

## **Energieforschung in Nordrhein-Westfalen.** Der Schlüssel zur Energiewende

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Landesregierung Nordrhein-Westfalen herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerbern und -werberinnen oder Wahlhelfern und -helferinnen während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt auch für Landtags-, Bundestags- und Kommunalwahlen sowie auch für die Wahl der Mitglieder des Europäischen Parlaments. Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbe-

mittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung. Eine Verwendung dieser Druckschrift durch Parteien oder sie unterstützende Organisationen ausschließlich zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder bleibt davon unberührt. Unabhängig davon, wann, auf welchem Weg und in welcher Anzahl diese Schrift der Empfängerin oder dem Empfänger zugegangen ist, darf sie auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

## Inhalt

<b>Vorwort</b> .....	4
<b>Energieforschung in Nordrhein-Westfalen</b> .....	6
<b>Der Cluster EnergieForschung.NRW</b> .....	7
<b>Beispielhafte Innovationen – Projektbeispiele zu den Themen:</b> .....	9
■ Dezentrale Energieerzeugung .....	10
■ Zentrale Energieerzeugung.....	20
■ Biologische Erzeugung von Energieträgern .....	33
■ Energienetze und -speicher .....	42
■ Gesellschaftspolitische Fragestellungen .....	53
<b>Starke Verbände</b> .....	63
<b>Fotonachweis</b> .....	66
<b>Impressum</b> .....	68



## **Liebe Leserin, lieber Leser,**

ich freue mich, Ihnen mit dieser Broschüre das Energieforschungsland Nordrhein-Westfalen vorzustellen.

Mit unserem dichten Netz herausragender Forschungsinstitute sind wir einer der führenden Energieforschungsstandorte in Europa. Dieses Know-how ist ein großer Gewinn – besonders vor dem Hintergrund der Energiewende. Damit sie gelingt, brauchen wir kreative Lösungen aus Wissenschaft und Forschung. Denn wir stehen vor der Herausforderung, unser hoch komplexes Energiesystem anhand unserer energie- und klimapolitischen Ziele umzustrukturieren. Von der Energieforschung erwarten wir dazu Lösungskonzepte, die diesen Transformationsprozess ermöglichen und die gleichzeitig kostengünstig, versorgungssicher und gesellschaftlich akzeptiert sind. Das ist gerade für den Industriestandort Nordrhein-Westfalen von großer Bedeutung.

Mit dieser Broschüre erhalten Sie einen Eindruck davon, welchen Beitrag Wissenschaft und Forschung an über 30 Einrichtungen in Nordrhein-Westfalen zu den unterschiedlichsten Aspekten der Energiewende leisten. Neben zahlreichen Hochschulen sind dies auch Fraunhofer- und Max-Planck-Institute, Helmholtz-Zentren sowie drei große Forschungsverbünde.

Die Energiewende hat allerdings nicht nur eine technologische Seite. Ihr Erfolg wird entscheidend davon abhängen, ob es gelingt, das Konsumverhalten von Bürgerinnen und Bürgern zu verändern und ihre Akzeptanz für notwendige Veränderungen zu gewinnen.

Das setzt voraus, dass nicht nur die Politik, sondern auch Wissenschaft und Forschung die Menschen in den Mittelpunkt der Planungen und Entwicklungen stellen. Die Proteste gegen Hochspannungsleitungen, Windenergieanlagen oder auch Gaskraftwerke zeigen deutlich, wie notwendig das ist. Deshalb finden Sie selbstverständlich auch Vorhaben zu den gesellschaftspolitischen Fragestellungen der Energiewende in dieser Broschüre.

Die vielen Facetten der Energiewende zeigen, dass wir alle Disziplinen brauchen, damit sie gelingen kann.

Das erfordert eine Wissenschaft und Forschung,

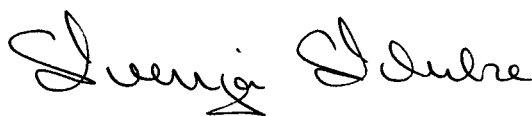
- die sich zur Gesellschaft hin öffnet,
- die anwendungsorientiert und transdisziplinär arbeitet und
- die die Menschen und ihr Wohlergehen in den Mittelpunkt ihrer Überlegungen stellt.

Diese Aspekte sind der Grundgedanke meiner Forschungsstrategie **Fortschritt NRW**. Sie ist die Richtschnur für alle Projekte und Vorhaben, die das Land mit seinen freien Forschungsmitteln in Zukunft fördert. Warum machen wir das? Weil wir von der Wissenschaft Lösungsbeiträge erwarten, wie wir die **Grand Challenges** bewältigen können. Und weil diese Lösungen dazu beitragen, das Industrieland Nordrhein-Westfalen nach vorne zu bringen.

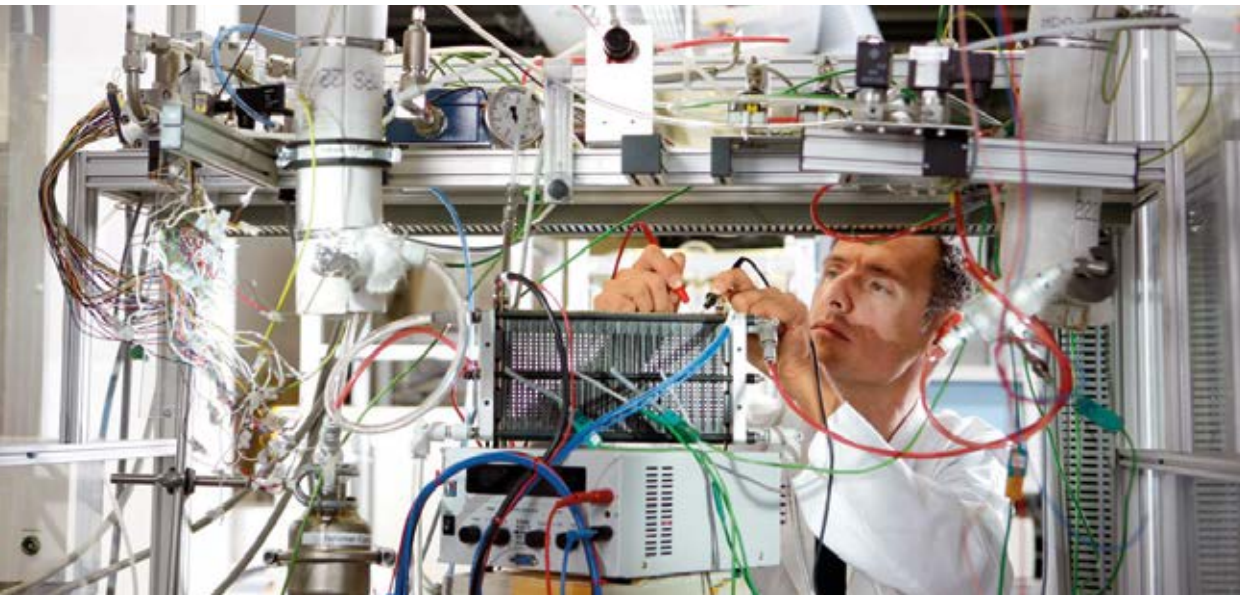
Im Fall der Energiewende bedeutet das, auch die Industrie und ihre Belange mit einzubeziehen. Denn Nordrhein-Westfalen als Energieland Nr. 1 soll auch in Zukunft ein starker Industriestandort bleiben. Deshalb gilt es, die Industrie in Nordrhein-Westfalen zu halten – auch die energieintensive Industrie. Dass diese Unternehmen Treibhausgase produzieren, steht außer Frage. Aber sie sind nicht nur Teil des Problems, sondern auch seiner Lösung. Ihre Produkte tragen wesentlich dazu bei, Treibhausgase einzusparen, Automobile effizienter zu machen oder den Energieverbrauch in Haushalten zu senken.

Die Energiewende ist eine Herausforderung mit vielen Facetten. Wissenschaft und Forschung sind wichtige Impulsegeber dafür, dass sie gelingen kann. Der Wissenschaftsstandort Nordrhein-Westfalen kann dazu einen entscheidenden Beitrag leisten. Welche Beiträge das sind, erfahren Sie auf den folgenden Seiten.

Ich wünsche Ihnen eine anregende Lektüre.



Svenja Schulze  
Ministerin für Innovation, Wissenschaft  
und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen



## Energieforschung in Nordrhein-Westfalen

An über 30 Standorten von Hochschulen und Forschungseinrichtungen wird in Nordrhein-Westfalen auf allen relevanten Gebieten der Energietechnik und der gesellschaftlichen Herausforderungen der Energiewende gelehrt und geforscht. Dies hat seinen Ursprung in der über viele Jahrzehnte gewachsenen Symbiose von Wissenschaft und Wirtschaft, denn Nordrhein Westfalen ist Europas modernste und bedeutendste Energieregion. Die Unternehmen wissen dieses Know-how als einen echten Standortvorteil zu nutzen. Das Land an Rhein und Ruhr liefert 30 % des bundesweit benötigten Stroms. Rund 40 % des deutschen Industriestroms werden hier verbraucht. 83 % der deutschen Steinkohle und 55 % der deutschen Braunkohle kommen aus Nordrhein-Westfalen. Insgesamt 250.000 Menschen arbeiteten 2011 in den verschiedenen Bereichen der nordrhein-westfälischen Energiewirtschaft.

Aufgrund der dominierenden Rolle stark fluktuierender, dezentraler erneuerbarer Energien wird in Zukunft sehr viel stärker die Stabilität des Gesamtsystems sowie Transport und Speicherung der verschiedenen Energieträger betrachtet werden müssen. Besondere Bedeutung bekommen in diesem Zusammenhang die Technologien der Umwandlung der verschiedenen Energieträger untereinander. Zeitgleich dazu braucht es auch gesellschaftliche Reform- und Anpassungsprozesse. Die Energieverteilung wird nach neuen Mustern erfolgen, die Preisbildung wird anderen Regeln folgen und auch das Konsumentenverhalten wird sich verändern müssen.

Nordrhein-Westfalen als modernster und bedeutendster Standort der Energiewirtschaft und -forschung in Europa kann einen wesentlichen Beitrag zur Überwindung der großen technologischen und gesellschaftlichen Herausforderungen leisten. Das gilt sowohl für die weltweit stark wachsenden Märkte für fossile und solarthermische Kraftwerke sowie für den Ausbau der übrigen erneuerbaren Energien. Als auch für das Angebot an effizienten Netz- und Speichertechnologien sowie die Integration der Erneuerbaren Energien in das bestehende hoch komplexe Energieversorgungssystem. Forschungsaktivitäten im Bereich neues Strommarktdesign, Akzeptanz und Transformationsforschung müssen diese Entwicklung flankieren.

## Der Cluster EnergieForschung.NRW

Der Cluster EnergieForschung.NRW (CEF.NRW) arbeitet im Auftrag des Ministeriums für Innovation, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen an der Umsetzung der energiewirtschaftlichen und klimapolitischen Zielvorgaben der Landesregierung im Bereich der Energieforschung.

CEF.NRW stellt das komplexe Energieversorgungssystem als Ganzes in den Fokus seiner inter- und transdisziplinären Aktivitäten. Aufbauend auf den für die Energiewende relevanten Prozessen der Primärenergiekonversion im erneuerbaren und fossilen Bereich werden die Netze von Strom, Wärme, Gas sowie die entsprechenden Speichertechnologien als Tätigkeitsfeld gesehen. Ein spezielles Augenmerk gilt den, in allen Studien als zunehmend wichtig erachteten, Umwandlungsprozessen zwischen den verschiedenen Sekundärenergieträgern und ihren Netzen (z. B. „Power to Gas“).

Neben der rein technologischen Transformation stellt die Energiewende eine neuartige Herausforderung für die Gestaltung des Partizipationsprozesses der Öffentlichkeit dar. Ihn gilt es wissenschaftlich zu begleiten und spezifische Lösungsstrategien zu entwickeln. Auch hier sieht der Cluster Handlungsbedarf.

CEF.NRW zielt darauf ab, dass technologische und sozioökonomische Erkenntnisfortschritte schneller als bisher ihren Weg in die Anwendung finden. Dazu initiiert der Cluster Forschungs- und Entwicklungsprojekte in der koordinierten Zusammenarbeit von Forschungseinrichtungen mit der Wirtschaft.

Zudem fungiert CEF.NRW als Transferstelle zu den energiebezogenen Aktivitäten auf Seiten der EU und des Bundes sowie zu gesellschaftlichen Initiativen. Gemanagt wird CEF.NRW von der EnergieAgentur.NRW.

### Ansprechpartner:

#### Dr. Frank-Michael Baumann

Clustermanager  
E-Mail: baumann@cef.nrw.de

#### Dr. Hans-Georg Bertram

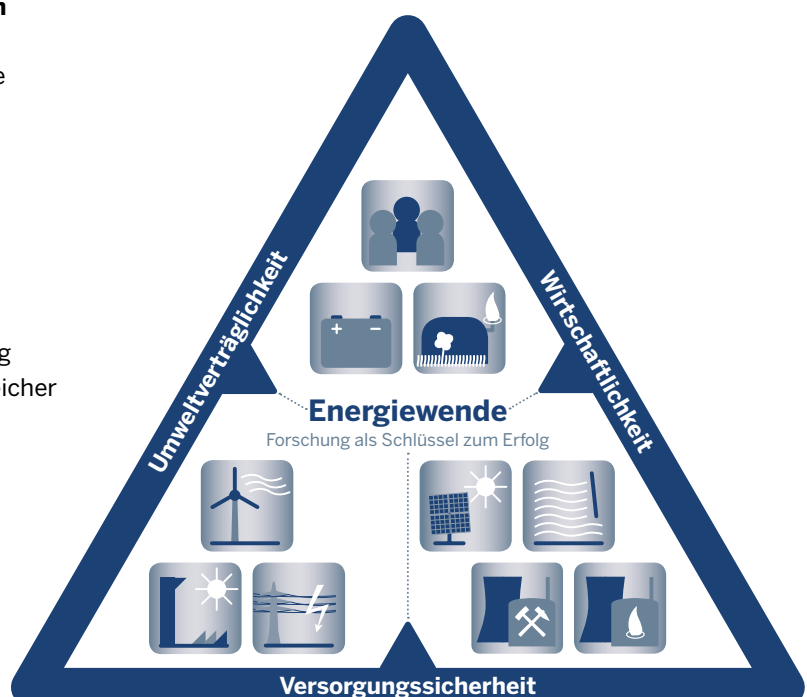
Biologische Erzeugung von  
Energieträgern  
E-Mail: bertram@cef.nrw.de

#### Dr. Stefan Rabe

Dezentrale Energieerzeugung  
sowie Energienetze und -speicher  
E-Mail: rabe@cef.nrw.de

#### MBA Georg Unger

Zentrale Energieerzeugung  
und gesellschaftspolitische  
Fragestellungen  
E-Mail: unger@cef.nrw.de

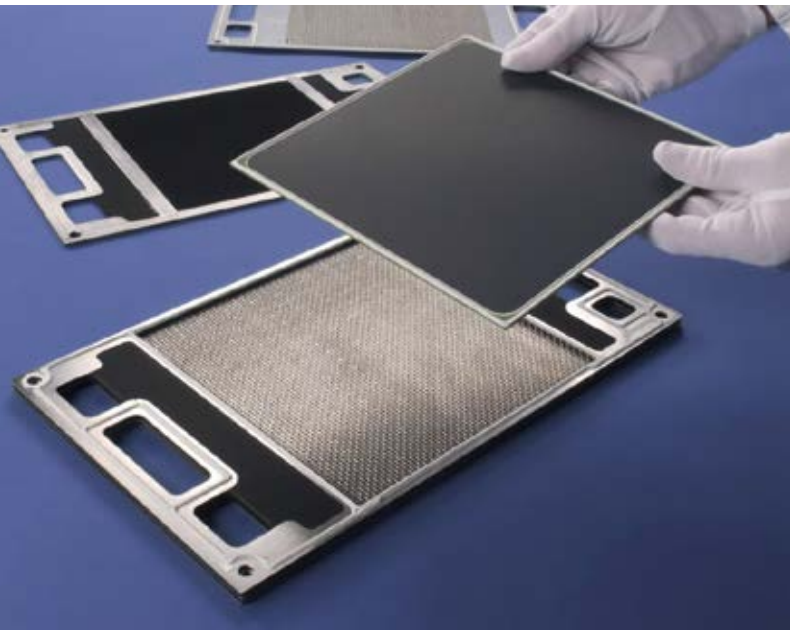








## Beispielhafte Innovationen **Projektbeispiele**



## Dezentrale Energieerzeugung

### Neuer hochwarmfester ferritischer Stahl für Hochtemperaturbrennstoffzellen

Hochtemperaturbrennstoffzellen (engl.: solid oxide fuel cells, SOFCs) besitzen hohe Wirkungsgrade bei kleinen Leistungen (wenigen kW) und eignen sich daher besonders für die dezentrale Strom- und Wärmeerzeugung mit Erdgas, Wasserstoff oder aufbereitetem Biogas. Eine zentrale Komponente stellt der Interkonnektor dar, der einerseits die verschiedenen Einzelzellen trennt und elektrisch leitend miteinander verbindet und andererseits die für die Oxidation von Gas oder Wasserstoff erforderliche Luft von den Brenngasen trennt. In einer Brennstoffzelle werden mehrere Zellen und die zugehörigen Interkonnektoren zu sog. Stacks durch Lötten verbunden. Dadurch kann sowohl die elektrische Spannung, als auch die elektrische Leistung einer SOFC beeinflusst werden.

Die Anforderungen an den Interkonnektorstahl sind hohe Oxidationsbeständigkeit, hohe elektrische Leitfähigkeit und gute Verformbarkeit zur Herstellung tiefgezogener Komponenten bei ausreichendem Verformungswiderstand unter Betriebsbedingungen.

Im Rahmen einer engen Forschungskooperation zwischen dem Forschungszentrum Jülich (FZJ) und Outokumpu VDM GmbH, die mit Mitteln des Bundeswirtschaftsministeriums unterstützt wurde, konnte ein neuer Werkstoff für die genannten Anwendungen entwickelt werden, der besonders für die Herstellung dünnwandiger Komponenten in Leichtbau-SOFCs verarbeitet werden kann. Crofer

22 H ist die zweite Generation der von FZJ und Outokumpu VDM GmbH entwickelten ferritischen Interkonnektorstähle und zeichnet sich durch seine Zusammensetzung im Gegensatz zu Crofer 22 APU durch ein deutlich kostengünstigeres Erschmelzungsverfahren aus. Zusätzlich besitzt er bei hohen Betriebstemperaturen einen erheblich höheren Verformungswiderstand bei mechanischer Belastung als Crofer 22 APU. Die erste Generation ferritischer Crofer 22-Interkonnektorstähle hat unter Betriebsbedingungen in verschiedenen SOFC-Konzepten mehr als 30.000 Betriebsstunden erreicht.

Crofer 22 H wurde im Juni 2012 mit dem Stahlinnovationspreis 2012 in der Kategorie „Stahl in Forschung & Entwicklung/Verfahren“ ausgezeichnet.

#### Ansprechpartner:

Prof. Dr. Willem Quadackers, Forschungszentrum Jülich GmbH, Prof. Lorenz Singheiser, Forschungszentrum Jülich GmbH und Dr. Heike Hattendorf, Outokumpu VDM GmbH

#### Weitere Informationen:

[www.fz-juelich.de/iek/iek-2](http://www.fz-juelich.de/iek/iek-2)

## Dezentrale Energieerzeugung

### Eigensichere elektronische Druckregleinrichtung

Die HyPower GmbH ist Spezialist in den Bereichen Brennstoffzellentechnik im kleinen Leistungsbereich und der (Feinst-) Dosierung und Druckregelung von Gasen und Flüssigkeiten. Mit LOPES (Low Pressure Safety) wird erstmalig eine zertifizierte, eigensichere elektronische Druckregleinrichtung vorgestellt, welche auch für andere Hersteller von Brennstoffzellensystemen und unterschiedliche Leistungsklassen verwendbar ist.

Um den Betrieb von Brennstoffzellensystemen für private und industrielle Endverbraucher in sicherheitskritischen Anwendungen sowie in geschlossenen Räumlichkeiten attraktiv zu machen, ist höchstmögliche Sicherheit zu gewährleisten. Dazu wird die Brennstoffzelle im Unterdruck betrieben, wodurch Wasserstoff bei einem Leck nicht entweichen kann und nur strömt, wenn er von der Brennstoffzelle aktiv angesaugt wird bzw. an der Entnahmestelle Unterdruck herrscht.

LOPES – entstanden in der vom Wissenschaftsministerium NRW geförderten Projektarbeit mit GSR Ventiltechnik GmbH & Co KG – regelt nun den Wasserstoffdruck des Speichers auf einen vorher definierten Druck unterhalb des Atmosphärendrucks herunter und öffnet nur, wenn der Druck an der Entnahmestelle unter dem Atmosphärendruck liegt. Im Fehlerfall, wie Leckagen, Bruch der Leitung o.ä., wird ein sicherer Zustand erreicht, indem durch Unterbrechung der Medienzufuhr die Bildung einer explosiven Atmosphäre dauerhaft verhindert und das angeschlossene System (z. B. Brennstoffzelle) vor zu hohem Druck geschützt wird.

LOPES ist als Ausrüstungsteil mit Sicherheitsfunktion TÜV-zertifiziert und entweder als selbstständige Einheit in einem kompakten Gehäuse verfügbar oder kann kundenspezifisch angepasst und eingebaut werden. Es ist praktisch für wasserstoffbasierte Brennstoffzellensysteme aller Hersteller verwendbar und macht eine aufwändige und teure Kapselung der Systeme verzichtbar.

#### **Ansprechpartner:**

Dr. Günter Hohmann, HyPower GmbH, Herten

#### **Weitere Informationen:**

[www.hypower.de](http://www.hypower.de)





## Dezentrale Energieerzeugung

### Der Technologiestandort für Brennstoffzellentechnik

Die Umsetzung der Brennstoffzellentechnologie in marktfähige Lösungen erfordert ein hohes Maß an interdisziplinärer Forschung und Entwicklung. Aus diesem Grund hat das Land Nordrhein-Westfalen bereits im Jahr 2001 den Bedarf für einen anwendungsorientierten Forschungs- und Entwicklungsstandort mit Fokus auf die Brennstoffzellentechnik identifiziert. Auf dem Duisburger Campus entstand daraufhin mit Fördermitteln des Landes NRW und der Europäischen Union in zwei Ausbaustufen das Zentrum für BrennstoffzellenTechnik (ZBT GmbH). Am Standort stehen in zwei Gebäuden inzwischen knapp 2500 m<sup>2</sup> voll ausgerüstete Labor- und Werkstattflächen für die anwendungsorientierte Entwicklung von Brennstoffzellen, Wasserstofftechnik und Batterien zur Verfügung.

Das ZBT beschäftigt ein interdisziplinär zusammengestelltes Team von fast 100 qualifizierten Mitarbeitern mit z. T. langjährigen Erfahrungen im Bereich der Forschung und Entwicklung. Deren umfangreiches Know-how und die herausragende Infrastruktur fließen in zahlreiche Kooperationen mit gewerblichen Unternehmen und Forschungspartnern ein. Projekte und Dienstleistungen des ZBT umfassen dabei einen weiten Bereich von der Entwicklung von zum Beispiel Reformern, Brennstoffzellenstacks und kompletten funktionstüchtigen Systemen über die Erprobung von Produktions- und Fertigungstechnologien für

Bipolarplatten und ganze Brennstoffzellenstacks bis hin zur Prüfung von marktnahen Entwicklungen hinsichtlich Zulassungsfragen. Das Portfolio des Entwicklungsdienstleisters ZBT orientiert sich konsequent an den Bedürfnissen der industriellen Partner.

Wesentlicher Baustein der Arbeiten am ZBT ist der Brennstoffzellenstack selbst. Ein im ZBT entwickelter Nieder-temperatur-Brennstoffzellenstack ist Ausgangspunkt zahlreicher Weiterentwicklungen. So werden Forschungsprojekte beispielsweise zu Materialien für Bipolarplatten, zur Evaluierung von Dichtungstechnologien und Charakterisierung von Membran-Elektroden-Einheiten, zur Erarbeitung optimierter Betriebsführungsstrategien sowie zur Systementwicklung und Erprobung von Assemblierungsverfahren und Prüfprozeduren durchgeführt.

**Ansprechpartner:**

Prof. Dr. rer. nat. Angelika Heinzel, Zentrum für BrennstoffzellenTechnik GmbH

**Weitere Informationen:**

[www.zbt-duisburg.de](http://www.zbt-duisburg.de)



## Dezentrale Energieerzeugung

### Brennstoffzellensysteme für stationäre Anwendungen

Oxidkeramische Hochtemperatur-Brennstoffzellen (engl. solid oxide fuel cells, SOFC) eignen sich hervorragend für die direkte Verstromung von kohlenwasserstoffhaltigen Brenngasen, vorzugsweise Erdgas oder Biogas. Die SOFC zeichnet sich dadurch aus, dass sie auf Grund ihrer Betriebstemperatur oberhalb von 600 °C Methan direkt in der Zelle in Wasserstoff und Kohlenmonoxid aufspalten kann. Dies vereinfacht die Anlagentechnik und erhöht den elektrischen Systemwirkungsgrad. Dieser kann in fortschrittlichen Anlagen bis zu 60 % betragen. Durch die hohe Abgastemperatur von ca. 300 °C eignet sich die SOFC auch besonders gut für unterschiedlichste Möglichkeiten der Abwärmenutzung. Unter geeigneten Randbedingungen kann der Gesamtwirkungsgrad (elektrisch plus thermisch) mehr als 90 % erreichen. Im Rahmen einer zukünftigen regenerativen Energieversorgung kann die SOFC selbstverständlich auch direkt mit Wasserstoff mit hohem Wirkungsgrad betrieben werden.

Die Entwicklung der Oxidkeramischen Hochtemperatur-Brennstoffzellen wird im Forschungszentrum Jülich von den physikochemischen Grundlagen über die Werkstoff-, Zell- und Stackentwicklung sowie den entsprechenden Herstelltechniken bis zur Systemverifikation betrieben und ist auf Systeme im Leistungsbereich von 10 bis 100 kW ausgerichtet. Der Schwerpunkt liegt auf einem speziellen planaren Zellkonzept, mit dem unter Beibehaltung

der hohen Leistungsdichte Betriebstemperaturen bis hinunter zu 600 °C möglich sind. Klassischerweise wird die SOFC bei Temperaturen zwischen 800 und 1000 °C betrieben. Anwendungen sind in allen Bereichen der Kraft-Wärmekopplung und in der dezentralen Stromerzeugung zu sehen. Hierbei sind Betriebszeiten von wenigstens 40.000 Stunden erforderlich. Im Frühjahr 2012 konnte in Jülich erstmals weltweit mit einem planaren SOFC-Stack diese Betriebszeit erreicht werden. Inzwischen sind 47.000 Stunden überschritten. Basierend auf einem speziellen in Jülich entwickelten integrierten Anlagenkonzept wurde in den letzten Jahren eine 20 kW Anlage, bestehend aus vier 5 kW Modulen, entwickelt, die 2012 erfolgreich in Betrieb genommen werden konnte und inzwischen seit mehr als 2.000 Stunden Strom liefert.

Herausforderungen für die Entwicklung sind insbesondere die thermomechanische Stabilität des Stacks, die Steigerung der Stackleistung und die weitere Optimierung der Systemtechnik.

**Ansprechpartner:**

Prof. Ludger Blum, Forschungszentrum Jülich

**Weitere Informationen:**

[www.fz-juelich.de/iek/iek-3](http://www.fz-juelich.de/iek/iek-3)



## Dezentrale Energieerzeugung

### Verbesserung der Effizienz von Solarmodulen

Mit dem rasanten Zubau der Photovoltaik in Deutschland in den vergangenen Jahren rücken zunehmend Probleme in den Fokus, die in der Vergangenheit von untergeordneter Bedeutung waren. Eines der zentralen Themen ist, dass nahezu alle Solaranlagen in den Mittagsstunden ihre maximale Leistung in das Stromnetz abgeben und dabei Niederspannungsleitungen zu überlasten drohen. Eine Entschärfung dieser Problematik wäre dann möglich, wenn mehr Solaranlagen auf westlich und östlich orientierten Dächern installiert würden. Anlagen mit einer solchen Ausrichtung gelten allerdings weiterhin als ertragsarm und daher unwirtschaftlich. Die geringeren Solarerträge an solchen Standorten ergeben sich durch verminderte Einstrahlungswerte, die meist auf schräge Einfallswinkel des Sonnenlichts zurückzuführen sind.

Im Rahmen des durch das Bundesforschungsministerium geförderte Forschungsprojekts ESOSWA (Effizienzsteigerung von Solarmodulen bei Schräg- und Schwachlichtverhalten) wird an der Fachhochschule Köln an dieser Thematik gearbeitet. Zusammen mit vier Industriepartnern werden Untersuchungen zu speziell gestalteten Gläsern, Folien und Antireflexionsbeschichtungen durchgeführt. Die so gewonnenen Erkenntnisse werden einerseits eingesetzt, um angepasste Komponenten für PV-Module zu entwickeln und andererseits die Präzision von PV-

Simulationsprogrammen im Schräg- und Schwachlicht zu verbessern.

Im Bereich Solarglas wurden bereits Untersuchungen an tieftexturierten Gläsern durchgeführt, deren Oberflächenstruktur eine Verringerung der Fresnel-Reflexion bewirken soll. Dieser Effekt konnte durch Messungen bestätigt und bei steilen Einfallswinkeln Leistungssteigerungen von über 40 % erreicht werden. Auch der Ertrag einer Solaranlage kann auf diese Weise gesteigert werden. Bei einer Nordorientierung und einem Neigungswinkel von  $50^\circ$  ist mit einem Mehrertrag von ca. 9,5 % pro Jahr zu rechnen. Bei einer Ost- oder Westorientierung und einem Neigungswinkel von  $40^\circ$  sind noch immer Ertragssteigerungen von bis zu 4 % zu erwarten.

#### **Ansprechpartner:**

Prof. Dr. Ulf Blieske, Fachhochschule Köln

#### **Weitere Informationen:**

[www.f09.fh-koeln.de/institute/ltre](http://www.f09.fh-koeln.de/institute/ltre)

## Dezentrale Energieerzeugung

### Angepasste Laserprozesse für Siliziumsolarzellen (ALPS)

Die meisten derzeit in Photovoltaik Produktionen eingesetzten Laser haben gaußförmige Intensitätsprofile, welche im Strahlzentrum zu stark und am Rand zu schwach sind. Dies führt zu Laserschäden aufgrund zu hoher Laserintensität im Zentrum und zur Notwendigkeit überlappender Laserschüsse wegen zu geringer Intensität am Rand, was die Prozesszeit erhöht.

Der ALPS-Lösungsvorschlag ist die Verwendung geformter Strahlprofile, welche beispielsweise über eine rechteckige und homogene Intensitätsverteilung verfügen. Hierdurch wird die vorhandene Laserenergie optimal genutzt, Verluste reduziert und die Prozesszeit verkürzt. Großräumige Strahlprofile ermöglichen darüber hinaus die Bearbeitung großer Flächenanteile mit einem Laserpuls, was die Bearbeitungszeiten weiter reduziert.

Durch den Einsatz angepasster Lasertechnik in der Solarzellenproduktion sollen die Kosten für Photovoltaikstrom weiter reduziert werden. Mit Lasertechnik lassen sich kontaktlos dünne Wafer bearbeiten und effizientere Zellstrukturen verwirklichen.

Die zu entwickelnden Laserprozesse sollen für folgende Prozessschritte nutzbar gemacht werden: Lokales Öffnen von rückseitigen Passivierschichten für die Kontaktierung, Laserdotieren, lokales Ablätieren der Antireflexschicht für optimierte Metallisierungskonzepte, Kantenisolation, Lasertrocknen und Lasersintern siebgedruckter Kontakte, sowie Lasertrocknen nach nasschemischer Bearbeitung. Das Projekt soll auch die Entwicklung neuer Produktionsmaschinen vorbereiten.

Das Verbundprojekt von Fraunhofer ISE, Lissotschenko Mikrooptik, 4Jet und Edgewave wird gefördert durch die Europäische Union (Europäischer Fond für regionale Entwicklung „Investition in unsere Zukunft“) und das Land Nordrhein-Westfalen.

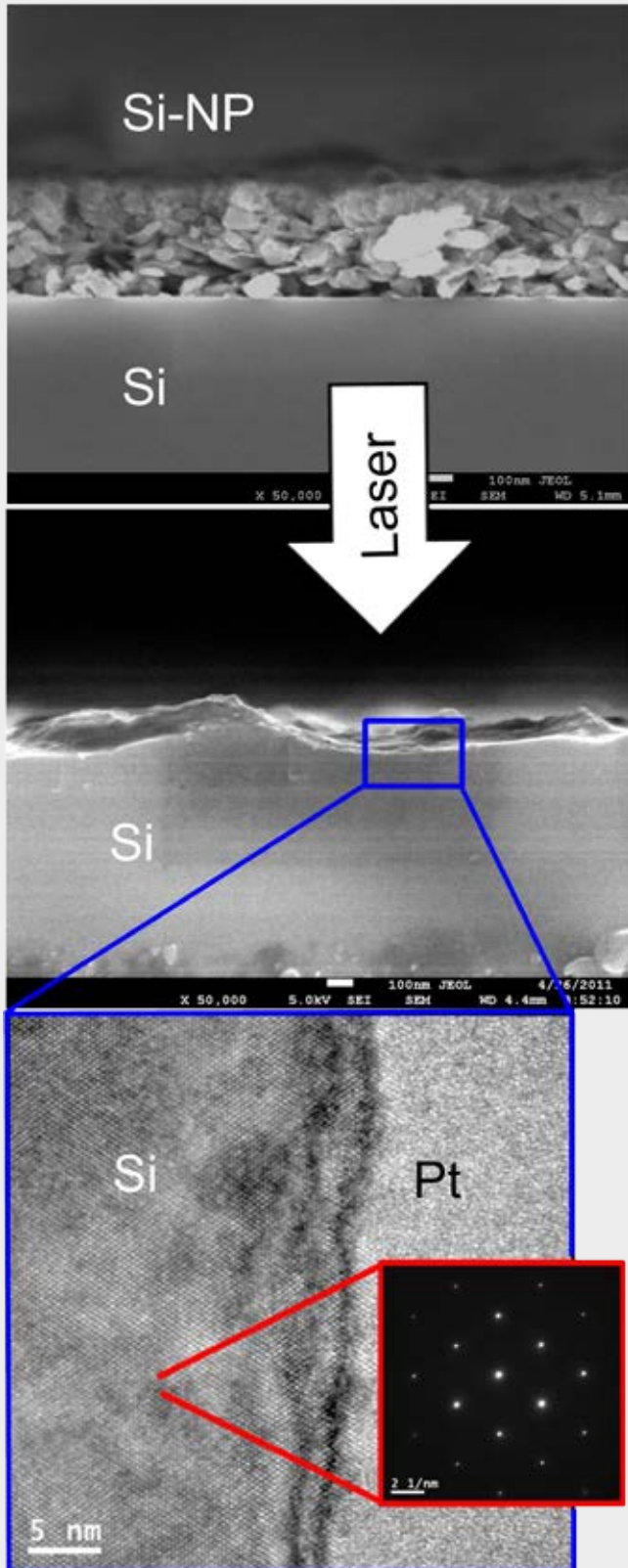
#### **Ansprechpartner:**

Dr. Dietmar Borchert, Fraunhofer ISE, Dr. Thomas Mitra, Lissotschenko Mikrooptik, Dr. Stefan Bergfeld, 4Jet und Dr. Keming Du, Edgewave

#### **Weitere Informationen:**

[www.ise.fraunhofer.de/lsc](http://www.ise.fraunhofer.de/lsc)





## Dezentrale Energieerzeugung

### Silizium Nanopartikel für photovoltaische Anwendungen

Das Verhältnis von Kosten zu erzeugtem Watt ist für alternative Energiequellen gerade im Hinblick auf die Energiewende von entscheidender Bedeutung. Um dieses Verhältnis mit Hilfe von Nanotechnologie für photovoltaische Anwendungen günstiger zu gestalten, wird am Fachgebiet Nanostrukturtechnik der Universität Duisburg-Essen evaluiert, inwieweit durch den Einsatz von Silizium Nanopartikeln die Prozesskosten für photovoltaische Anwendungen reduziert werden können.

Durch die Dispergierbarkeit der Nanopartikel in verträglichen Lösemitteln, wie beispielsweise Ethanol, ist es möglich intrinsische oder dotierte Nanopartikel (wahlweise n-Typ oder p-Typ) zu verdrucken und durch eine anschließende thermische Behandlung zu kristallisieren (Laser- oder Ofenprozess). So kann sowohl eine elektrische Funktionalität der Dünnschichten gewährleistet als auch eine Substratdotierung erreicht werden. Dieses Prozesskonzept erlaubt diverse Anwendungsmöglichkeiten im Bereich der Silizium Photovoltaik, die das Potential für Kostenreduktion haben. Zunächst stellt dieser Ansatz eine Alternative zu klassischen Dotierkonzepten dar, die keine Vakuumprozessierung benötigt und durch das Anbieten der Dopanten in einer Silizium Matrix eine identische Prozesskette unabhängig von der Art der Dopanten zulässt. Des Weiteren erlaubt dieses Konzept druckbare Silizium Photovoltaik, mit dem Potential die Vorteile der organischen Photovoltaik (Kostensparnis durch großflächige Verdruckbarkeit) sowie die der klassischen Silizium Photovoltaik (Lange Lebensdauer bei hoher Konversionseffizienz) zu vereinbaren.

#### Ansprechpartner:

Dr.-Ing. Niels Benson, Universität Duisburg-Essen

#### Weitere Informationen:

[www.uni-due.de/nst](http://www.uni-due.de/nst)





## Dezentrale Energieerzeugung

### Photovoltaik-Prüfungen für spezielle Anforderungen

Das weltweit modernste Prüfzentrum für Solarmodule steht bei der TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH in Köln. Die Mehrheit aller Hersteller von Solarmodulen weltweit lassen ihre Produkte in einem der 7 Laboratorien der TÜV Rheinland Gruppe testen. 70 Experten arbeiten derzeit am Standort Köln. Die Fachleute von TÜV Rheinland prüfen nicht nur die Module nach bestehenden Normen, sondern entwickeln zudem neue Testmethoden, arbeiten an Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zur Nutzung von Sonnenenergie mit und begleiten Planung, Aufbau und technische Abnahme von Solarkraftwerken für Kunden.

Das Standardprogramm zur Produktzertifizierung von Solarmodulen nach internationalen Normen besteht aus verschiedenen Stresstests, bei denen z. B. in Klimakammern hohe Luftfeuchtigkeit und Temperaturwechsel zwischen - 40 °C und + 85 °C die Module belasten. So kann die Qualität und Effizienz der Module, die auch nach zwanzig Jahren ihre Leistungsfähigkeit behalten sollen, überprüft werden. An besonderen Standorten, wie in Küstennähe oder auf landwirtschaftlichen Gebäuden sind Module zusätzlichen Belastungen durch Salznebel bzw. durch Ammoniakgas ausgesetzt, die in der Sicherheitsprüfung und in der Bauartzulassungsprüfung nicht abgebildet werden.

Deshalb werden im Rahmen des von dem Land Nordrhein-Westfalen geförderten Projektes „InnoPV“ Prüfungen für spezielle Anforderungen entwickelt. Dazu gehören die Entwicklung von Vorschriften für die Sicherheitsprüfung von gebäudeintegrierten Solarmodulen (z. B. Dichtigkeit bei Schlagregen) sowie Empfehlungen zur Prüfung von Modulen unter Ammoniak-, Salznebel- oder Sandsturm-Belastung. Ein weiterer Forschungsschwerpunkt befasst sich mit der Belastung durch Transport. Dies umfasst die Bewertung von Transportbehältern und Verpackung sowie die Aufzeichnung von auftretenden Beschleunigungen auf dem Weg von der Fabrik bis zum Aufstellungsort. Motiviert durch die im Feld vermehrt aufgetretenen Schäden an PV-Modulen wurde eine Prüfung entwickelt, durch die inhomogene Schneelasten simuliert werden (siehe Bild oben). Die Standardprüfung sieht nur eine horizontale Belastung vor, durch die Schräglasten treten andere Kräfte auf, die mitunter direkt auf den Rahmen wirken. Durch die Projektarbeit konnte so eine wertvolle Ergänzung zur Standardprüfung erarbeitet werden.

**Ansprechpartner:**

Jörg Althaus, TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH

**Weitere Informationen:**

[www.tuv.com/solarenergie](http://www.tuv.com/solarenergie)



## Dezentrale Energieerzeugung

### Innovative Konzepte für die Solarzellenherstellung

Die Silizium-Dünnschicht-Photovoltaik wurde in den letzten Jahren vom Labormaßstab in die industrielle Produktion mit Modulgrößen von mehr als 1 m<sup>2</sup> transferiert. Wesentliche Merkmale dieser Technologie sind der geringe Material- und Energieverbrauch bei der Herstellung, die bei niedrigen Temperaturen erfolgt. Dies führt zu kurzen Energierückzahlzeiten und erlaubt die Herstellung auf günstigen, auch flexiblen Trägermaterialien. Neben der Verbesserung des Wirkungsgrades der Module ist die Steigerung der Produktivität, beispielsweise durch eine Erhöhung der Abscheidengeschwindigkeit, derzeit eines der wesentlichen Ziele laufender Forschungsarbeiten. Eine Erhöhung der Abscheidengeschwindigkeit lässt sich durch eine Erhöhung der Plasma-Anregungsfrequenz vom Radio-Frequenzbereich (RF) in den „Very-high-frequency“ (VHF)-Bereich erreichen.

Das Forschungszentrum Jülich und die VON ARDENNE Anlagentechnik GmbH aus Dresden entwickeln daher gemeinsam eine neue Methode für die schnellere Abscheidung von amorphem und mikrokristallinem Silizium. Das zu beschichtende Substrat fährt dabei an einer oder

an mehreren Plasma-Linienquellen vorbei. Damit wird eine kontinuierliche (dynamische) Beschichtung bei hohen Plasma-Anregungsfrequenzen (VHF) erreicht und auf elegante Weise die Aufskalierung der VHF-Deposition auf quadrate metergroße Flächen ermöglicht. Die Herausforderung liegt darin, die Plasma-Quellen und den Reaktionsraum so zu konstruieren und die Prozesse so zu optimieren, dass gute Schichtqualitäten und eine hohe Produktivität erreicht werden. Die Arbeiten werden im Institut für Energieforschung 5 (Photovoltaik) an einer neuen Mehrkammeranlage durchgeführt, die Aussagen über die Skalierbarkeit der Herstellungsprozesse erlaubt. Neben intensiver Charakterisierung ihrer elektronischen Eigenschaften wird die Qualität der Schichten durch den Einbau in Test-Photovoltaikmodulen bewertet.

#### **Ansprechpartner:**

Prof. Dr. Uwe Rau, Forschungszentrum Jülich

#### **Weitere Informationen:**

[www.fz-juelich.de/ief/ief-5/](http://www.fz-juelich.de/ief/ief-5/)

## Dezentrale Energieerzeugung

# Systemprüfstände für Windenergieanlagen

Das Energiekonzept der Bundesregierung hat sich zum Ziel gesetzt, den Anteil der erneuerbaren Energie an der Stromerzeugung im Jahr 2030 auf 50 % zu steigern. Heute werden bereits 20 % des Stroms aus erneuerbarer Energie gewonnen, woran die Windenergie mit 8 %-Punkten den größten Anteil hat. Für den weiteren Ausbau der Stromversorgung durch Windenergie ist die ständige Verbesserung der Wirtschaftlichkeit und damit insbesondere der Verfügbarkeit von Windenergieanlagen (WEA) eine grundlegende Voraussetzung. Zur Verbesserung der Verfügbarkeit müssen detaillierte Kenntnisse des Systemverhaltens von Windenergieanlagen unter den komplexen, realen Belastungssituationen erarbeitet werden.

Aus diesem Grund wurde an der RWTH Aachen im Rahmen des Hightech.NRW-Projektes „Verbesserung des Betriebsverhaltens von On-Shore WEA“ ein 1 MW Prüfstand zum Systemtest ganzer WEA-Gondeln aufgebaut und gemeinsam mit führenden Industrieunternehmen der Branche betrieben. Die Windlasten werden mit einer selbst entwickelten hydraulischen Lasteinheit in 5 Freiheitsgraden aufgebracht. Die elektrischen Lasten aus dem Stromnetz werden mit einem umrichterbasierten Netzsimulator, der ebenfalls im Rahmen des Projektes entwickelt wurde, aufgeschaltet. Deutschlandweit existiert

heute kein weiterer Prüfstand, auf dem die Antriebstechnik einer Windenergieanlage so realitätsnah betrieben und so systematisch und reproduzierbar mit Wind- und Netzlasten beaufschlagt werden kann.

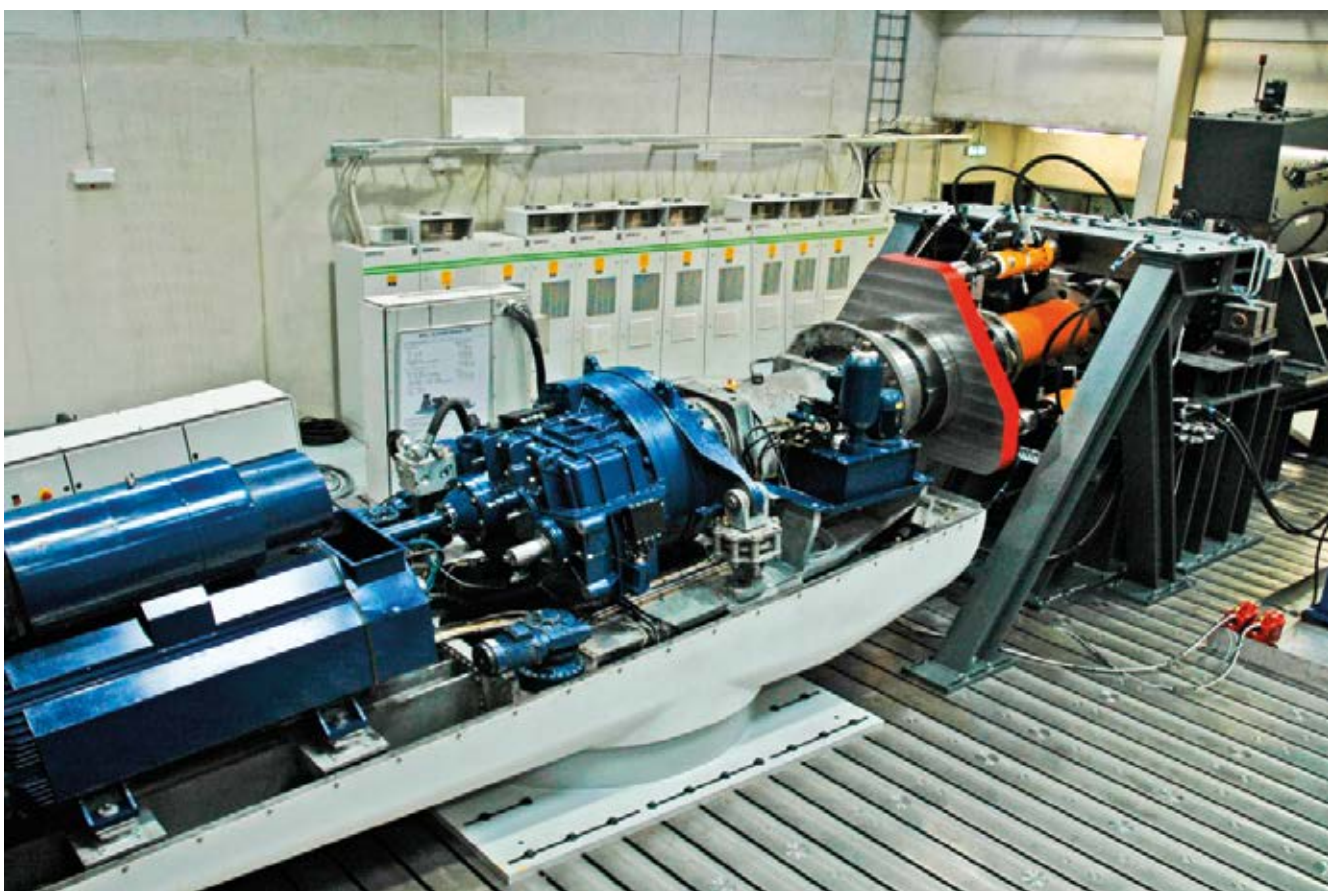
Mittlerweile bündelt das Center for Wind Power Drives (CWD) die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiet der Antriebstechnik von Windenergieanlagen von sieben RWTH-Instituten aus den Bereichen Maschinenbau und Elektrotechnik. Basierend auf den Versuchsergebnissen mit dem 1 MW Prüfstand baut das CWD mit Unterstützung von Land und Bund derzeit einen 4 MW Prüfstand auf, mit dem dann On-Shore Windenergieanlagen der aktuellen und künftigen Leistungsklassen unter realen, reproduzierbaren Bedingungen erforscht und gemeinsam mit den Industrieunternehmen der Branche weiterentwickelt werden sollen.

### **Ansprechpartner:**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. G. Jacobs, Institut für Maschinenelemente und Maschinengestaltung (IME) RWTH Aachen

### **Weitere Informationen:**

[www.cwd.rwth-aachen.de](http://www.cwd.rwth-aachen.de), [www.ime.rwth-aachen.de](http://www.ime.rwth-aachen.de)



## Zentrale Energieerzeugung

# Kompetenzzentrum für Nachhaltige Energietechnik

Die aktuellen Herausforderungen im Bereich Klimaschutz und Ressourcenschonung zwingen die herstellende und verarbeitende Industrie dazu, unter Berücksichtigung ökonomischer und ökologischer Aspekte zu produzieren. Ziel ist ein minimaler Energieaufwand bei maximaler Produktivität. Daraus ergeben sich neue Anforderungen an die nachhaltige Erzeugung, Wandlung und rationelle Nutzung benötigter Endenergien. Diesen Anforderungen gerecht zu werden fordert ein entsprechendes ingenieurwissenschaftliches Know-how.

Vor diesem Hintergrund hat die Universität Paderborn in Kooperation der Fakultät für Maschinenbau und der Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik im Januar 2012 das Kompetenzzentrum für Nachhaltige Energietechnik (KET) gegründet.

Unter dem Leitmotiv der intelligenten technischen Systemlösungen befasst sich das KET mit zukunftswei-

senden Kooperationsprojekten. Im Fokus stehen dabei Optimierung der Stromversorgung, effiziente Kühlung von mechanischen und elektronischen Bauteilen, erneuerbare Energien, Kraft-Wärme-Kopplung sowie effizientes CO<sub>2</sub>-Capturing.

Das KET ist aktiv an diversen Projekten aus dem Spitzencluster it's OWL (Intelligente Technische Systeme Ostwestfalen-Lippe) beteiligt. In diesem Cluster arbeiten 16 Hochschulen und hochschulnahe Kompetenzzentren, 127 Unternehmen sowie 30 wirtschaftsnahe Organisationen zusammen, um gemeinsam Intelligente Technische Systeme zu erforschen und weiterzuentwickeln. Beispiele sind das effiziente Energie-, Last- und Wärmemanagement verschiedener Komponenten von Smart Grids, selbstoptimierende Wäschereiprozesse, fortschrittliche Klimatisierung, effiziente Lader und DC/DC-Wandler für E-Fahrzeuge, sowie hochentwickelte Sensoren, Haushaltsgeräte und Produktionsmaschinen.

In der Region positioniert sich das KET als kompetenter Ansprechpartner für die Entwicklung innovativer Technologien zur Steigerung der Effizienz bestehender Prozesse. Als Beispiel für ein dezentrales Energieversorgungssystem soll der Universitätscampus der Uni Paderborn dienen, an dem exemplarisch innovative Maßnahmen im Sinne einer nachhaltigen Energieversorgung umgesetzt werden sollen.

### **Ansprechpartner:**

Prof. Dr.-Ing. habil. Eugeny Kenig

### **Weitere Informationen:**

[ket.uni-paderborn.de](http://ket.uni-paderborn.de)



## Zentrale Energieerzeugung

### Mobile CO<sub>2</sub>-Abscheidungsanlage

Die Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen ist ein zentrales Thema bei der zukünftigen Stromerzeugung, vor allem beim Einsatz von Kohle. Die Abtrennung von CO<sub>2</sub> aus den Rauchgasen (Post-Combustion Carbon Capture) ist eine Variante, die sich für Neu- und Altanlagen eignet. Allerdings gibt es derzeit nur wenige Pilotanlagen zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus Kraftwerksrauchgasen. Mit Hilfe dieser Anlagen sollen Erfahrungen und Messdaten unter Kraftwerksbedingungen als Voraussetzung für einen Großeinsatz im Kraftwerk gewonnen werden.

Der Lehrstuhl für Umweltverfahrenstechnik und Anlagentechnik (LUAT) der Universität Duisburg-Essen hat in Kooperation mit der TU Dortmund und dem Duisburger Institut für Energie- und Umwelttechnik IUTA unter dem Dach ef.Ruhr Forschungs-GmbH eine mobile CO<sub>2</sub>-Wäsche konzipiert. Das Basic-Engineering wurde von der australischen CSIRO ausgeführt, das Detail-Engineering übernahm die deutsche Firma BIS EMS.

Durch ihre Containerbauweise kann die Anlage per LKW zu ihren Einsatzorten transportiert werden. Am jeweiligen Standort wird sie dann mit einem Rauchgasteilstrom beaufschlagt. Durch sorgfältige Auswahl der Werkstoffe für die erforderlichen Anlagenkomponenten ist eine große Bandbreite der einsetzbaren Waschmittel gegeben.

Damit steht eine Anlage zur Verfügung, mit der im Labor entwickelte Waschflüssigkeiten unter realen Bedingungen kurzfristig und kostengünstig an unterschiedlichen Kohlekraftwerken (Steinkohle und/oder Braunkohle) getestet und Waschmittel unter gleichen Randbedingungen miteinander verglichen werden können. In Verbindung mit Waschmitteluntersuchungen und Simulationen wird so eine valide Basis für das spätere Prozess-Upscaling geschaffen.

Grundsätzlich ist die Anlage auch für die Abtrennung von anderen CO<sub>2</sub>-haltigen Gasen geeignet, wie sie z. B. in der Zementindustrie oder bei Kokereien vorkommen.

**Ansprechpartner:**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus Görner, Universität Duisburg-Essen

**Weitere Informationen:**

[www.luat.uni-duisburg-essen.de](http://www.luat.uni-duisburg-essen.de)



## Zentrale Energieerzeugung

# Membranen für die effiziente Trennung von Gasen

Im Juli 2011 startete das Portfoliothema „Gasseparationsmembranen“, welches sich mit der Entwicklung von Membranen befasst, mit denen in einem fossilen Kraftwerk oder anderen Anwendungen, z. B. in der chemischen Industrie, Gase effizient getrennt werden können. Das Thema wird von der Helmholtz Gesellschaft gefördert, vom Forschungszentrum Jülich koordiniert und gemeinsam mit dem Helmholtz-Zentrum Berlin (HZB), dem Helmholtz-Zentrum Geesthacht (HZG) und dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT) durchgeführt. Eingebunden in die Forschungsarbeiten sind ebenfalls die Ruhr-Universität Bochum, die RWTH Aachen, die University of Twente (Niederlande) und die Universidad Politécnica de Valencia (Spanien). Das Portfoliothema baut auf den Ergebnissen der HGF Allianz MEM-BRAIN auf, die im Juni 2011 erfolgreich abgeschlossen wurde.

Die werkstoffwissenschaftlichen Schwerpunkte des Vorhabens widmen sich der Entwicklung von dichten und mikroporösen, keramischen Membranen sowie von Polymermembranen und deren Prozessintegration, z. B. in einem fossilen Kraftwerk. Mikroporöse keramische Membranen funktionieren wie ein Sieb und können so Gase unterschiedlicher Molekülgröße oder Eigenschaften (z. B. Adsorptionsverhalten) trennen. Bei dichten keramischen Membranen oder Polymermembranen werden die Stoffe

über einen Diffusionsprozess durch die Struktur transportiert. Parallel zur Material- und Mikrostrukturentwicklung erfolgen eine Systemanalyse und die Erarbeitung von Konzepten zur Systemintegration der Gastrennmembranen.

Zukünftige Forschungsschwerpunkte liegen auf der Erhöhung der Permeation und Trennrate, dem Verständnis der Transportvorgänge, sowie der Lebensdauer der Membranen und der Entwicklung von kostengünstigen und hochskalierbaren Herstellungsprozessen der Membranstrukturen und Membranreaktoren. Hierzu wird die internationale Kontaktpflege und Vernetzung mit anderen Membran-Forschungsschwerpunkten weiter ausgebaut, beispielsweise im Netzwerk EERA- European Energy Research Alliance oder in europäischen Projekten.

**Ansprechpartner:**

Dr. Wilhelm A. Meulenber, Forschungszentrum Jülich

**Weitere Informationen:**

[www.fz-juelich.de/iek/iek-1/](http://www.fz-juelich.de/iek/iek-1/)



## Zentrale Energieerzeugung

### Ersatzbrennstoffe der Zukunft

Neben der Einsparung von fossilen Brennstoffen durch Effizienzsteigerung ist langfristig die Substitution durch Ersatzbrennstoffe zielführend. Jedoch führt der Einsatz von heterogen zusammengesetzten Ersatzbrennstoffen und Biobrennstoffen in industriellen Verbrennungsanlagen zu inhomogenen Abbrandverhalten.

Ziel dieses Forschungsvorhaben ist es, experimentell fundierte Kennwerte für die aerodynamische und brennstoffspezifische Beschreibung von Ersatzbrennstoffen und Biomassen zur Verfügung zu stellen. Dabei werden Charakterisierungen von geometrischen Größen mit Hilfe von 3D-Laser-Scan-Techniken durchgeführt, um unregelmäßige Brennstoffe wie EBS oder Biomaterialien zu beschreiben (Oberflächen, Volumina und Formfaktoren) und mathematisch bearbeiten zu können. So werden im ersten Verarbeitungsschritt die Materialien (z. B. EBS) einer Sichtungsanalyse unterzogen, danach erfolgt die Einzelpartikelscannung. Diese Abbildungen werden über CAD-Programme so aufbereitet, dass die Daten in marktverfügbaren Simulationsprogrammen (z. B. Fluent) einlesbar und weiter verarbeitbar werden. Daneben erfolgen Untersuchungen an bestehenden Technikumeinrichtungen des Lehrstuhls für Umweltverfahrens- und Anlagentechnik (LUAT) der Universität Duisburg-Essen (Fieldrohr-Einzelpartikel-Verbrennungsanlage, MARS-

Rostfeuerung) mit dem Ziel kinetische Bewegungsabläufe und Verbrennungsverhalten von Einzelpartikel und Partikelkollektiven (Schüttungen) zu erfassen. An dem Projekt beteiligt sind neben der Universität Duisburg-Essen (LUAT) die Krupp Polysius AG, die Hitachi Power Europe GmbH, die Di Matteo Förderanlagen GmbH & Co. KG, die RWE Power AG (Kraftwerk Gersteinwerk), das Fraunhofer Institut UMSICHT, die Ruhr Universität Bochum (Lehrstuhl für Energieanlagen und Energieprozesstechnik) und die Fachhochschule Münster (Labor für Abfall-, Siedlungswirtschaft und Umweltchemie). Das Projekt wird gefördert durch die Europäische Union (Europäischer Fond für regionale Entwicklung „Investition in unsere Zukunft“) und das Land Nordrhein-Westfalen.

Auf Basis dieser Ergebnisse und daraus abgeleiteten Kennwerten werden rechnergestützte Simulationen von großtechnischen Anlagen zur Prozessoptimierung durchgeführt und praxisorientiert umgesetzt.

**Ansprechpartner:**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus Görner, Universität Duisburg-Essen

**Weitere Informationen:**

[www.luat.uni-duisburg-essen.de](http://www.luat.uni-duisburg-essen.de)





## Zentrale Energieerzeugung

### Wissenschaftler erzeugen Brennstoff aus Sonnenenergie

Durch den Einsatz von Sonnenenergie lässt sich aus Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) und Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ ) klimaneutral das als Brennstoff nutzbare Synthesegas herstellen. Dieses Gasgemisch aus Wasserstoff ( $\text{H}_2$ ) und Kohlenmonoxid ( $\text{CO}$ ) ermöglicht so eine regenerative, umweltfreundliche Nutzung von  $\text{CO}_2$  und stellt eine Alternative zu den endlichen fossilen Brennstoffen dar. Es ist entweder direkt als Brennstoff nutzbar oder kann in weiteren Prozessen zu flüssigen Brennstoffen oder anderen Wertstoffen umgewandelt werden. Bei der Herstellung von Synthesegas haben Metalloxide als Redoxmaterial eine zentrale Funktion. Sie werden zur Spaltung des Kohlendioxid in Sauerstoff und Kohlenmonoxid sowie zur Spaltung des Wassers in Sauerstoff und Wasserstoff benötigt.

Im Virtuellen Institut SolarSynGas arbeiten Forscher des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) gemeinsam mit Partnern von Universitäten aus Deutschland und der Schweiz an der Verbesserung des Herstellungsverfahrens. Ein Kernaspekt ist die Entwicklung und Erprobung neuer Materialien. Die Partnerinstitute stellen diese im gegenseitigen Austausch zur Verfügung, führen Analysen durch und setzen die Materialien im Testbetrieb

ein. Unter anderem findet dies im Kompetenzzentrum für keramische Werkstoffe und thermische Speichertechnologien in der Energieforschung CeraStorE und im Sonnenofen des DLR in Köln statt.

In dem von der Helmholtz-Gemeinschaft geförderten Virtuellen Institut sind das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), das Karlsruher Institut für Technologie (KIT), die technische Universität Clausthal (TUC) und die Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH) beteiligt. Das Budget umfasst insgesamt 4,5 Millionen Euro und läuft über fünf Jahre. Sprecher des Virtuellen Instituts ist Prof. Robert Pitz-Paal, Co-Direktor des DLR-Instituts für Solarforschung.

**Ansprechpartner:**

Dr. Martin Roeb, Institut für Solarforschung im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

**Weitere Informationen:**

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





## Zentrale Energieerzeugung

### Die Forschungsebene im Solarturm Jülich

Projektpartner aus Industrie und Forschung (Kraftanlagen München GmbH, Stadtwerke Jülich GmbH, Solar-Institut Jülich der FH Aachen und Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.) haben im solarthermischen Versuchskraftwerk Jülich eine Forschungsebene geschaffen, auf der Experimente mit hochkonzentrierter solarer Strahlung durchgeführt werden können. Im Rahmen der Errichtung des Kraftwerks wurde in einem Stockwerk auf halber Höhe des Turms eine flexible Infrastruktur eingerichtet, in der Experimente im Leistungsbereich 100 bis 1000 kW möglich sind. Ein mit einem Rolltor verschließbarer Durchbruch öffnet fast die gesamte Nordseite der Ebene zum Heliostatfeld und ermöglicht dadurch eine individuell angepasste Positionierung der Versuchsaufbauten. Anschlüsse für Strom, Kühlwasser, Druckluft und technische Gase sowie Datenübertragungsleitungen stellen die Grundversorgung zukünftiger Experimente sicher. Vom Leitstand aus können Experimente auf der Forschungsebene mittels zweier schwenkbarer Kameras und weiterer Messeinrichtung überwacht und gesteuert werden.

Zunächst sind Experimente zur Weiterentwicklung und Optimierung der im Solarturmkraftwerk eingesetzten

Receivertechnologie vorgesehen. Kernstück der Receiver sind spezielle poröse Keramiken, die das Licht, das von einer Vielzahl von Spiegeln reflektiert wird, absorbieren und die gleichzeitig von Umgebungsluft durchströmt und so gekühlt werden. Im Jülicher Solarkraftwerk wurden diese Receiver zum ersten Mal mit einem kleinen Dampfkraftwerk (1500 kW elektrische Leistung) gekoppelt: 2200 Spiegel à 8 m<sup>2</sup> bündeln das Licht auf den 22 m<sup>2</sup> großen Receiver an der Spitze eines 60 m hohen Turms.

Mittel- und langfristig bietet die Forschungsebene eine ideale Basis, neuartige Prozesse und Komponenten, beispielsweise zur solaren Wasserstoffherzeugung, aus dem Labor- und Technikumsmaßstab hoch zu skalieren und unter realen Bedingungen zu testen sowie zur Marktreife weiterzuentwickeln.

**Ansprechpartner:**

Felix Göhring, Institut für Solarforschung im Deutschen Institut für Luft- und Raumfahrt (DLR)

**Weitere Informationen:**

[www.solarturm-juelich.de](http://www.solarturm-juelich.de)

## Zentrale Energieerzeugung

### Test- und Qualifizierungszentrum für konzentrierende Solartechnik

Auf den Solarfeldern von solarthermischen Kraftwerken werden einzelne Komponenten 1.000-fach verbaut. Für die Hersteller, Betreiber und Projektfinanzierer der Kraftwerke sind die Produktqualität und Langlebigkeit der Komponenten daher sehr wichtige Größen. Schon kleine Abweichungen vom Soll führen zu deutlichen Mindererträgen. Ist die Leistungsfähigkeit der Komponenten nur unzureichend bekannt, treiben wiederum Risikozuschläge den Preis des Solarstromes nach oben. Mit dem Test- und Qualifizierungszentrum (QUARZ®) unterstützt das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Köln die Kraftwerksbetreiber und Komponentenhersteller bei genau diesen Fragen.

Im QUARZ®-Zentrum entwickeln die Wissenschaftler geeignete Messmethoden und Prüfstände zur Messung und Bewertung der qualitativen Eigenschaften von Schlüsselkomponenten wie zum Beispiel Spiegel oder Absorberrohre. Die Spiegel sollen nicht nur sehr gute spiegelnde

Reflexionseigenschaften besitzen und diese dauerhaft behalten, auch die Formgenauigkeit der meist eingesetzten vorgebogenen Glasspiegel wird im Labor genau gemessen. Bei Absorberrohren wird an unterschiedlichen Prüfständen einerseits die Absorption des Sonnenlichts, andererseits die Wärmeabstrahlung ermittelt. Durch die Dokumentation der Ergebnisse in standardisierten Testberichten wird die Qualität der Komponenten vergleichbar. Die Prüfverfahren wurden aus den langjährigen Erfahrungen durch die Forschung des DLR in Deutschland und an der Plataforma Solar de Almería in Spanien entwickelt.

**Ansprechpartner:**

Dr.-Ing. Björn Schiricke, Institut für Solarforschung im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

**Weitere Informationen:**

[www.dlr.de/sf/quarz](http://www.dlr.de/sf/quarz)





## Zentrale Energieerzeugung

### Kraftwerkstechnologie im 21. Jahrhundert – neue Herausforderungen

Die Herausforderungen unserer Zivilisation in Bezug auf die Energieversorgung sind zu Beginn des 21. Jahrhunderts vielfältiger denn je. Eine steigende Weltbevölkerung mit gleichzeitig höherem Wohlstandsniveau steht begrenzten Ressourcen und den Auswirkungen des hohen Ressourcenbedarfs auf unsere Umwelt konträr gegenüber.

Eine ausreichende Versorgung mit Energie stellt ein Grundbedürfnis unserer Zivilisation dar. Die Herausforderungen liegen darin, diese zivilisatorischen Errungenschaften weiterhin sinnvoll zu nutzen, bei gleichzeitiger Bewahrung einer gesunden Umwelt. Der weltweite Energiebedarf der Menschheit wird sich gegenüber dem Bedarf im Jahr 2010, getrieben v. a. durch den schnellen Aufstieg bisheriger Schwellenländer, weiter erhöhen. Bei der derzeitigen Primärenergiebedarfsdeckung weltweit ist es nur eine Frage der Zeit, bis die bisherige Art der Energieversorgung an ihre Grenzen stößt.

Wichtige Themen der Kraftwerkstechnik der Zukunft sind neben der Verbesserung der Komponentenwirkungsgrade, der Erhöhung der Flexibilität und der Umweltverträglichkeit auch die Erforschung und die Entwicklung von neuartigen Verfahren und Prozessen, die der Integration von regenerativen Energien in die Energieversorgung der Zukunft dienen. So ist die zwischenzeitliche Speicherung

regenerativ erzeugten Stroms in Zeiten geringer Nachfrage und gleichzeitig hohem Angebot eines der zentralen Themen der Zukunft, um weiterhin eine hohe Versorgungssicherheit bei gleichzeitig akzeptablen Verbraucherpreisen zu gewährleisten. Auch die Frage der Verzahnung regenerativer Energien mit der bestehenden konventionellen Kraftwerkslandschaft ist zu lösen.

Forschungsschwerpunkte im Bereich Kraftwerkstechnik, Dampf- und Gasturbinen am Institut für Kraftwerkstechnik, Dampf- und Gasturbinen der RWTH Aachen (IKDG) sind die Erforschung und Optimierung von Dampf- und Gasturbinen und deren Teilsystemen als zentrale Energiewandlungsmaschinen im Kraftwerk. Durch die neuen Anforderungen an die Stromerzeugung werden verstärkt Forschungsaktivitäten im Bereich der Prozessentwicklung und -optimierung neuartiger Kraftwerksprozesse und Speichertechnologien, sowie im Bereich der emissionsarmen Verbrennung von wasserstoffreichen Brenngasen in Gasturbinen verfolgt.

**Ansprechpartner:**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Manfred Wirsum

**Weitere Informationen:**

[www.ikdg.rwth-aachen.de](http://www.ikdg.rwth-aachen.de)

## Zentrale Energieerzeugung

### Klimaschonender Brennstoff für Kraftwerke

Auch in einer regenerativen Energiewirtschaft werden zentrale Großkraftwerke, wenn Wind oder Sonne nicht verfügbar sind, das Rückenmark der Stromversorgung darstellen. Heute werden diese Kraftwerke überwiegend mit Kohle betrieben, wodurch hohe CO<sub>2</sub> Emissionen entstehen. Der teilweise oder vollständige Ersatz durch CO<sub>2</sub> neutrale Biomasse ist ein wichtiger Beitrag zur klimafreundlichen Stromerzeugung.

Ein standardisierter Brennstoff aus Biomasse von hoher gleichbleibender Qualität ist für einen zuverlässigen Anlagenbetrieb wichtig. Die kann durch Torrefizierung erreicht werden. Torrefizierung bezeichnet die thermische Behandlung fester Biomasse in einem Temperaturbereich zwischen 200 und 350 °C unter Luftabschluss. Durch die Torrefizierung werden der Heizwert in weniger Masse konzentriert sowie die Mahlbarkeit, die Lager- und Transporteigenschaften verbessert. So wird Biomasse länger haltbar, da die biologischen Zerfallsprozesse minimiert werden und das torrefizierte Material weniger zu Aufnahme von Wasser neigt.

Im Forschungsprojekt „Torrefizierung fester Biomassen“, das vom Land NRW und der Europäischen Union gefördert wird, werden die Aspekte entlang der Wertschöpf-

fungskette von der Auswahl geeigneter Biomasse, über den Torrefizierungsprozess selbst sowie die Weiterverarbeitung (Mahlen und Pelletieren) bis hin zur Ermittlung der Verbrennungseigenschaften in Kraftwerksfeuerungen betrachtet. Projektpartner sind: RWE Innogy GmbH, Hitachi Power Europe GmbH, Gas- und Wärme Institut e.V., MÜNCH-Edelstahl GmbH, ThyssenKrupp Steel Europe AG, Institut für Eisenhüttenkunde-RWTH Aachen.

Verschiedene Biomassearten, darunter unterschiedliche Hölzer (Nadel- und Laubholz), schnell wachsende Halmgüter (bspw. Miscanthus) sowie hochkalorische Biomasserückstände wie z. B. Mandelschalen werden untersucht. Ziel ist es, die wissenschaftlichen und technischen Voraussetzungen zu schaffen, um torrefizierte Biomasse gleichbleibender Qualität mit prozessspezifischen Eigenschaften für die Kraftwerkstechnik bereitzustellen.

#### **Ansprechpartner:**

Prof. Dr.-Ing. Viktor Scherer, Ruhr-Universität Bochum

#### **Weitere Informationen:**

[www.lead.ruhr-uni-bochum.de/torrefaction](http://www.lead.ruhr-uni-bochum.de/torrefaction)



## Zentrale Energieerzeugung

# Transformation des Energiesystems – Chancen und Risiken

In Politik, Gesellschaft und Wissenschaft herrscht weitgehend Übereinstimmung darüber, dass das weltweite Energiesystem verändert werden muss. Deutschland hat mit der eingeleiteten Energiewende diese Herausforderung für das eigene Land angenommen. Daraus erwachsen Chancen und Risiken: Chancen ergeben sich insbesondere durch die Implementierung neuer Energietechniken, die den Standort Deutschland zukunfts- und wettbewerbsfähiger machen können, und durch eine Vorbildfunktion, die eine weltweite Veränderung des Energiesystems erleichtern kann. Auf der anderen Seite ist die Energiewende eine risikoreiche „Operation am offenen Herzen“ des noch immer fossilen Energiesystems, die den Industriestandort Deutschland nicht gefährden darf.

Die Entwicklung eines zukunftsfähigen Energiesystems beschränkt sich aber nicht auf das Auswechseln einiger Technologien, den Ausstieg aus der Kernenergie und den Umstieg auf erneuerbare Energien. Es handelt sich vielmehr um eine Transformation des Energiesystems, die gesellschaftliche Reform- und Anpassungsprozesse, vielfältige technische und soziale Innovationen sowie ein operationalisierbares Leitbild erfordert. So erreichen z. B. Fragen nach „Suffizienz“ und „neuen Wohlstandsmodellen“ weite Teile der Gesellschaft noch nicht.

Viele Fragestellungen, an denen ein hohes öffentliches Interesse besteht, können nur mit einem interdisziplinären Energiesystemanalyseansatz beantwortet werden. Dazu müssen interagierende technische, ökonomische und ökologische Subsysteme simultan untersucht werden. Die Energiesystemanalyse und Technologiebewertung des Forschungszentrums Jülich (IEK-STE) stellt sich diesen Herausforderungen u. a. mit der Untersuchung langfristiger Angebots- und Nachfrage-Charakteristika von Energiesystemen. Dies erfordert insbesondere einen holistischen, interdisziplinären Ansatz, der technische, ökonomische, umwelt- und gesellschaftlich relevante Zusammenhänge berücksichtigt.

### **Ansprechpartner:**

Prof. J.-Fr. Hake, Forschungszentrum Jülich, Institut für Energie- und Klimaforschung, Systemforschung und Technologische Entwicklung (IEK-STE)

### **Weitere Informationen:**

[www.fz-juelich.de/iek/iek-ste](http://www.fz-juelich.de/iek/iek-ste)



## Zentrale Energieerzeugung

# Anwendung der Portfoliotheorie für einen optimalen Kraftwerks-Mix

Angesichts der weiter steigenden Stromnachfrage und der immer älter werdenden bestehenden Kraftwerke in Deutschland, sind erhebliche Neuinvestitionen und Reinvestitionen in die Kapazitäten der Energieerzeugung notwendig. In den letzten Jahren ist es immer populärer geworden finanzielle Risikoüberlegungen voranzustellen, besonders wenn es um Langzeitinvestitionen in Energieversorgungssysteme geht. Eine der finanzwirtschaftlichen Methoden, welche mehr und mehr auch in energiewirtschaftlichen Analysen Verwendung findet, ist die Mean-Variance Portfolio (MVP) Theorie, die ein mathematisches Grundgerüst bereitstellt, welches die Identifizierung einer Auswahl von effizienten Portfolios ermöglicht. In diesem Rahmen können spezifische finanzielle Risiken verschiedener Technologien (Kraftwerke) hinsichtlich ihrer technischen, ökonomischen und sozialen Aspekte besonders berücksichtigt werden. Leider ist die MVP-Theorie ein statischer Ansatz, der nur eine Betrachtung des Ist-Zustandes erlaubt, wohingegen dynamische Ansätze auch den technologischen Wandel, Lerneffekte und andere Einflüsse, welche die Risiko-Ertrags-Situation der Technologien, abgesehen von der Preisentwicklung, beeinflussen könnten, berücksichtigen. Hier setzen mehrere aktuelle Forschungsprojekte des E.ON Energy Research Centers an der RWTH Aachen an.

Das Ziel eines dieser Forschungsprojekte war die Analyse der Effizienz der derzeitigen Kombination aus bestehen-

den Kraftwerks-Portfolios von E.ON in verschiedenen Märkten, im Vergleich zu den optimalen (d.h. entweder risikominimierenden oder ertragsmaximierenden) Portfolios. Der spezielle Fokus lag dabei auf der Rolle der regenerativen Energietechnologien und der Situation in Deutschland, Schweden und Großbritannien. Ein weiteres Ziel war es, den Einfluss von verschiedenen neuen, von E.ON angestrebten, Investitionsoptionen in der Energieerzeugung bezüglich ihrer möglichen Beiträge zur Erreichung eines Risiko-Ertrags-Optimierten, zukünftigen Produktions-Portfolios zu untersuchen. Ein erklärtes Ziel dieses Projekts war es auch, den gängigen statischen Ansatz der Mean-Variance Portfolio-Theorie angewandt auf Energieerzeugungsanlagen zu erweitern und insbesondere zu dynamisieren.

### **Ansprechpartner:**

Prof. Dr. Reinhard Madlener, E.ON Energy Research Center, FCN

### **Weitere Informationen:**

[www.eonerc.rwth-aachen.de/fcn](http://www.eonerc.rwth-aachen.de/fcn)



## Zentrale Energieerzeugung

### Hitzeschutz in der Turbine

In Gas- oder Dampfturbinen, wie sie zur Stromerzeugung in Kraftwerken aber auch zum Antrieb bei Flugzeugen zum Einsatz kommen, gilt: je höher Betriebstemperatur und -druck, desto höher die Effizienz und umso mehr Strom holt eine Kraftwerksturbine aus jedem Kubikmeter Erdgas heraus. So sind Betriebstemperaturen bis zu 1200 °C für stationäre Gasturbinen heute durchaus üblich; diese sind jedoch nur zu realisieren, wenn die metallischen Grundwerkstoffe der zentralen Komponenten durch Schutzschichten gegen Wärmeeinwirkung und Korrosion geschützt werden.

Die gegenwärtig eingesetzten Schutzschichten werden schon zunehmend bis an ihre Temperaturgrenzen ausgereizt. Sie sind insbesondere nicht darauf ausgelegt, auch mit Brenngasen aus alternativen Brennstoffen (z. B. Biofuels oder Wasserstoff) oder in Kraftwerksturbinen mit schnellen Lastwechseln eingesetzt zu werden – Anforderungen, die im Zuge der Energiewende an Bedeutung gewinnen.

Die Jülicher Forscher wollen die Schutzschichtsysteme deshalb widerstandsfähiger machen, damit sie den extremen Bedingungen bei noch höheren Temperaturen, häufigeren Lastwechseln und veränderlichen Brennstoffzusammensetzungen dauerhaft widerstehen können. Ansätze sind dabei sowohl die Erprobung neuer Materialklassen als auch die Entwicklung neuartiger Mikrostrukturi-

ren: So erhöhen die Forscher beispielsweise den Anteil an feinen Poren in Wärmedämmschichten, denn Luftporen reflektieren Wärmestrahlung und erhöhen die Isolation – je mehr Poren, desto besser die Wärmedämmung. Die Stellschraube für mehr Porosität ist der Herstellungsprozess, bei dem feines Keramikpulver in die 3000 Grad heiße Flamme eines Plasmabrenners injiziert wird, wo es schmilzt.

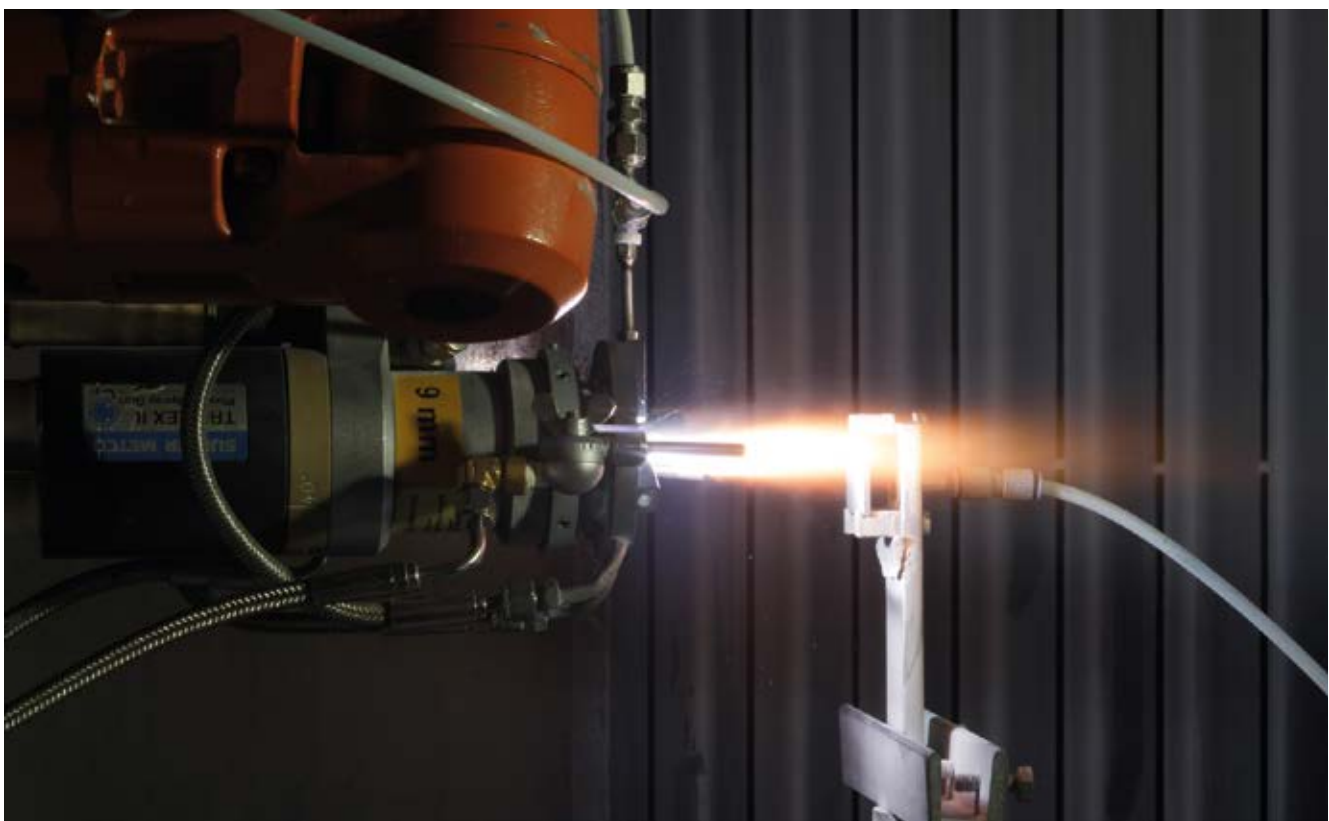
Die so erzeugten Wärmedämmschichten zeigen ein exzellentes Streuvermögen – bis zu 95 % der Wärmestrahlung wird zurückgeworfen. Angestrebt werden Betriebstemperaturen für die Gasturbinen von 1450 Grad. Um dies zu erreichen, erforschen die Wissenschaftler die Möglichkeit, auf das derzeit verwendete Material einen zusätzlichen Schutzpanzer aus komplett neu entwickelten Keramiken aufzutragen.

#### Ansprechpartner:

Prof. Dr. Robert Vaßen, Forschungszentrum Jülich, Institut für Energie- und Klimaforschung (IEK-1)

#### Weitere Informationen:

[www.fz-juelich.de/iek/iek-1](http://www.fz-juelich.de/iek/iek-1)



## Zentrale Energieerzeugung

### Steigerung thermischer Wirkungsgrade

Um bei begrenzten Ressourcen und zunehmenden Anforderungen an Umweltverträglichkeit und Nachhaltigkeit eine zuverlässige Energieversorgung zu ökonomisch vertretbaren Kosten sicherzustellen, sind neben der verstärkten Konzentration auf regenerative Energieträger der Ersatz älterer konventioneller Kraftwerke durch hocheffiziente, lastflexible Kohle- und Gaskraftwerke neuester Technologie unerlässlich. Sowohl für Energiewandlungssysteme im Einkreisbetrieb (z. B. Dampf- oder Gasturbinenkraftwerke) als auch in Mehrkreissystemen (z. B. Gas- und Dampfturbinen-Kombikraftwerke) können höhere thermische Wirkungsgrade und damit geringere CO<sub>2</sub>-Emissionen nur durch eine weitere Steigerung der Prozesstemperaturen und -drücke erreicht werden. Für die technische Umsetzung muss das Potential vorhandener Werkstoffe, z. B. für Verdichter, Turbinen, Brennkammern und Dampferzeuger optimal ausgenutzt werden und es ist eine kontinuierliche Weiter- und Neuentwicklung metallischer und keramischer Werkstoffe für die thermisch und mechanisch höchstbelasteten Komponenten erforderlich. Daran wird am Forschungszentrum Jülich gearbeitet.

Neben verbesserten Grundwerkstoffen können metallische Oxidationsschutz- und keramische Wärmedämmschichten in Verbindung mit geeigneten Kühlverfahren erheblich zur Steigerung der Prozesstemperatur beitragen.

Insbesondere bei der Werkstoffneuentwicklung ist darauf zu achten, dass die erarbeiteten Lösungen nicht nur technisch umsetzbar, sondern auch ökonomisch sinnvoll und im Langzeitbetrieb zuverlässig sind.

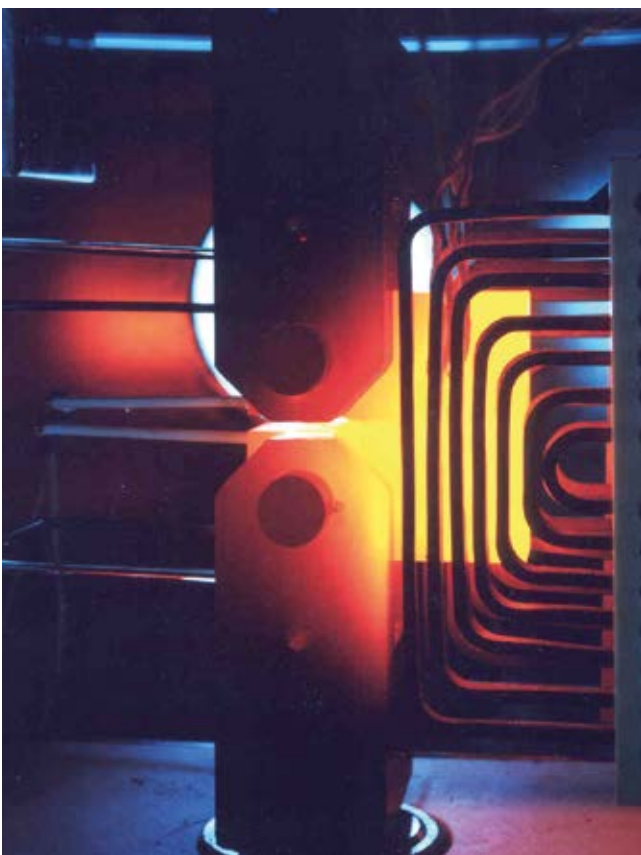
Wichtigste Voraussetzung einer systematischen Werkstoffentwicklung ist das fundierte Verständnis der Zusammenhänge zwischen chemischer Zusammensetzung, Mikrostruktur und mechanischen Eigenschaften sowie deren Langzeitstabilität bei praxisrelevanten Beanspruchungen. Um die optimale Ausnutzung und damit den wirtschaftlichen Einsatz dieser meist teuren Höchstleistungswerkstoffe sicherzustellen, müssen einerseits zuverlässige Werkstoffkennwerte unter praxisnahen Beanspruchungen bestimmt und den Verwendern zur Verfügung gestellt werden. Andererseits müssen Modelle zur Lebensdauererhersage unter den komplexen Beanspruchungen erarbeitet werden, um ökonomisch fragwürdige Überdimensionierungen zu vermeiden und gleichzeitig bestmögliche Zuverlässigkeit im Langzeitbetrieb mit zunehmend fluktuierenden Lasten zu erreichen.

**Ansprechpartner :**

Prof. Dr.-Ing. habil. Lorenz Singheiser und Prof. Dr.-Ing. Tilmann Beck, Forschungszentrum Jülich GmbH

**Weitere Informationen:**

[www.fz-juelich.de/iek/iek-2](http://www.fz-juelich.de/iek/iek-2)





## Biologische Erzeugung von Energieträgern

### Biogene Wasserstoffherzeugung durch Mikroalgen

An der Ruhr-Universität Bochum wird nach Wegen gesucht, Wasserstoff biologisch zu produzieren. Drei Arbeitsgruppen – geleitet von den Professoren Rögner, Happe und Wagner – sind der Kern des Verbundvorhabens zur Biowasserstoffproduktion durch Mikroalgen, welches in enger Kooperation mit dem MPI Mülheim (Prof. Lubitz) durchgeführt wird. Ziel ist die Fusion zweier biologischer Prozesse: Der pflanzlichen Photosynthese in Algen einerseits sowie der Biowasserstoffherzeugung durch das Enzym „Hydrogenase“ andererseits. In natürlichen Systemen laufen diese Prozesse weitgehend getrennt voneinander ab – die Biowasserstoffherzeugung zusätzlich unter anaeroben Bedingungen. Sie sollen nun mit maximaler Effizienz in einer neuen „Design-Algenzelle“ kombiniert werden und den Wasserstoff für eine nachgeschaltete Brennstoffzelle liefern. Hierbei soll der Prozess der Photosynthese derart „umprogrammiert“ werden, dass ein Großteil der Solarenergie nicht mehr zur Erzeugung von „Biomasse“, sondern von „Bioenergie“ in Form von Wasserstoff verwendet wird. Diese schrittweise Umgestaltung der Zelle auf der molekularen Ebene wirkt sich auf deren gesamten Stoffwechsel aus und erfordert mehrere Jahre innovative Optimierung: Schließlich soll etwa 100-mal mehr Wasserstoff pro Liter Algensuspension erzeugt werden als alle bisher existierenden Mikroalgensysteme, was Voraussetzung für eine spätere rentable Nutzung ist.

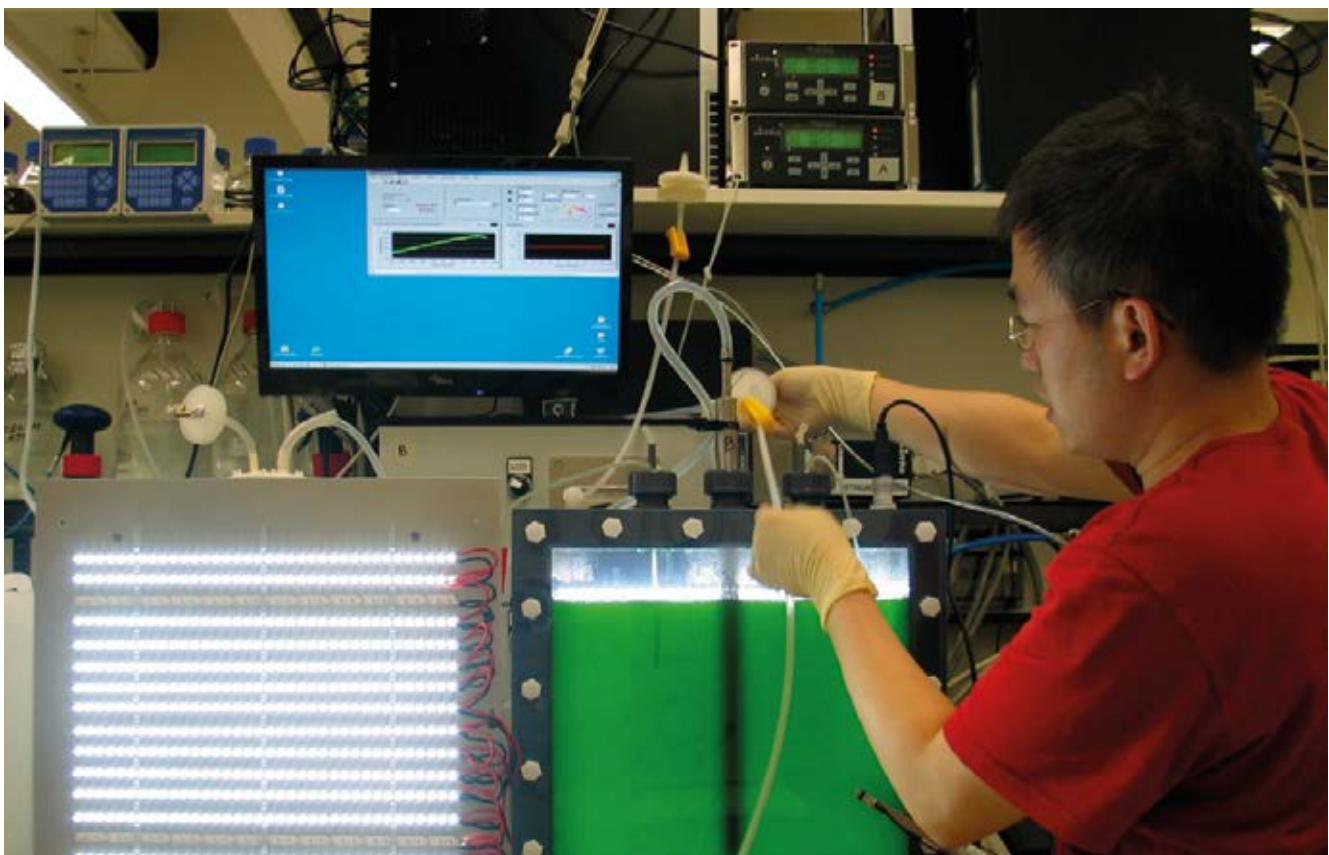
Neben dem „biologischen Design“ ist für eine spätere Anwendung das „technische Design“ des Reaktorsystems für dieses Vorhaben unabdingbar. In enger Kooperation mit der Fa. KSD (Hattingen) werden einfache und preisgünstige Photobioreaktoren für die Algenproduktion entwickelt, welche unter kontinuierlichen Bedingungen optimales Wachstum bei minimalem Energieaufwand ermöglichen. Ausgehend von bereits etablierten 5 L Photobioreaktoren zeigt der Prototyp eines kürzlich entworfenen 100 L Flachbettphotobioreaktors das Potential zur Skalierung auf eine spätere Massenproduktion. Ziel des Projektes ist es, Wirkungsgrade für die Wasserstoffproduktion zu erreichen, die dem aktuellen Stand der Technik bei der Elektrolyse mit Hilfe von PV-Strom entsprechen.

#### **Ansprechpartner:**

Prof. Dr. Matthias Rögner, Lehrstuhl für Biochemie der Pflanzen, Fakultät für Biologie & Biotechnologie, Ruhr-Universität Bochum

#### **Weitere Informationen:**

[www.bpf.rub.de](http://www.bpf.rub.de)





## Biologische Erzeugung von Energieträgern

### Science-to-Business-Center :agrohort

Das Projekt :agrohort energy wird durch den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung der Europäischen Union gefördert. Im Rahmen des Regionale 2010-Projektes „:agrohort energy“ werden am Campus Klein-Altendorf der Universität Bonn neue bzw. noch nicht genutzte Biomassepotentiale hinsichtlich Anbau, Ernte, Aufbereitung und Verbrennung untersucht. Dies sind zum einen sogenannte low-input-Pflanzen, die mit minimalem Energieaufwand angebaut werden können. Hier sind insbesondere mehrjährige nachwachsende Rohstoffe wie unterschiedliche Miscanthus-Herkünfte, Switchgrass, Kurzumtriebsplantagen mit Pappeln, Weiden oder Paulownia im Focus. Bei diesen Kulturen liegt das Input zu Output-Verhältnis bei 1 zu 12–15, während er bei einjährigen Energiepflanzen wie Raps nur bei 1 zu 2–3 liegt. Zum anderen wird das regional verfügbare Schnitt- und Rodungsholz von Obstbäumen untersucht. Dieses Biomassepotential wird bisher gar nicht oder nur in Einzelfällen genutzt. Hier liegt der Schwerpunkt auf der Kaskadennutzung. Also zunächst eine Apfelbaumplantage 12–15 Jahre zur Nahrungsmittel- und anschließend zur Energienutzung verwenden. Immerhin hat ein Hektar Apfelbäume einen Energiewert von umgerechnet 7.500 l Heizöl.

Im Rahmen des Projektes werden intensive pflanzenbauliche Untersuchungen hinsichtlich verschiedener Sorten und Herkünfte durchgeführt. Daran schließt sich die Optimierung der Ernte an, wo eigens ein Treeeater für die Rodung der Apfelbäume entwickelt wird und schließlich wird dann versucht Einflussparameter auf die Pelletierbarkeit und Verbrennung der Großgräser und Hölzer zu identifizieren. Hierzu stehen am Campus zwei 90 kW Pelletanlagen und eine 500 kW Hackschnitzelanlage zur Verfügung, die gleichzeitig den gesamten Campus mit dem großen Gewächshauskomplex mit Wärme versorgen. Durch zahlreiche Veranstaltungen und Führungen werden die hier gewonnenen Erkenntnisse direkt der Öffentlichkeit vorgestellt, was dazu geführt hat, dass es bereits erste Umsetzungen in die Praxis gibt.

**Ansprechpartner:**

Prof. Dr. Ralf Pude, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

**Weitere Informationen:**

[www.agrohort.de](http://www.agrohort.de)

## Biologische Erzeugung von Energieträgern

### Mini-Holzvergaser-BHKW

Bedingt durch die zunehmende energetische Nutzung von Biomasse hat der Energieholzmarkt in den letzten Jahren in Deutschland einen enormen Zuwachs erfahren. Infolge dessen sind derzeit steigende Bezugspreise für biogene Energieträger zu verzeichnen. Auf der anderen Seite gibt es große Mengen an Biomassenrückständen, -abfällen und -nebenprodukten, die bisher weitgehend ungenutzt bleiben und ein erhebliches energetisches Potential besitzen.

Seit Oktober 2012 erfolgt am Lehr- und Forschungsgebiet Technologie der Energierohstoffe (TEER) an der RWTH Aachen die Entwicklung einer Vergasungsanlage für Biomassepellets mit anschließender Nutzung des Synthesegases in einem Mini-BHKW. Gemeinsam mit dem Industriepartner Spanner Re<sup>2</sup>, dem deutschlandweit führenden Hersteller von Holzhackschnitzelvergasungsanlagen, hat das TEER es sich zur Aufgabe gemacht, einen Prototypen dieses Verfahrens in einem 2-jährigen Förderprojekt in die Serienreife zu überführen. Die Anlage, welche über eine Leistung im Bereich von 15/30 kWel/th verfügen wird, soll ihren Einsatz im Bereich mittelgroßer bis großer Wohnimmobilien sowie in kleineren Industriebetrieben finden. Das Projekt wird vom Bundesumweltministerium im Rahmen des Förderprogramms „Forschung und Entwicklung zur

Optimierung der energetischen Biomassenutzung“ gefördert. Betreut wird das Vorhaben durch den Projekträger Jülich.

Die wissenschaftlich-technischen Arbeitsziele des Projektes „Mini-Bio-KWK“ sind:

- die Übertragung der bisherigen Betriebserfahrung des Antragsstellers mit der Vergasung von Holzhackschnitzeln auf den mit Restholzpellets betriebenen Prototyp,
- die verfahrenstechnische Anpassung und Optimierung des Prototyps der Firma Spanner Re<sup>2</sup> hinsichtlich der im Vergleich mit Holzhackschnitzeln veränderten Anforderungen des Energieträgers Restholzpellets an den Prozess sowie
- die Konfektionierung biogener Reststoffe wie Biomassenrückstände, -nebenprodukte und -abfälle für die Pelletierung nach den Vorgaben des Konversionsprozesses.

#### Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. Yves Noël, RWTH Aachen

#### Weitere Informationen:

[www.teer.rwth-aachen.de](http://www.teer.rwth-aachen.de)



## Biologische Erzeugung von Energieträgern

### Flash-Pyrolyse eröffnet Nutzungsoptionen für Halmgüter

Die landwirtschaftliche Nutzung halmgutartiger Biomasse beschränkt sich häufig auf den Fruchtanteil der Pflanze, während Stängel und Blätter in Form von Stroh häufig ungenutzt auf dem Acker verbleiben. Nach Abzug des Anteils, der zur Erhaltung des Humusgehalts im Boden nicht genutzt werden darf, verbleibt in Deutschland ein beachtliches Potenzial: nach Angaben der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) könnten jährlich bis zu 13 Mio. t Getreidestroh genutzt werden. Die wesentlichen Hürden bei einer verstärkten Strohnutzung liegen einerseits in der geringen volumetrischen Energiedichte und andererseits in den aufgrund großen Personalbedarfs hohen Logistikkosten bei Bergung, Lagerung und Verwendung. Zusätzlich erschwert und verteuert die Verrottungsneigung des Strohs bei unsachgemäßer Lagerung die Einhaltung einer übers Jahr gleichbleibenden Qualität für mögliche Abnehmer.

Hier setzen die Arbeiten von Fraunhofer UMSICHT im Rahmen des Fraunhofer-Innovationsclusters »Bioenergy« an: in einem so weit wie möglich ernteintegrierten Prozess soll Stroh mit Hilfe der ablativen Flash-Pyrolyse, bei der das Stroh unter Luftabschluss gegen eine ca. 550 °C heiße Oberfläche gepresst wird, in Pyrolyseöl, Koks und Gas umgewandelt werden. Während die Gase zur Beheizung des Prozesses verwendet werden sollen, können Koks und Pyrolyseöl gelagert und wegen der im Vergleich zum Stroh deutlich höheren Energiedichte auch über längere Stre-

cken ökonomisch sinnvoll transportiert werden. Der Koks kann als Brennstoff genutzt werden. Für das Pyrolyseöl eröffnen sich verschiedene Nutzungspfade: einerseits kann das Öl als Brennstoff zur Wärmeerzeugung oder in modifizierten Motoren zur Stromerzeugung eingesetzt werden, andererseits können aus der Vielzahl der im Pyrolyseöl enthaltenen Verbindungen auch einige separiert und einer stofflichen Nutzung zugeführt werden.

Im Rahmen des Anfang 2012 gestarteten Innovationsclusters »Bioenergy« soll zum einen der Konversionsprozess optimiert und zum anderen Verwertungspfade für die Pyrolyseprodukte weiterentwickelt werden. Dazu stehen zwei Versuchsanlagen mit ca. 16 kg/h und bis zu 300 kg/h Materialeinsatz zur Verfügung.

Der Fraunhofer-Innovationscluster Bioenergy wird vom Ministerium für Innovation, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) und mit Mitteln der Fraunhofer-Gesellschaft gefördert.

#### Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. Tim Schulzke, Fraunhofer UMSICHT

#### Weitere Informationen:

[www.umsicht.fraunhofer.de](http://www.umsicht.fraunhofer.de)





## Biologische Erzeugung von Energieträgern

### Zentrum für Hydrothermale Carbonisierung

Die Hydrothermale Carbonisierung (HTC) ist ein Konversionsverfahren für pflanzliche Biomasse, die durch die Carbonisierung in eine braunkohleartige Biokohle überführt wird. Der Umwandlungsprozess findet bei 180–250 °C in einem Druckreaktor innerhalb weniger Stunden statt.

Die HTC-Biokohlen der meisten Ausgangsmaterialien haben Brennwerte und Elementgehalte ähnlich denen von Braunkohle. Besonders hervorstechend ist das sehr gute Entwässerungsverhalten. Damit bietet sich das HTC-Verfahren an, um feuchte und schlecht entwässerbare organische Abfall- und Reststoffe wie z. B. Klärschlämme oder Gärreste für die energetische Nutzung aufzubereiten.

Ein anderer Verwendungszweck wird in der Nutzung als Bodenhilfsstoff gesehen. Eigene Untersuchungen zeigten, dass die Wasserhaltekapazität von sandigen Böden durch die Zugabe von HTC-Biokohle deutlich verbessert werden kann.

Das Fachgebiet Abfallwirtschaft und Deponietechnik der Hochschule Ostwestfalen-Lippe ist bereits seit 2007 auf dem Gebiet der Hydrothermalen Carbonisierung tätig. Die Arbeiten begannen mit der Carbonisierung einer Vielzahl von kommunalen, gewerblichen und industriellen organischen Abfällen in einem 25 L Batch-Reaktor, um die Eignung des Verfahrens beim Einsatz realer Abfall- und Reststoffe zu prüfen.

Seit 2009 wird im Rahmen eines vom Bundesforschungsministerium geförderten Projekts an einem halbertechnischen kontinuierlich arbeitenden HTC-Reaktor mit einem Volumen von 200 L gearbeitet, der in Zusammenarbeit mit dem Schweizer Anlagenbauer Kelag, dessen deutschem Tochterunternehmen Cowa und dem Liechtensteiner Ingenieurbüro TFC Engineering realisiert wurde. Diese Kooperation hat vor allem die verfahrenstechnische Optimierung der Entsorgung von Klärschlämmen und Klärschlamm-Bioabfall-Gemischen zum Ziel.

Das Land Nordrhein-Westfalen unterstützt das Fachgebiet bei der Weiterentwicklung der HTC mit Mitteln aus dem Europäischen Fond für Regionalentwicklung. Ziele dieses Projekts sind die prozessorientierte Aufklärung der Umsetzungsvorgänge bei der HTC und der Technologietransfer.

**Ansprechpartner:**

Professor Dr.-Ing. Hans-Günter Ramke, Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Standort Höxter

**Weitere Informationen:**

[www.hs-owl.de/fb8/fachgebiete/abfallwirtschaft/html/schwerpunkte/hydrothermal.html](http://www.hs-owl.de/fb8/fachgebiete/abfallwirtschaft/html/schwerpunkte/hydrothermal.html)



## Biologische Erzeugung von Energieträgern

### :metabolon – Vom Abfall zum Wertstoff

Unsere Welt ist geprägt durch Stoffströme, die mit Energieflüssen gekoppelt sind. In der Natur werden diese Ströme in geschlossenen Kreisläufen geführt, da gibt es keine Abfälle. Das ist auch der Ansatz im Projekt :metabolon des Bergischen Abfallwirtschaftsverbands BAV aus Engelskirchen, das vom Ministerium für Innovation, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen gefördert wird.

Zentraler Partner in diesem Verbundprojekt ist die Fachhochschule Köln. Darüber hinaus sind noch weitere deutsche und europäische Hochschulen und Forschungseinrichtungen in das Projekt eingebunden. Gemeinsam wurde auf dem Standort der ehemaligen Zentraldeponie Leppe ein Lehr- und Forschungszentrum geschaffen. Die besondere Aufgabe des Projekts besteht in der Bereitstellung eines großräumigen Technikums und modernen Laborumfeldes. Dabei sollen die Schlüsseltechnologien des Stoffwechsels zwischen Gesellschaft und Natur und grundlegende Methoden zur regionalen Organisation und Steuerung regionaler Ressourcen wissenschaftlich untersucht und aufbereitet werden. Dazu zählen neben natürlichen Ressourcen wie dem Holz auch Endprodukte aus anthropogenen Wertschöpfungsketten (Abfälle). Erforscht und optimiert werden die Bereitstellung, Aufbereitung und Umwandlung von Ressourcen sowie die Verwertung und Weiterverarbeitung von Zwischen- und Endprodukten dieser Prozesse.

Im Forschungsvorhaben :metabolon werden zum Beispiel die Inhaltsstoffe aus der kommunalen Entsorgung mit optimiertem Wirkungsgrad energetisch genutzt, das angewandte Verfahren fortlaufend verbessert und mit den F&E-Partnern weiter entwickelt. Stoffliche Basis sind die organischen Bestandteile der Biotonnen aus den umliegenden Gemeinden. Nach der Trennung und Aufarbeitung werden die organischen Abfälle in den Vergärungsanlagen zu Biogas umgesetzt.

In der neuen Pilotanlage, die aus Projektmitteln finanziert wurde, können die wichtigsten Steuergrößen für den Vergärungsprozess variiert und Optimierungsstrategien für die großen Fermenter abgeleitet werden. Das Gas wird im BHKW zur Bereitstellung elektrischer Energie und die anfallende Wärme als Heiz- und Prozesswärme genutzt.

#### **Ansprechpartner:**

Monika Lichtiginghagen-Wirths, Bergischer Abfallwirtschaftsverband

#### **Weitere Informationen:**

[www.metabolon.de](http://www.metabolon.de)

## Biologische Erzeugung von Energieträgern

### ReEnvision® – Wasserstoff- erzeugung aus Reststoffen

ReEnvision® beinhaltet erstmals einen Ansatz zur Erzeugung von Wasserstoff über eine vorgeschaltete zweistufige Synthesegaserzeugung, das so genannte IPV-Verfahren (Integrierte Pyrolyse und Verbrennung), das an der Universität Siegen entwickelt wurde. Hierbei wird die Pyrolyse/Vergasung atmosphärisch in einem mit heißem Wärmeträger aus Asche befüllten bewegten Festbett durchgeführt. Die Aufheizung des Wärmeträgermaterials erfolgt autotherm in einer parallel angeordneten Wirbelschichtfeuerung. Als Brennstoff für die Synthesegaserzeugung dienen heizwertreiche Ersatzbrennstoffe mit definierten physikalischen und chemischen Eigenschaften, die vorzugsweise aus Shredderrückständen gewonnen werden, wie z. B. durch das VW-Sicon-Verfahren. Andere Brennstoffe, auch Biomassen, sind darstellbar. Ebenso wird angestrebt, einen so genannten Designerbrennstoff zu entwickeln, der den Anforderungen des Prozesses sowie der Aufgabenstellung in besonderer Weise Rechnung trägt. Der so erzeugte Wasserstoff soll entweder als flüssiger oder verdichteter Wasserstoff bereitgestellt werden. Ebenso sollen die Nebenprodukte des Prozesses energetisch sinnvoll genutzt werden.

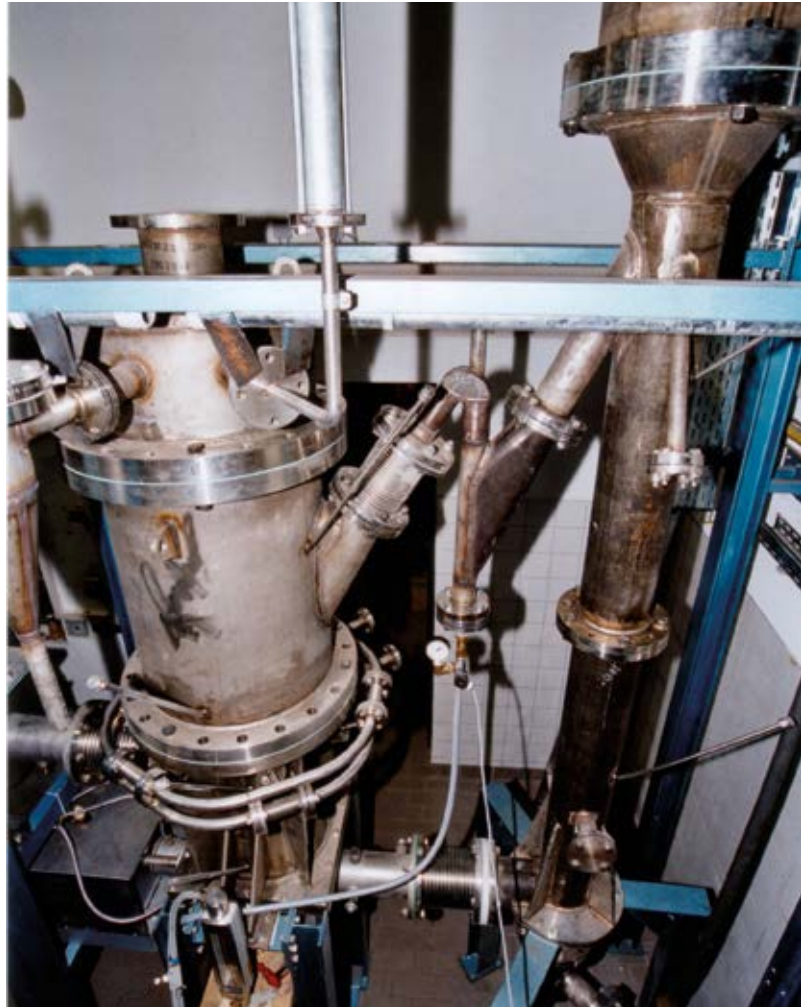
Es ist vorgesehen, eine Demonstrationsanlage zu betreiben, um Wasserstoff nachhaltig aus alternativen Brennstoffen zu erzeugen. Dazu wird eine im Wesentlichen vorhandene erfolgreich betriebene Versuchsanlage zur Vergasung aschereicher Brennstoffe entsprechend erweitert, so dass aus dem Produktgas Wasserstoff abgetrennt werden kann. Das verbleibende Restgas soll einerseits in einem Gasmotor zur Strom- und Wärmeerzeugung eingesetzt werden, um den gesamten Prozess insgesamt energieautark betreiben zu können. Bei der Anlagenerweiterung handelt es sich in erster Linie um die Prozessintegration einer Gasaufbereitungsanlage, die so konzipiert ist, dass verschiedene Verfahrensprinzipien zur Gasreinigung vergleichend untersucht werden können.

**Ansprechpartner:**

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Krumm, Universität Siegen

**Weitere Informationen:**

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



## Biologische Erzeugung von Energieträgern

### Forschung nach den Kraftstoffen der Zukunft

Die begrenzte Verfügbarkeit fossiler Energieressourcen, der durch CO<sub>2</sub>-Emissionen begründete Klimawandel und der weltweit steigende Energiebedarf erfordern die Erschließung alternativer Energieträger zur Sicherstellung der zukünftigen Mobilität. Vor diesem Hintergrund hat sich der Exzellenzcluster „Maßgeschneiderte Kraftstoffe aus Biomasse“ zum Ziel gesetzt, neue Produktionswege für synthetische Kraftstoffe aus Biomasse zu erforschen. Es sollen auf diesem Weg neue Kraftstoffe gefunden werden, die nachhaltig und mit geringsten Emissionen und somit maximaler Effizienz in Verbrennungsmotoren eingesetzt werden können. Ein entscheidender Teilprozess, der die Effizienz von Verbrennungsmotoren bestimmt, ist die Gemischbildung von Kraftstoff und Luft.

Diese Gemischbildung wird wesentlich durch den Zerfall, die Ausbreitung und die Verdunstung des motorischen Sprühstrahls im Brennraum bestimmt. Der Einfluss des Kraftstoffes und seiner thermophysikalischen Eigenschaften auf diesen Teilprozess ist jedoch bis zum heutigen Tage noch nicht in ausreichender Weise verstanden. Aus diesem Grund werden am Lehrstuhl für Wärme- und Stoffübertragung der RWTH Aachen (WSA) unterschiedlichste experimentelle Studien durchgeführt, die zum

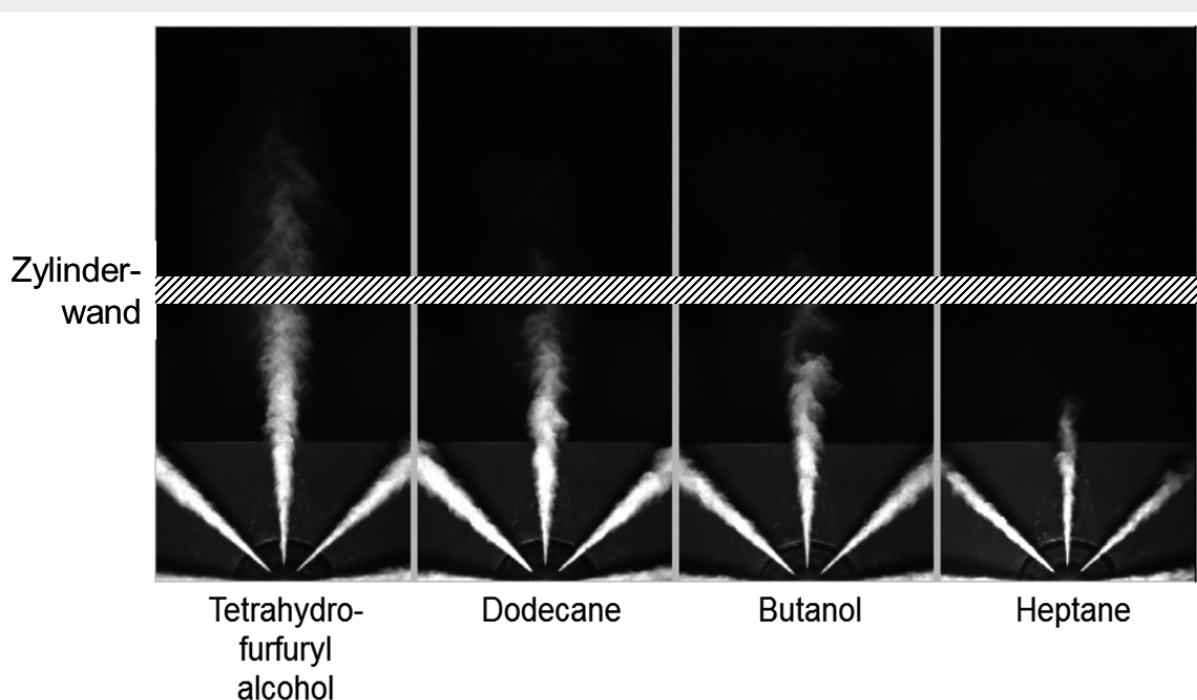
besseren Verständnis des Kraftstoffeinflusses auf die Gemischbildung beitragen sollen. Die Untersuchungen werden sowohl unter atmosphärischen als auch unter motornahen Umgebungsbedingungen an speziellen Hochdruck- und Hochtemperaturkammern durchgeführt. Zum Einsatz kommen dabei verschiedenste Messtechniken wie z. B. die „Laser-Correlation-Velocimetry“ zur zeitlich hochaufgelösten Geschwindigkeitsmessung, die „Phasen-Doppler-Anemometrie“ zur Bestimmung von Tropfengrößen und -geschwindigkeiten oder das „Ballistic Imaging“ zur phänomenologischen Analyse des Primärzerfalls. Ziel der komplementären Untersuchungen ist die fundierte Vorhersage des Kraftstoffeinflusses auf die Gemischbildung und im Umkehrschluss die Definition erstrebenswerter Kraftstoffigenschaften für eine optimale Gemischbildung.

#### Ansprechpartner:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. R. Kneer, Lehrstuhl für Wärme- und Stoffübertragung, RWTH Aachen

#### Weitere Informationen:

[www.wsa.rwth-aachen.de](http://www.wsa.rwth-aachen.de)





## Biologische Erzeugung von Energieträgern

### Mechanokatalytische Depolymerisation von Holz

Die meisten der derzeitigen Verfahren zur Herstellung von Biokraftstoffen beruhen auf der Nutzung von Biomasse, die auch als Nahrungs- oder Futtermittel benutzt werden könnte, so etwa die Herstellung von Bioethanol aus Mais oder Gerste oder die von Biodiesel aus Raps- oder Sojaöl. Grundsätzlich könnte man auch die Strukturbestandteile von Pflanzen, die sogenannte Lignocellulose, einsetzen, um Biokraftstoffe oder Biomasse-basierte Chemikalien zu produzieren. Der Hauptbestandteil von Lignocellulose, die Cellulose, ist nämlich ein Polymer, das aus vielen miteinander zu einer Kette verknüpften Glucoseeinheiten besteht. Gelänge es, diese Ketten in die Glucosebausteine aufzuspalten, so wäre hiermit der Weg zur „Verzuckerung“ von Holz eröffnet.

Allerdings sind die Glucosemoleküle in der Lignocellulose-Struktur so gut verpackt, dass eine Aufspaltung sehr schwierig ist. Prozesse, die für diesen Zweck entwickelt worden sind, leiden darunter, dass sie unter sehr harschen Bedingungen stattfinden und dass erhebliche Mengen an unerwünschten Nebenprodukten entstehen. Hier setzt die Entwicklung aus den Gruppen von Ferdi Schüth und Roberto Rinaldi aus dem Max-Planck-Institut für Kohlenforschung an: Es wurde gefunden, dass die Kombination von Säurekatalyse und Eintrag von mechanischer Energie die stabile Struktur von Cellulose und auch von Holz sehr effizient aufbricht. Das Vermahlen von Cellulose, die zuvor mit einer Säure imprägniert wurde, resultiert nach nur zwei Stunden in der Bildung von vollständig wasserlöslichen Produkten, die dann sehr einfach weiterverarbeitet werden können. Durch eine kurze Wärmebehandlung etwa entstehen in fast vollständiger Ausbeute Zucker, die mittels Hefe zu Ethanol fermentiert werden können; Behandlung mit Wasserstoff in Anwesenheit von Katalysatoren führt zu fast vollständigem Umsatz zu Zuckeralkoholen, die wertvolle Rohstoffe sind. Durch das entwickelte Verfahren ist nun ein einfacher Weg von Holz zu Kraftstoffen und Chemikalien zumindest im Labormaßstab erschlossen.

#### Ansprechpartner:

Prof. Dr. Ferdi Schüth; Dr. Roberto Rinaldi, Max-Planck-Institut für Kohlenforschung

#### Weitere Informationen:

[www.kofo.mpg.de](http://www.kofo.mpg.de)



## Energienetze und -speicher

# CeraStorE – Kompetenzzentrum für keramische Werkstoffe und thermische Speichertechnologien

Im Kompetenzzentrum CeraStorE am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Standort Köln, arbeiten Energie- und Werkstoff-Forscher aus drei DLR-Instituten unter einem Dach. Auf einer Gesamtfläche von 2.000 m<sup>2</sup> finden Wissenschaftler der DLR-Institute für Werkstoff-Forschung, Solarforschung und Technische Thermodynamik ideale Voraussetzungen für die interdisziplinäre Zusammenarbeit vor. Thematische Schwerpunkte sind die Entwicklung von langfaserverstärkten Oxidkeramikwerkstoffen für stationäre Gasturbinen, Prozesse und Materialien für die (solar)thermochemische Gewinnung synthetischer Brennstoffe sowie thermische bzw. thermochemische Speicherkonzepte und -demonstratoren. Wissenschaftler des DLR erforschen innovative Speichertechnologien für Strom und Wärme aus regenerativen Energiequellen und überprüfen neue Konzepte zur solaren Erzeugung von Brennstoffen auf ihre Machbarkeit. Die enge Verzahnung von CeraStorE mit den drei „Mutterinstituten“ fördert den wissenschaftlichen Austausch und schafft Synergien. Die Kombination von systemischem Know-how und Werkstoffkompetenz eröffnet CeraStorE eine einzigartige Stellung innerhalb und außerhalb des DLR.

Mit ihrer Arbeit im CeraStorE schlagen die Forscher eine Brücke zwischen Forschung und Industrie. In den Laboren des neuen Kompetenzzentrums CeraStorE werden sie in Kooperation mit Industriepartnern anwendungsnahe Prototypen entwickeln, welche unter realitätsnahen Bedingungen getestet werden können.

Ermöglicht wurde das Projekt durch den Einsatz von Mitteln aus dem Konjunkturpaket 2 des Landes NRW, das die Kosten für das Gebäude und eines Teils der technischen Infrastruktur übernahm.

### **Ansprechpartner:**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Reh, Stellv. Direktor am DLR Institut für Werkstoff-Forschung, Dr. Antje Wörner, DLR Institut für Technische Thermodynamik, Abteilungsleitung Thermische Prozesstechnik, und Dr. Martin Roeb, DLR Institut für Solarforschung

### **Weitere Information:**

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





## Energienetze und -speicher

### Innovativer chemischer Wasserstoffspeicher in Leichtmetallbauweise

Je nach Anforderung kann Wasserstoff unter Druck (bis 700 bar), in flüssiger Form (bei  $-253\text{ °C}$ ), adsorbiert an geeigneten Substanzen oder in chemisch gebundener Form gespeichert werden.

Das Institut für Energie- und Umwelttechnik IUTA, Duisburg, und das Max-Planck-Institut für Kohlenforschung MPI, Mülheim, entwickeln in einem Verbundprojekt einen serienfertigungstauglichen chemischen Wasserstoffspeicher auf Basis des Speichermaterials Natriumalanat, welches eine hohe gravimetrische Speicherdichte aufweist.

Da bei der Speicherung des Wasserstoffs Wärme auf einem Temperaturniveau von  $150\text{ °C}$  frei wird, welche bei der Wasserstoffentnahme wieder zuzuführen ist, eignet sich dieser Speicher insbesondere für Energiesysteme, bei denen Wärmeenergie auf diesem Temperaturniveau umgesetzt wird, z. B. in der Hausenergieversorgung. Durch Integration eines Wasserstoffspeichers auf Natriumalanat-Basis in ein Brennstoffzellen-Hausenergiesystem kann dem Strom-Wärme-Ungleichgewicht und der Systemträgheit effektiv entgegengewirkt werden. Der Speicherbehälter wird aus dem Leichtmetall Aluminium gefertigt. In enger Zusammenarbeit mit der TRIMET Aluminium AG, Essen und dem F. W. Brökelmann Alumi-

niumwerk, Ense-Höingen, kommen dabei angepasste Aluminiumlegierungen zum Einsatz, aus denen im Strangpressverfahren auch die Stoff- und Wärmeverteilungsstrukturen im Inneren des Speicherbehälters hergestellt werden.

Die Entwicklung des Speichers erfolgte schrittweise über mehrere Prototypen. Nach Festlegung des endgültigen Speicherdesigns wird der Speicher fertiggestellt, mit dem Speichermaterial befüllt und im Langzeitbetrieb werden die Leistungsdaten erfasst und bei unterschiedlichen Betriebszuständen getestet.

Das Vorhaben soll einen Beitrag dazu leisten, die Einführung der Wasserstoffwirtschaft in Nordrhein-Westfalen durch Bereitstellung eines innovativen Wasserstoffspeichers voranzutreiben.

#### **Ansprechpartner:**

Dr. Stefan Peil, Institut für Energie- und Umwelttechnik IUTA e.V., und Dr. rer. nat. Michael Felderhoff, Max-Planck-Institut für Kohlenforschung

#### **Weitere Informationen:**

[www.iuta.de](http://www.iuta.de) und [www.kofo.mpg.de](http://www.kofo.mpg.de)

## Energienetze und -speicher

# Neuartige mikroporöse Separatorfolien für Lithium-Ionen-Batterien

Künftige Elektrofahrzeuge brauchen kostengünstige und sichere Komponenten in der Antriebstechnik. Separatoren in Lithium-Ionen-Batterien sind poröse Folien zur Trennung der chemischen Reaktionen von Anode und Kathode und ein wesentliches Sicherheitselement, um einen Kurzschluss in der Batterie zu verhindern. Im Projekt erforscht das MEET Batterieforschungszentrum der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster in Kooperation mit der Firma Sihl aus Düren ein neues Konzept zum chemischen und strukturellen Aufbau von Separatoren. Separatoren mit einer hohen (Dimensions-)Stabilität – auch bei Temperaturen bis zu 200 °C – können verhindern, dass es im Extremfall bei elektrischem Kontakt der Elektrodenmaterialien zu einem explosionsartigen Durchbrennen der Batterie kommt. Damit soll eine wesentliche Verbesserung der Sicherheit von Lithium-Ionen-Batterien für die E-Mobilität erreicht werden.

Im Rahmen des Projektes hat die Firma Sihl überwiegend anorganische, also nicht schmelzbare, temperatur- und dimensionsbeständige Separatoren durch Beschichtung erstellen können, die am MEET auf ihre Tauglichkeit in Li-

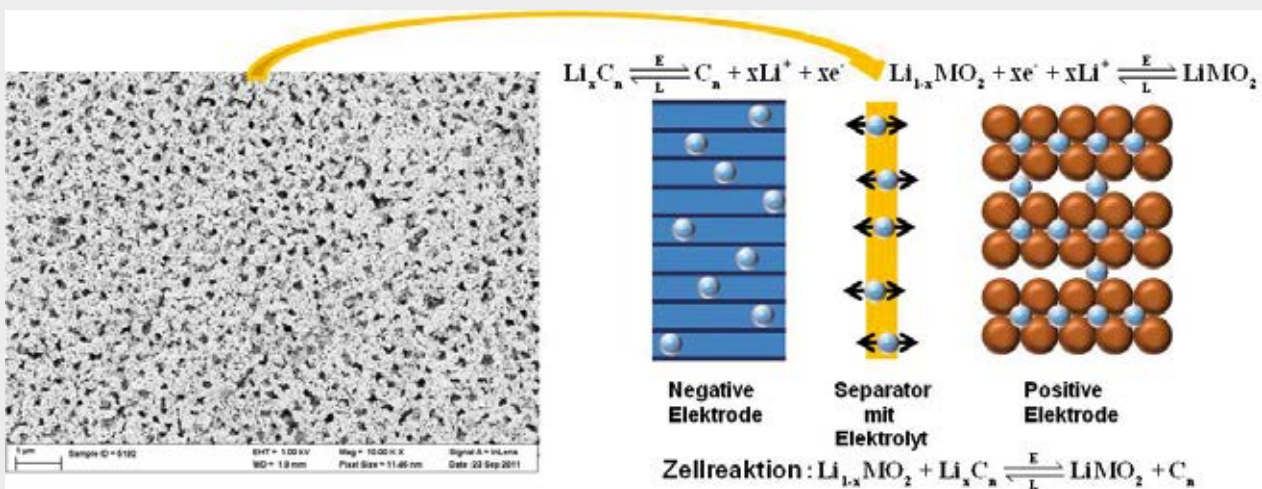
thium-Ionen-Batterien charakterisiert wurden. In den Batterietests am MEET konnten positive Ergebnisse erzielt und damit erste Meilensteine für eine neue Technologie erarbeitet werden. Die neuartigen Separatoren besitzen viele feine Poren, um den Lithiumionenfluss in der Batterie auch bei schnellen Ladevorgängen zu garantieren. Die Oberflächenstruktur eines solchen Separators ist in der Abbildung (links) zu sehen. Die weitere Optimierung und die Erstellung von Pilotmustern ist im weiteren Verlauf des Projektes vorgesehen.

### Ansprechpartner:

Dr. Shahmahmood Obeidi, MEET, Westfälische Wilhelms-Universität Münster

### Weitere Informationen:

[www.uni-muenster.de/MEET](http://www.uni-muenster.de/MEET)



## Energienetze und -speicher

# Redox-Flow-Batterien zur Speicherung elektrischer Energie

Der Anteil an erneuerbaren Energien wird in Deutschland weiterhin stark ansteigen. Aus Wind oder Sonne erzeugter Strom fällt jedoch fluktuierend an. Um eine Planbarkeit sicherzustellen sind Stromspeicher notwendig, die überschüssigen Strom in großer Menge speichern und bei Bedarf wieder abgeben können. Die Vanadium-Redox-Flow-Batterie, wie sie am Fraunhofer UMSICHT entwickelt wird, bietet hierzu eine geeignete Technologieplattform.

Elektrische Energie wird hierbei in Form von chemischen Verbindungen gespeichert. In der Vanadium Redox-Flow-Batterie sind Vanadiumsalze in den Oxidationsstufen  $V^{2+}/V^{3+}$  sowie  $V^{4+}/V^{5+}$  als aktive Komponenten in Schwefelsäure gelöst vorhanden. Diese Salze können im sogenannten Leistungsteil (Stack) geladen und in einem Tanksystem gespeichert werden. Ein wesentlicher Vorteil gegenüber anderen Batterietechnologien ist, dass sowohl die Leistungseinheit als auch das Tanksystem unabhängig voneinander ausgelegt werden können.

Der Leistungsteil besteht aus einer oder mehreren elektrochemischen Zellen. Jede Einzelzelle verfügt über zwei Elektroden und eine ionenleitende Membran. Dazwischen fließt der Elektrolyt, der als Speichermedium dient. Bei Raumtemperatur liegt der Elektrolyt in flüssiger Form vor, wird in externen Tanks gespeichert und durch die Zellen gepumpt. Jede Einzelzelle liefert nur etwa eine Nennspannung von 1,2 V. Um eine sinnvolle Spannungsebene zu erzielen werden viele Einzelzellen im Stack in Serie verschaltet.

Am Fraunhofer UMSICHT werden Vanadium-Redox-Flow-Batterien entwickelt und getestet. Es stehen eine Vielzahl von Teststandskapazitäten zur Verfügung, welche es ermöglichen Testzellen im Leistungsbereich von 10 kWel bis hin zu Leistungsmodulen bis zu 80 kWel und 100 Volt zu charakterisieren. Es können Testzyklen automatisiert durchgeführt werden, um Lebensdauer und Zyklenstabilität zu untersuchen. Zusätzlich kann mit Hilfe der elektrochemischen Impedanzspektroskopie (50 kHz) das Zellverhalten selbst analysiert werden.

### Ansprechpartner:

Dr. Ing. Christan Dötsch, Fraunhofer UMSICHT

### Weitere Informationen:

[battery-lab.umsicht.fraunhofer.de](http://battery-lab.umsicht.fraunhofer.de)



## Energienetze und -speicher

# Forschungscampus Elektrische Netze der Zukunft

Neben der Energieversorgungssicherheit rücken weitere Aspekte wie Klimaschutz und ökonomische Gesichtspunkte immer mehr in den Vordergrund, hauptsächlich weil die Kosten für Primärenergieträger immer weiter steigen. Eine rein regenerative Energieversorgung wird von mehreren Staaten für die Mitte des Jahrhunderts angestrebt. Bereits heute entwickelt sich das elektrische Netz immer mehr zum Flaschenhals einer elektrischen Energieversorgung mit steigendem Anteil an erneuerbaren Energien. Heutige Wechselspannungslösungen können die erforderliche Flexibilität nicht bereitstellen und besitzen Nachteile bei der Übertragung über große Entfernungen.

Gleichspannungsnetze versprechen eine höhere Flexibilität und Effizienz, aber Multi-Terminal-Lösungen mit DC für Mittel- und Hochspannungsanwendungen wurden bisher noch nicht vorgestellt.

Im Rahmen des Forschungscampus Elektrische Netze der Zukunft, der vom Bundesforschungsministerium gefördert wird, wird Forschung zu allen Aspekten zukünftiger Gleichspannungsnetze an der RWTH Aachen durchgeführt werden, darunter auch die Betrachtung der Integration und die Interaktion mit bestehenden Wechsel-

spannungsnetzen, um Gleichspannungsnetze umsetzen zu können. An der RWTH Aachen werden im Campus Cluster Sustainable Energy drei Forschungsgruppen für die verschiedenen Spannungsebenen Nieder-, Mittel- und Hochspannung eingerichtet, die sich mit den jeweils spezifischen Fragestellungen für die Spannungsclassen beschäftigen werden. Die Forschung wird auf drei verschiedenen Ebenen durchgeführt werden: Der Material- und Komponentenebene, der Umsetzungsebene und der Planungsebene. Insbesondere in der obersten Ebene werden übergeordnete Themen wie ökonomische Fragestellungen, der Konflikt zwischen Liberalisierung und Regulierung und gesellschaftliche Aspekte wie die Akzeptanz der neuen Technologien betrachtet werden. Die gemeinsam mit Industriepartnern durchgeführte vorwettbewerbliche Forschung im Forschungscampus Elektrische Netze der Zukunft wird die Innovation in diesem Forschungsfeld stark vorantreiben.

**Ansprechpartner:**

Prof. Dr. Rik W. De Doncker, E.ON Energy Research Center, PGS

**Weitere Informationen:**

[www.eonerc.rwth-aachen.de](http://www.eonerc.rwth-aachen.de)



## Energienetze und -speicher

# Regionales Energiemanagement

Im Rahmen der Energiewende werden der Ausbau der Elektrizitätserzeugung auf Basis erneuerbarer Energien sowie die Steigerung der Energieeffizienz zügig vorangetrieben. Hierzu kann ein geeignetes Energiemanagement unter Einbindung von moderner Informations- und Kommunikationstechnik durch geeignete Koordination von regenerativer und konventioneller Erzeugung sowie Flexibilität beim Energieverbrauch entscheidend beitragen. Dies gilt nicht allein für die Elektrizität, sondern z. B. auch für den Bereich der Nutzwärme. Außerdem lässt sich mit einem Energiemanagement eine Erhöhung der Versorgungssicherheit und der Netzstabilität sowie eine bessere Ausnutzung der Netzkapazitäten erreichen. Die von der Universität Duisburg-Essen durchgeführte Konzeptstudie zu einem „Regionalen Erneuerbaren Energiemanagement“ soll einerseits die grundsätzliche Machbarkeit aufzeigen sowie andererseits die Randbedingungen zu einer schrittweisen konkreten Umsetzung erarbeiten.

Hierzu wird zunächst beispielhaft für die Gemeinde Anröchte in Südwestfalen und deren nähere Umgebung das für eine Beteiligung an einem regionalen Energiemanagement verfügbare Potential durch Identifikation der Existenz und Flexibilität von konventionellen sowie erneu-

erbaren dezentralen Einspeisungen, größeren Wärmeanlagen und -verbrauchern, Energiespeichern sowie zeitlich verschiebbaren elektrischen Verbrauchern ermittelt. Zudem werden die grundsätzlichen technischen Möglichkeiten und Voraussetzungen für ein dieses Potential berücksichtigendes Energiemanagement u.a. hinsichtlich der erforderlichen Informations- und Kommunikationstechnik, Einspeise- und Verbrauchsprognosen, notwendigen Mess- und Zähleinrichtungen sowie Betreibermodellen und Zielkriterien für den Betrieb, aber auch rechtlichen Aspekten bzw. Vorbehalten beim externen Zugriff auf Anlagen analysiert.

Abschließend werden Schritte dargelegt, in welchen ein solches Energiemanagement in die Praxis umgesetzt werden kann.

**Ansprechpartner:**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Istvan Erlich, Universität Duisburg-Essen

**Weitere Informationen:**

[www.uni-due.de/ean](http://www.uni-due.de/ean)





## Energienetze und -speicher

### iNES – Die intelligente Ortsnetzstation

Die Energiewende verursacht in Deutschland einen grundsätzlichen und nie dagewesenen Wandel der elektrischen Energieversorgung. Gerade auf die lokalen Mittel- und Niederspannungsnetze kommen durch eine ständig wachsende Anzahl dezentraler Einspeiser sowie durch die zunehmende Anzahl von Verbrauchern mit hohem Leistungsbedarf (Wärmepumpen, Klimageräte, Elektrofahrzeuge) enorme Herausforderungen zu. In einigen Gebieten Deutschlands sind die Auswirkungen heute schon durch vermehrte Netzausfälle spürbar. Im Wesentlichen bestehen zwei Probleme: Einerseits kann es zu erheblichen Verletzungen des zulässigen Spannungsbands und damit zu Schäden an Haushaltsgeräten oder Maschinen kommen, andererseits können Leistungsflüsse im Niederspannungsnetz auftreten, die die Belastbarkeit der Betriebsmittel überschreiten und damit zu Ausfällen des Netzes führen.

Zur Problemlösung wurde am Lehrstuhl für Elektrische Energieversorgungstechnik der Bergischen Universität Wuppertal im Rahmen des Forschungsprojekts „iNES – Die intelligente Ortsnetzstation“ ein neues Verfahren zur automatisierten Identifikation des Netzzustands und einer gezielten Regelung einzelner Erzeugungs- und Verbrauchseinheiten im Niederspannungsnetz entwickelt. Die Algorithmen sind in einem kostengünstigen

Kleinfernwirkssystem (SmartRTU) implementiert. Diese Steuerungstechnik wird in bestehende Ortsnetzstationen integriert. Sie kommuniziert zyklisch mit einigen wenigen, geschickt im Netz positionierten Sensoren und Aktoren. Die Steuerungstechnik überwacht den elektrischen Netzzustand und optimiert den Leistungsfluss in kritischen Situationen, so dass die detektierten Grenzwertüberschreitungen wirksam aufgehoben werden. Das System arbeitet dabei autark und ohne zwingende Anbindung an eine übergeordnete Überwachungsinstanz.

Das beschriebene System der intelligenten Ortsnetzstation zur dezentralen Netzautomatisierung wurde gemeinsam mit dem Energiedienstleister SAG GmbH, dem Leittechnikhersteller Helmut Mauell GmbH und dem Verteilnetzbetreiber Mainova AG entwickelt. Es ist inzwischen in mehreren Niederspannungsnetzen in Deutschland erfolgreich im Einsatz.

**Ansprechpartner:**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Markus Zdrallek, Bergische Universität Wuppertal

**Weitere Informationen:**

[www.evt.uni-wuppertal.de](http://www.evt.uni-wuppertal.de)



## Energienetze und -speicher

### Zielnetzplanung von Mittelspannungsnetzen

Dezentrale Einspeisungen und steuerbare Lasten verändern gegenwärtig die Versorgungsaufgabe in Verteilnetzen. Insbesondere die Anzahl an Photovoltaik- und Windenergieanlagen sowie Elektrofahrzeugen und Wärmepumpen wird weiter zunehmen. Moderne Informations- und Kommunikationstechnik erlaubt deren Steuerung. Damit verbunden sind Rückwirkungen auf Planung und Betrieb von Verteilnetzen. Das Mittelspannungsnetz ist von dieser Veränderung besonders betroffen, da ein Großteil der Veränderungen hier und im unterlagerten Niederspannungsnetz stattfinden. Darüber hinaus erhöht die Anreizregulierung den Kostendruck auf die Verteilnetzbetreiber.

Aus diesem Grund kommen Verfahren zur Planung langfristig optimaler Netzstrukturen, sogenannter Zielnetze, zum Einsatz. Diese dienen dazu, Planungsgrundsätze zu entwickeln und Kostensenkungspotentiale in bestehenden Netzen zu identifizieren. Heutige Verfahren zur Zielnetzplanung von Mittelspannungsnetzen berücksichtigen allerdings nur eine Last-/Einspeisesituation und vernachlässigen somit die Flexibilität die durch steuerbare Lasten und Einspeisemanagement bestehen.

Gemäß EnWG §14(2) gilt jedoch, dass Netzbetreiber bei der Planung des Verteilnetzausbaus die Möglichkeiten von

Energieeffizienz- und Nachfragesteuerungsmaßnahmen sowie dezentralen Erzeugungsanlagen berücksichtigen müssen.

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, wie zukünftig Mittelspannungsnetze mit dezentralen Einspeisungen kosteneffizient geplant werden können. Zur Beantwortung dieser Fragestellung wurde am Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft in Zusammenarbeit mit der Forschungsgesellschaft Energie an der RWTH Aachen e.V. ein rechnerbasiertes Verfahren zur Zielnetzplanung entwickelt, das die Flexibilität durch steuerbare Lasten und eines möglichen Einspeisemanagements berücksichtigt. Erste Untersuchungen zeigen dessen Praxistauglichkeit sowie deutliche Vorzüge gegenüber herkömmlichen Ansätzen.

**Ansprechpartner:**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Albert Moser, Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft (IAEW) an der RWTH Aachen

**Weitere Informationen:**

[www.iaew.rwth-aachen.de](http://www.iaew.rwth-aachen.de)





## Energienetze und -speicher

### Verteilnetze für eine erfolgreiche Energiewende

Der starke Zuwachs dezentraler Energieumwandlungsanlagen auf Basis regenerativer Energien sorgt für neue Herausforderung im Betrieb und bei der Planung von elektrischen Verteilnetzen. In dem am 1. November 2011 zusammen mit RWE und ABB sowie 36 weiteren Partnern aus der EU gestarteten EU-Projekt Grid4EU und dem Anfang 2012 zusammen mit der Univ. Duisburg-Essen, RWE sowie den Stadtwerken Bochum und Unna gestarteten, von der EU und dem Land NRW geförderten Projekt Agent.Netz werden Lösungen für diese Herausforderungen erforscht. Das Institut für Energiesysteme, Energieeffizienz und Energiewirtschaft (ie<sup>3</sup>) der TU Dortmund optimiert im Rahmen dieser Projekte die Analyse und den Betrieb für zukunftsichere ‚smarte‘ Verteilnetze. Der volatile Charakter von Einspeisungen durch Photovoltaikanlagen und Windenergieanlagen ruft im Zusammenspiel mit den elektrischen Verbrauchern wechselnde Belastungssituationen in den Verteilnetzen hervor. Bei dem Demonstrationsprojekt Grid4EU wird mittels eines zu entwerfenden autonomen Steuerungssystems zusammen mit erweiterter Mess- und Kommunikationstechnik ein optimierter Netzbetrieb realisiert. Das Hauptziel ist, mit einem solchen System zukünftig mehr dezentrale

Energieumwandlungsanlagen im vorhandenen Verteilnetz anschließen zu können und den Netzbetrieb zusammen mit den fluktuierenden Einspeisungen zu kontrollieren.

Für die mittel- oder langfristige Planung von Verteilnetzen wurden in der Vergangenheit ausschließlich Extremszenarien angenommen. Die Auftrittswahrscheinlichkeit dieser Szenarien wurde jedoch nicht berücksichtigt. Im Rahmen des Projektes Agent.Netz werden auf der Basis eines Multiagentensystems Simulations- und Analysemodelle für Verteilnetze erstellt, die realistische Belastungszeitreihen generieren. Dadurch können Auftrittswahrscheinlichkeiten von kritischen Situationen ermittelt werden. Anhand der Systemsimulation kann bewertet werden, ob ein Netzausbau erforderlich ist, oder durch Last- bzw. Einspeisesteuerung effizient vermieden werden kann.

#### **Ansprechpartner:**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christian Rehtanz, Technische Universität Dortmund

#### **Weitere Informationen:**

[www.ie3.tu-dortmund.de](http://www.ie3.tu-dortmund.de)

## Energienetze und -speicher

### Schutz- und Leittechnik für Smart Grids

Der grundlegende Wandel hin zu einem Energiesystem basierend auf volatilen erneuerbaren Quellen erfordert neue schutz- und leittechnische Systeme auf allen Netzebenen. Hierzu werden neben einer neuen Leittechnikarchitektur auch neue Applikationen zur Steuerung und Überwachung benötigt.

Das vom Bundeswirtschaftsministerium geförderte Bundesforschungsprojekt „i-Protect“ erforscht eine intelligente Schutz- und Leittechnik für elektrische Energienetze basierend auf zukünftigen IKT- und Automatisierungsarchitekturen. Dabei werden Schutzfunktionen für Verteilnetze untersucht und auf eine neu entwickelte, adaptive Systemarchitektur übertragen. Das Institut für Energiesysteme, Energieeffizienz und Energiewirtschaft (ie<sup>3</sup>) der TU Dortmund übernimmt in diesem Projekt die Konsortialführung. Die Beteiligung von Partnern aus der Forschung und Industrie namentlich OFFIS, BTC, H&S, KoCoS sowie Beckhoff ermöglicht dabei, grundlegende Forschungsideen in anwendungsrelevante Innovationen umzusetzen.

Neben den neuen Systemansätzen für die Schutz- und Leittechnik erforscht das ie<sup>3</sup> neue Überwachungs- und Regelungsmethoden für elektrische Übertragungs- und

Verteilungsnetze. Die von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderte Forschergruppe FOR1511 „Schutz- und Leitsysteme zur zuverlässigen und sicheren elektrischen Energieübertragung“ forscht an intelligenten Verfahren, um unvorhergesehene Netzsituationen schnell zu erkennen und gezielt auf Störungen zu reagieren. Mit dem ie<sup>3</sup> als Koordinator arbeiten neun Forschungseinrichtungen der TU Dortmund aus Elektrotechnik, Statistik und Informatik an interdisziplinären Lösungsansätzen. Die Basis hierfür sind Weitbereichs-Messsysteme, die mittels GPS-Satellitensignalen koordiniert werden. Eine Aufgabe ist die gemeinsame Modellbildung für Energie- und Informations- und Kommunikationssysteme, um die entwickelten Methoden validieren zu können. Darüber hinaus steht eine umfangreiche Prüfumgebung für die Schutz- und Leittechnik am ie<sup>3</sup> zur Verfügung, die praxisnahe Tests der erforschten Systeme und Komponenten erlaubt.

**Ansprechpartner:**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christian Rehtanz, Technische Universität Dortmund

**Weitere Informationen:**

[www.ie3.tu-dortmund.de](http://www.ie3.tu-dortmund.de)





## Energienetze und -speicher

### Elektrifizierte Busse für den öffentlichen Personennahverkehr

Busse sind ideale Botschafter für eine elektromobile Zukunft mit ihrer optischen Präsenz im Stadtbild und ihrem hohen Potential zur Reduktion von Lärm-, Feinstaub- und CO<sub>2</sub>-Emissionen. Zudem stellt der ÖPNV einen optimalen Anwendungsbereich für elektrische Antriebe dar. Fahrtrouten sind ebenso bekannt wie die Umlauffrequenzen und damit lassen sich das elektrische Antriebssystem und die Infrastruktur optimal auslegen und platzieren.

Lokal werden Busse durch reinen Batteriebetrieb oder durch Brennstoffzellenantriebe emissionsfrei. In verschiedenen Projekten erprobt die RWTH Aachen zusammen mit Partnern beide Konzepte. Im Rahmen eines vom Land NRW und den Niederlanden finanzierten Projektes wurde ein 18 m-Brennstoffzellen-Hybridbus entwickelt, von dem heute 4 Exemplare im Linienregelbetrieb im Raum Köln und in Amsterdam im Einsatz sind. Durch ein optimiertes Energiemanagementsystem werden die Brennstoffzellen sowie ein SuperCap-Speichermodul und eine NiMH-Batterie so betrieben, dass alle Komponenten entsprechend ihrer jeweiligen Eigenschaften einen optimalen Beitrag liefern. Bei der Brennstoffzelle werden die Lastwechselgradienten minimiert, die SuperCaps übernehmen die hohen Leistungen beim Bremsen und Beschleunigen und die NiMH-Batterie liefert Energie auch auf längeren Steigungen oder wenn die Brennstoffzelle abgestellt ist.

In einem weiteren Projekt wird ein rein elektrisch betriebener Bus mit einem Schnellladekonzept entwickelt, der in Münster zum Einsatz kommen wird. Dabei wird die speziell entwickelte Batterie mit bis zu 500 kW Leistung einmal pro Umlauf aufgeladen, so dass die Standzeit für die Ladung unter 10 % der Fahrzeit bleibt.

Emissionsfreie Mobilität lässt sich auf verschiedene Weise realisieren. Um eine hohe Zuverlässigkeit und Lebensdauer zu erreichen, sind umfangreiche Untersuchungen an Batterien notwendig, die im Batterieprüfzentrum der RWTH Aachen durchgeführt werden. Die Ergebnisse sind die Grundlage für Lebensdauermodelle, thermische und elektrische Managementsysteme oder Diagnosealgorithmen.

#### **Ansprechpartner:**

Prof. Dr. Dirk Uwe Sauer, Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe (ISEA), RWTH Aachen

#### **Weitere Informationen:**

[www.isea.rwth-aachen.de](http://www.isea.rwth-aachen.de)

## Gesellschaftspolitische Fragestellungen

### Die Bedeutung eines sich verändernden Wärmemarktes

Der Lehrstuhl für Energiewirtschaft der Universität Duisburg-Essen untersucht die zukünftige Entwicklung des deutschen Wärmemarktes und dessen Bedeutung für den Energieverbrauch und die CO<sub>2</sub>-Emissionen privater Haushalte. Mit dem entwickelten Wärmemarktmodell lassen sich zum Beispiel die Wirkungsweise politischer Markteingriffe, wie neuer Förderinstrumente, oder die zukünftige Bedeutung effizienter Technologien auf dem Wärmemarkt abschätzen. Da Heizwärme und Warmwasser in Haushalten für rund 80 % des Endenergiebedarfs und 30 % der Emissionen verantwortlich sind, handelt es sich hier um einen Schlüsselbereich für die Umsetzung der Energiewende.

Um die Entwicklung des von zahlreichen Einflussgrößen abhängigen Wärmemarktes richtig abschätzen zu können wird ein kombinierter Modellansatz herangezogen. Zunächst wird dabei die zukünftige Entwicklung des Gebäudebestands und damit des Heizwärmebedarfs ermittelt. Ein detailliertes Gebäudemodell, mit Parametern wie Sanierungshäufigkeiten, Sanierungstiefen, Abriss- und Neubauraten bildet hier die Grundlage für die weiteren Schritte. Mit den so gewonnenen Daten über die Bedarfsentwicklung wird in einem zweiten Modellschritt

für jedes Gebäude die individuelle Heizsystemwahl simuliert. Dies geschieht mit Hilfe eines sogenannten Discrete Choice Modells, welches neben rein ökonomischen Parametern auch nicht ökonomische Einflüsse berücksichtigt.

Die zweistufige, detaillierte Simulation erlaubt es, die Entwicklung des Wärmemarktes langfristig konsistent abzuschätzen. Es zeigt sich, dass der Wärmemarkt mit seinen zentralen Stellschrauben, der energetischen Sanierung und der Auswahl von Heizsystemen bzw. Heizenergieträgern, zwar große Potentiale bietet, Veränderungen in diesem Markt jedoch äußerst langwierige Prozesse sind. Zahlreiche Hemmnisse beeinträchtigen eine zügige Evolution hin zu einem effizienteren und emissionsärmeren Wärmemarkt. Trotzdem legen die durchgeführten Analysen nahe, dass fossile Heizsysteme deutlich an Marktanteilen verlieren.

#### **Ansprechpartner:**

Univ.-Prof. Dr. Christoph Weber, Universität Duisburg-Essen

#### **Weitere Informationen:**

[www.ewl.wiwi.uni-due.de](http://www.ewl.wiwi.uni-due.de)





## Gesellschaftspolitische Fragestellungen

### Akzeptanz großtechnischer Anlagen zur Stromerzeugung

Die Gestaltung der zukünftigen Stromversorgung in Deutschland erweist sich derzeit insbesondere in Hinblick auf die gesteigerte Skepsis der Bürger gegenüber Großprojekten als immense Herausforderung für Industrie, Politik und Forschung. Die Erläuterung der komplexen Zusammenhänge kann einen wesentlichen Beitrag dazu leisten, Bürger dialog- und entscheidungsfähig zu machen, sofern subjektive Sorgen und Belange nicht unberücksichtigt bleiben. Die Sicherung des Lebensstandards und der industriellen Wettbewerbsfähigkeit auf Basis einer bezahlbaren Energieerzeugung soll mit der Minderung gesundheitlicher Risiken und der Einhaltung internationaler Klimaverpflichtungen im Einklang stehen. Die quantitative Untersuchung der Zumutbarkeit verschiedener Anlagen zur Stromerzeugung in Abhängigkeit belastbarer Grenzwerte zum Schutz vor den Nebenwirkungen der Stromerzeugung erfordert die konsequente Modellierung der Ursache-Wirkungsbeziehungen zwischen den vorherrschenden Rahmenbedingungen, den Anlagen zur Stromerzeugung sowie den besonders von den Folgen des Kraftwerksbetriebs betroffenen Schutzgütern Klima, menschliche Gesundheit, Lebensstandard und industrielle Wettbewerbsfähigkeit.

Um diese Zusammenhänge zu klären und nachvollziehbar zu machen, wird im Rahmen eines von EVONIK Industries geförderten Kollegs an der Ruhr Universität Bochum in dem Projekt „Akzeptanz großtechnischer Anlagen zur Stromerzeugung“ ein Modell zur Analyse der Akzeptabilität großtechnischer Anlagen zur Stromerzeugung entwickelt. Das Entwicklungsziel liegt darin, durch die logische Verknüpfung der drei Modellelemente Rahmenbedingungen, Anlagentechnik und Schutzgüter Ergebnisse in Form von Wenn-Dann-Aussagen zu generieren. Nachvollziehbare und begründbare Akzeptabilitätsurteile, welche das Modell anhand der Visualisierung kausaler Zusammenhänge unterstützt, können einen Beitrag zur Überwindung von Akzeptanzproblemen in der Bevölkerung leisten.

#### **Ansprechpartner:**

M. Sc. Katharina Schubert, Prof. Dr.-Ing. Marco K. Koch,  
Ruhr-Universität Bochum

#### **Weitere Informationen:**

[www.lee.rub.de](http://www.lee.rub.de)

## Gesellschaftspolitische Fragestellungen

### Klimaschutzplan NRW und Partizipationsprozess

Im Oktober 2011 hatte die nordrhein-westfälische Landesregierung den Entwurf für das erste deutsche Klimaschutzgesetz eines Bundeslandes mit verbindlichen Minderungszielen auf den Weg gebracht, die die Vorgaben von europäischer und nationaler Ebene auf NRW adaptieren. Mit dem Gesetz wird ein institutioneller Rahmen für die Erarbeitung und Umsetzung von Emissionsminderungs- und Anpassungsmaßnahmen geschaffen, die in einem Klimaschutzplan konkretisiert werden sollen. Ziel des Plans ist es, die notwendigen Klimaschutzmaßnahmen zur Erreichung der vorgegebenen Klimasziele, inklusive von Zwischenzielen und erforderlichen sektoralen und regionalen Beiträgen konkret zu benennen. Der Klimaschutzplan wird in einem umfangreichen partizipativen Prozess unter direkter Mitwirkung der relevanten Stakeholder in NRW (Unternehmen, Verbraucher- und Umweltverbände, Gewerkschaften etc.) erstellt. Durch den intensiven Beteiligungsprozess, greift das Verfahren wesentliche Kritikpunkte bei der Umsetzung der Energiewende auf nationaler Ebene auf und ist diesbezüglich beispielgebend.

Das Wuppertal Institut unterstützt die Landesregierung gemeinsam mit der Agentur IFOK bei der Konzeption und Durchführung des Klimaschutzplanprozesses. Die durch

das Wuppertal Institut durchgeführte wissenschaftliche Begleitung verfolgt dabei einen transformativen Forschungsansatz und versteht sich als Wegbereiter und Hilfesteller („enabler“) für die Identifikation und Spezifizierung möglicher Maßnahmen des Landes sowie ihre systematische Bewertung (Multikriterien-Analyse) seitens der Akteure. Angestoßen werden soll ein intensiver Dialog zur Erstellung von Zielszenarien für den Transformationsprozess hin zu einer klimaverträglichen Energieversorgung des Energie- und Industrielandes NRW. Dabei gilt es auch aufzuzeigen, welche wirtschaftlichen Chancen mit dem Prozess verbunden sind, wie diese aufgegriffen werden können und wie der Prozess sozialverträglich gestaltet werden kann.

**Ansprechpartner:**

Prof. Dr. Manfred Fishedick, Christoph Zeiss, Wuppertal-Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH

**Weitere Informationen:**

[www.wupperinst.org](http://www.wupperinst.org)



## Gesellschaftspolitische Fragestellungen

### Think-Tank für Energieökonomik

In Köln ist ein bundesweit einzigartiges energiewirtschaftliches Forschungsinstitut entstanden. Das renommierte Energiewirtschaftliche Institut an der Universität zu Köln (EWI) wurde mit Unterstützung der nordrhein-westfälischen Landesregierung sowie eines mehr als 40 Unternehmen, Organisationen und Verbände umfassenden Förderkreises ausgebaut und zu einem europäischen Forschungsinstitut und „Think-Tank“ für Energieökonomik weiterentwickelt. Hier werden innovative, wirtschaftswissenschaftlich fundierte Analysen und Szenarien der deutschen, europäischen und weltweiten Energiemärkte erstellt.

Das EWI widmet sich der Forschung, Lehre und Beratung in der Energieökonomik. Das Institut nutzt dabei detaillierte, computergestützte Modelle der europäischen Strom- und Gaswirtschaft, die im Institut entwickelt und ausgewertet werden. Untersucht wird, wie sich politische und wirtschaftliche Entscheidungen sowie technologische Entwicklungen auf die Märkte auswirken. Das Institut verbindet akademische Grundlagenforschung mit praxis-

naher Anwendungsforschung. Auftraggeber für externe Forschungsprojekte sind unter anderem Bundes- und Landesministerien, Industrie sowie Verbände. Schwerpunktthemen am EWI sind beispielsweise die Entwicklung des europäischen Energiemix in der Stromerzeugung, die Integration der erneuerbaren Energien, die Versorgungssicherheit in der deutschen Strom- und Gaswirtschaft sowie die Bewertung großer Infrastrukturprojekte. In der Vergangenheit hat das Institut mit den zur Verfügung gestellten Mitteln sein Themenspektrum erweitert und die Internationalisierung vorangetrieben. Es wurden neue Professoren- und Mitarbeiterstellen geschaffen sowie ein internationales Gästeprogramm eingerichtet.

**Ansprechpartner:**

Prof. Dr. Marc Oliver Bettzüge, Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI)

**Weitere Informationen:**

[www.ewi.uni-koeln.de](http://www.ewi.uni-koeln.de)







## Gesellschaftspolitische Fragestellungen

# Kosten eines Elektrizitätssystems mit hohem Anteil an erneuerbaren Energien – ein stochastisches Optimierungsmodell

Die substanzielle Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung beschäftigt das Energiewirtschaftliche Institut an der Universität zu Köln (EWI) und seine Mitarbeiter in vielfältiger Weise.

Energiesysteme und insbesondere Elektrizitätssysteme unterliegen immer wieder stochastischen Einflüssen wie zum Beispiel kurzfristigen Ausfällen von Erzeugungsanlagen oder Netzkapazitäten. In ökonomischen Modellen werden diese Ereignisse traditionell aufgefangen, indem Sicherheitsmargen für die einzelnen Technologien in den Modellen berücksichtigt werden.

Der wachsende Anteil von erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung hat sowohl Art wie auch Bedeutung der ungeplanten Einflüsse deutlich erhöht. In einem Elektrizitätssystem, das einen EE-Anteil von 25 %, wie gegenwärtig in Deutschland, oder 50 %, wie für 2030 angestrebt, aufweist, wird der Wetteinfluss stark zunehmen. Dies muss angemessen in den Modellen berücksichtigt werden.

EWI hat ein stochastisches Investitions- und Dispatch-Modell entwickelt, das Unsicherheit über die stündliche und jährliche Verfügbarkeit von Wind- und Solarressour-

cen berücksichtigt und es auf den europäischen Strommarkt angewendet. Dabei wurde herausgefunden, dass in deterministischen Optimierungsmodellen fluktuierende Energieträger überbewertet werden, während andere regenerative, aber sicher verfügbare Energieträger wie Biomasse und Geothermie systematisch unterbewertet werden. Als Folge dürften die Systemkosten in einem Elektrizitätssystem mit einem hohen erneuerbaren Energien-Anteil signifikant unterschätzt werden, wenn die stochastische Verfügbarkeit von Wind und Sonne unberücksichtigt bleibt. In den Szenarienanalysen ergibt sich für die durchschnittlichen Stromerzeugungskosten eine Differenz zwischen deterministischer und stochastischer Modellierung von 3,6–6,4 Euro pro Megawattstunde (4,2–8,7 %), wenn 80 % auf Basis erneuerbarer Energien erzeugt werden. Das entspricht 4,2–8,7 % der dann anfallenden durchschnittlichen Stromerzeugungskosten.

### **Ansprechpartner:**

Prof. Dr. Marc Oliver Bettzüge und PD Dr. Dietmar Lindenberg, Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI)

### **Weitere Informationen:**

[www.ewi.uni-koeln.de](http://www.ewi.uni-koeln.de)



## Gesellschaftspolitische Fragestellungen

### eet-ethics for energy technology adressiert Fragen der Nachhaltigkeit von Energieversorgungssystemen

Die Reaktionen der deutschen Öffentlichkeit auf den Unfall in den Kernreaktoren von Fukushima oder die prognostizierte Erderwärmung als Folge der Verbrennung fossiler Rohstoffe zeigen überdeutlich, dass nachhaltige Energieversorgung nicht nur ökonomische und ökologische Verträglichkeit bedeutet. Das Drei-Säulen-Konzept der Nachhaltigkeit umfasst deshalb auch soziale und ethische Aspekte: Breite Akzeptanz für Technik und Technologien kann nur erreicht werden, wenn technische Neuerungen auch auf ihre soziale und ethische Verträglichkeit geprüft werden.

In der Arbeitsgruppe eet-ethics for energy technology wurden von 2008 bis 2012 bei HumTec, dem Human Technology Projekthaus der RWTH Aachen, einem Projekt der Exzellenzinitiative, nicht nur verschiedene globale wie nationale Energieversorgungsstrategien auf Nachhaltigkeit überprüft. Vielmehr befasste sich das interdisziplinäre Team aus Verfahrenstechnikern, Elektrotechnikern, Philosophen, Wirtschaftsingenieuren, Physikern und Biologen auch mit vorgelagerten Fragen: zum Beispiel was zum einen unter dem Schlagwort Nachhaltigkeit genau

zu verstehen ist und zum anderen wie die drei Säulen der Nachhaltigkeit gegeneinander zu gewichten sind.

Dazu wurden bei eet in so genannten Integrated Assessment Modellen die Chancen und Risiken nicht allein von konventionellen Energieträgern abgeschätzt, sondern auch die Nutzung nachwachsender Rohstoffe wurde einer kritischen Analyse unterzogen. Ethische Fragen sowie Akzeptanzprobleme spielen zunehmend auch beim Ausbau der Stromnetze eine wichtige Rolle. Neben diesen globalen und zeitlich weitreichenden Untersuchungen zur Technikfolgenforschung standen in anderen Arbeiten nationale und regionale Aspekte stärker im Vordergrund: So wurden mit Hilfe sozialer Lebenszyklusanalysen Bioethanolanlagen in Brasilien bezüglich ihrer Nachhaltigkeit untersucht.

#### Ansprechpartner:

Prof. Dr. rer. nat. Dr. phil. Rafaela Hillerbrand, TU Delft

#### Weitere Informationen:

[www.eet.humtec.rwth-aachen.de](http://www.eet.humtec.rwth-aachen.de)

## Gesellschaftspolitische Fragestellungen

# Die Energiewende als Transformationsforschung

Die Energiewende ist das ambitionierteste Großvorhaben der deutschen Politik. Diese Transformation erfordert nicht nur einen enormen Umbau der Energieinfrastruktur, sondern stellt auch einen weitreichenden Eingriff in die Lebenswelten der Bürgerinnen und Bürger dar. Dies erfordert ein hohes Maß an gesellschaftlicher Mitwirkung und normativer Legitimation von Entscheidungen. Das Kulturwissenschaftliche Institut Essen (KWI) untersucht in mehreren Forschungsprojekten und auf verschiedenen Ebenen diesen Zusammenhang und leistet damit einen wichtigen Beitrag zur Transformationsforschung.

Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Projekt „DEMOENERGIE – Die Transformation des Energiesystems als Treiber demokratischer Innovation“ zielt darauf ab, verschiedene Bürgerbeteiligungsverfahren entlang bundesweit ausgewählter Konfliktsituationen im Zusammenhang mit der Einführung neuer Technologien experimentell zu konzipieren und begleitend zu evaluieren.

Die Energiewende stellt neben der technologischen eine eminente politische Herausforderung dar, insofern ihre demokratische Legitimierung hoher sozialer Mobilisierung bedarf. Mit Methoden der qualitativen, ethnografi-

schen Sozialforschung sucht das vom BMBF geförderte Projekt „Kulturelle Kartierung der Energiewende im Ruhrgebiet“ Reibungen und Verbindungen zwischen außen-induzierten Innovationsprozessen und der Lebenswelt, indem es auf das Konzept der „Change Agents“ zurückgreift.

In einem von der Stiftung Mercator geförderten Verbundprojekt werden mit einem regionalen Fokus die Zukunftsvorstellungen und das Entscheidungsverhalten von Bürgerinnen und Bürgern in der Ruhrmetropole in den Blick genommen. Mit Hilfe deliberativer Formate und einer Wirksamkeits- und Bedeutungsanalyse von Bürgerbeteiligungen ist es das Ziel herauszufinden, welche Anreizbedingungen geschaffen werden müssen, um das Entscheidungsverhalten zentraler Akteure zu beeinflussen. Angestrebt ist hier, aufbauend auf soziodemografischen Daten und Milieustudien, eine Kartierung der Pioniere des Wandels in der Ruhrregion.

**Ansprechpartner:**

Prof. Dr. Claus Leggewie

**Weitere Informationen:**

[www.kulturwissenschaften.de](http://www.kulturwissenschaften.de)





## Gesellschaftspolitische Fragestellungen

### Akzeptanz der Transformation des Energiesystems

Die Energiewende in Deutschland geht mit einem grundlegenden Umbau des Energiesystems einher. Hierzu gehören die Veränderungen des Energiemix, der Einsatz neuer Energietechniken, Veränderungen im Nachfrageverhalten und möglicherweise auch die Erschließung unkonventioneller Energiequellen. Für eine erfolgreiche Umsetzung dieser Umgestaltung ist eine zuverlässige Abschätzung der Akzeptanz in der Bevölkerung unerlässlich. Hierzu führt das Forschungszentrum Jülich jährlich eine repräsentative Befragung der deutschen Bevölkerung (Panelbefragung) durch. Die Befragungen geben u. a. Auskunft darüber, wie sich die Einstellungen der Bürgerinnen und Bürger zu den verschiedenen Energieträgern im Zeitverlauf verändern, inwieweit neue Energietechniken, z. B. CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Speicherung (CCS), oder unkonventionelle Energiequellen, z. B. Schiefergas, in der Bevölkerung bekannt sind und wie sie bewertet werden.

Hinsichtlich der Einstellungen zu den verschiedenen Energieträgern verdeutlichen die Befragungsergebnisse, dass die Ablehnung der Kernenergie und der Kohlenutzung in der deutschen Bevölkerung weiter zunimmt, während die Zustimmung zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen

nach wie vor hoch ist. Allerdings unterscheiden sich die Unterstützung erneuerbarer Energien und ihre Entwicklung im Zeitverlauf deutlich nach Art der Energiequelle. Die aktuelle Bevölkerungsbefragung des Forschungszentrums Jülich wird Ende Januar 2013 abgeschlossen sein. Thematische Schwerpunkte sind neben den Einstellungen zu den Energieträgern, die Bedeutung, die Bewertung und die Einordnung der Energiewende sowie das Wissen und die Einstellungen der Bürgerinnen und Bürger zum Ausbau des Stromnetzes. Zusammen mit den bereits vorliegenden Ergebnissen wird die Befragung somit Informationen enthalten, die auch für das Management des Transformationsprozesses in NRW genutzt werden können.

**Ansprechpartner:**

Dr. Diana Schumann, Forschungszentrum Jülich, Institut für Energie- und Klimaforschung, Systemforschung und Technologische Entwicklung (IEK-STE)

**Weitere Informationen:**

[www.fz-juelich.de/iek/iek-ste](http://www.fz-juelich.de/iek/iek-ste)

## Gesellschaftspolitische Fragestellungen

# Analyse des Energieverbrauchsverhaltens der Bewohner von energieeffizienten Wohngebäuden

Nach einer umfassenden energetischen Sanierung von Wohngebäuden oder dem Bezug von energieeffizienten Neubauten kann häufig eine im Vergleich zum ex ante berechneten Energiebedarf höhere reale Energienachfrage beobachtet werden (sog. „Performanzlücke“). Die Gründe für ein nicht den (idealen) Erwartungen entsprechendes Energieverbrauchsverhalten sind vielfältig und können sowohl technische Faktoren als auch Aspekte des menschlichen Verhaltens umfassen. Deshalb bietet sich ein interdisziplinärer Forschungsansatz an, welcher auch eine sozioökonomische und verhaltenswissenschaftliche Analyse des Energieverbrauchsverhaltens umfasst.

Ziel dieses Forschungsprojekts ist die Identifikation und Untersuchung der Determinanten, welche hinter dem beobachteten Energieverbrauchsverhalten von Bewohnern stehen. Hierfür werden mehrere methodologische Ansätze eingesetzt, um ein möglichst breites Spektrum an verschiedenen Erklärungsansätzen aufzuzeigen und deren anwendungsspezifische Erklärungskraft anhand von Fallstudien auszuloten. Dabei wird explizit auf Projekten der Förderinitiative „EnEff:Stadt“ des Bundeswirtschaftsministeriums aufgebaut und auf vorhandene Datensätze aus technischen Messungen aus einem früheren Projekt des

E.ON Energy Research Centers (Institut EBC) als Grundlage für die Bestimmung des direkten Rebound-Effekts (Minderung erhoffter Energieeinsparungen aufgrund von effizienzinduzierten Energiekostenreduktionen) zurückgegriffen. Die vorhandenen Daten werden durch eine eigene Befragung zu den Determinanten von relevanten Energieverbrauchsverhaltensweisen (z. B. „Stoßlüftung“, Nutzung der automatischen Lüftungsanlage oder Höhe der Raumtemperatur) sowie ein „Choice Experiment“ zur Akzeptanz von und der Zahlungsbereitschaft für energiesparende und -effiziente Technologien in Wohngebäuden noch weiter ergänzt.

Dieses Projekt wird gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

### **Ansprechpartner:**

Prof. Dr. Reinhard Madlener, E.ON Energy Research Center, FCN

### **Weitere Informationen:**

[www.eonerc.rwth-aachen.de/fcn](http://www.eonerc.rwth-aachen.de/fcn)



## Gesellschaftspolitische Fragestellungen

### Ein Reserveenergiemarkt für Prosumenten: Ein experimentalökonomischer Ansatz

Mit zunehmender Zahl dezentraler Energieerzeugungseinheiten in privaten Haushalten reichen die aktuellen statischen Fördersysteme als Anreiz für Investitionen und als Rückvergütungsoptionen nicht mehr aus. Es werden also flexible, dynamische Mechanismen benötigt, um Haushalten als „Produzenten-Konsumenten“ (bzw. „Prosumenten“) weiterhin Finanzierungsmöglichkeiten zu bieten. Hierzu wurde ein Marktmechanismus entwickelt, in dem Haushalte die Kapazität ihrer Erzeugungseinheiten als Regelernergie anbieten können. Dieser Markt, der als zentralen Käufer den Bilanzkreisverantwortlichen vorsieht, wurde zunächst in einer Simulation getestet und aktuell im Labor mit menschlichen Probanden hinsichtlich Robustheit und Effizienz evaluiert. Den Teilnehmern steht dabei ein Portfolio aus drei unterschiedlichen Energiemengen zu jeweils unterschiedlichen (steigenden) Preisen zur Verfügung. Dies steht einerseits für unterschiedliche Technologien, andererseits aber auch für steigende Opportunitätskosten beim Anbieten eines größeren Teils der Gesamtkapazität. Die Angebote werden von einem einzelnen Käufer evaluiert, der eine fixe Nachfrage zum günstigsten Preis befriedigen muss. Insgesamt zieht sich das Experiment über zwanzig Runden. Das stationäre Labor für experimentelle Wirtschaftsforschung an der RWTH Aachen (AixPeriment) bietet die Möglichkeit, Experimente

mit bis zu 30 Probanden gleichzeitig durchzuführen. Zusätzlich hat das Institut für Future Energy Consumer Needs and Behavior der RWTH Aachen (FCN) Anfang 2012 ein neues, mobiles Labor angeschafft, welches das stationäre Labor ergänzt. Im stationären Labor bestehen die Teilnehmer hauptsächlich aus Studenten der RWTH. Um eine vielfältigere und damit repräsentativere Population abbilden zu können, plant das FCN in Zukunft mit dem mobilen Labor Experimente u.a. in Einkaufszentren und Bürogebäuden durchzuführen. Die wirtschaftswissenschaftliche Experimentalforschung in Aachen wird durch ein monatlich stattfindendes Lunch-Seminar vervollständigt („AixPerimental Economics in Progress“, AEP), an dem jeder teilnehmen und seine Forschung präsentieren kann. AEP zielt dabei insbesondere auf Arbeiten im Anfangsstadium ab, um den Forschenden einen Raum für die Diskussion und Weiterentwicklung ihrer Ideen zu bieten.

**Ansprechpartner:**

Prof. Dr. Reinhard Madlener, E.ON Energy Research Center, FCN

**Weitere Informationen:**

[www.eonerc.rwth-aachen.de/fcn](http://www.eonerc.rwth-aachen.de/fcn)



## Starke Verbünde

# Energieforschung für die Zukunft

JARA-ENERGY widmet sich der Erforschung einer nachhaltigen, d.h. effizienten, ressourcenschonenden, umweltverträglichen und sicheren Energiegewinnung, -nutzung und -optimierung.

Neben der Verbesserung konventioneller Kraftwerkstechnik widmen sich die JARA-ENERGY-Forscher den erneuerbaren Energien und den nuklearen und elektrochemischen Energietechniken. Sie beschränken sich aber nicht darauf, Möglichkeiten zu erforschen, Strom klimafreundlicher als bisher zu erzeugen. Sondern sie arbeiten auch an möglichst verlustarmen Transport- und Speichermöglichkeiten der Energie sowie an Energietechniken für Autos und mobile Geräte.

Oft hängt der Fortschritt in der Energietechnik von neuen Materialien ab: Damit beschäftigen sich die Forscher der Allianz ebenfalls. Wissenschaftler von JARA-ENERGY unterziehen die technologischen Entwicklungen einer Systemanalyse hinsichtlich Verfügbarkeit, Chancen und Risiken und stellen die Ergebnisse in einen gesamtgesellschaftlichen Zusammenhang.

Diese breit angelegte Forschung entspricht der drängenden Herausforderung, vor die uns die schwindenden Vorräte von Öl, Gas und Kohle und der rasant zunehmenden

den Energiehungers insbesondere der Schwellenländer stellen.

In JARA-ENERGY sind fast 50 Institute und Teilinstitute der RWTH Aachen und des Forschungszentrums Jülich organisiert, deren Kompetenzen, Methoden und Forschungsgeräte sich perfekt ergänzen.

Die Expertise der Wissenschaftler reicht dabei von den Grundlagen bis zur fertigen Anwendung, umfasst die gesamte Wertschöpfungskette und sämtliche Energietechnologien.

### **Ansprechpartner:**

Prof. Dr.-Ing. Detlef Stolten, Forschungszentrum Jülich, Institut für Energie und Klimaforschung (IEK-3) und Prof. Dr. Reinhard Madlener, E.ON Energy Research Center (FCN)

### **Weitere Informationen:**

[www.jara.org](http://www.jara.org)



## Starke Verbünde

### Die ef.Ruhr Forschungs-GmbH

Die ef.Ruhr ist ein Beratungs- und Forschungsunternehmen welches von der Universitätsallianz Metropole Ruhr, der die drei Universitäten TU Dortmund, Ruhr-Universität Bochum und Universität Duisburg-Essen angehören, aufgebaut und ausgegründet wurde. Der Zweck der ef.Ruhr ist es, wissenschaftliche Transferprojekte, Studien und Gutachten privater und öffentlicher Auftraggeber im Bereich der Energieforschung durchzuführen. Die Abwicklung der Projekte erfolgt überwiegend in Kooperation mit Lehrstühlen, Instituten und Professoren der beteiligten Universitäten.

Mit der ef.Ruhr kooperieren ca. 40 Lehrstühle und Institute der drei genannten Universitäten auf den Gebieten Energieumwandlung, Energietransport/-verteilung, Energiewirtschaft und Energieeffizienz. Damit deckt die ef.Ruhr die gesamte Wertschöpfungskette innovativer Energietechnik und -wirtschaft ab und ist ein etablierter Forschungs- und Innovationsverbund.

Die ef.Ruhr hat vielfältige Studien und Konsortialprojekte durchgeführt. Die technische und wirtschaftliche Energienetzplanung, die Integration erneuerbarer Energien sowie Innovationen im Bereich dezentraler und erneuerbarer Energieumwandlung und Kraftwerke sind nur einige Untersuchungsrichtungen.

#### **Ansprechpartner:**

Dipl.-Kfm. Martin Langenkämper, Geschäftsführer  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christian Rehtanz, wissenschaftlicher Sprecher

#### **Weitere Informationen:**

[www.ef-ruhr.de](http://www.ef-ruhr.de)





## Starke Verbände

### Cluster Rhein Ruhr Power

Im Cluster Rhein Ruhr Power haben sich führende Unternehmen, Forschungseinrichtungen sowie weitere Institutionen der Energiewirtschaft und -forschung im Bereich Kraftwerkstechnik zusammengeschlossen. Nirgendwo sonst auf der Welt findet sich eine derartige konzentrierte Partnerstruktur der Energiewirtschaft und -forschung auf engstem Raum wie in der Rhein-Ruhr-Region.

Als aktives Netzwerk von marktführenden Industrieunternehmen und innovativen KMU der Energiewirtschaft deckt der Cluster sowohl die gesamte Wertschöpfungskette als auch den Lebenszyklus fossil betriebener Kraftwerke und solarthermischer Turmkraftwerke ab. Vervollständigt wird das Know-how durch exzellente Hochschulen und Forschungseinrichtungen, Berufs- und Weiterbildungsakademien, Verbände und Kammern sowie Marketing und Beratungsagenturen. Die mehrjährige Zusammenarbeit im Netzwerk Kraftwerkstechnik der EnergieRegion.NRW und im Cluster EnergieForschung.NRW hat in der Vergangenheit bereits bewiesen, dass innovative Projekte durch Bündelung des Know-hows der einzelnen Akteure wesentlich schneller und professioneller konzipiert und in marktfähige Produkte umgesetzt werden können.

Kernziel des Clusters ist die nationale wie internationale Sicherung der Innovations- und Technologieführerschaft

für solarthermische und flexible fossile Kraftwerke der Zukunft.

Die Strategie des Clusters „Das Kraftwerk der Zukunft“ konzentriert sich dabei auf die drei Bereiche:

- Flexibles fossil basiertes Kraftwerk – Partner-Dampfkraftwerk – zur Ausregelung der volatilen Einspeisung Erneuerbarer Energien in das Stromnetz (fossilPower),
- Marktfähiges solarthermisches Turmkraftwerk für eine effiziente Solarenergienutzung im Sonnengürtel der Erde (sunPower),
- Sicherung eines zukünftigen Fachkräftepotenzials durch Projekte im Bereich der Aus- und Weiterbildung (brainPower).

Der Cluster Rhein Ruhr Power leistet mit der Entwicklung des „Kraftwerks der Zukunft“ einen wesentlichen Baustein für die Realisierung eines nachhaltigen Energieversorgungssystems.

#### **Ansprechpartner:**

Dr. Manfred Kehr, Rhein Ruhr Power e.V.

#### **Weitere Informationen:**

[www.rhein-ruhr-power.net](http://www.rhein-ruhr-power.net)



## Fotonachweis

- Titelfoto: DLR (CC-BY 3.0)
- Seite 4: Ministerium für Innovation, Wissenschaft und Forschung  
des Landes Nordrhein-Westfalen
- Seite 6: Christoph Kniel
- Seite 7: Frank Wiedemeier
- Seite 9: Solar-Institut Jülich der FH Aachen
- Seite 10: Forschungszentrum Jülich
- Seite 11: HyPower
- Seite 12: ZBT
- Seite 13: Forschungszentrum Jülich
- Seite 14: Fachhochschule Köln
- Seite 15: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
- Seite 16: Universität Duisburg-Essen
- Seite 17: TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH
- Seite 18: Forschungszentrum Jülich
- Seite 19: Institut für Maschinenelemente und Maschinengestaltung (IME),  
RWTH Aachen
- Seite 20: Kompetenzzentrum für Nachhaltige Energietechnik (KET),  
Universität Paderborn
- Seite 21: Lehrstuhl für Umweltverfahrens- und Anlagentechnik,  
Universität Duisburg-Essen
- Seite 22: Forschungszentrum Jülich
- Seite 23: E.ON AG / Medienarchiv
- Seite 24: DLR
- Seite 25: DLR
- Seite 26: DLR
- Seite 27: Siemens AG
- Seite 28: Lehrstuhl für Energieanlagen und Energieprozesstechnik,  
Ruhr-Universität Bochum
- Seite 29: RWE Pressebilddatenbank
- Seite 30: [www.luftbild-blossey.de](http://www.luftbild-blossey.de)
- Seite 31: Ralf-Uwe Limbach
- Seite 32: Forschungszentrum Jülich
- Seite 33: Lehrstuhl für Biochemie der Pflanzen, Ruhr-Universität Bochum
- Seite 34: Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
- Seite 35: Lehr- und Forschungsgebiet Technologie der Energierohstoffe,  
RWTH Aachen
- Seite 36: Fraunhofer UMSICHT
- Seite 37: Fachgebiet Abfallwirtschaft und Deponietechnik,  
Hochschule Ostwestfalen-Lippe
- Seite 38: Jürgen Hillenbach
- Seite 39: Universität Siegen
- Seite 40: Lehrstuhl für Wärme- und Stoffübertragung, RWTH Aachen
- Seite 41: Max-Planck-Institut für Kohlenforschung
- Seite 42: DLR
- Seite 43: Max-Planck-Institut für Kohlenforschung
- Seite 44: MEET, Westfälische Wilhelms-Universität Münster
- Seite 45: Fraunhofer UMSICHT
- Seite 46: RKW Architekten Düsseldorf, Holger Knauf
- Seite 47: rubenkamp - Fotolia.com

- Seite 48: Lehrstuhl für Elektrische Energieversorgungstechnik,  
Bergische Universität Wuppertal
- Seite 49: Stephan Leyk
- Seite 50: Institut für Energiesysteme, Energieeffizienz und Energiewirtschaft,  
Technische Universität Dortmund
- Seite 51: Institut für Energiesysteme, Energieeffizienz und Energiewirtschaft,  
Technische Universität Dortmund
- Seite 52: Regionalverkehr Köln GmbH
- Seite 53: Lehrstuhl für Energiewirtschaft, Universität Duisburg-Essen
- Seite 54: Lehrstuhl Energiesysteme und Energiewirtschaft,  
Ruhr-Universität Bochum
- Seite 55: fotobi - Fotolia.com
- Seite 56: svort - Fotolia.com
- Seite 57: Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln
- Seite 58: Peter Winandy
- Seite 59: Brigitte Kraemer
- Seite 60: Peter Atkins - Fotolia.com
- Seite 61: E.ON Energy Research Center, FCN
- Seite 62: Peter Winandy
- Seite 63: Ralf-Uwe Limbach
- Seite 64: ef.Ruhr
- Seite 65: Hanne Engwald

### **Cluster EnergieForschung.NRW**

Völklinger Straße 4 (rwi4)  
40219 Düsseldorf  
[www.cef.nrw.de](http://www.cef.nrw.de)

### **Ministerium für Innovation, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen**

Völklinger Straße 49, 40221 Düsseldorf  
[www.wissenschaft.nrw.de](http://www.wissenschaft.nrw.de)

### **Gestaltung:**

Wiedemeier Kommunikation GmbH, Düsseldorf

### **Titelfoto:**

Mit der Forschungsbrennkammer können die Wissenschaftler im DLR-Institut für Verbrennungstechnik Synthesegase mit hohem Wasserstoffanteil unter realen Bedingungen untersuchen. Quelle: DLR (CC-BY 3.0)

### **Exzellenz NRW**

Exzellenz NRW steht für die Clusterstrategie am Wirtschafts- und Innovationsstandort Nordrhein-Westfalen. Die Landesregierung will Stärken stärken und die Exzellenzen in Nordrhein-Westfalen systematisch ausbauen. Ziel der Clusterpolitik ist es, ein günstiges Umfeld für Innovationen zu schaffen, das die Wettbewerbsfähigkeit der Wirtschaft stärkt und Wachstum und Beschäftigung stimuliert. Mehr zur Clusterstrategie des Landes und den 16 Clustern in Nordrhein Westfalen finden Sie unter [www.exzellenz.nrw.de](http://www.exzellenz.nrw.de).

### **Cluster EnergieForschung.NRW**

Der Cluster EnergieForschung.NRW (CEF.NRW) arbeitet im Auftrag des Ministeriums für Innovation, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen an der Umsetzung der energiewirtschaftlichen und klimapolitischen Zielvorgaben der Landesregierung im Bereich der Energieforschung. CEF.NRW zielt darauf ab, dass technologische und sozioökonomische Erkenntnisfortschritte schneller als bisher ihren Weg in die Anwendung finden. Dazu initiiert der Cluster – unter dem Dach Exzellenz NRW – Forschungs- und Entwicklungsprojekte in der koordinierten Zusammenarbeit von Forschungseinrichtungen mit der Wirtschaft. Das Management des Clusters EnergieForschung.NRW verantwortet die EnergieAgentur.NRW.

© EnergieAgentur.NRW / EA238



EUROPÄISCHE UNION  
Investition in unsere Zukunft  
Europäischer Fonds  
für regionale Entwicklung