021 arbeiten das Dezernat Gebäudemanagement und das im Mai 2021 eingerichtete Green Office mit der Klimaschutzagentur Region Hannover GmbH zusammen, um den Ausbau von Photovoltaik auf den Dächern der LUH vorzubereiten. Dafür wurde unter anderem eine Priorisierungsliste für die Dachflächen der Universitätsgebäude erstellt, die um weite-

re Daten ergänzt und in den kommenden Jahren sukzessive abgearbeitet werden soll. Ziel der Zusammenarbeit ist die beschleunigte Installation von Photovoltaikanlagen auf dem Campus. Dabei sind aktuell (Stand: August 2022) die Vorplanungen und Ausschreibungstexte für sechs Dächer auf dem Hauptcampus in Bearbeitung. Das Solarpotenzial dieser zu installierenden Anlagen liegt bei etwa 500 kWp mit einem geschätzten Stromertrag von zirka 450.000 kWh/a, was einer CO<sub>2</sub>-Ersparnis von rund 282 Tonnen pro Jahr entspricht. Die Besonderheit ist, dass auch Demonstratoren für Lehre und Forschung mitgedacht werden und die Leistungsdaten der Anlagen für die Nutzenden der Gebäude sowie die Öffentlichkeit sichtbar gemacht werden sollen. Die Vorplanung für die Installation von Photovoltaikanlagen am Standort Garbsen wurde bereits abgeschlossen, sodass für das

zweite Quartal 2023 der Baubeginn durch das Dezernat 3 anvisiert wird. Die Anlagen sollen als Energiequelle auch einem studentischen Labor zur Speicherung nachhaltiger Energiedien, welches durch Prof. Dr. Junker vom Institut für Kontinuumsmechanik der Fakultät Maschinenbau betreut wird.

Mitte des Jahres 2022 wurden zudem zwei neue Photovoltaikanlagen auf den Gebäuden 3702 und 3703 fertiggestellt und in Betrieb genommen (siehe Foto 1). Das Projekt wurde mit Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung gefördert. Mit 115,2 kWp und einer Leistung von rund 96.000 kWh/a ermöglichen die Anlagen eine Ersparnis von knapp 60 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr.

Auch in Lehrveranstaltungen wird und wurde das Thema aufgegriffen. Besonderes Highlight wird Anfang 2023





die „SOLAR Summer School“ sein, die über die Zentrale Einrichtung für Weiterbildung der LUH unter der Leitung von Prof. Dr. Elke Wittich stattfindet. In der ersten Woche der Summer School werden Studierenden die Grundlagen für eine Solarberatung vermittelt, die in der zweiten Woche in Kleingruppen exemplarisch an einem Gebäude der LUH angewendet werden. Langfristiges Ziel der LUH ist es, auf dem Campus ein „Reallabor“ für eine nachhaltige Entwicklung aufzubauen. In dem Mikrokosmos des Campus sollen Forschung, Lehre, Campuserwicklung und der Austausch mit der Gesellschaft in der Region stärker als bislang zusammengedacht werden. Kooperationen mit weiteren Einrichtungen wie dem Institut für Solarforschung Hameln (ISFH) als außeruniversitäres Forschungs-

institut werden dabei ebenso wie der Wissensaustausch mit Mitgliedern der Europäischen Hochschulallianz EULiSt eine zentrale Rolle spielen.

Auf Basis der gesammelten Erfahrungen mit der Klimaschutzagentur Region Hannover GmbH können Potenziale und Herausforderung für den Ausbau von Photovoltaik auf dem Campus gesammelt werden. Bereits jetzt ist jedoch klar, dass das Gelingen des Ausbaus der Photovoltaik auf den Dächern der LUH maßgeblich von vorhandenen Fördermitteln abhängt und auch die Verfügbarkeit von Fachpersonal und Materialien das weitere Vorgehen beeinflusst. Daher werden durch das Dezernat Gebäudemanagement und das Green Office weitere Möglichkeiten zur Energiegewinnung aus regenerativen Quellen, aber

auch die Wärmewende und deren Umsetzbarkeit auf dem Campus, geprüft. Dazu gehört beispielsweise die Installation von (vertikalen) Windkraftanlagen, Geothermie und die Nutzung von Umgebungswärme.

Neuigkeiten und Informationen zum Ausbau der erneuerbaren Energien auf dem Campus oder zu ausgewählten Projekten finden sich auf der Website des Green Office unter [www.sustainability.uni-hannover.de](http://www.sustainability.uni-hannover.de). Für Fragen oder Möglichkeiten der Kooperation wenden Sie sich bitte an [greenoffice@uni.hannover.de](mailto:greenoffice@uni.hannover.de).

**Prof. Dr. Christina von Haaren**  
**Prof. Dr. Hans-Peter Braun**  
**Stephanie Mittrach**

→ Infos und Kontaktdaten  
ab Seite 68

Abbildung 1  
Photovoltaikanlage  
auf den Gebäuden 3703  
Quelle: Dezernat 3/LUH



# WindGISKI

## Kann KI neue Flächen für Windenergieanlagen finden?



Die Bundesregierung hat sich zum Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2030 den Strom aus erneuerbaren Energien zu verdoppeln. Die Windenergie spielt hierbei in Kombination mit der Photovoltaik die entscheidende Rolle, um die Unabhängigkeit von fossilen Importen zu stärken und die Klimaziele zu erreichen. Mit dem „Wind-an-Land-Gesetz“ will die Bundesregierung erstmals verbindliche Flächenziele für die Bundesländer etablieren und dadurch den Ausbau der Windenergie in Deutschland deutlich schneller voranbringen als bisher.

Bundesweit sind derzeit etwa 0,8 Prozent der Landfläche für die Windenergie als Vorrang-, Vorbehalts- oder Eignungsgebiet ausgewiesen, wengleich aufgrund unterschiedlicher konfliktärer Raumwiderstände lediglich 0,5 Prozent der Landfläche tatsächlich zu Verfügung stehen. Die Bundesregierung will daher mit dem „Wind-an-Land-Gesetz“ die Flächenausweisung deutlich ausweiten. Bis Ende 2032 sollen zwei Prozent der bundesdeutschen Landfläche für die Windenergie verfügbar sein. Der kürzlich durch das Kabinett beschlossene Gesetzentwurf enthält daher auch eine explizite Neukonzeption der Länderöffnungsklausel für landesrechtliche Regelungen zu Mindestabständen zu Wohnbebauung. Zudem bekräftigte Bundeswirtschaftsminister Robert Habeck an-

lässlich des Kabinettsbeschluss eine faire regionale Aufteilung unter den Bundesländern, die die Windbedingungen, den Natur- und Artenschutz sowie die jeweiligen räumlichen Ordnungen gleichermaßen berücksichtigt.

Sowohl aus Sicht der Projektentwickler als auch der Planungsträger, die zum einen für die Flächenentwicklung und zum anderen für die Flächenausweisung zuständig sind, stellt sich nun dringender denn je die Frage, wo genau die geeignetsten zwei Prozent der bundesdeutschen Landfläche für die Windenergie zu verorten sind. Genau hier setzt das mit insgesamt zwei Millionen Euro durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) im Förderprogramm KI-Leuchttürme geförderte Verbundprojekt „WindGISKI“ an. Insgesamt acht Forschungseinrichtungen, Unternehmen und Verbände gehen seit Dezember 2021 im interdisziplinären Konsortium dem Ziel einer Innovation der Flächenausweisung für Windenergieanlagen nach:

- das Institut für Statik und Dynamik der Leibniz Universität Hannover als Konsortialführer,
- das IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH,
- die Nefino GmbH,
- die fk-wind, das Institut für

Windenergie der Hochschule Bremerhaven,

- der LEE Landesverband Erneuerbare Energien Niedersachsen / Bremen e.V.,
- die ARSU-Arbeitsgruppe für regionale Struktur- und Umweltforschung GmbH,
- das Institut für Informationsverarbeitung der Leibniz Universität Hannover und
- die Professur für Organisation und Innovation der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg.

Im Mittelpunkt von WindGISKI steht dabei die gemeinsame Entwicklung eines auf künstlicher Intelligenz (KI) basierenden Geoinformationssystem (GIS) zur Auswahl von Windenergiepotenzialflächen im Spannungsfeld von Arten-, Umwelt- und Klimaschutz. WindGISKI soll mit dem Einsatz von KI explizit die wesentlichen Grenzen der heutigen Praxis in der Flächenausweisung adressieren. Indem der komplexe Abwägungsprozess auf Ebene der Planungsträger durch die KI abgebildet und systematisiert wird, soll zukünftig die größte Hürde der Windenergie überwunden werden: Sowohl auf regionaler als auch kommunaler Ebene beginnen Prozesse der Neuausweisungen von Flächen für Windenergieanlagen heute noch immer mit der Festlegung hoher, pauschaler Mindestabstände zu Wohnbebauung. Vielerorts übersteigen diese Mindestabstände jedoch bei weitem die notwendigen

Abstände, die eine optisch bedrängende Wirkung verhindern sowie eine zumutbare Schattenwurf- und Schallbelastung sicherstellen würden. Dem Abwägungsprozess der Planungsträger werden dadurch nur wenige verbliebene Flächen zugeführt, die im Hinblick auf die verbliebenen Raumwiderstände des Natur- und Artenschutzes priorisiert werden müssen und letztlich oftmals nicht ausreichen, um

zum Beispiel durch Klagen unterschiedlicher Akteursgruppen. Das erlernte Wissen wiederum wendet die KI auf die gesamte Landfläche Deutschlands an, die hierfür in 50x50m große Kacheln unterteilt wird. Für jede einzelne Kachel simuliert die KI anhand der jeweils vorliegenden Raumwiderstände einen eigenen Abwägungsprozess, der gänzlich ohne eine vorherige Festlegung pauschaler Min-

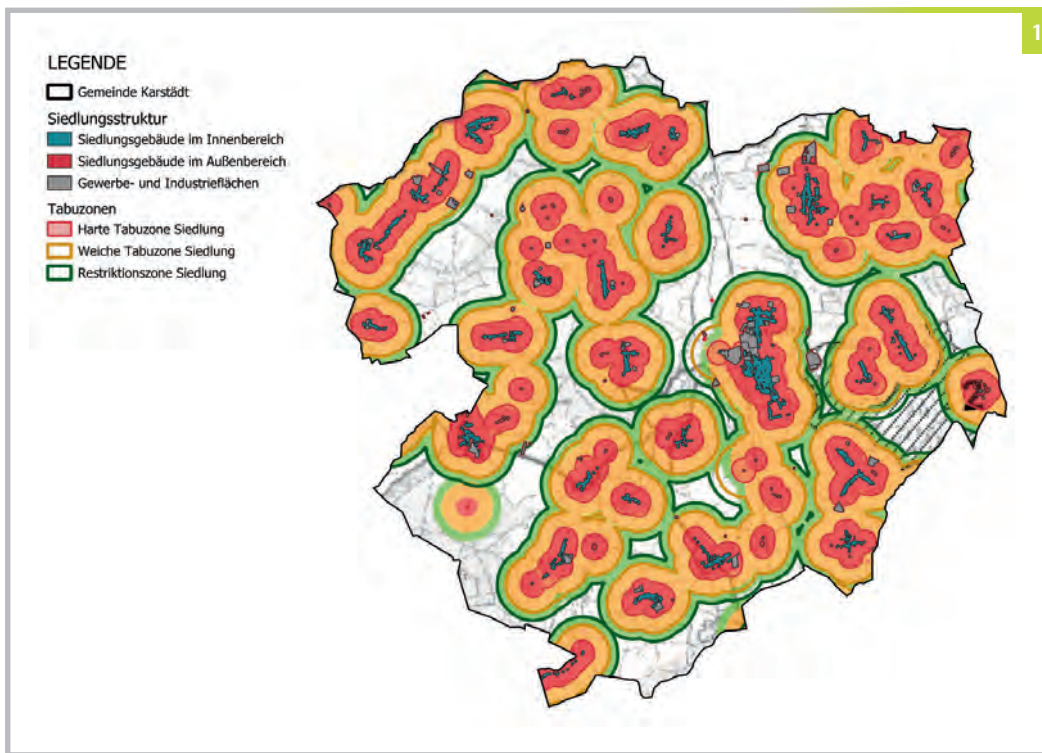


Abbildung 1  
Mit WindGISKI sollen pauschale Mindestabstände zu Wohnbebauung zukünftig der Vergangenheit angehören.

Quelle: Nefino GmbH

die Flächenziele annähernd erreichen zu können.

WindGISKI geht daher vielmehr von einer „weißen“ Landkarte aus und unterstellt, dass zumindest theoretisch überall in Deutschland der Bau von Windenergieanlagen möglich ist. Die KI lernt aus dem aktuellen Windenergieanlagenbestand und der bereits ausgewiesenen Flächenkulisse wo und unter welchen Raumwiderständen der Bau von Windenergieanlagen in der Vergangenheit möglich war – und auch wo und warum es mancherorts zu erheblichen Verzögerungen kam,

destandabstände zu Wohnbebauung auskommt. Im GIS lassen sich so insbesondere dort ganz neue Potenzialflächen für Windenergieanlagen identifizieren, wo sich nach dem Abwägungsprozess größere Cluster einer Vielzahl besonders positiv bewerteter Kacheln finden lassen.

Im Ergebnis hat WindGISKI dadurch das Potenzial deutlich umfangreiche Flächenpotenziale für die Windenergie in Deutschland aufzudecken, die gleichzeitig deutlich ausgewogener die Belange des Immissions-, Natur- und Artenschutzes berücksichtigen – im

Erfolgsfall eine Innovation, die den Bundesländern das Erreichen der Flächenziele in Zukunft deutlich einfacher machen könnte.

**Dr. Jan-Hendrik Piel**  
**Tobias Bohne M.Sc.**  
**Prof. Dr.-Ing. habil. Raimund Rolfes**

→ Infos und Kontaktdaten ab Seite 68

## Zu Klimaschutzmaßnahmen frei und kostenlos im Open Access publizieren – „Open Access Week“ Ende Oktober

Jedes Jahr findet Ende Oktober die internationale „Open Access Week“ statt, an der sich die TIB beteiligt: mit einer Ausstellung im Foyer der Bibliothek, einem Escape-Room sowie mehreren Onlineveranstaltungen rund um das wissenschaftliche Publizieren (<https://tib.eu/open-access-week-2022>). In diesem Jahr lautet das Motto „Open for Climate Justice“.

Seit über 40 Jahren publizieren Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler über Klimawandel und Klimaschutzmaßnahmen. Aber das Verständnis der Probleme reicht nicht aus, um sie zu lösen. Gefragt sind jetzt Menschen, die diese Artikel außerhalb der Universitäten lesen: Policy-Entwicklung, NGOs, Industrie, öffentliche Verwaltung. Aber nur wenige von ihnen haben ein Abo für wissenschaftliche Zeitschriften. Allein in der EU verursacht die Bezahlschranke vieler Artikel jedes Jahr einen wirtschaftlichen Schaden von schätzungsweise 10 Milliarden Euro (<https://sparcopen.org>). „Wer zum Klimaschutz effektiv beitragen will, sollte entsprechend „Open Access“ veröffentlichen.“ Das rät Pietro Altermatt, ehemaliger Mitarbeiter der Abteilung Solarenergie am Institut für Festkörperphysik der LUH und aktiv bei Scientists 4 Future Hannover. Sein Kollege Florian Oppermann ergänzt: „Was nützt der beste Artikel, wenn er die Menschen, für die er relevant ist, nicht erreicht? Beachten Sie, wie wichtig NGOs sind, weil sie Strategien zur Klimaanpassung entwickeln, und wie wichtig dies für Länder ist, die weit mehr unter dem Klimawandel leiden als wir.“

„Open Access“ ist das Kästchen, das bei der Einreichung von Manuskripten oft standardmäßig mit „Nein“ angekreuzt ist und dazu führt, das Leser\*innen für die gewünschten Artikel Geld bezahlen müssen. Die Option „Ja“ dagegen ist oft mit einem so genannten „Article Processing Charge“ (APC) von mehreren tausend Euro verbunden, den die Autor\*innen übernehmen müssten. Eine Regelung, die das freie Lesen und Informieren schwierig macht. LUH und TIB stellen daher für Mitglieder der LUH einen Fonds zur Verfügung, um für Open Access zu zahlen (<https://tib.eu/openaccess>). Das Antragsverfahren ist einfach gestaltet und an Bedingungen geknüpft: So wird für Corresponding Authors der LUH bezahlt, die Förderung liegt bei maximal 2.000 Euro.

### Florian Oppermann

Doktorand am Institut für Theoretische Physik der LUH und aktiv bei Scientists 4 Future Hannover  
<https://s4f-hannover.de/>

### Dr. Sarah Dellmann

Stv. Bereichsleitung Publikationsdienste an der TIB

**TIB** LEIBNIZ-INFORMATIONSZENTRUM  
TECHNIK UND NATURWISSENSCHAFTEN  
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK



OCTOBER 24-30, 2022

 International  
Open Access Week

## Open for Climate Justice

#OpenForClimateJustice

### Open Access Angebote der TIB für LUH-Angehörige

Viele verbinden Open Access mit Artikelgebühren (APCs), aber die Technische Informationsbibliothek (TIB) bietet allen (ehemaligen) LUH-Angehörigen auch kostenfreie Alternativen:

- Im **LUH-Repository** können Publikationen kostenfrei, rechtsicher und mit DOI veröffentlicht werden. Dies ist oft auch für Artikel möglich, die bereits hinter einer Bezahlschranke oder in Print veröffentlicht wurden. <https://www.repo.uni-hannover.de/>
- Der **Verlag TIB Open Publishing** bietet Ihnen die Möglichkeit, Open-Access-Konferenzpublikationen und -Zeitschriften kostengünstig herauszugeben. <https://www.tib-op.org/>
- Verträge mit verschiedenen Verlagen ermöglichen LUH-Mitgliedern kostenfreies Open-Access-Publizieren oder bieten Rabatte auf die APCs. Der **Publikationsfonds** übernimmt die Kosten für Open-Access-Artikel und -Bücher unter bestimmten Bedingungen. <https://tib.eu/openaccess>
- Programm der Open-Access-Woche: <https://tib.eu/open-access-week-2022>

# KEINEN BOCK AUF EINE BESCHISSENE ZUKUNFT?\*

Wir suchen  
Programmierer und  
andere Klimaretter  
(w/m/d).

Komm ins Team nach Oldenburg und  
arbeite mit uns an der Energiewende!

- ▶ Software-Entwickler Python/Java
- ▶ Datenanalyst/Data Scientist
- ▶ IT-Systemadministrator



Und weitere Stellen! (w/m/d)

\*Software-Entwicklung mit Sinn

[energymeteo.de/career](https://energymeteo.de/career)

**emsys**grid  
services

**emsys**vpp

**energy & meteo**  
systems

# KANN DAS ARBEITSKLIMA CO<sub>2</sub> REDUZIEREN?

HIER PASSIERT'S!

Jetzt bewerben:  
[szag.com/karriere](https://szag.com/karriere)  
#karrierevorwärts



**SALZGITTERAG**  
Mensch, Stahl und Technologie

# Die Autorinnen und Autoren



## **Bakr Bagaber M. Sc.**

Jahrgang 1987, ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Leibniz Universität Hannover. Sein Arbeitsschwerpunkt ist die Untersuchung von leistungselektronischen Umrichtersystemen für Flugwindenergieanlagen am Institut für Antriebssystemen und Leistungselektronik.

Kontakt: [pbakr.bagaber@ial.uni-hannover.de](mailto:pbakr.bagaber@ial.uni-hannover.de)



## **Tobias Bohne, M.Sc.**

Jahrgang 1987, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Statik und Dynamik an der Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie und leitet dort eine kleine Gruppe im Bereich der Akustik.

Sein Forschungsschwerpunkt ist die Schallminderung und die Schallausbreitung in komplexen Umgebungen, wie in der Atmosphäre oder im Ozean.

Kontakt: [t.bohne@isd.uni-hannover.de](mailto:t.bohne@isd.uni-hannover.de)



## **Prof. Dr. Hans-Peter Braun**

Jahrgang 1962, ist seit 2008 Professor für Pflanzenproteomik am Institut für Pflanzen-genetik an der Naturwissenschaftlichen Fakultät. Er forscht über den Energiestoffwechsel der Pflanzen. Er ist Mitglied im Senat, Senatssprecher und er leitet die Senats-Arbeitsgruppe Nachhaltigkeit.

Kontakt: [braun@genetik.uni-hannover.de](mailto:braun@genetik.uni-hannover.de)



## **Dr. Dennis Bredemeier**

Jahrgang 1990, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Solarenergie am Institut für Festkörperphysik. Er forscht zur Berechnung von Solarpotentialen und deren Bedeutung für das zukünftige Energiesystem.

Kontakt: [bredemeier@solar.uni-hannover.de](mailto:bredemeier@solar.uni-hannover.de)



## **Dr.-Ing. Maïke Beier**

Jahrgang 1964, ist Leiterin des Forschungsfelds Abwasser und Wassermanagement am Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Fakultät Bauingenieurwesen und Geodäsie. Ihre Arbeitsschwerpunkte sind die Konzept- und Verfahrensentwicklung der Abwasserableitung, -reinigung und -kreislaufführung im Kontext industrieller und kommunaler Fragestellungen.

Kontakt: [beier@isah.uni-hannover.de](mailto:beier@isah.uni-hannover.de)



## **Prof. Dr. habil. Michael H. Breitner**

Jahrgang 1963, leitet seit 2002 das Institut für Wirtschaftsinformatik und ist Gründungsvorstand des Leibniz Forschungszentrums Energie 2050. Seine Forschungsschwerpunkte sind Energie- und Mobilitätsforschung, Energiewirtschaft, Klimaschutz, Wirtschafts- und Energieinformatik sowie Operations Research.

Kontakt: [breitner@iwi.uni-hannover.de](mailto:breitner@iwi.uni-hannover.de)



## **Prof. Dr. Nadja C. Bigall**

Jahrgang 1979, ist Professorin am Institut für Physikalische Chemie und Elektrochemie an der Naturwissenschaftlichen Fakultät. Ihre Arbeitsschwerpunkte sind die Herstellung von Funktionalen Nanostrukturen aus kolloidalen Nanopartikeln und deren Struktur-Eigenschafts-Beziehungen.

Kontakt: [nadja.bigall@pci.uni-hannover.de](mailto:nadja.bigall@pci.uni-hannover.de)



## **Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel**

Jahrgang 1961, ist Professor am Institut für Festkörperphysik an der Fakultät für Mathematik und Physik sowie Wissenschaftlicher Leiter des niedersächsischen Instituts für Solarenergieforschung in Hameln/Emmertal. Seine Arbeitsschwerpunkte sind die Entwicklung der Technologie, Messtechnik und Simulation von kristallinen Siliziumsolarzellen.

Kontakt: [rolf.brendel@solar.uni-hannover.de](mailto:rolf.brendel@solar.uni-hannover.de)

**Prof. Dr. Till Bruckermann**

Jahrgang 1988, ist Professor für Lehr-Lernforschung in innovativen, außerschulischen Lern- und Entwicklungsräumen am Institut für Erziehungswissenschaft. Sein Forschungsschwerpunkt liegt auf Bedingungen und Möglichkeiten der Förderung eines Wissenschaftsverständnisses durch die Beteiligung an wissenschaftlichen Tätigkeiten.

Kontakt: [till.bruckermann@iew.uni-hannover.de](mailto:till.bruckermann@iew.uni-hannover.de)

**Dr.-Ing. Udo Feuerhake**

Jahrgang 1982, ist Post-Doc am Institut für Kartographie und Geoinformatik. Seine Forschungsschwerpunkte liegen im Bereich der Analyse und Visualisierung raum-zeitlicher Daten. Kontakt: [udo.feuerhake@ikg.uni-hannover.de](mailto:udo.feuerhake@ikg.uni-hannover.de)

**Prof. Dr. Friedrich Dinkelacker**

Jahrgang 1961, ist Professor und geschäftsführender Leiter des Instituts für Technische Verbrennung an der Fakultät für Maschinenbau. Seine Arbeitsschwerpunkte sind die physiko-chemischen Prozesse der Verbrennung und ihre Anwendungen, mit dem zunehmenden Schwerpunkt der Verbrennung nachhaltig erzeugter Brennstoffe.

Kontakt: [dinkelacker@itv.uni-hannover.de](mailto:dinkelacker@itv.uni-hannover.de)

**Prof. Dr.-Ing. Jens Friebe**

Jahrgang 1984, ist Juniorprofessor am Institut für Antriebssysteme und Leistungselektronik an der Fakultät für Elektrotechnik und Informatik. Seine Forschungsschwerpunkte sind leistungselektronische Energiewandler und ihre Komponenten für den Einsatz im Bereich erneuerbarer Energien, elektronischer Lasten und neuartiger Antriebskonzepte.

Kontakt: [friebe@ial.uni-hannover.de](mailto:friebe@ial.uni-hannover.de)

**Apl.-Prof. Dr. Dirk Dorfs**

Jahrgang 1976, ist Arbeitsgruppenleiter am Institut für Physikalische Chemie und Elektrochemie an der Naturwissenschaftlichen Fakultät. Seine Arbeitsschwerpunkte sind die Herstellung und Untersuchung von kolloidalen Nanopartikeln mit komplexen Formen und komplexen Zusammensetzungen.

Kontakt: [dirk.dorfs@pci.uni-hannover.de](mailto:dirk.dorfs@pci.uni-hannover.de)

**Dr. Steven Gronau**

Jahrgang 1985, ist Projektleiter am Institut für Umweltökonomik und Welthandel der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät. Seine aktuellen Arbeitsschwerpunkte umfassen Themen der Energiewirtschaft, Luftfahrt, Nachhaltigkeit, volkswirtschaftlichen Modellierung und Simulation, sowie Wissenschaftskommunikation.

Kontakt: [gronau@iuw.uni-hannover.de](mailto:gronau@iuw.uni-hannover.de)

**Dipl.-Ing. Andreas Ehrmann**

Jahrgang 1981, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter und Leiter der Koordinierungsstelle ForWind Hannover. Die Koordinierungsstelle vernetzt die Forschungsaktivitäten an der LUH im Bereich der Windenergie sowohl untereinander als auch mit der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg und der Universität Bremen. Kontakt: [andreas.ehrmann@forwind.uni-hannover.de](mailto:andreas.ehrmann@forwind.uni-hannover.de)

**Prof. Dr.-Ing. Richard Hanke-Rauschenbach**

Jahrgang 1978, ist Professor am Institut für elektrische Energiesysteme an der Fakultät für Elektrotechnik und Informatik. Er ist ferner Sprecher des Leibniz Forschungszentrums Energie 2050. Seine Arbeitsschwerpunkte sind u.a. die Wasserelektrolyse, elektrische Energiespeichersysteme sowie Fahrzeugenergiesysteme. Kontakt: [hanke-rauschenbach@ifes.uni-hannover.de](mailto:hanke-rauschenbach@ifes.uni-hannover.de)

**David Elshof, M.Sc.**

Jahrgang 1994, hat an der TU Berlin Maschinenbau studiert. Er ist seit 2022 als Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Turbomaschinen und Fluid Dynamik tätig. Seine Forschungsschwerpunkte liegen in der aerodynamischen Auslegung von Axialverdichtern. Des Weiteren beschäftigt er sich mit der Auslegung einer wasserstoffbetriebenen Drohne.

Kontakt: [elshof@tfd.uni-hannover.de](mailto:elshof@tfd.uni-hannover.de)

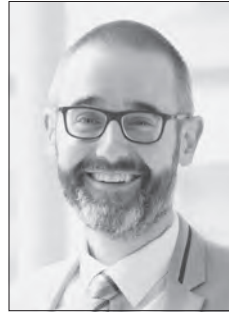
**M.Sc. Maximilian Heumann**

Jahrgang 1990, Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Wirtschaftsinformatik seit 2019, ist verantwortlich für die Projekte USEFUL und USEFUL-XT und darüber hinaus unterstützend tätig im Rahmen des Forschungsprojektes 5GAPS. Seine Forschungsschwerpunkte sind Energie- und Mobilitätsforschung und Entscheidungsunterstützungssysteme.

Kontakt: [heumann@iwi.uni-hannover.de](mailto:heumann@iwi.uni-hannover.de)

**Daniel Heide**

Jahrgang 1993, ist seit 2018 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für elektrische Maschinen und Antriebssysteme. Sein Forschungsinteresse gilt der theoretischen Modellierung und Dimensionierung elektrischer Maschinen für den Einsatz in Flugwindenergieanlagen sowie der Analyse parasitärer Effekte im elektrischen Antriebssystem  
Kontakt: [daniel.heide@ial.uni-hannover.de](mailto:daniel.heide@ial.uni-hannover.de)

**Prof. Dr.-Ing. Stephan Köster**

Jahrgang 1971, ist Geschäftsführender Leiter des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik an der Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie. Seine Arbeitsschwerpunkte sind die Zukunftsentwicklungen in der Siedlungswasserwirtschaft und die Ausgestaltung ihrer Infrastrukturen.  
Kontakt: [koester@isah.uni-hannover.de](mailto:koester@isah.uni-hannover.de)

**Prof. Dr.-Ing. habil. Lutz Hofmann**

Jahrgang 1968, ist seit Oktober 2007 Leiter des Instituts für Elektrische Energiesysteme an der Leibniz Universität Hannover und vertritt dort als Professor das Fachgebiet Elektrische Energieversorgung. Sein Arbeitsschwerpunkt ist die Transformation des Elektroenergiesystems.  
Kontakt: [hofmann@ifes.uni-hannover.de](mailto:hofmann@ifes.uni-hannover.de)

**Prof. Dr.-Ing. Hans Jürgen Maier**

Jahrgang 1960, wurde 1999 auf den Lehrstuhl für Werkstoffkunde an die Universität Paderborn berufen und ist seit Oktober 2012 Institutsdirektor am IW an der Leibniz Universität Hannover. Schwerpunkt seiner Forschung ist die Prozess-Mikrostruktur-Eigenschaftskorrelation von Hochleistungswerkstoffen.  
Kontakt: [maier@iw.uni-hannover.de](mailto:maier@iw.uni-hannover.de)

**Prof. Dr. Marcus A. Horn**

Jahrgang 1973, ist seit 2016 Professor für Boden- und Umweltmikrobiologie am Institut für Mikrobiologie an der Naturwissenschaftlichen Fakultät. Er forscht unter anderem an der Mikrobiologie der anaeroben Fütterungskette in natürlichen und technischen Systemen, der Klimawandelmikrobiologie sowie dem Einfluss von Mikroplastik auf Umweltmikrobiome.  
Kontakt: [horn@ifmb.uni-hannover.de](mailto:horn@ifmb.uni-hannover.de)

**Niklas Maroldt, M.Sc.**

Jahrgang 1993, hat an der Leibniz Universität Hannover Wirtschaftsingenieurwesen studiert. Er ist seit Februar 2019 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Turbomaschinen und Fluid Dynamik (TFD) tätig. Seine Forschungsschwerpunkte liegen in der Aeroelastik von Axialverdichtern.  
Kontakt: [maroldt@tfd.uni-hannover.de](mailto:maroldt@tfd.uni-hannover.de)

**Dr.-Ing. Clemens Hübler**

Jahrgang 1989, ist Postdoktorand am Institut für Statik und Dynamik und leitet die Gruppe „Unschärfe nichtlinearer Strukturen unter dynamischer Belastung“. Seine Forschungsschwerpunkte liegen im Bereich der Modellanpassung für digitale Zwillinge, der Unschärfemodellierung und der Strukturdynamik von Windenergieanlagen.  
Kontakt: [c.huebler@isd.uni-hannover.de](mailto:c.huebler@isd.uni-hannover.de)

**Prof. Dr.-Ing. Axel Mertens**

Jahrgang 1962, leitet das Institut für Antriebssysteme und Leistungselektronik (IAL), war Gründungssprecher des Leibniz Forschungszentrums Energie 2050 (LiFE 2050) und ist Vorstandsmitglied von LiFE 2050. Seine Forschungsinteressen betreffen die Leistungselektronik und ihre Regelung, insbesondere auch Betrieb im Netzverbund. Er ist Leiter des Projektes RuBiCon.  
Kontakt: [mertens@ial.uni-hannover.de](mailto:mertens@ial.uni-hannover.de)

**Prof. Dr.-Ing. Stephan Kabelac**

Jahrgang, 1958, ist Leiter des Instituts für Thermodynamik (IfT) an der Fakultät für Maschinenbau. Seine Arbeitsschwerpunkte sind Wärme- und Stoffübertragung, Brennstoffzellen und Wasserelektrolyse sowie thermodynamische Kreisprozesse.  
Kontakt: [kabelac@ift.uni-hannover.de](mailto:kabelac@ift.uni-hannover.de)

**Stephanie Mittrach**

Jahrgang 1992, war bis 2021 wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Didaktik der Naturwissenschaften, Didaktik der Geographie der LUH und leitet seit Mai 2021 als Referentin für Nachhaltigkeit das Green Office der Leibniz Universität.  
Kontakt: [Stephanie.Mittrach@zuv.uni-hannover.de](mailto:Stephanie.Mittrach@zuv.uni-hannover.de)



**Dr.-Ing. Dajan Mimic**

Jahrgang 1990, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Turbomaschinen und Fluid-Dynamik an der Fakultät für Maschinenbau und leitet die Axialverdichter-Arbeitsgruppe des Instituts. Seine Arbeitsschwerpunkte sind die Modellierung von Verdichterströmungen sowie die Integration von Turbomaschinen in nachhaltige Flugantriebskonzepte.

Kontakt: [mimic@tfd.uni-hannover.de](mailto:mimic@tfd.uni-hannover.de)

**Dr. Raphael Niepelt**

Jahrgang 1982, ist Wissenschaftler am Institut für Festkörperphysik an der Fakultät für Mathematik und Physik sowie Leiter der Arbeitsgruppe Elektrische Energiesysteme am Institut für Solarenergieforschung in Hameln/Emmerthal. Seine Forschungsschwerpunkte sind Energiesystemanalyse und Sektorenkopplung auf verschiedenen Größenskalen vom Einzelgebäude bis hin zu ganzen Ländern.

Kontakt: [niepelt@solar.uni-hannover.de](mailto:niepelt@solar.uni-hannover.de)

**Apl. Prof. Dr.-Ing. habil. Kai Möhwald**

Jahrgang 1961, hat an der TU Dortmund Maschinenbau-Fertigungstechnologie studiert. Er ist seit 2002 Leiter des Bereichs FORTIS am IW der Leibniz Uni Hannover, hat sich 2009 habilitiert und wurde 2015 zum Apl. Prof. berufen. Schwerpunkt seiner Forschung ist die Oberflächentechnik und die Hochtemperatur-Löttechnik.

Kontakt: [moehwald@iw.uni-hannover.de](mailto:moehwald@iw.uni-hannover.de)

**Prof. Dr.-Ing. Bernd Ponick**

Jahrgang 1964, ist seit 2003 Professor für elektrische Maschinen und Antriebssysteme und leitet gemeinsam mit Prof. Mertens das Institut für Antriebssysteme und Leistungselektronik. Seine Arbeitsschwerpunkte sind zeiteffiziente Berechnungs- und Simulationsverfahren für elektrische Maschinen und die Analyse und Vermeidung unerwünschter Parasitäreffekte.

Kontakt: [ponick@ial.uni-hannover.de](mailto:ponick@ial.uni-hannover.de)

**Prof. Dr. Katharina Müller**

Jahrgang 1979, ist Professorin für Schulpädagogik mit dem Schwerpunkt Lehr- und Lernforschung am Institut für Erziehungswissenschaft und Direktorin für Studium und Lehre an der Leibniz School of Education. Ihre Forschungsschwerpunkte sind in den Bereichen der Lehr- und Lernforschung und der Professionalisierungsforschung angesiedelt

Kontakt: [katharina.mueller@iew.uni-hannover.de](mailto:katharina.mueller@iew.uni-hannover.de)

**Prof. Dr. Robby Peibst**

Jahrgang 1979, ist Leiter der Forschungsgruppe „Emergente Solarzellen-Technologien“ am Institut für Solarenergieforschung Hameln/Emmerthal (ISFH). Seine Forschungsschwerpunkte decken ein breites Spektrum von Grundlagenfragestellungen, Labordemonstratoren und anwendungsnahen Entwicklungsthemen und neuartige Solarzellenkonzepte ab.

Kontakt: [r.peibst@isfh.de](mailto:r.peibst@isfh.de)

**Dr.-Ing. Marco Munderloh**

ist Gruppenleiter am Institut für Informationsverarbeitung (tnt). Zu seinen Forschungsthemen zählen intelligente Steuerung und Kommunikation für zukünftige Stromnetze sowie KI für die Industriellen Produktion.

Kontakt: [munderl@tnt.uni-hannover.de](mailto:munderl@tnt.uni-hannover.de)

**Prof. Dr. Jürgen Peissig**

Jahrgang 1960, leitet die Gruppe Nachrichtenübertragungssysteme am Institut für Kommunikationstechnik der Fakultät für Elektrotechnik und Informatik. Seine Arbeitsschwerpunkte liegen unter anderem in der digitalen Signalverarbeitung für akustische Sensor- und Aktor-Arrays sowie der immersiven räumlichen Audioaufnahme, Analyse und Reproduktion.

Kontakt: [peissig@ikt.uni-hannover.de](mailto:peissig@ikt.uni-hannover.de)

**Dr. Martin Nicolaus**

Jahrgang 1968, ist seit November 2003 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am IW der Leibniz Universität Hannover tätig. Dort leitet er im Bereich Füge- und Oberflächentechnik die Fachgruppe Beschichtungstechnik. Sein Forschungsschwerpunkt liegt im Bereich des Thermischen Spritzens und des Hochtemperaturlötens von Nickelbasislegierungen.

Kontakt: [nicolaus@iw.uni-hannover.de](mailto:nicolaus@iw.uni-hannover.de)

**Dr. Jan-Hendrik Piel**

Jahrgang 1991, ist Mitgründer des Science-Spinoff Nefino GmbH. Sein Arbeitsschwerpunkt ist der Vertrieb von Analyse- und Softwaredienstleistungen für die Flächensicherung und Projektentwicklung von Wind- und Solarparks in Deutschland und Europa.

Kontakt: [jan-hendrik.piel@nefino.de](mailto:jan-hendrik.piel@nefino.de)

**Dr.-Ing. Stephan Preihs**

Jahrgang 1983, ist Postdoc und Fachgruppenleiter am Institut für Kommunikationstechnik der Fakultät für Elektrotechnik und Informatik. Seine Arbeitsschwerpunkte liegen in der digitalen Signalverarbeitung für Audio und Akustik sowie der psychoakustischen Analyse und Modellierung.  
Kontakt: [preihs@ikt.uni-hannover.de](mailto:preihs@ikt.uni-hannover.de)

**Dr.-Ing. Volker Schöber**

Jahrgang 1963, ist Geschäftsführer des Leibniz Forschungszentrum Energie 2050 (LiFE 2050). Sein Arbeitsschwerpunkt ist die Unterstützung der interdisziplinären und transdisziplinären Forschung an der Leibniz Universität Hannover für nachhaltige Energiesysteme. Kontakt: [volker.schoeber@energie.uni-hannover.de](mailto:volker.schoeber@energie.uni-hannover.de)

**Prof. Dr.-Ing. habil. Raimund Rolfes**

Jahrgang 1960, ist Professor und geschäftsführender Leiter des Instituts für Statik und Dynamik an der Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie sowie Leiter des Testzentrums Tragstrukturen Hannover (TTH) und Sprecher des Sonderforschungsbereichs SFB 1463 Offshore Megastrukturen.  
Kontakt: [r.rolfes@isd.uni-hannover.de](mailto:r.rolfes@isd.uni-hannover.de)

**Prof. Dr. Margrit Seckelmann**

Jahrgang 1970, ist Professorin für Öffentliches Recht und das Recht der digitalen Gesellschaft an der Leibniz Universität Hannover. Ihre Arbeitsschwerpunkte sind Öffentliches Recht, IT-Recht sowie das Recht der Energiewende und der neuen Technologien. Kontakt: [margrit.seckelmann@iri.uni-hannover.de](mailto:margrit.seckelmann@iri.uni-hannover.de)

**M. Sc. Nadine Rüppel**

Jahrgang 1988, ist wissenschaftliche Mitarbeiterin und Doktorandin am Institut für Mikrobiologie in der AG Boden- und Umweltmikrobiologie. Ihre Forschungsschwerpunkte sind der intermediäre Metabolismus in Biogasanlagen und die Mikrobiologie der Kompostierung von biologisch abbaubarem Plastik. Kontakt: [nadine.rueppel@ifmb.uni-hannover.de](mailto:nadine.rueppel@ifmb.uni-hannover.de)

**Prof. Dr. Gunther Seckmeyer**

Jahrgang 1960, ist Professor am Institut für Meteorologie und Klimatologie, Fakultät für Mathematik und Physik. Seine Arbeitsschwerpunkte sind u.a. die Messung der räumlichen, zeitlichen und spektralen Verteilung der Sonnenstrahlung, solare Energiemeteorologie sowie die Auswirkungen des Klimawandels auf die Wolken.  
Kontakt: [seckmeyer@muk.uni-hannover.de](mailto:seckmeyer@muk.uni-hannover.de)

**Prof. Dr. Sascha Schanze**

Jahrgang 1969, ist Professor für Didaktik der Chemie am Institut für Didaktik der Naturwissenschaften und Direktor der Leibniz School of Education. Seine Forschungsschwerpunkte sind das digital gestützte und das kollaborative Lernen zur Förderung des Verständnisses fachlicher Konzepte sowie das forschende Lernen. Kontakt: [schanze@idn.uni-hannover.de](mailto:schanze@idn.uni-hannover.de)

**Prof. Dr.-Ing. habil. Monika Sester**

Jahrgang 1961, ist Professorin und Leiterin des Instituts für Kartographie und Geoinformatik. In der Forschung beschäftigt sie sich mit ihrem Team mit Fragen zur Automation in der räumlichen Datenverarbeitung, etwa der Dateninterpretation, der Ableitung von Karten unterschiedlicher Maßstäbe oder der Visualisierung.  
Kontakt: [monika.sester@ikg.uni-hannover.de](mailto:monika.sester@ikg.uni-hannover.de)

**Dr.-Ing. Sven Scheffler**

Jahrgang 1979, leitet die Abteilung Verbunde des Instituts für Statik und Dynamik an der Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie. Seine Forschungsschwerpunkte liegen in der numerischen Berechnung von Faserverbundwerkstoffen im strukturellen Leichtbau in der Windenergie und der Luftfahrt.  
Kontakt: [s.scheffler@isd.uni-hannover.de](mailto:s.scheffler@isd.uni-hannover.de)

**Prof. Dr.-Ing. Jörg Seume**

Jahrgang 1958, ist Professor am Institut für Turbomaschinen und Fluid-Dynamik der Fakultät für Maschinenbau. Er war Sprecher des Sonderforschungsbereichs (SFB) 871, „Regeneration komplexer Investitionsgüter“, in dem von 2010 bis 2022 die wissenschaftlichen Grundlagen der Regeneration erforscht wurden.  
Kontakt: [seume@tfd.uni-hannover.de](mailto:seume@tfd.uni-hannover.de)



**Dr.-Ing. Jörn Steinbrink**

Jahrgang 1969, ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Elektrische Maschinen und Antriebe der Universität Hannover. Seine Arbeitsschwerpunkte sind die elektromagnetische Berechnung elektrischer Maschinen.

Kontakt: [steinbrink@ial.uni-hannover.de](mailto:steinbrink@ial.uni-hannover.de)



**M.Sc. Oskar Wage**

Jahrgang 1993, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter und Doktorand am Institut für Kartographie und Geoinformatik. Sein Forschungsschwerpunkt ist die räumliche Datenverarbeitung im Bereich der urbanen Logistik und Mobilität.

Kontakt: [oskar.wage@ikg.uni-hannover.de](mailto:oskar.wage@ikg.uni-hannover.de)



**Prof. Dr. Christina von Haaren**

Jahrgang 1954, ist seit 1998 Professorin für Landschaftsplanung und Naturschutz am Institut für Umweltplanung. Sie forscht zu Biodiversität und Ökosystemleistungen in der Umweltplanung unter Einbindung von Adressaten der Forschungsergebnisse. Seit 2019 ist sie Vizepräsidentin für Internationales und Nachhaltigkeit der Leibniz Universität Hannover.

Kontakt: [haaren@umwelt.uni-hannover.de](mailto:haaren@umwelt.uni-hannover.de)



**Prof. Dr.-Ing. Peter Werle**

Jahrgang 1968, ist Leiter des Fachgebietes Hochspannungstechnik und Asset Management (Schering-Institut).

Kontakt: [peter.werle@ifes.uni-hannover.de](mailto:peter.werle@ifes.uni-hannover.de)

# HANNOVER

**WASSERSTOFF  
REGION HANNOVER**

Energiewende durch grüne Wasserstoffproduktion

## FAHRTZIEL: ZUKUNFT! WASSERSTOFFREGION HANNOVER

[generationh2.de](http://generationh2.de)

- Leistungsfähige Infrastruktur
- Zielführende Investitionen
- Starkes Netzwerk

- Innovative Forschung
- Zukunftsorientierte Bildung und Qualifizierung

**WIRTSCHAFTSFÖRDERUNG**



Lidl lohnt sich

# JOB UND STUDIUM? KEIN PROBLEM!

Werde **Studentenjobber** (m/w/d) im Verkauf oder Logistikzentrum und profitiere von **flexiblen Arbeitszeiten!**

#teamlidl

**JETZT BEWERBEN: JOBS.LIDL.DE**



Aus Gründen der leichten Lesbarkeit verwenden wir im Textverlauf sowie bei Jobtiteln die männliche Form der Anrede, womit stets alle Geschlechter (m/w/d) gemeint sind. Selbstverständlich sind bei Lidl Menschen jeder Geschlechtsidentität willkommen.  
\*Mindeststeiglohn für tarifl. Mitarbeiter 14€/Std. (auch ohne abgeschlossene Berufsausbildung), je nach Erfahrung und Tarifgebiet deutlich mehr. Gilt nicht für Praktikum, Ausbildung, Abiprogramm sowie Duales Studium.  
Azubis starten mit 1100€. Teilnehmer im Abiprogramm mit 1200€, Duale Studenten mit 1500€/Monat (bei Vollzeit), Praktikanten erhalten 1000€/Monat (Pflichtpraktikum Studenten).

GETEC | ENERGIE

**GESTALTEN SIE MIT  
UNS DIE ENERGIE-  
WELT VON MORGEN.**

## LEBENDIG. FAMILÄR. HERAUSFORDERND.

So beschreiben unsere Mitarbeitenden die Arbeitsatmosphäre bei uns. Mitten in Hannover arbeiten wir gemeinsam an nachhaltigen Energielösungen. Wir geben unser Bestes, damit unsere Kunden sich auf ihr Kerngeschäft konzentrieren können. **Studierenden** bieten wir **interessante Einstiegsmöglichkeiten** z.B. als Trainees oder bereits während des Studiums als Werkstudenten in den Bereichen Energiewirtschaft, Finance und IT. Lassen Sie uns zusammen die Welt grüner machen.



**JETZT BEWERBEN!**

[getec-energie.de/karriere](https://getec-energie.de/karriere)

#TEAMGETEC

Kompetent. Zuverlässig. Nachhaltig.

DR. SCHIPPKE + PARTNER mbB  
ist eine Ingenieurgesellschaft  
mit Sitz in Hannover.

Wir erbringen Ingenieurleistungen  
aus den Bereichen  
**Bauwesen, Maschinenbau und  
Elektrotechnik.**



Unsere Hauptaufgaben bestehen in der Entwurfs- und Ausführungsplanung sowie der Objektüberwachung und der Begutachtung von Objekten des Beweglichen Stahlbaus (Brücken, Krane, Großgeräte) und des Stahlwasserbaus, einschließlich der zugehörigen Technischen Ausrüstung (Antriebe, E-MSR), des Festen Brückenbaus, des Theater- und Bühnenbaus und des Allgemeinen Ingenieurhochbaus.

Zur Verstärkung unseres Teams  
suchen wir **zu sofort** einen **Ingenieur, Fachbereich  
Elektro- und Informationstechnik (m/w/d)**  
(oder verwandter Bereiche)

Dich erwarten interessante und abwechslungsreiche Aufgaben in einem hochmotivierten, engagierten und kollegialen Team. Wir bieten eine angemessene Bezahlung sowie flexible Arbeitszeiten (Gleitzeit, Homeoffice etc.) an.  
Weitere Informationen findest Du auf unserer Website unter „Stellenanzeigen“.

Haben wir Dein Interesse geweckt?

Sende uns Deine Bewerbungsunterlagen  
mit Gehaltsvorstellung und Angabe des  
möglichen Eintrittstermins vorzugsweise  
per E-Mail an:



DR. SCHIPPKE + PARTNER mbB  
Prinzenstraße 8  
30159 Hannover

Bewerbung@dr-schippke.de

www.dr-schippke.de

Wir machen Schifffahrt möglich.



**DAMIT ALLES LÄUFT** Das Wasserstraßen-Neubauamt Hannover ist Teil eines 357.582 km<sup>2</sup> großen Karrierenetzwerks, bestehend aus über 40 Behörden mit rund 24.000 Beschäftigten. Mehr unter:  
<http://www.damit-alles-laeuft.de>

Das Wasserstraßen-Neubauamt Hannover (WNA Hannover) ist für die Umsetzung größerer Instandsetzungs-, Umbau- und Neubaumaßnahmen zuständig.

Das Wasserstraßen-Neubauamt Hannover sucht laufend

**Bauingenieurinnen und  
Bauingenieure (m/w/d) sowie  
Ingenieurinnen und  
Ingenieure (m/w/d)  
diverser Fachrichtungen für  
anspruchsvolle Projekte im Bereich  
Wasserbau**

Der Dienort ist Hannover.

Aktuelle Stellenangebote sowie weitere Informationen erhalten Sie über das Internet unter [jobboerse.bmdv.bund.de](http://jobboerse.bmdv.bund.de)

Bitte geben Sie dort bei Ort/PLZ „Hannover“ ein.



Die Abwasserbetriebe Weserbergland AöR sind für die ordnungsgemäße Abwasserbeseitigung und Abwasserreinigung im Stadtgebiet der Stadt Hameln zuständig. Als zuverlässiger Dienstleister betreiben wir eine 200.000 EW große Kläranlage, ein rund 480 km langes Kanalnetz, 40 Abwasserpumpwerke, 28 Rückhaltebecken und zahlreiche Sonderbauwerke.

„Leiste deinen Beitrag  
für Umwelt und Gesellschaft“ als

**Praktikant/-in oder Berufseinsteiger/-in**

(nach Verfügbarkeit)  
in folgenden Bereichen:

- Siedlungswasserwirtschaft
- Bauingenieurwesen
- Verfahrens- und Umwelttechnik
- Elektrotechnik und Maschinenbau
- Informatik (Betriebssysteme, Netzwerke, GIS, Kanaldatenbank)
- Verwaltungskraft

Wir bieten:

- Eine interessante und abwechslungsreiche Tätigkeit im Innen- und Außendienst
- Ein engagiertes Team und ein professionelles, modernes Arbeitsumfeld
- Flexible und familienfreundliche Arbeitszeitregelungen
- Fort- und Weiterbildungsmöglichkeiten

Anfragen und Bewerbungen an: [info@ab-wl.de](mailto:info@ab-wl.de)



[www.abwasserbetriebe-weserbergland.de](http://www.abwasserbetriebe-weserbergland.de)

# Personalia und Preise

## BERUFUNGEN

### Rufe an die Leibniz Universität Hannover

Prof. Dr. **Helmut Philipp Aust** hat den Ruf auf die W3-Professur „Öffentliches Recht mit einem internationalen Schwerpunkt“ erhalten.

**Sarah Bechtle** hat den Ruf auf die W1-Juniorprofessur „Deep Learning“ abgelehnt.

**Sandipan Sikdar** hat den Ruf auf die W1-Juniorprofessur „Deep Learning“ angenommen.

Dr.-Ing. **Silvia Budday** hat den Ruf auf die W2-Professur mit Tenure Track nach W3 für „Höchstleistungsrechnen in der Mechanik“ erhalten.

Prof. Dr. **Anette Freytag** hat den Ruf auf die W2-Professur „Geschichte der Landschaftsarchitektur und Gartendenkmalpflege“ abgelehnt.

Prof. Dr. **Britta Freitag-Hild** hat den Ruf auf die W3-Professur „Didaktik des Englischen“ abgelehnt.

Dr.-Ing. **Rainer Maria Groh** hat den Ruf auf die W2-Professur mit Tenure-Track nach W3 „Statik und Dynamik“ erhalten.

Dr. **Catherine Herfeld** hat den Ruf auf die W2-Professur „Philosophie und Geschichte der Ökonomik“ erhalten.

Dr. F. **Ömer Ilday** hat den Ruf auf die W3-Professur „Integrierte Faseroptik“ abgelehnt.

Dr. **Yupeng Jiang** hat den Ruf auf die W1-Professur mit Tenure Track nach W2 „Partikel-Methoden in der Mechanik“ erhalten.

Prof. Dr. **Henning Laux** hat den Ruf auf die W3-Professur „Soziologische Theorien der Wissensgesellschaft“ erhalten.

Prof. Dr. **Florin-Silviu Manea** hat den Ruf auf die W3-Professur „Automaten und formale Sprachen“ (Heisenberg-Professur) abgelehnt.

Dr. **Dominic Nyhuis** hat den Ruf auf die W2-Professur mit Tenure Track nach W3 „Quantitative Methoden der Politikwissenschaft“ angenommen.

Dr. **Eleni Papadonikolaki** hat den Ruf auf die W3-Professur „Baumanagement und Prozessautomatisierung“ abgelehnt.

Dr. **Agnes Rosner** hat den Ruf auf die W2-Professur „Allgemeine Psychologie“ angenommen.

Dr. **Koustav Rudra** hat den Ruf auf die W1-Juniorprofessur „Deep Learning“ abgelehnt.

Dr. **Manuel Bastias Saavedra** hat den Ruf auf die W2-Professur mit Tenure-Track nach W3 „Geschichte Lateinamerikas“ angenommen.

Prof. Dr. **Armin Schikorra** hat den Ruf auf die W3-Professur „Analysis“ erhalten.

Prof. Dr. **Matthias Schütt** hat den Ruf auf die W3-Professur „Algebraische Geometrie“ erhalten.

Prof. Dr. **Britta Viebrock** hat den Ruf auf die W3-Professur „Didaktik des Englischen“ erhalten.

Dr. **Annika Meike Wille** hat den Ruf auf die W2-Professur „Didaktik der Mathematik“ angenommen.

Juniorprof. Dr. **Henning Wachsmuth** hat den Ruf auf die W3-Professur „Künstliche Intelligenz“ angenommen.

Prof. Dr. **Artur Widera** hat den Ruf auf die W3-Professur „Quantenoptik mit nichtklassischen Materiezuständen“ erhalten.

### Rufe nach außerhalb

Prof. Dr. **Georg Steinhauser** hat den Ruf auf die Professur „Angewandte Radiochemie“ der Technischen Universität Wien angenommen.

PD Dr. **Tatjana Hildebrandt**, hat den Ruf auf die W2-Professur mit Tenure Track nach W3 „Pflanzenstoffwechselbiochemie“ der Universität Köln angenommen.

Prof. Dr. **Imke Niediek** hat den Ruf auf die W3-Professur „Pädagogik und Didaktik im Förderschwerpunkt „Geistige Entwicklung“ der Pädagogischen Hochschule Heidelberg erhalten.

#### ERNENNUNG ZUR UNIVERSITÄTSPROFESSORIN / ZUM UNIVERSITÄTSPROFESSOR

Prof. Dr. **Alexandra Bach**,  
Fakultät für Architektur und  
Landschaft, mit Wirkung vom  
21.07.2022 mit Verleihung der  
Eigenschaft einer Beamtin auf  
Lebenszeit

Prof. Dr. **Antje Backhaus**,  
Fakultät für Architektur und  
Landschaft, mit Wirkung vom  
01.10.2022

Dr. **Elyas Ghafoori**, Fakultät  
für Bauingenieurwesen und  
Geodäsie, mit Wirkung vom  
15.09.2022

Prof. **Maria Antonia Kums**,  
Fakultät für Architektur und  
Landschaft, mit Wirkung vom  
01.10.2022

Prof. Dr. **Marius Lindauer**,  
Fakultät für Elektrotechnik  
und Informatik, mit Wirkung  
vom 08.08.2022 mit Verleihung  
der Eigenschaft eines Beamten  
auf Lebenszeit

Dr. **Annika Meike Wille**,  
Fakultät für Mathematik und  
Physik mit Wirkung vom  
01.10.2022

Dr. **Dominic Nyhuis**, Philoso-  
phische Fakultät, mit Wirkung  
vom 01.08.2022

Dr. **Manuel Bastias Saavedra**,  
Philosophische Fakultät, mit  
Wirkung vom 01.08.2022

Prof. Dr.-Ing. **Marc Christo-  
pher Wurz**, Fakultät für  
Maschinenbau, mit Wirkung  
vom 01.10.2022

Prof. Dr. **Henning Wachsmuth**,  
Fakultät für Elektro-  
technik und Informatik, mit  
Wirkung vom 01.10.2022

#### ERNENNUNG ZUR AUSSER- PLANMÄSSIGEN PROFESSORIN / ZUM AUSSERPLANMÄSSIGEN PROFESSOR

Apl. Prof. **Jan Philipp  
Schuchardt**, Naturwissen-  
schaftliche Fakultät mit  
Wirkung vom 02.02.2022

#### BESTELLUNG ZUR JUNIORPROFESSORIN / ZUM JUNIORPROFESSOR

Dr. **Karola Marky**, Fakultät  
für Elektrotechnik und  
Informatik, mit Wirkung  
vom 01.06.2022

Dr. **Nikolas Werner Eisen-  
traut**, Juristische Fakultät,  
mit Wirkung vom 15.08.2022

#### EINTRITT IN DEN RUHESTAND WEGEN ERREICHENS DER ALTERSGRENZE

Prof. Dr. **Günter Groß**,  
Fakultät für Mathematik und  
Physik, mit Ablauf des Monats  
September 2022

Prof. Dr. **Klaus Hulek**,  
Fakultät für Mathematik und  
Physik, mit Ablauf des Monats  
September 2022

#### VERSETZUNG IN DEN RUHESTAND VOR ERREICHEN DER ALTERSGRENZE

Prof. Dr. **Hans-Jörg Osten**,  
Fakultät für Elektrotechnik  
und Informatik, mit Ablauf  
des Monats September 2022

Prof. Dr. **Kay Waechter**, Juri-  
stische Fakultät, mit Ablauf des  
Monats September 2022

Prof. Dr. **Hansjörg Küster**,  
Naturwissenschaftliche Fa-  
kultät, mit Ablauf des Monats  
September 2022

#### VERSTORBEN

Prof. **Hans-Joachim Berthold**,  
ehemals Institut für Anorga-  
nische Chemie, verstarb am  
22.04.2022 im Alter von 98  
Jahren.

**Monika Guttmann**, ehemals  
Niedersächsisches Studienkol-  
leg, verstarb am 04.05.2022 im  
Alter von 63 Jahren.

Prof. Dr.-Ing. **Rolf Mull**,  
ehemals Institut für Hydrolo-  
gie und Wasserwirtschaft,  
verstarb am 29.07.2022 im  
Alter von 84 Jahren.

Prof. **Wilhelm Johannes**  
verstarb am 18.06.2022 im  
Alter von 86 Jahren.

**Henry Johns**, M.A., ehemals  
Institut interdisziplinäre  
Arbeitswissenschaft, verstarb  
am 01.09.2022 im Alter von  
72 Jahren.

Professor Dr. disc. pol. **Ulfert  
Herlyn**, ehemals Institut für  
Freiraumplanung und  
Planungsbezogene Soziologie,  
verstarb am 12.08.2022 im  
Alter von 86 Jahren.

#### PREISE UND AUSZEICHNUNGEN

Prof. Dr. **Detlef Kuhlmann**  
und Prof. Dr. **Gunter A. Pilz**,  
beide Institut für Sport-  
wissenschaft, sind mit der  
Goldenen Ehrennadel der  
Deutschen Vereinigung für  
Sportwissenschaft ausge-  
zeichnet worden.

Prof. Dr. **Gunnar Friege**,  
Institut für Didaktik der Ma-  
thematik und Physik, hat von  
der Initiative MINTvernetz  
den Preis MINTrakete 2022  
verliehen bekommen.

Das Präsidium der Leibniz  
Universität Hannover (LUH)  
hat auf Vorschlag des Senats  
Prof. Dr. **Wolfgang Ertmer** am  
30.05.22 die Ehrenbürgerwür-  
de verliehen. Mit der Würde  
eines Ehrenbürgers bezie-

hungsweise einer Ehrenbürgerin zeichnet die LUH Persönlichkeiten aus, die sich wesentliche Verdienste um die Universität erworben haben. Der Experimentalphysiker hat sich in den vergangenen Jahrzehnten mit unermüdlichem Einsatz für die Belange der Leibniz Universität Hannover eingesetzt und die Entwicklung der Universität in verschiedenen Funktionen wesentlich mitgestaltet, unter anderem als Vizepräsident für Forschung. In der Wissenschaft steht sein Name für Quantenforschung auf international höchstem Niveau.

#### SONSTIGES

#### Berufung als „Leibniz Emeriti“ durch das Präsidium:

Prof. Dr. **Wolfgang Ertmer** hat mit der Einwerbung des Exzellenzclusters QUEST sowie des Forschungsbaus HITec und dem Aufbau des DLR-Instituts für Satellitengeodäsie und Inertialsensorik den Forschungsschwerpunkt Quantenoptik und Gravitationsphysik inhaltlich und strukturell gestaltet und geprägt.

Prof. Dr. **Wolfgang-Uwe Friedrich** hat als Präsident der Universität Hildesheim, Senatsmitglied der Hochschulrektorenkonferenz und Vorsitzender der Landeshochschulkonferenz die Hochschul- und Wissenschaftspolitik in Niedersachsen und darüber hinaus geprägt. Durch seine Lehrtätigkeit und als Hannoveraner war er der LUH dabei eng verbunden.

Prof. Dr. **Axel Haverich** hat im Exzellenzcluster REBIRTH und seinen Vorgängerprojekten die Kooperation zwischen der Medizinischen Hochschule Hannover und der LUH geprägt. Als langjähriges

Mitglied im Hochschulrat der LUH war er bereits Berater der Hochschulleitung LUH.

Prof. Dr. **Klaus Hulek** hat als Vizepräsident für Forschung mit der Ausdifferenzierung des Forschungsprofils und der Einführung des Systems der interdisziplinären Leibniz Forschungsinitiativen, -zentren und -schulen Weichen für heutige Erfolge der LUH gestellt.

Prof. Dr. **Christiane Lemke-Dämpfling** hat mit ihren Erfahrungen – ob als Gastprofessorin in den USA oder Direktorin beim Niedersächsischen Landtag – neue (internationale) Impulse in ihr Wirkungsfeld an der LUH eingebracht. Sie ist gefragte Expertin im medialen Raum zu aktuellen Themen der internationalen Politik.

Prof. Dr. **Johann-Matthias Graf von der Schulenburg** hat im Kompetenzzentrum für Versicherungswissenschaften GmbH und dem Center for Health Economics Research Hannover den Dialog und die Zusammenarbeit mit Partneruniversitäten und Praxispartnern vorangetrieben und neue Studiengänge etabliert.

Prof. Dr.-Ing. **Peter Wriggers** hat als Vizepräsident für Forschung die Bewerbung der LUH als Exzellenzuniversität maßgeblich vorangetrieben und als Initiator des Dialogformats „Humboldt meets Leibniz“ dafür gesorgt, dass die LUH und der Wissenschaftsstandort Hannover international an Sichtbarkeit gewinnen.

#### NACHRUFE

#### Nachruf auf Thomas W. Williams

Am 21. Februar 2022 verstarb einer der Pioniere der Mikroelektronik, Thomas („Tom“) W. Williams, im Alter von

78 Jahren, der auch mit der Leibniz Universität Hannover über viele Jahre eng verbunden war. International bekannt wurde Tom Williams 1977 durch seine bahnbrechende Veröffentlichung (mit Co-Autor Ed Eichelberger) zum Level Sensitive Scan Design (LSSD), einem Design-Konzept, ohne das die Herstellung der heutigen komplexen integrierten Systeme nicht möglich wäre. Tom Williams wurde in den USA in Rochester, New York, geboren und studierte dort zunächst Elektrotechnik sowie anschließend Mathematik. Anschließend ging er zur IBM System Products Division in Boulder, Colorado, und befasste sich mit Problemen der noch in den Anfängen befindlichen Mikroelektronik. Da am Institut für Theoretische Elektrotechnik (TET) der Universität Hannover seit 1979 ebenfalls erfolgreich auf dem Gebiet des testfreundlichen Entwurfs geforscht wurde, kam es über viele Jahre zu einer intensiven Zusammenarbeit mit Tom Williams. Es war daher ein großer Gewinn für das TET-Institut, einen so herausragenden Wissenschaftler für eine Robert-Bosch-Gastprofessur zu gewinnen, die in den Jahren 1985 und 1997 mit insgesamt 15 Monaten realisiert wurde. Zuletzt hat Tom Williams 2012 an der Festveranstaltung zum 50jährigen Bestehen des TET-Instituts im





Leibnizhaus in Hannover teilgenommen und dort einen mitreißenden Vortrag gehalten. Tom Williams war ein großer Wissenschaftler, Motivator und Freund. Er wird uns fehlen.

**Joachim Mucha, Wolfgang Mathis und Erich Barke**

#### In Memoriam Klaus-Peter Holz

Am 16. März 2022 verstarb unerwartet nach kurzer Krankheit Prof. Dr.-Ing. **Klaus-Peter Holz** im Alter von 82 Jahre. Er war ein exzellenter Hochschullehrer und international renommierter Wissenschaftler. Nach Abschluss des Bauingenieurstudiums 1965 an der damaligen TH Hannover begann sein beruflicher Werdegang zunächst als Assistent an der TH bei Prof. Dr. Dieter Withum, Lehrstuhl für Strömungsmechanik, Abteilung Elektronisches Rechnen im Bauwesen. Unter seiner Anleitung und großen Erfahrungen mit dem Zuse-Rechner Z23 war es eine herausfordernde Aufgabe, numerische Rechenmodelle für den Konstruktiven Ingenieurbau und das Wasserwesen zu entwickeln. So wurde am Lehrstuhl für Strömungsmechanik das weltweit erste FEM-Nordseemodell entwickelt, und Peter Holz konzipierte ein hybrides hydraulisch-numerisches Flussmodell. Peter Holz promovierte 1970 an der TU Hannover und habilitierte sich später 1975 für das Fach Mechanik. Im Jahre 1993 wurde er an die neugegründete Brandenburgische Technische Universität in Cottbus als Professor für Bauinformatik berufen. Peter Holz war ein Wissenschaftler und Pionier. Wir alle, Kollegen und Freunde, werden ihn sehr vermissen, aber im Herzen behalten.

**Univ.-Prof. em. Dr.-Ing. habil. Victor Rizkallah**

#### GASTWISSENSCHAFTLER\*INNEN

**Iuliia Riabenko**, Ukraine  
Karazin Kharkiv National University (Ukraine), Institut für Quantenoptik, 01.07.2022 bis zum 01.07.2024

**Dr. Yang Ruijie**, Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für Algebraische Geometrie, 01.07.2022 bis zum 30.09.2022  
**Dr. Gautam Akiwate**, San Diego State University (USA), Forschungszentrum L3S, 01.07.2022 bis zum 01.10.2022

**Dr. Tuncay Söylemez**, The Scientific and Technological Research Council of Turkey (Türkei), Institut für Lebensmittelchemie, 05.07.2022 bis zum 05.07.2023

**Prof. Dr. Carolina Neira Jimenez**, Universidad Nacional de Colombia (Kolumbien), Institut für Analysis, 13.07.2022 bis zum 24.09.2022

**Dr. rer. nat. Atefeh Habibpourmoghadam**, Iran Payame Noor University (Iran), Fakultät für Maschinenbau, 15.07.2022 bis zum 15.07.2024

**Dr. Masoud Ziaeirad**, University of Isfahan (Iran), Institut für Meteorologie und Klimatologie, 01.08.2022 bis zum 31.07.2023

**Dr. Denver Linklater**, RMIT University (Australien), Laser Zentrum Hannover (LZH), 01.08.2022 bis zum 30.11.2023

**Dr. Tong Hou**, China University of Geosciences (China), Institut für Mineralogie, 01.08.2022 bis zum 31.01.2023

**Prof. Eleni, Manolakaki**, National and Kapodistrian University of Athens (Griechenland), Institut für Philosophie, 01.08.2022 bis zum 30.08.2022

**Dr. Tang Dongmei**, Chinese Academy of Sciences (China), Institut für Mineralogie, 01.08.2022 bis zum 30.06.2023

**Dr. Akila Ahouli**, Togo  
Université de Lomé (Togo), Deutsches Seminar, 01.08.2022 bis zum 31.10.2022

**Dr. Sergiy Dubchak** (Ukraine), Institut für Radioökologie und Strahlenschutz, 15.08.2022 bis zum 14.09.2027

**Dr. Christophe Jacob**, Université de Lorraine (Frankreich), Institut für Organische Chemie, 29.08.2022 bis zum 09.09.2022

**Dr. Shuddhodan Kadattur Vasudevan** (USA), Institut für Algebraische Geometrie, 01.09.2022 bis zum 31.08.2025

**Dr. Raymond Cheng**, University of Waterloo (Kanada), Institut für Algebraische Geometrie, 01.09.2022 bis zum 01.10.2022

**Dr. Nikolaos Eptaminitakis** (Griechenland), Institut für Differentialgeometrie, 01.09.2022 bis zum 31.08.2025

**Prof. Dr. Niels Peter Jørgensen**, Aarhus Universitet (Dänemark), Institut für Alg., Zahlenthe. u. Diskrete Math., 04.09.2022 bis zum 01.10.2022.

**Dr. Khurshid Khudoykulov** (Usbekistan), Institut für Finanzmarkttheorie, 04.09.2022 bis zum 30.11.2022

**Dr. Gizem Kezer** (Türkei), Institut für Lebensmittelwissenschaften und Humanernährung, 15.09.2022 bis zum 15.09.2023

**Dr. Bonggwan Kim**, Seoul National University (Korea), Institut für Meteorologie und Klimatologie, 15.09.2022 bis zum 14.03.2023

**Dr. Zifeng Huang**, Hong Kong Polytechnic University (China), Institut für Kontinuumsmechanik, 01.10.2022 bis zum 30.09.2024

Prof. **Dante Augusto Couto Barone**, Federal University of Rio Grande do Sul (Brasilien), Forschungszentrum L3S, 21.10.2022 bis zum 17.11.2022

Dr. **Bingbing Xu**, Dalian University of Technology (China), Institut für Kommunikationstechnik, 01.12.2022 bis zum 01.12.2024

Prof. Dr. **Yasothorn Sapsathiarn** (Finnland), Institut für Risiko und Zuverlässigkeit, 17.11.2022 bis zum 15.02.2023

Prof. Dr. **Richmond Sarpong**, University of California, Berkeley (USA), Institut für Organische Chemie, 01.07.2022 bis zum 31.07.2022

Zeitraum der Personalien-Informationen:  
25. Juli 2022 bis 01.10.2022

## Jubiläums- und Geburtstagsspende

- Spenden Sie für ein ausgewähltes Projekt an der Leibniz Universität Hannover:
  - für den Umbau des Königlichen Pferdestalls zum Kommunikations- und Begegnungszentrum
  - für das Deutschlandstipendium
  - oder andere Projekte und Maßnahmen an der Leibniz Universität Hannover
- Optionen: Barspenden/Spendenbox, Überweisungen/Spendenkonto
- Erhalt von Zuwendungsbescheinigungen selbstverständlich



Haben Sie Interesse? Wir beraten Sie gern.

Dr. **Stefanie Beier**, Referentin für Fundraising  
Tel. 0511-762 5597 | E-Mail [beier@zuv.uni-hannover.de](mailto:beier@zuv.uni-hannover.de)

11  
102  
1004

Leibniz  
Universität  
Hannover



Investieren  
Sie in Bildung und  
unterstützen Sie!  
Zeigen Sie  
Engagement für  
unsere  
Universität!



# KARRIERE- HEBEL

## AUF WESTFÄLISCH!

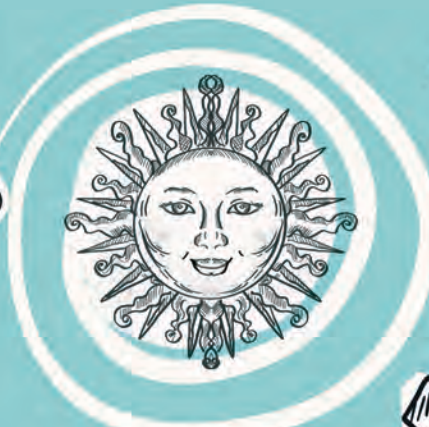
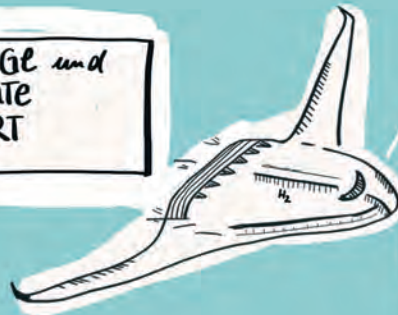
Was 1951 in Minden mit einer einfachen, aber bahnbrechenden Federklemme begann, ist heute eine weltweite Erfolgsgeschichte. Wir sind in über 80 Ländern als Ansprechpartner vor Ort – und verbinden mittlerweile mehr als nur zwei Leiter – wir verbinden Menschen, Maschinen und Branchen über Ländergrenzen hinweg. Denn egal ob Verbindungs-, Mess- oder Steuerungstechnik, die richtigen Lösungen lassen sich nur gemeinsam entwickeln. Ohne unsere Mitarbeiter, Anwender, Partner und Kunden wären wir nicht das, was wir heute sind. Dafür sind wir dankbar – und darauf sind wir stolz.

Wenn auch Sie mit Ihren Ideen die Weichen für die Zukunft stellen wollen, dann sind Sie bei uns richtig.

**Willkommen im Team.**

[www.wago.com/de/karriere](http://www.wago.com/de/karriere)

NACHHALTIGE und EFFIZIENTE LUFTFAHRT



ERZEUGUNG VERTEILUNG

ERNEUERBAR ENERGIEN

NUTZUNG



ENTWICKLUNG eines KI-Geoinformationssystems für die AUSWAHL von WINDENERGIE-POTENZIALFLÄCHEN

AIRBORNE WIND ENERGY



OFFSHORE MEGASTRUKTUREN



NACHNUTZUNGS-STRATEGIEN

GIGAWATT-PHOTOVOLTAIK mit NANOMETER-STRUKTUR

