

# ENERGYNEWS

Newsletter des KIT-Zentrums Energie

Ausgabe 2|2012

**Chancen der Energiewende:  
Jahrestagung des  
KIT-Zentrums Energie**

**Herausforderung durch  
erneuerbare Energien**

**Wenn das Stromnetz mitdenkt**



## Inhalt

- 3 Editorial
- 4 Chancen der Energiewende
- 6 Energiewende – und weiter?
- 7 Biokraftstoffe zur CO<sub>2</sub>-Reduktion
- 8 Umbau der Energieversorgung – Herausforderung durch erneuerbare Energien
- 10 Wenn das Stromnetz mitdenkt
- 12 Energieeffizienz ist schon die halbe Energiewende
- 13 Energieeffiziente chemische Prozesse
- 14 Wolfram – Zähmung des Widerspenstigen
- 16 Neue Messmethode für den Luftanteil
- 18 Was treibt die Autos der Zukunft an?
- 20 Karlsruhe zeigt Nachhaltigkeit
- 21 KIT und Stadt entwickeln Ideen für gemeinsame Projekte
- 22 Mit Energie in die Karriere
- 23 KIC InnoEnergy – Einen wichtigen Schritt weiter

### Impressum

Herausgeber: KIT-Zentrum Energie

Redaktion: Dr. Sibylle Orgeldinger

Koordination: Dr. Wolfgang Breh (wolfgang.breh@kit.edu)

Gestaltung, Layout: Wilfrid Schroeder, Bernd Königsamen, Eva Geiger

Druck: Systemedia GmbH, Wurmberg

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
Universität des Landes Baden-Württemberg und  
nationales Forschungszentrum in der Helmholtz-Gemeinschaft

Campus Nord  
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1  
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

Campus Süd  
Kaiserstraße 12  
76131 Karlsruhe

KIT-Zentrum Energie, Geschäftsstelle  
Telefon +49 721 608-25540

Dezember 2012

### Titelbild:

Eindrücke von der ersten Jahrestagung des KIT-Zentrums Energie zum Thema „Chancen der Energiewende“ (siehe auch Seiten 4/5).

## Editorial



*Dr. Peter Fritz*



*Professor Dr. Hans-Jörg Bauer*

Deutschland baut sein Energiesystem um. Die Energiewende bringt große technische, aber auch gesellschaftliche Herausforderungen mit sich: höhere Energieeffizienz, leistungsfähige Energiespeicher, innovative Netzstrukturen sowie die Akzeptanz neuer Infrastrukturen und die Änderung von Verbrauchsgewohnheiten. Zugleich eröffnet der Umbau der Energieversorgung enorme Chancen: Technologien, die dazu beitragen, Energie so effizient wie möglich umzuwandeln, zu speichern, zu verteilen und zu nutzen, gewinnen angesichts der wachsenden Weltbevölkerung, der begrenzten Ressourcen und des Klimawandels international an Bedeutung. Deutschland hat als Technologiestandort gute Möglichkeiten, in diesem zukunftssträchtigen Bereich einen Spitzenplatz einzunehmen.

„Chancen der Energiewende“ lautete denn auch der Titel der ersten Jahrestagung des KIT-Zentrums Energie. Die wissenschaftlichen Beiträge zeigten, dass das Karlsruher Institut für Technologie die Relevanz der Energieforschung frühzeitig erkannt und seine Aktivitäten auf die Aufgaben der Gegenwart und Zukunft ausgerichtet hat. Dabei setzt sich das KIT-Zentrum Energie mit sämtlichen Optionen für eine sichere, bezahlbare und

umweltverträgliche Energieversorgung auseinander. Seine Arbeit erstreckt sich über sieben Topics: Energieumwandlung, Erneuerbare Energien, Energiespeicherung und -verteilung, Effiziente Energienutzung, Fusionstechnologie, Kernenergie und Sicherheit sowie Energiesystemanalyse.

Die Jahrestagung 2012 des KIT-Zentrums Energie umfasste wissenschaftliche Beiträge aus sämtlichen Topics. Sie belegte das hohe Niveau der Energieforschung am KIT und vermittelte ein ebenso umfassendes wie differenziertes Bild von den Herausforderungen und Chancen der Energiewende. In dieser aktuellen Ausgabe der EnergyNews finden Sie eine Auswahl von Beiträgen zum Thema.

Wir wünschen Ihnen eine anregende Lektüre!

*Dr. Peter Fritz,*  
Vizepräsident für Forschung  
und Innovation des KIT

*Professor Dr. Hans-Jörg Bauer,*  
Wissenschaftlicher Sprecher des  
KIT-Zentrums Energie

## Chancen der Energiewende

Zu seiner ersten Jahrestagung lud das KIT-Zentrum Energie Mitarbeiter und externe Experten ein. Die Vorträge mit begleitender Posterausstellung stießen auf großes Interesse und regten lebhaftige Diskussionen an.

Die Energiewende in Deutschland hat Befürworter und auch Gegner, die hohe Kosten und unzureichende Versorgungssicherheit befürchten „Diese Polarisierung bringt uns nicht weiter“, sagte KIT-Präsident Professor Eberhard Umbach. Vielmehr gelte es, alle Optionen zu explorieren, um den im Energiekonzept der Bundesregierung festgelegten Zielvorgaben möglichst nahe zu kommen, erklärte Umbach bei der Tagung zum Thema „Chancen der Energiewende“ am 19. Juni 2012 am KIT-Campus Nord. Der KIT-Präsident rief dazu auf, am KIT verstärkt

Spitzenergebnisse zu erzeugen. Qualität sei das oberste Kriterium.

Einen Überblick über die aktuellen Aktivitäten des KIT-Zentrums Energie und der KIT School of Energy sowie der vom KIT koordinierten europäischen Knowledge and Innovation Community (KIC) InnoEnergy gab der KIT-Vizepräsident für Forschung und Innovation, Dr. Peter Fritz. Das 2008 gegründete KIT-Zentrum Energie hat derzeit rund 1250 Mitarbeiter. Seine Arbeit gliedert sich in sieben Topics: Energiewandlung, Erneuerbare Ener-

gien, Energiespeicherung und -verteilung, Effiziente Energienutzung, Fusionstechnologie, Kernenergie und Sicherheit sowie Energiesystemanalyse.

Das vom Geschäftsführer des KIT-Zentrums Energie, Dr. Wolfgang Breh, moderierte Programm mit Vorträgen von KIT-Forschern erstreckte sich über sämtliche Topics. Professor Henning Bockhorn wies darauf hin, dass der angestrebte Ausbau der erneuerbaren Energien im Wesentlichen strombasiert sei. Die Entwicklung zur strombasierten Energieversorgung werde gravierende Strukturveränderungen erfordern und Änderungen der Preisstruktur mit sich bringen. Neue Speicherkapazitäten ließen sich durch die Nutzung des Erdgasnetzes als Stromspeicher erschließen. Dr. Amin Velji beantwortete die Frage nach dem Fahrzeugantrieb der Zukunft dahingehend, dass der Verbrennungsmotor noch längere Zeit dominieren werde, und befürwortete den Einsatz von synthetischen Kraftstoffen aus Bioreststoffen.

Der Chief Science Officer 5 des KIT und Aufsichtsratsvorsitzende von KIC InnoEnergy, Dr. Karl-Friedrich Ziegahn, erörterte Chancen und Risiken der erneuerbaren Energien und sprach sich für fokussierte Forschung in der Tiefe aus. Die Arbeiten am KIT befassen sich besonders mit Biomasse, Geothermie, Windenergie, Wasserkraft, Photovoltaik und konzentrierender Solarthermie. Die Möglichkeiten der organischen Photovoltaik, die sich durch große Anwendungs- und Gestaltungsvielfalt auszeichnet, stellte Dr. Alexander Colsmann vor. Thomas Mohringer sprach über die Optimierung von Ein- und Auslaufbauwerken an Pumpspeicherkraftwerken.

Mit der Energiewende werden die Integration fluktuierender Energiequellen wie Sonne und Wind, die zunehmende dezentrale Energiebereitstellung sowie die Elektromobilität neue Anforderungen an das elektrische Energienetz stellen. Verschiedene Lösungsansätze erörterte Professor Thomas Leibfried. Matthias Kahl sprach über Zustandsschätzung und Regelung in einem intelligenten Energieübertragungsnetz. Maßnahmen, die Energieeffizienz in Wohngebäuden



*Die bioliq®-Pilotanlage am KIT-Campus Nord produziert Kraftstoff aus Restbiomasse – ein tragfähiger Beitrag zu einem nachhaltigen Energiesystem.*



*KIT-Präsident Professor Eberhard Umbach plädierte dafür, alle Optionen zu explorieren, um den Zielvorgaben der Energiewende möglichst nahe zu kommen.*



*Einen Überblick über die Energieforschung am KIT gab der KIT-Vizepräsident für Forschung und Innovation, Dr. Peter Fritz.*

sowie im Nichtwohnungsbau zu erhöhen, erläuterte Professor Andreas Wagner. Der Gebäudesektor weist ein hohes Potenzial zur Energieeinsparung und CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion auf. Um energieeffiziente Prozesse in der chemischen Industrie ging es in einem Vortrag von Dr. Peter Pfeifer; Entwicklungspotenziale bei thermisch angetriebenen Wärmepumpen stellte Dr. Ferdinand Schmidt vor.

Dass die Fusion als saubere, sichere und fast unerschöpfliche Energiequelle die Ziele der Energiewende unterstützt, auch wenn es noch Jahrzehnte dauern wird, bis ein Fusionskraftwerk wirtschaftlich Strom bereitstellen kann, legte Dr. Klaus

Hesch dar. Das KIT entwickelt Schlüsseltechnologien für die Fusion, unter anderem auch für den internationalen Experimentalreaktor ITER. Über dessen Brennstoffkreislauf sprach Dr. Robert Michling.

Der Einstieg in die Energiewende bedeutet keineswegs den Ausstieg aus der nuklearen Sicherheitsforschung, wie Professor Horst Geckeis erklärte. Daher gelte es, die Kompetenzen auf den Gebieten Endlagerung, Sicherheit der Reaktoren, Strahlenschutz und Rückbau zu erhalten. Markus Schlenker, Stephan Gabriel, Simon Taufall und David Fellhauer stellten dazu aktuelle Projekte vor.

Einen Überblick über die Energiesystemanalyse, die als Querschnittsbereich Themen aus allen anderen Topics aufgreift, gab Professor Wolf Fichtner. Ein Thema sind die Perspektiven der Biomasse im Mobilitätssektor, die Oliver Hurtig erörterte. – Mit temporeichen „Science Slam“ Beiträgen zu den Themen Exergie und Anergie sowie Entropie lockerte Martin Buchholz von der TU Braunschweig die Veranstaltung auf.

In der Posterausstellung wurden folgende Beiträge mit Preisen ausgezeichnet: „Flüssigmetalle für konzentrierende Solarenergie“ von Dr. Alexandru Onea, „Inkjet printing of catalyst layers into microchannels for direct DME synthesis“ von Seung Cheol Lee, und „Einfluss von Nutzerkomfort und -verhalten auf den Energieverbrauch an Büroarbeitsplätzen im Sommer“ von Marcel Schweiker. Bei einem abendlichen Sommerfest klang die erste Jahrestagung des KIT-Zentrums Energie aus. Für die Zukunft ist geplant, die Tagung im zweijährigen Rhythmus auszurichten.

Sibylle Orgeldinger



*In seinen Science Slam Beiträgen verband Martin Buchholz von der TU Braunschweig Forschung und Unterhaltung.*

#### **Weitere Infos:**

Dr. Wolfgang Breh  
KIT-Zentrum Energie  
Geschäftsführer  
Telefon +49 721 608-25540  
E-Mail wolfgang.breh@kit.edu

## Energiewende – und weiter?

Der angestrebte Ausbau der erneuerbaren Energien ist im Wesentlichen strombasiert. Wird der für eine Energieversorgung der Zukunft erforderliche Energiemix auf Strombasis zu realisieren sein? Nicht ohne gravierende Strukturveränderungen.

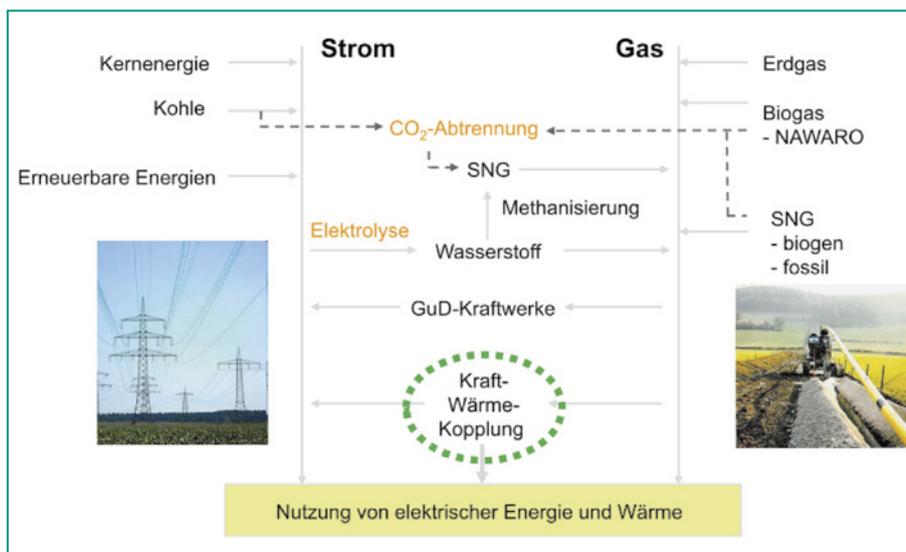
Auf dem Weg in ein neues Energiezeitalter hat sich Deutschland ehrgeizige Ziele gesetzt: Bis zum Jahr 2050 soll der Primärenergieverbrauch gegenüber 2008 um 50 Prozent sinken. Der Stromverbrauch soll gegenüber 2008 um rund 25 Prozent abnehmen. Zugleich soll der Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttoendenergieverbrauch auf 60 Prozent und am Bruttostromverbrauch auf 80 Prozent steigen. Die Treibhausgasemissionen sollen gegenüber 1990 um 80 bis 95 Prozent abnehmen.

bereitstellen? Ja, sie kann – aber nicht in allen Verbrauchssektoren und nur über gravierende Strukturveränderungen. Denn die Energieflüsse aus regenerativen Quellen verursachen erhebliche technische Herausforderungen. Fluktuationen des Angebots elektrischer Energie über weite Frequenzbereiche und große Amplituden müssen abgefangen werden. Überschüsse müssen gespeichert werden.

Wie ein Vergleich verschiedener Speichertechnologien zeigt, sind chemische

bietet eine potenzielle Speicherkapazität von 110 Terawattstunden. Als verbindende Technologie eignet sich Power-to-Gas – die Umwandlung von Strom in Gas. Ein Ausbau des Stromnetzes bleibt dennoch unabdingbar. Auf jeden Fall werden die erforderlichen Strukturveränderungen sich deutlich auf die Preisstruktur auswirken.

Henning Bockhorn



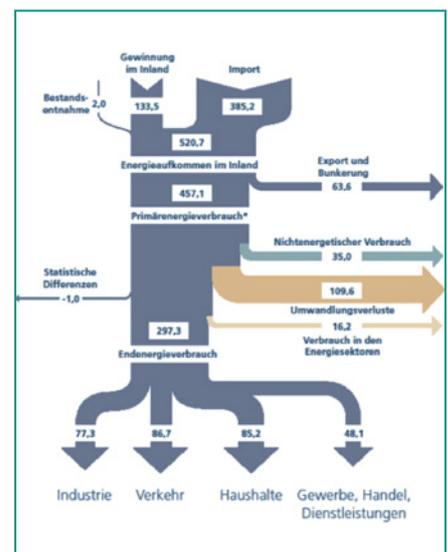
Konvergenz von Strom- und Gasnetz.

Ein Vergleich dieser Vorgaben mit verschiedenen wissenschaftlichen Szenarien zum Primärenergieverbrauch zeigt, dass in der politischen Diskussion offensichtlich die Energieform Strom dominiert. Tatsächlich liegt die Dynamik des Einsatzes erneuerbarer Energien im Stromanteil. Der angestrebte Ausbau der erneuerbaren Energien auf 60 Prozent des Bruttoendenergieverbrauchs ist im Wesentlichen strombasiert.

Kann eine Energieversorgung auf der Basis von Strom den passenden Energiemix für die einzelnen Verbrauchssektoren

Speicher dafür am besten geeignet. Für elektrische Energie werden 2050 in Deutschland schätzungsweise ca. 15,6 Terawattstunden Speicherkapazität gebraucht werden. Bei dieser Schätzung werden eine benötigte Energie von 600 Terawattstunden pro Jahr, eine durchschnittliche Last von 70 Gigawatt, zwei Drittel Einspeisung aus volatilen Quellen sowie ein Überbrückungszeitraum von zwei Wochen angenommen.

Chemische Speicher ermöglichen auch die Konvergenz von Strom- und Gasnetz. Denn die bestehende Erdgasinfrastruktur



Energieflüsse in Deutschland 2009; Angaben in Megatonnen Steinkohleeinheiten (Mt SKE). (Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 7/2010)

### Weitere Infos:

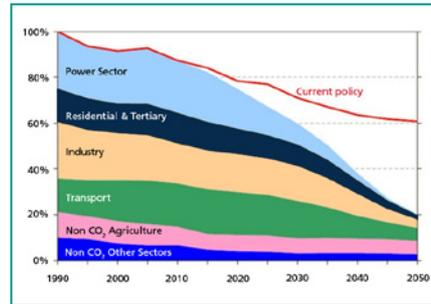
Professor Dr. Henning Bockhorn  
Engler-Bunte-Institut  
Bereich Verbrennungstechnik (EBI-VBT)  
Telefon +49 721 608-42570  
E-Mail [henning.bockhorn@kit.edu](mailto:henning.bockhorn@kit.edu)

## Biokraftstoffe zur CO<sub>2</sub>-Reduktion

Der Einsatz von Biokraftstoffen trägt zu einer kohlenstoffarmen Wirtschaft bei. Unter allen biogenen Kraftstoffen weisen synthetische BtL-Kraftstoffe aus Restbiomasse das höchste CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotenzial auf.

Mobilität bildet einen wichtigen Schlüssel zu Beschäftigung, Wohlstand und Lebensqualität. Aus heutiger Sicht wird der Verbrennungsmotor noch längere Zeit dominieren. Solange es Verbrennungsmotoren geben wird, werden flüssige Kraftstoffe mit hoher Energiedichte gefragt sein. Eine Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen um mehr als 90 Prozent gegenüber 1990 – dies ist nach einer Roadmap der Europäischen Kommission erforderlich, um den Temperaturanstieg in der Erdatmosphäre auf zwei Grad zu begrenzen – lässt sich nur mit einer kohlenstoffarmen Wirtschaft erreichen. Ein wichtiger Schritt auf dem Weg zu diesem Ziel ist der Einsatz von Biokraftstoffen für mobile Anwendungen.

Nach Angaben des Bundesumweltministeriums beträgt der energetische Anteil der Biokraftstoffe heute erst 5,6 Prozent. Dieser Anteil lässt in den kommenden 30 bis 50 Jahren auf 50 Prozent erhöhen.



CO<sub>2</sub>-Reduktion, die erforderlich ist, um den Temperaturanstieg in der Erdatmosphäre auf zwei Grad zu begrenzen. (Quelle: European Commission – A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050)

Verschiedene Biokraftstoffe sind verfügbar: hydriertes Pflanzenöl, Biodiesel, Bioethanol, Biogas und künftig auch synthetische BtL-Kraftstoffe (Biomass to Liquid). Unter ihnen weisen die BtL-Kraftstoffe das höchste CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotenzial auf. Die „Renewable Energy Directive“

der EU von 2009 gibt das CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotenzial von BtL-Kraftstoffen aus landwirtschaftlichen Abfällen mit über 90 Prozent an.

Neben ihrem hohen CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotenzial bieten Biokraftstoffe weitere Vorteile: Die vorhandene Infrastruktur lässt sich weiter nutzen, die Kraftstoffe lassen sich zu akzeptablen Kosten herstellen, und die Abhängigkeit von Erdölimporten nimmt ab. Um eine Konkurrenz zur Nahrungsmittelherstellung zu vermeiden, sind BtL-Kraftstoffe aus Restbiomasse, wie Stroh und Holzabfälle, zu bevorzugen. Während die flüssigen Biokraftstoffe sich für die (auto)mobile Anwendung empfehlen, sind für die stationäre Anwendung nichtflüssige Biokraftstoffe zu bevorzugen.

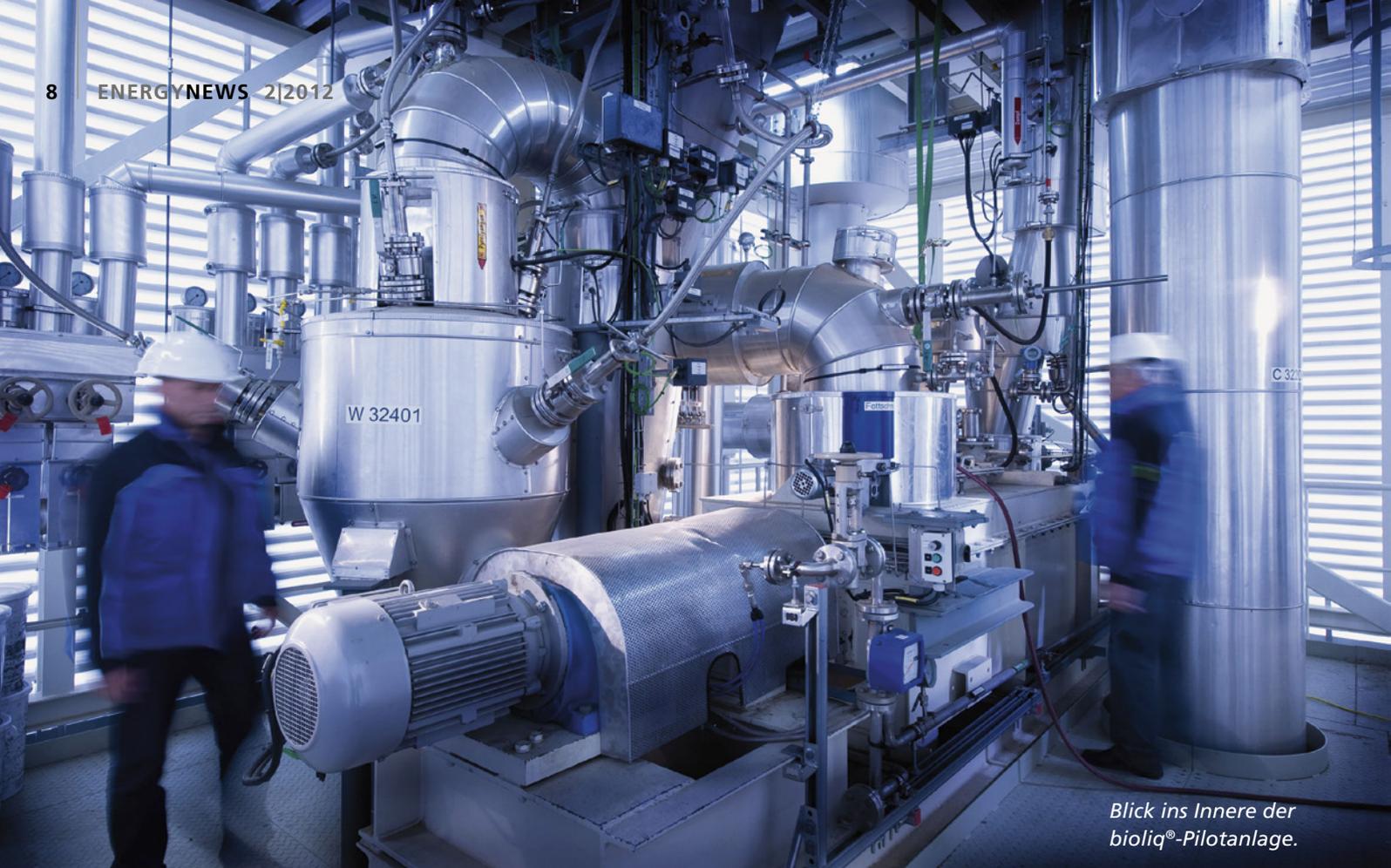
Amin Velji

### Weitere Infos:

Dr. Amin Velji  
Institut für Kolbenmaschinen (IFKM)  
Telefon +49 721 608-48561  
E-Mail amin.velji@kit.edu



In der bioliq®-Pilotanlage am KIT-Campus Nord entstehen hochwertige BtL-Kraftstoffe aus Restbiomasse.



Blick ins Innere der bioliq®-Pilotanlage.

## Umbau der Energieversorgung – Herausforderung durch erneuerbare Energien

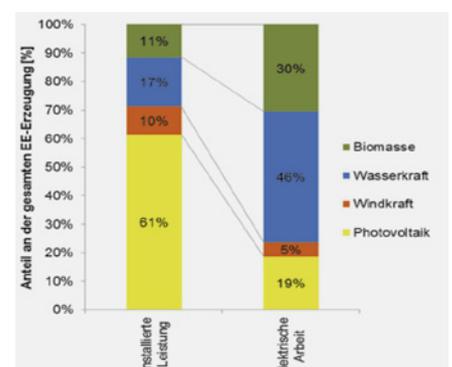
Die Energiewende setzt den Ausbau von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien voraus. In diesem Bereich besitzt das KIT-Zentrum Energie ein großes Forschungspotenzial – auch was die Einbindung in das Gesamtenergiesystem betrifft.

Der Anteil erneuerbarer Energieträger am gesamten Endenergieverbrauch in Deutschland wächst infolge der politischen Zielsetzung beständig und erreichte 2011 bereits einen Anteil von 12,5 Prozent. In der Stromproduktion kam er sogar auf 21 Prozent und stieg im ersten Halbjahr 2012 auf mehr als 25 Prozent, wie der Bundesverband für Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) mitteilte. Das Energiekonzept der Bundesregierung gibt vor, dass der Anteil der regenerativen Quellen an der Stromproduktion bis zum Jahr 2050 auf 80 Prozent steigen soll – eine Herausforderung für Wirtschaft und Gesellschaft, denn die Transformation des Energiesystems erfordert neue Strukturen der Energiewirtschaft, der Netze, der Steuerung und Regelung und letztlich eine Anpassung des Nutzerverhaltens. Das KIT stellt sich mit seiner Forschungsstrategie offensiv darauf ein.

Welche Chancen bergen die erneuerbaren Energien, und welche Probleme ergeben sich aus ihrer Nutzung? Zunächst ist zu unterscheiden zwischen grundlastfähigen erneuerbaren Energien, die kontinuierlich zuverlässig verfügbar sind, nämlich Bioenergie, Geoenergie, Wasserkraft und Reststoffnutzung, und fluktuierenden regenerativen Quellen, die je nach Tageszeit, Jahreszeit und Wetter schwanken, nämlich Sonnenenergie und Windenergie. Die Nutzung fluktuierender erneuerbarer Energien bringt besondere technische sowie wirtschaftliche und auch gesellschaftliche Herausforderungen mit sich. Dabei geht es vor allem um den Abgleich von Angebot und Nachfrage, um Transport und Vernetzung von Erzeugerstandorten und Energieformen sowie um die Speicherung von Überschüssen in Speichern mit hoher Speicherdichte, wie sie chemische Energieträger bieten, und

einer der Nutzung angepassten Be- und Entladegeschwindigkeit zu vertretbaren Kosten.

Wird nur die Stromproduktion betrachtet, ist zu differenzieren zwischen der installierten Leistung, die den momentan maximal möglichen Energiefluss aus einer Windkraft- oder Photovoltaikanlage



Anteile erneuerbarer Energieträger an der installierten Leistung und an der elektrischen Arbeit in Baden-Württemberg 2010. (Quellen: Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, Statistisches Landesamt Baden-Württemberg)

beschreibt und typischerweise in Kilowatt oder Megawatt angegeben wird, und der tatsächlich in einem gegebenen Zeitraum produzierten elektrischen Energie, angegeben in Kilowattstunden oder Megawattstunden. Beispiele für Anteile an den erneuerbaren Energien in Baden-Württemberg 2010: Die Photovoltaik steuerte 61 Prozent der installierten elektrischen Leistung dazu, trug aber nur zu 19 Prozent zur Produktion von „Grünstrom“ bei, während die Wasserkraft lediglich 17 Prozent zur installierten Leistung, aber 46 Prozent zur elektrischen Arbeit beitrug. Entscheidend ist auch die Verfügbarkeit einer Anlage: Im Durchschnitt der Jahre 2005 bis 2010 kam die Wasserkraft in Baden-Württemberg auf einen Jahresnutzungsgrad von 71,9 Prozent, die Biomasse erzielte 76,9 Prozent, die Windenergie 14,6 Prozent und die Photovoltaik lediglich 8,4 Prozent.

Die Forschergruppen im KIT-Zentrum Energie fokussieren ihre Arbeiten zu erneuerbaren Energien auf Biomasse – besonders zur Herstellung von synthetischen BtL-Kraftstoffen und chemischen Grundstoffen (Biomass to Liquid) aus Restbiomasse und Wasserstoff aus feuchter Restbiomasse – sowie Geothermie. Beide Themenfelder werden derzeit bereits in der Helmholtz-Programmforschung gefördert. Daneben werden Projekte aus den Bereichen Windenergie, Wasserkraft, Photovoltaik – besonders mit organischen Materialien – und konzentrierende Solarthermie durchgeführt; künftig wird der Schwerpunkt „Solar Fuels“ vertieft. In der bioliq®-Pilotanlage am KIT-Campus Nord entstehen hochwertige BtL-Kraftstoffe aus trockener Restbiomasse wie Stroh und Holzabfälle. Das mehrstufige Verfahren ist exemplarisch für nachhaltige Biomassennutzung: Konkurrenz zur

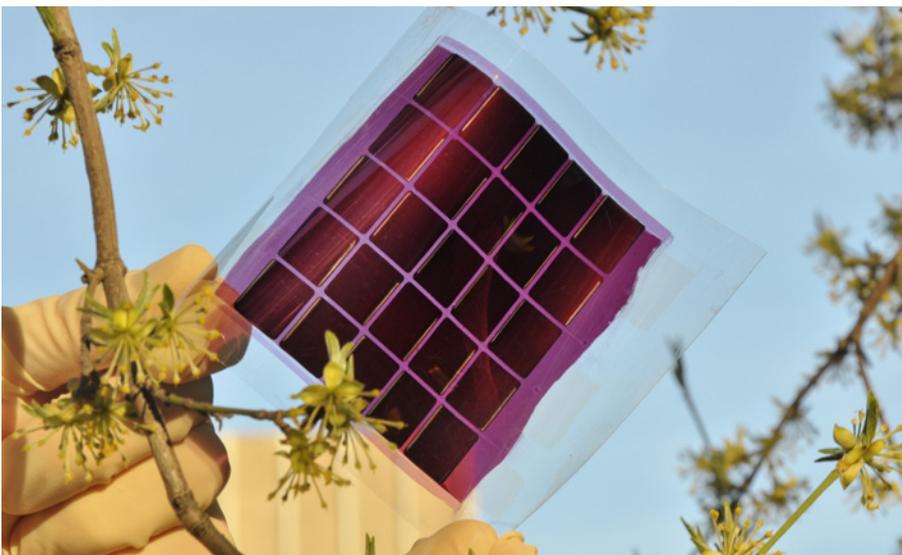
Nahrungsmittel- oder Futtermittelherstellung ist ausgeschlossen; die regional verteilt anfallenden Reststoffe, die eine niedrige Energiedichte aufweisen, werden auf der ersten Stufe dezentral – da, wo sie anfallen – in ein Zwischenprodukt hoher Energiedichte umgewandelt, das sich energieeffizient zur dezentralen Weiterverarbeitung transportieren lässt. Die Pilotanlage VERENA, ebenfalls am KIT-Campus Nord, erzeugt Wasserstoff durch hydrothermale Vergasung feuchter Restbiomasse.

Zur besseren Einbindung der erneuerbaren Energien in das zukünftige Energiesystem forscht das KIT-Zentrum Energie an Speichern, Wandlern und Netzen. Die Arbeiten zur Energiespeicherung reichen von Lithium-Ionen-Batterien und Redox-Flow-Batterien über Wasserstoff und Methan bis hin zu Pumpspeichern und Wärmespeichern. Was die Energieumwandlung betrifft, geht es vor allem um effiziente Kraftwerkskomponenten, Generatoren, elektrochemische Wandler sowie Systeme zur Methanisierung und zur H<sub>2</sub>-Erzeugung. Die Arbeiten zu Stromnetzen richten sich darauf, Stabilität, Versorgungssicherheit und Versorgungsqualität zu erhalten, unter anderem mithilfe von innovativen Netzkomponenten sowie durch die Kopplung von Strom- und Gasnetz und die Integration von Energienetz und Informationsnetz.

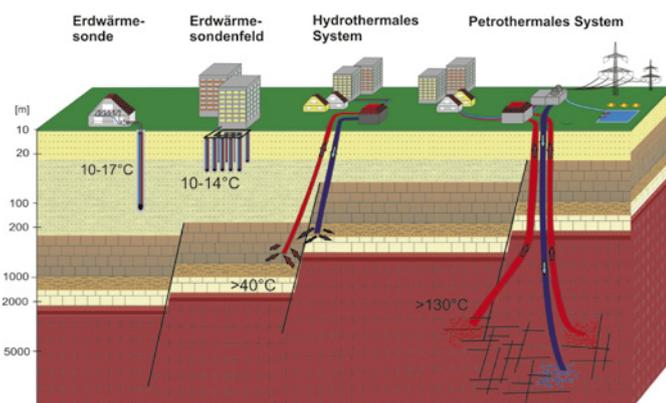
Karl-Friedrich Ziegahn

#### Weitere Infos:

Dr. Karl-Friedrich Ziegahn  
KIT-Präsidium – Chief Science Officer 5  
Telefon +49 721 608-28590  
E-Mail karl-friedrich.ziegahn@kit.edu



Flexibles Organisches Solarmodul, bei der Jahrestagung des KIT-Zentrums Energie vorgestellt von Dr. Alexander Colsmann, Lichttechnisches Institut (LTI) des KIT.

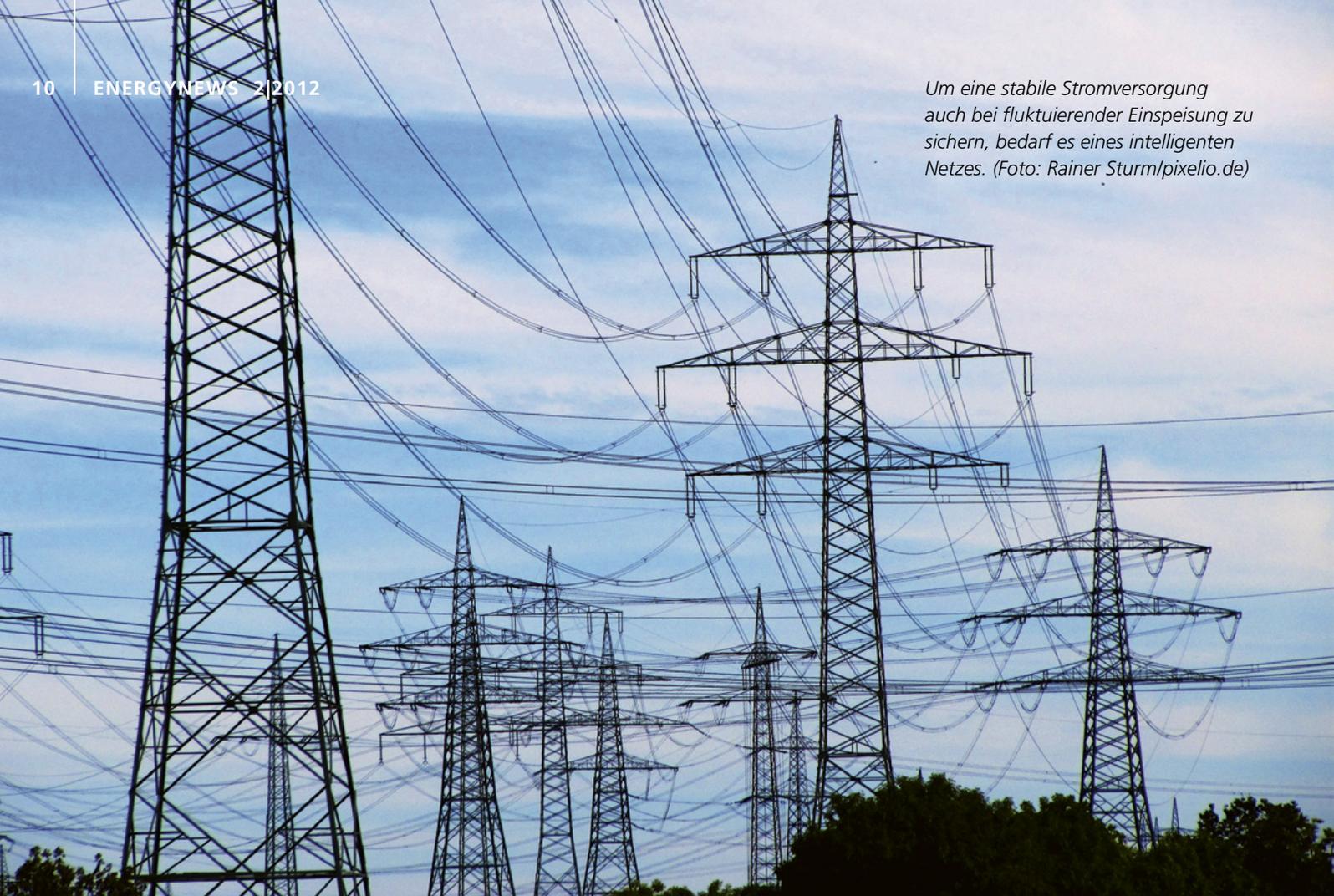


Systeme der Geothermienutzung in Deutschland. (Abbildung: Kohl)



Die Pilotanlage VERENA.

*Um eine stabile Stromversorgung auch bei fluktuierender Einspeisung zu sichern, bedarf es eines intelligenten Netzes. (Foto: Rainer Sturm/pixelio.de)*



## Wenn das Stromnetz mitdenkt

Mit der Energiewende wandelt sich das Stromnetz. Forscher des KIT-Zentrums Energie haben ein dynamisches Modell entwickelt, um den Zustand eines intelligenten Energienetzes zu schätzen und zu berechnen, wie Einspeiser und Speicher agieren sollen.

Das Stromnetz, das die Erzeuger mit den Verbrauchern verbindet, gliedert sich traditionell in überregionale Transportnetze und regionale Verteilernetze. Im Höchstspannungsnetz werden große Mengen elektrischer Energie vom Kraftwerk aus über weite Entfernungen transportiert. Der Strom wird dann ins Hochspannungsnetz, ins Mittelspannungsnetz und letztlich ins Niederspannungsnetz und an die Haushalte verteilt. Mit der Energiewende werden verstärkt regenerative Quellen ins Stromnetz integriert, darunter auch fluktuierende Energien wie Sonne und Wind. Der Bedarf an Energiespeichern und Leitungen zum Energietransport steigt.

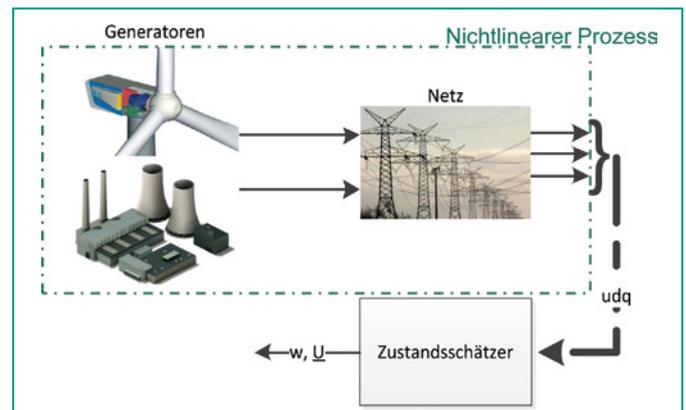
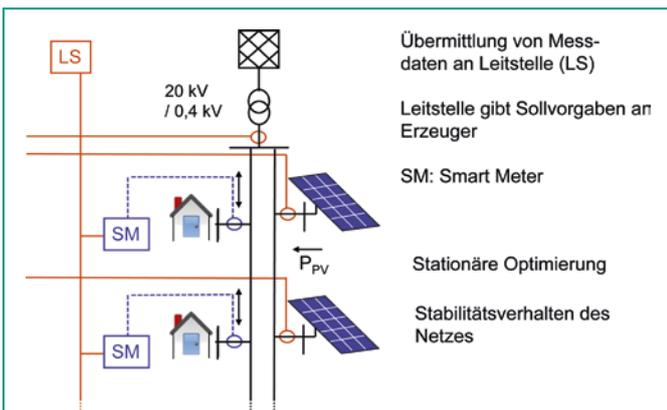
Die dezentrale Stromerzeugung nimmt zu, das heißt, Strom wird in sämtlichen Netzebenen erzeugt. Im Niederspannungs-

netz sind immer mehr blindleistungsfähige Photovoltaikanlagen integriert, die es ermöglichen, das Spannungsband einzuhalten, die Übertragungskapazität zu erhöhen und Verluste zu minimieren. Damit bilden sie einen wichtigen Baustein der Netzoptimierung.

Die Stromerzeugung in allen Netzebenen macht es erforderlich, die dezentrale Regelung präzise auszulegen. Durch die fluktuierende Einspeisung und den steigenden Transport wird es immer wichtiger, den Zustand des Netzes zuverlässig einzuschätzen, um dieses besser auszulasten, und beispielsweise Pendelschwingungen oder Spannungsinstabilitäten frühzeitig zu erkennen. Wissenschaftler am Institut für Elektroenergiesysteme und Hochspannungstechnik (IEH) haben ein Modell

entwickelt, das auf einer analytischen Beschreibung von Erzeugern, Verbrauchern und Energieübertragungsnetz beruht. Das Modell bildet die dynamische Interaktion aller Komponenten im Netz ab. So lässt sich das Zusammenwirken einer Vielzahl von Generatoren und Stromrichtern analytisch beschreiben. Mithilfe des Modells sowie von Online-Messdaten lässt sich der jeweilige Netzzustand schätzen. Dies wiederum ermöglicht es, zu berechnen, wie die Einspeiser und die Speicher agieren sollen.

Zur Modellierung des Energieübertragungsnetzes setzen die Wissenschaftler am IEH ein Verfahren ein, das auf einer dynamischen Knotenpunktadmitanzmatrix basiert: Sie beschreiben das Energienetz als RLC-Netzwerk mit Widerstand, Spule und Kondensator (RLC – Resistor, Inductor, Capacitor) durch Differenzialgleichungen erster Ordnung. Unter Nutzung des erstellten Modells und der Online-Messdaten gibt die Leitstelle Sollwerte zur Blindleistungseinspeisung für die dezentralen Stromerzeuger vor. Die Online-Messwerte werden am Transformator, bei den



Nutzung des Modells und der Online-Messdaten: Die Leitstelle gibt Sollwerte für die dezentralen Stromerzeuger vor.

Am KIT-Zentrum Energie entwickeltes dynamisches Modell zur Schätzung des Netzzustandes.



Erzeugern und in den Haushalten über intelligente Zähler erfasst.

Über die Kenntnis des Netzzustands und die Möglichkeit, diesen gezielt zu beeinflussen, lässt sich ein effizienter Netzbetrieb erreichen. Viele Probleme, die durch einen hohen Anteil von dezentralen Einspeisern entstehen, lassen sich dadurch umgehen. So lassen sich Leistungspendungen dämpfen, Übertragungsengpässe überbrücken, Überlastungen des Transformators oder der Leitungen vorhersagen und durch entsprechende Regelungen

*Windräder: Auch Wind gehört zu den schwankenden Energiequellen. (Foto: Jetti Kuhlemann/pixelio.de)*

vermeiden. Durch eine passende Steuerung der Stromrichter und der flexiblen Drehstromübertragungstechnik FACTS (Flexible AC Transmission Systems) ist es möglich, die Netzstabilität zu erhöhen, die Einhaltung des Spannungsbands sicherzustellen und die Übertragungskapazität des Netzes zu maximieren.

Matthias Kahl

#### Weitere Infos:

Matthias Kahl  
 Institut für Elektroenergiesysteme und Hochspannungstechnik (IEH)  
 Telefon +49 721 608-43063  
 E-Mail matthias.kahl@kit.edu

*Photovoltaikanlagen: Die Stromerzeugung aus Sonnenenergie schwankt zeit- und wetterabhängig. (Foto: Rainer Sturm/pixelio.de)*



## Energieeffizienz ist schon die halbe Energiewende

Der Gebäudesektor bietet ein hohes Potenzial, um Energie einzusparen und CO<sub>2</sub>-Emissionen zu verringern. Dazu bedarf es ganzheitlicher Sanierungskonzepte für Wohngebäude und Nichtwohngebäude.

Energieeffizienz bedeutet, weniger Energie zu verbrauchen und mehr aus der Energie herauszuholen. Damit stellt Energieeffizienz einen entscheidenden Faktor für das Gelingen der Energiewende dar. Die Forschung am KIT-Zentrum Energie konzentriert sich im Topic 4 „Effiziente Energienutzung“ zum einen auf Gebäude, zum anderen auf Produkte und Prozesse.

Das Betreiben von Gebäuden ist für 40 bis 50 Prozent des Primärenergiebedarfs in Deutschland verantwortlich. Im Gebäudesektor entsteht rund ein Drittel der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Davon fällt rund die Hälfte vor Ort, die andere Hälfte in den Kraft- und Heizwerken zur Energie-

versorgung über die Netze an. Das 6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung räumt dem Gebäudesektor mit seinem hohen Potenzial zur Energieeinsparung und Verringerung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes einen hohen Stellenwert ein.

Die nächste Novelle der Energieeinsparverordnung (EnEV) wird daher das Niveau „klimaneutrales Gebäude“ für Neubauten bis 2020 auf der Grundlage von primärenergetischen Kennwerten einführen. Der daran ausgerichtete Sanierungsfahrplan für Gebäude im Bestand beginnt 2020 und soll bis 2050 stufenweise zur Minderung des Primärenergiebedarfs um 80 Prozent führen. Dabei ist das Gebot der Wirtschaftlichkeit einzuhalten.

Um den Energiebedarf entsprechend zu senken, muss die jährliche Sanierungsrate des Gebäudebestands mindestens verdoppelt werden – derzeit liegt sie unter einem Prozent. Die energetische Sanierung von Wohngebäuden erfordert vor allem hocheffiziente, bauphysikalisch unkritische und kostengünstige Dämmsysteme, Lüftungssysteme und sommerlichen Wärmeschutz. Für die Dämmung sind erste neue Materialien verfügbar, beispielsweise Vakuumdämmung oder Dämmputze auf Basis von Nanogelen, die deutlich geringere Schichtdicken bei hoher Dämmwirkung erlauben, oder kapillaraktives Innendämmmaterial, das sich auch für Gebäude eignet, bei denen der Denkmalschutz eine Außendämmung nicht erlaubt. Bei Nichtwohngebäuden geht es vor allem um passive Kühlung, Tageslichtnutzung, effiziente Systeme zur Klimatisierung und Lüftung und eine Berücksichtigung des nutzungsbedingten Stromverbrauchs. Die Sanierung ist ganzheitlich anzugehen.

Was die Energieversorgung betrifft, muss künftig in erweiterten Systemgrenzen gedacht werden: Gebäude sind nicht mehr nur Verbraucher, sondern werden aktive Komponenten im Gesamtenergiesystem mit bidirektionalen Energieflüssen; dabei ist eine Kopplung mit Informationsflüssen erforderlich. Um die Interaktion im Netz zu optimieren, ist ein möglichst hoher Eigennutzungsanteil an lokal erzeugter Energie – Strom und Wärme – anzustreben. Gebäudehüllflächen wie Außenwände und Fenster sind verstärkt zur Energieumwandlung zu nutzen, beispielsweise mithilfe von Photovoltaikmodulen. Schließlich gewinnen besonders bei der Sanierung Energiekonzepte auf den Ebenen von Quartier und Stadt immer mehr an Bedeutung.

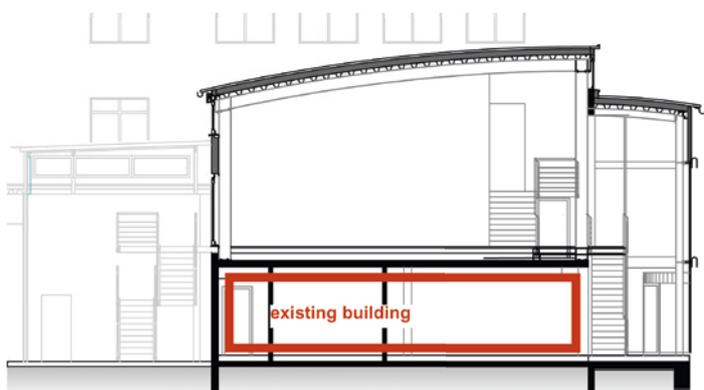
Andreas Wagner

### Weitere Infos:

Professor Andreas Wagner  
Institut Entwerfen und Bautechnik (IEB)  
Fachgebiet Bauphysik und Technischer Ausbau (fbta)  
Telefon +49 721 608-46511  
E-Mail wagner@kit.edu



Beispiel für ein Energiekonzept im Nichtwohnungsbau: Erweiterung und Sanierung der Druckerei Engelhardt und Bauer in Karlsruhe unter dem Monitoring des Fachgebiets Bauphysik und Technischer Ausbau (fbta) des KIT.



(Grafik: Arche GmbH; Foto: Patrick Beuchert)

## Energieeffiziente chemische Prozesse

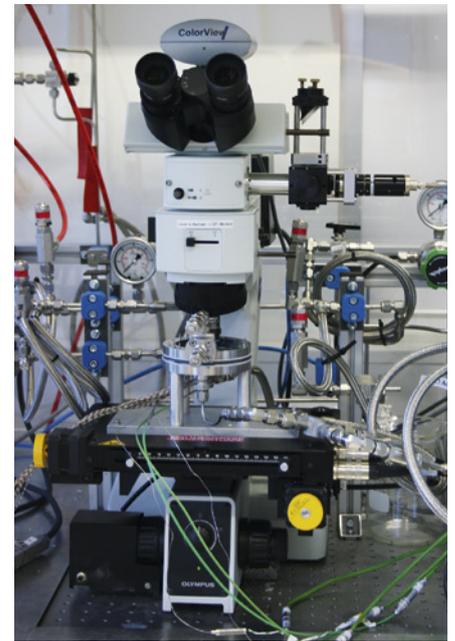
Mehrphasenreaktoren machen den größten Teil der Reaktionsapparate in der chemischen Industrie aus. Mit der Optimierung der Reaktoren und der darin ablaufenden Prozesse befasst sich eine nun gestartete Helmholtz-Allianz.

Acht Prozent des Energieverbrauchs in den Industrieländern gehen auf die chemische Industrie zurück. Daher können Energieeffizienzmaßnahmen in dieser Branche erheblich zur Energiewende in Deutschland beitragen. Potenziale dafür bieten sich in Reaktortechnik, Selektivität von Reaktionen, Wärmemanagement, Prozessintegration und Prozesssteuerung. Sogenannte Mehrphasenreaktoren, in denen Gase und Flüssigkeiten bei hohen Drücken und Temperaturen zur Reaktion gebracht werden, machen den größten Teil der industriellen chemischen Reaktionsapparate aus und tragen mit den vor- und nachgeschalteten Prozessstufen erheblich zum Energieverbrauch in diesem Industriezweig bei. Deshalb bietet die Optimierung sowohl der Reaktoren selbst als auch der darin ablaufenden komplexen Prozesse ein beträchtliches Energieeinsparpotenzial.

Um dieses Potenzial auszuschöpfen und das Prozessverständnis, die Prozessführung und die Prozesssimulation zu

phasenmesstechnik sowie Katalyse und intensivierte Reaktortechnologien. Partner der Allianz sind das Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf als Koordinator, das KIT, die Technische Universität Dresden, die Technische Universität Hamburg-Harburg, die Ruhr-Universität Bochum und die Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Assoziierter Partner ist das Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS. Aus dem KIT beteiligen sich Arbeitsgruppen aus den Instituten für Mikroverfahrenstechnik (IMVT), Kern- und Energietechnik (IKET), Thermische Verfahrenstechnik (TVT) sowie Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS).

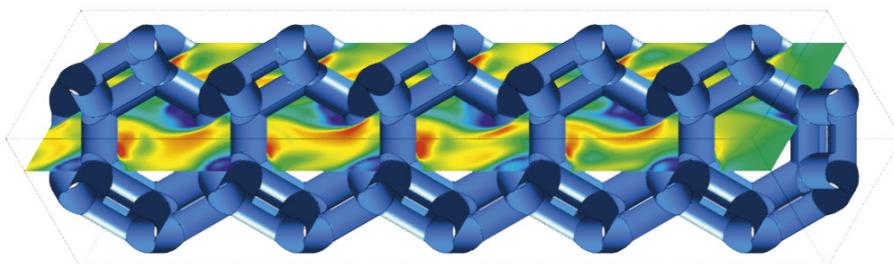
Der Beitrag des KIT umfasst Reaktionsführung und Mikroapparate, Simulation, In-situ-Messtechnik sowie Systemanalyse. Als Beispiele dienen die Anilinerzeugung aus Nitrobenzol sowie die Oxidation von Isobutan zum Hydroperoxid. Die Reaktoren sollen unter anderem mikrostrukturiert sein oder mit keramischen



*In-situ-Messtechnik ist eines der Themen im Rahmen der Helmholtz-Allianz „Energieeffiziente chemische Mehrphasenprozesse“.*

men der neuen Periode der Programmorientierten Forschung weiterführen, deren Antragsphase gerade läuft.

Peter Pfeifer



*Simulation – ein weiteres Thema der Allianz.*

verbessern, bündelt die Helmholtz-Allianz „Energieeffiziente chemische Mehrphasenprozesse“ Kompetenzen und Aktivitäten in Forschung und Entwicklung auf den Gebieten Chemische Reaktionstechnik, Mehrphasenströmungen, Numerische Simulation und Apparateauslegungsmethoden, Prozess- und Mehr-

Schaum- oder Monolithstrukturen gefüllt werden. Neben technologischen Fragen betrachten die Karlsruher Forscherinnen und Forscher von vornherein auch Fragen der Nachhaltigkeit. Die Allianz ist 2012 gestartet. Nach Ablauf der dreijährigen Förderperiode werden die beteiligten Helmholtz-Zentren die Arbeiten im Rah-

### Weitere Infos:

Professor Dr. Roland Dittmeyer  
Institut für Mikroverfahrenstechnik (IMVT)  
Telefon +49 721 608-23114  
E-Mail [roland.dittmeyer@kit.edu](mailto:roland.dittmeyer@kit.edu)

Dr. Peter Pfeifer  
Institut für Mikroverfahrenstechnik (IMVT)  
Gruppe Gas- u. Mehrphasenkatalyse (CAT)  
Telefon +49 721 608-24767  
E-Mail [peter.pfeifer@kit.edu](mailto:peter.pfeifer@kit.edu)

# Wolfram – Zähmung des Widerspenstigen

Forscher des KIT-Zentrums Energie haben das spröde Material Wolfram duktil gemacht: Lamine aus Wolframfolie eignen sich als Strukturwerkstoff für hoch beanspruchte Bauteile in der Fusionstechnologie.

Die Komponenten eines Fusionsreaktors müssen extremen Bedingungen standhalten und dabei stets die Stabilität des Betriebs gewährleisten. Zu den thermisch am höchsten belasteten Bauteilen gehört der sogenannte Divertor, eine aus Prallplatten bestehende Vorrichtung, welche die Reinheit des brennenden Plasmas gewährleistet: Der Divertor führt das Fusionsprodukt Helium-4 und die aus dem Wandmaterial stammenden Verunreinigungen ab. Dabei sind seine Prallplatten extremen Wärmelasten von zehn Megawatt pro Quadratmeter ( $\text{MW/m}^2$ ) und höher ausgesetzt. Selbst die hinter dem Hitzeschild angeordneten Strukturkomponenten, wie beispielsweise Kühlkanäle, können Betriebstemperaturen von über 700 Grad Celsius erreichen. Sie müssen über eine gute Hitze- und Druckfestigkeit verfügen und gleichzeitig eine hohe Duktilität aufweisen, das heißt sich unter Belastung plastisch verformen. Eigentlich widersprechen diese Anforderungen einander – eine Herausforderung in der Fusionstechnologie.

Für den Einsatz bei hohen Temperaturen eignet sich das Übergangsmetall Wolfram. Es hat von allen Metallen den höch-

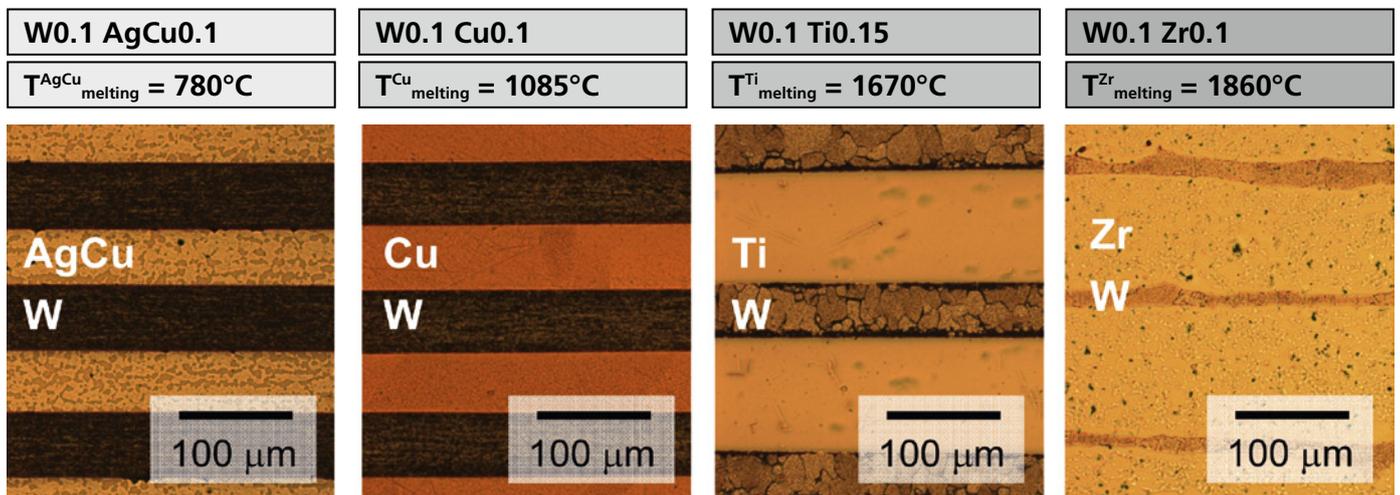
sten Schmelzpunkt – 3422 Grad Celsius – und den niedrigsten Dampfdruck. Dazu zeichnet es sich durch eine hervorragende Hochtemperaturfestigkeit und eine gute Wärmeleitfähigkeit aus. Dem stehen jedoch eine schlechte Oxidationsbeständigkeit und vor allem eine hohe Sprödigkeit gegenüber. Der Spröd-Duktil-Übergang findet erst bei hohen Temperaturen statt. Daher wird Wolfram bis jetzt ausschließlich als Funktionsmaterial eingesetzt, jedoch nicht als Strukturmaterial, das heißt als Werkstoff für sicherheitsrelevante, drucktragende Bauteile.

Wissenschaftler am Institut für Angewandte Materialien – Angewandte Werkstoffphysik (IAM-AWP) des KIT haben nun gemeinsam mit dem Industriepartner PLANSEE SE in Reutte/Österreich ein neues Hochtemperaturmaterial auf der Basis von Wolframfolie entwickelt. Dieses Wolframlaminat weist eine hohe Duktilität auf und eignet sich als Strukturwerkstoff, beispielsweise für Kühlkanäle am Divertor eines Fusionsreaktors.

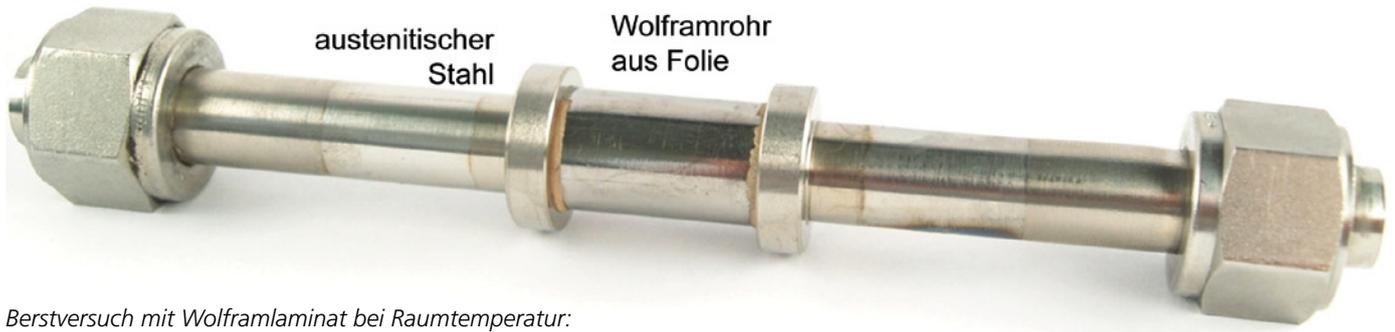
Wolframplatten sind spröde – Wolframfolien aber sind duktil und lassen sich bereits bei Raumtemperatur plastisch ver-

formen. Um die Duktilität der Folien auf massive Bauteile zu übertragen, haben die KIT-Wissenschaftler mehrere Lagen Wolframfolie übereinandergeschichtet und Zwischenschichten aus weicherem Material eingefügt. Das so entstandene Wolframlaminat besteht aus mehreren stoffschlüssig verbundenen Ebenen und lässt sich gut zu einem Rohr verarbeiten. Je nach Wahl der Zwischenschicht sowie der Verbindungstechnik ergibt sich eine spezifische Mikrostruktur des Laminats. Dabei bestimmen sowohl der Zustand der Wolframfolie als auch die Art der Grenzfläche zwischen Wolfram und Zwischenschicht die mechanischen Eigenschaften des Laminatrohrs.

Die Körner der Wolframfolie passen sich der Kontur des Wolframrohrs an. Daher werden die schwachen Korngrenzen bei einer Belastung des Rohrs durch Innendruck nicht beansprucht. Wenn die Walzrichtung der Wolframfolie als Umfangsrichtung des Rohrs gewählt wird, dann fällt zusätzlich die durch den Spannungszustand am meisten beanspruchte Richtung mit einer duktilen Foliengerichtung zusammen. Kerbschlagbiegeversuche und Berstversuche mit Rohren aus Wolframlaminat haben gezeigt, dass der Werkstoff als Strukturwerkstoff taugt: Bei einem Berstversuch blieb das Rohr bei Drücken von bis zu 1000 bar und Raumtemperatur völlig rissfrei und intakt.



Mikrostruktur von verschiedenen Wolframlaminaten: Die mechanischen Eigenschaften, also auch die Duktilität, hängen entscheidend von der Wahl der Zwischenschicht und der Verbindungstechnik ab.



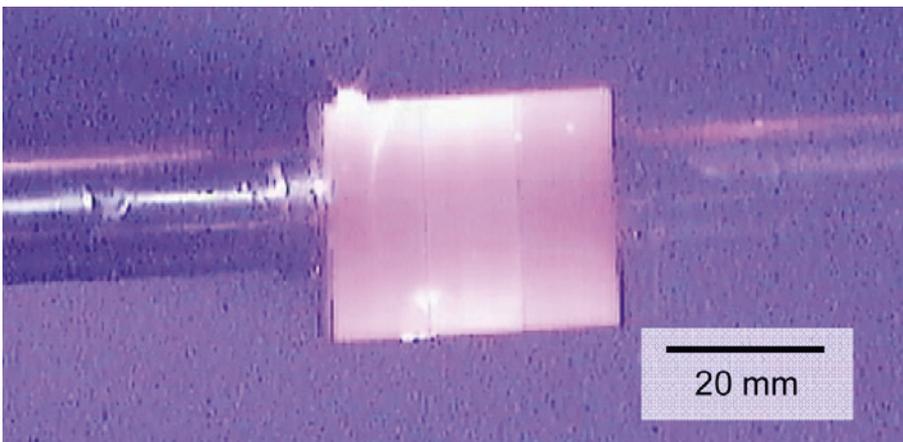
Berstversuch mit Wolframlaminat bei Raumtemperatur:  
Das Rohr bleibt bei Drücken von bis zu 1000 bar intakt.  
(Abbildung: PLANSEE SE)



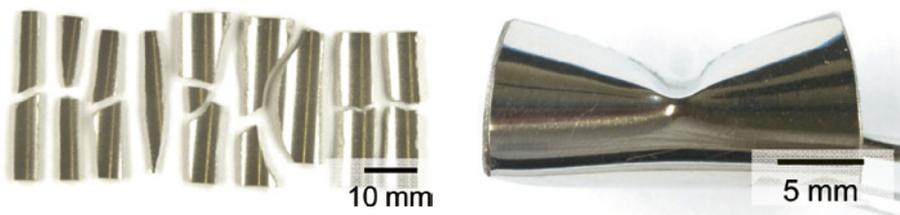
Referenzdesign der Hochleistungswärmetauscher für den Divertor des internationalen Fusions-experiments ITER.  
(Abbildung: PLANSEE SE)

Das am KIT-Zentrum Energie entwickelte Wolframlaminat eignet sich nicht nur für die Fusionstechnologie, sondern auch für andere Hochtemperaturanwendungen. Mehrere von diesen Anwendungen liegen in der Energietechnik, beispielsweise Receiver in der fokussierenden Solarthermie oder Bauteile zur Pyrolyse als Verfahrensschritt in der Herstellung von Biokraftstoffen aus Stroh und anderen Reststoffen. Die Firma PLANSEE hat das duktile Wolframlaminat gemeinsam mit dem KIT bereits zum Patent angemeldet.

Jens Reiser



Mock-ups aus einem Wolframlaminatrohr im Hochtemperaturtest am Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP) in Garching.



Ein durch Bohren eines Lochs in einen Stab hergestelltes Wolframrohr bricht spröde (links). Ein Wolframrohr aus Laminat hingegen verhält sich duktil (rechts).

#### Weitere Infos:

Jens Reiser  
Institut für Angewandte Materialien  
Angewandte Werkstoffphysik (IAM-AWP)  
Telefon +49 721 608-23894  
E-Mail jens.reiser@kit.edu

## Neue Messmethode für den Luftanteil

Mit der videometrischen Void-Messung lässt sich der Gasvolumenanteil in entgegengerichteten Zweiphasenströmungen bestimmen. Solche Strömungen können unter anderem bei einem hypothetischen Kühlmittelverluststörfall eines Druckwasserreaktors entstehen.

Die nukleare Sicherheitsforschung bleibt auch während und nach der Energiewende unentbehrlich. Denn die Kompetenzen müssen erhalten bleiben, um den Ausstieg Deutschlands aus der Stromproduktion mit Kernkraft so sicher wie möglich zu gestalten. Darüber hinaus gilt es, kerntechnische Anlagen um Deutschland herum kompetent zu bewerten und internationale Entwicklungen kritisch zu begleiten. Ein zentrales Gebiet ist die Sicherheit von Kernreaktoren. Um den sicheren Betrieb dieser Anlagen jederzeit zu gewährleisten, untersuchen Forscherinnen und Forscher das Anlagenverhalten auch für hypothetische Unfallszenarien.

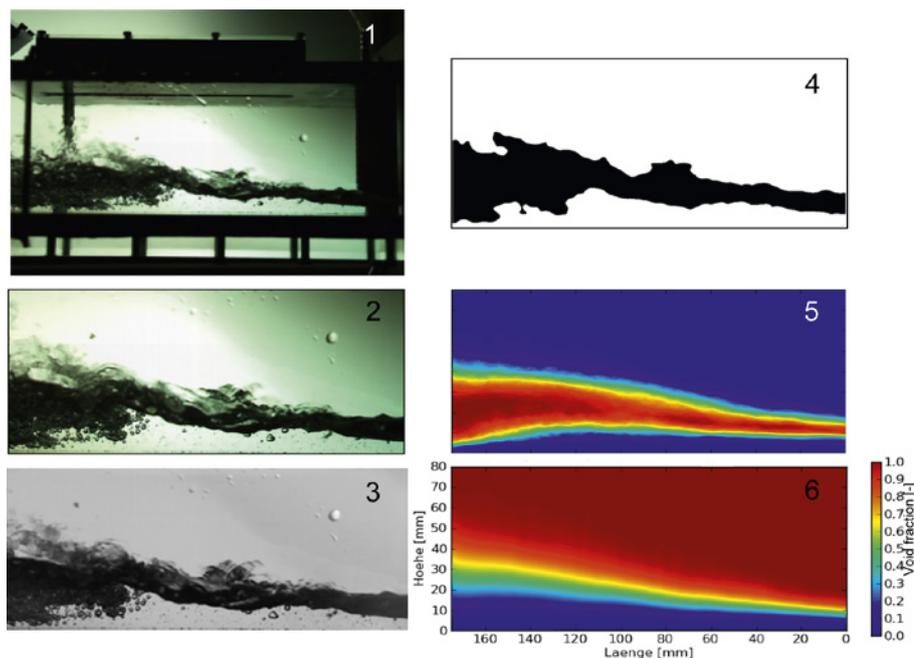
Der Kühlmittelverluststörfall (LOCA – Loss of Coolant Accident) ist ein hypothetischer Störfall, bei dem eine Leckage im primären Kreislauf eines Reaktors

angenommen wird. Tritt dieses Leck im kalten Strang eines Druckwasserreaktors auf, kann es bei längerem Ausfall aller Kühlmittel-Einspeisesysteme zum Reflux-Condenser Mode kommen: Aufgrund des Kühlmittelverlusts strömt nur noch Dampf aus dem oberen Plenum durch den heißen Strang in den Dampferzeuger. Der Dampf kondensiert daraufhin und fließt zumindest teilweise wieder zurück durch den heißen Strang in den Reaktor-druckbehälter. Bei der so entstehenden entgegengerichteten Zweiphasenströmung im heißen Strang kann es zu Strömungsinstabilitäten kommen, durch welche die Rückströmung des Wassers in den Reaktordruckbehälter behindert, im Extremfall ganz unterbunden wird. Vergleichbare Strömungen können auch in Anlagen und Pipelines der Chemie- und Petrolindustrie auftreten.

Dieses Phänomen, bekannt als Gegenstrombegrenzung (CCFL – Countercurrent Flow Limitation), ändert die Systemeigenschaften deutlich. Am Institut für Kern- und Energietechnik (IKET) des KIT entsteht in Zusammenarbeit mit dem Institut für Kernenergetik und Energiesysteme (IKE) der Universität Stuttgart ein Modell dieser Strömung in CFD-Codes (Computational Fluid Dynamics). Dazu benötigen die Wissenschaftler experimentell ermittelte lokal hoch aufgelöste Daten der Strömungsparameter. Die wichtigsten Größen sind dabei die Strömungsgeschwindigkeiten beider Fluide, der Druckverlust und der Massen- bzw. Volumenanteil der einzelnen Phasen.

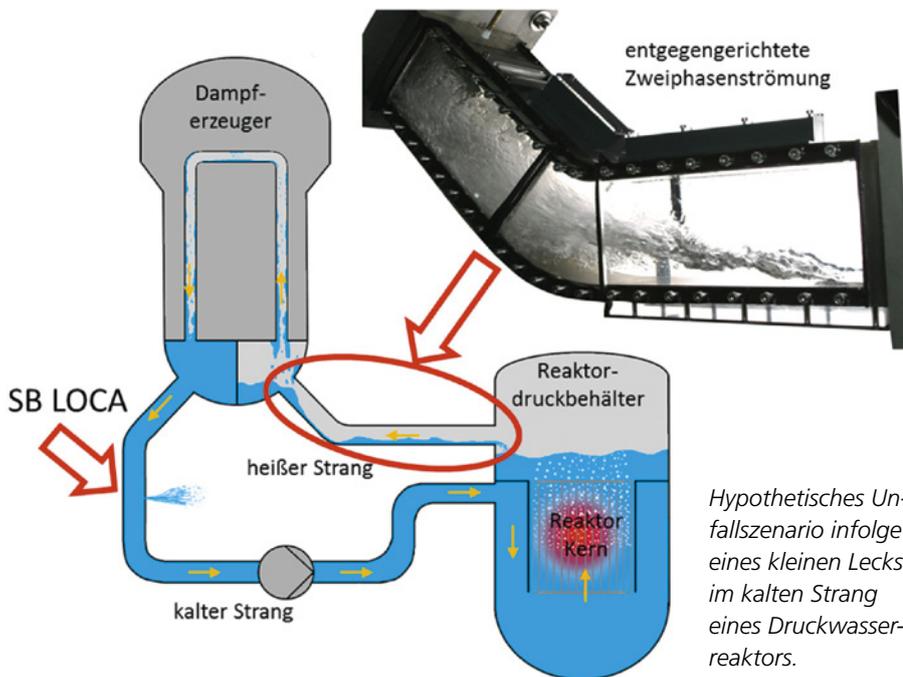
Um die lokalen Strömungsparameter unmittelbar am hydraulischen Sprung zu untersuchen, haben die Forscher die Anlage WENKA (Water Entrainment Channel Karlsruhe) am KIT mit einem Knickkanal ausgerüstet, der optischen Zugang von allen Seiten bietet. Bei den Untersuchungen setzen sie optische, laseroptische und invasive Messverfahren ein. Der Kanal hat einen Querschnitt von 90 mal 110 Millimetern und wird unter Umgebungsbedingungen betrieben. Bei den Versuchen dient Wasser als flüssige Phase und Luft – anstelle von Dampf – als Gasphase.

Um den lokalen Luftvolumenanteil im Kanal zu bestimmen, haben die Wissenschaftler eine neue optische Messmethode entwickelt, die videometrische Void-Messung: Auf der Basis von Schattenaufnahmen ermitteln sie eine 2-D-Verteilung des Gasvolumenanteils. Dafür machen sie zunächst Hochgeschwindigkeitsaufnahmen der zu beurteilenden Strömung. Bildbereiche, in denen über die gesamte Kanaltiefe nur eine Phase vorliegt, erscheinen hell. Bildbereiche, in denen eine zweiphasige Strömung vorliegt, erscheinen dagegen dunkel, da das Licht durch Brechung und Reflexion im Zweiphasengebiet abgelenkt wird. Es werden mehrere Sequenzen aufgenommen, die insgesamt etwa 25 Sekunden abdecken.

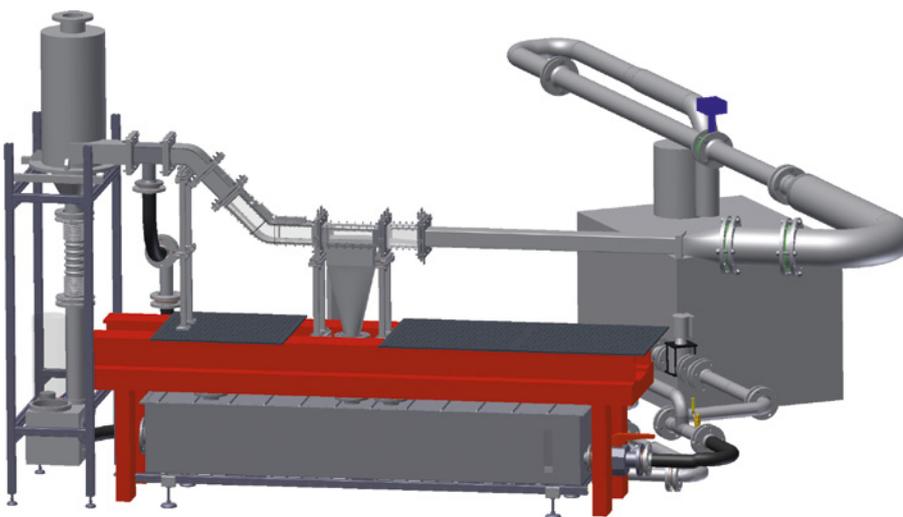


Verfahrensschritte der videometrischen Void-Messung: einzelne Aufnahme (1); auszuwertender Bildbereich (2); binarisiertes Bild (3); isolierter Zweiphasenbereich (4); zeitliche Mittelung – Bereiche, in denen immer eine Mischung aus beiden Phasen vorliegt, sind rot dargestellt. Bereiche, die überwiegend einphasig durchströmt werden, sind blau dargestellt (5, in Falschfarbendarstellung); Verteilung (6, in Falschfarbendarstellung).

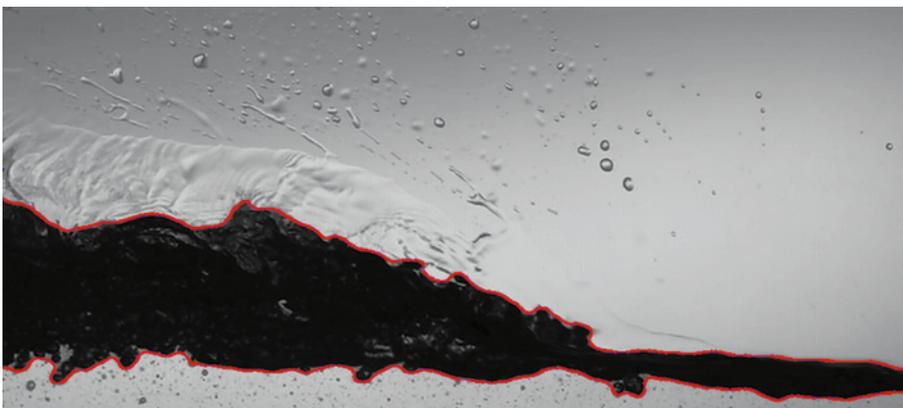
Zur Auswertung des lokalen Gasanteils wird zunächst der auszuwertende Bildbereich ausgeschnitten. Durch Subtraktion des Hintergrundbilds wird die Beleuch-



*Hypothetisches Unfallszenario infolge eines kleinen Lecks im kalten Strang eines Druckwasserreaktors.*



CAD-Modell des WENKA-Kanals.



*Ermittelte Abgrenzung des Zweiphasenbereichs; die rote Linie markiert den Rand. Der Wandfilm und einzelne Tropfen auf dem Kanalfenster sowie die kleinen Luftblasen in der Flüssigphase werden nicht mit erfasst, da sie nicht wesentlich zum Gasvolumenanteil beitragen.*

Die Phase ist durch die Phase normalisiert. Das Bild wird dann binarisiert. Kleine Tropfen und Blasen, die den Gasvolumenanteil nicht wesentlich beeinflussen, werden über verschiedene morphologische Funktionen eliminiert. So verschwinden kleine Partikel auf den Bildern, während große Strukturen erhalten bleiben. Helle Bereiche im Zweiphasengebiet werden geschwärzt, wenn sie nicht den einphasigen Bereichen zuzuordnen sind. Ergebnis ist der isolierte Zweiphasenbereich.

Nachdem der Zweiphasenbereich auf allen Bildern einer Sequenz isoliert ist, nehmen die Wissenschaftler eine zeitliche Mittelung vor. Dazu werden alle Bilder der Sequenz addiert und mit der Bildanzahl normiert. Werden die Intensitätswerte dieses Bildes spaltenweise von unten nach oben integriert und normiert, ergibt sich die Verteilung. Sie zeigt die Wahrscheinlichkeit, dass das Zweiphasengebiet unterhalb der betrachteten Position liegt. Dieses ist gleichbedeutend mit dem Gasvolumenanteil. Da sich Gasanteil und Wasseranteil zu eins ergänzen, lässt sich so die Verteilung beider Phasen im gesamten Bildbereich messen. Zur Validierung dieses neuen Verfahrens führten die Forscher Vergleichsmessungen bei unterschiedlichen Strömungsbedingungen durch. Der Vergleich des optischen Verfahrens mit invasiven Verfahren zeigte eine gute Übereinstimmung.

Das neue Messverfahren ermöglicht eine detaillierte Untersuchung des Gasvolumenanteils in geschichteten Zweiphasenströmungen. Es ergänzt die Verfahren zur Messung von Geschwindigkeit, Massenströmen und Druckverlust. So entsteht ein umfassender Datensatz, der sich zur Modellierung und Validierung entgegengerichteter geschichteter Zweiphasenströmungen nutzen lässt.

Stephan Gabriel

#### Weitere Infos:

Stephan Gabriel  
Institut für Kern- und Energietechnik (IKET)  
Telefon +49 721 608-23494  
E-Mail stephan.gabriel@kit.edu



*Porsche Panamera e-hybrid.  
(Abbildung: Porsche)*

## Was treibt die Autos der Zukunft an?

Alternative Antriebskonzepte lassen sich nur im Spannungsfeld von Mobilitätstechnologien und Mobilitätsstilen systemisch untersuchen. Diesem Thema widmete sich ein Workshop am KIT.

Konventioneller Verbrennungsmotor – mit Biokraftstoff –, Elektromotor mit Brennstoffzelle oder Elektromotor mit Batterie – welches Antriebskonzept wird sich in der individuellen Mobilität durchsetzen? Vor dem Hintergrund der Energiewende hat der Fahrzeugantrieb der Zukunft verschiedene Anforderungen zu erfüllen: Er muss technisch realisierbar und wirtschaftlich sein, ökologische und politisch-rechtliche Rahmenbedingungen erfüllen und nicht zuletzt gesellschaftlich akzeptiert werden. Jedes der drei genannten Antriebskonzepte wirkt sich spezifisch auf die Gestaltung von Mobilitätskonzepten aus.

Bei dem Workshop „Alternative Antriebskonzepte bei sich wandelnden Mobilitätsstilen“, organisiert im März dieses Jahres von den KIT-Instituten für Industriebetriebshilfe und Industrielle Produktion (IIP) sowie für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS), betrachteten mehr

als 50 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler dieses komplexe Thema unter vier Aspekten: Zukunft der individuellen Mobilität, Stand und Perspektiven der Technik, Systemwirkungen sowie mögliche Zukünfte.

Der Chief Science Officer 4 des KIT, Dr. Joachim Knebel, eröffnete den Workshop gemeinsam mit dem Leiter des ITAS, Professor Armin Grunwald, und dem Lehrstuhlleiter Energiewirtschaft am IIP, Professor Wolf Fichtner. Wie sich die Mobilität im vergangenen Jahrzehnt entwickelt hat, zeichnete Professorin Barbara Lenz vom DLR Berlin nach. Sie stellte nur geringfügige Hinweise auf eine Änderung der individuellen Mobilitätsstile fest.

Manuel Baumann vom KIT-ITAS erläuterte den aktuellen Entwicklungsstand bei Speichertechnologien. Demnach können Batteriesysteme noch nicht als wirtschaftli-

che Alternative zu Verbrennungssystemen gelten – Nischensegmente ausgenommen. Allerdings ist für die kommenden Jahre eine Senkung der Kosten bei steigender Zyklenfestigkeit zu erwarten. Brennstoffzellensysteme werden aus technischen und ökonomischen Gründen zunächst nur vereinzelt in Fahrzeugen der Oberklasse und für die Langstreckennutzung zu finden sein, wie Professor Martin Wietschel vom Fraunhofer ISI erklärte. Aus der Sicht der Automobilindustrie stuft Dr. Stefan Pfahl von Daimler die Elektromobilität, was Energieeffizienz und Ökologie betrifft, als wesentlichen Beitrag zur zukünftigen Mobilität ein. Eine staatliche Förderung erscheint zwingend; diese muss die Mehrkosten dank steigender Kaufbereitschaft für Elektrofahrzeuge und sinkender Batteriekosten jedoch nicht vollständig ausgleichen. – Wann ist der Durchbruch der Elektromobilität zu erwarten? Eine Diskussion darüber ergab lediglich gewisse Indikatoren wie Stand der Technologie, Rohölpreise, geänderte politische Rahmenbedingungen sowie – in einigen Ländern – geringere Strombezugskosten.

Wie Jens Buchgeister vom KIT-ITAS erklärte, lässt sich eine Aussage über die Nullemission der Elektromobilität nur dann treffen, wenn der gesamte Lebenszyklus des Elektrofahrzeugs sowie die für Infrastruktur und Produktion, Wartung, Nutzung und Demontage eingesetzten Energieträger in die Betrachtung einbezogen sind. Hinrich Helms vom ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg befasste sich mit den ökologischen Wirkungen verschiedener Antriebskonzepte: Nach einem Modell des ifeu (UMBRéLA) liegt ein typisiertes batterieelektrisches Fahrzeug der Mittelklasse in der Klimabilanz zwischen einem Fahrzeug mit Ottomotor und einem Fahrzeug mit Dieselmotor. Dr. Michael Krail vom Fraunhofer ISI widmete sich den ökonomischen Wirkungen alternativer Antriebskonzepte. Sein Fazit: Das Effizienzsteigerungspotenzial der konventionellen Technologien ist noch nicht ausgeschöpft, deren Forcierung könnte aber die Verbreitung alternativer Technologien verzögern. Daher bedarf es einer Förderung der alternativen Konzepte. Auf soziale Folgen wie staatliche



Peugeot iOn.



Porsche Panamera e-hybrid und Smart ED. (Abbildung: Porsche)

Förderungen und Verteilungskonflikte wies Dr. Claudia Hermeling vom Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW) hin.

Welche Implikationen die verschiedenen Antriebskonzepte für die künftige Gestaltung von Mobilität haben, erörterten Jens Schippl vom KIT-ITAS und Dr. Patrick Jochem vom KIT-IIP. Das Zusammenspiel von technologischer Entwicklung und sich ändernden Bedürfnissen der Verkehrsteilnehmer kann die Grundlage für neue Mobilitätskonzepte bilden. Wie sich Mobilitätsgewohnheiten und neue Antriebskonzepte miteinander vereinbaren lassen, fragte Dr. Bastian Chlond vom KIT-Institut für Verkehrswesen (IfV). Seine Antwort: Das Angebot muss sich stärker an die Bedürfnisse der Konsumenten anpassen. Dabei sind strukturelle Phänomene zu beachten, beispielsweise Unterschiede zwischen Stadt und Land sowie eine Tendenz zur Multimodalität bei jüngeren Menschen.

In Zentrum der abschließenden Diskussion standen zwei Thesen: Ein Wandel von Mobilitätsstilen lässt sich derzeit noch nicht feststellen, wohl aber sind verschiedene strukturelle Änderungen zu beobachten, besonders bei jungen Verkehrsteilnehmern in den Städten. Das Ziel der Nullemission lässt sich nur durch den Ausbau der Elektromobilität erreichen – sofern der Strom emissionsfrei erzeugt wird sowie ein effektives und effizientes Fördersystem geschaffen wird.

Patrick Jochem  
Witold-Roger Pogonietz

#### Weitere Infos:

Dr. Patrick Jochem  
Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP),  
Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung (DFIU) und  
Karlsruhe Service Research Institute (KSRI)  
Telefon +49 721 608-44590  
E-Mail jochem@kit.edu

Dr. Witold-Roger Pogonietz  
Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS)  
Telefon +49 721 608-28180  
E-Mail pogonietz@kit.edu



EnBW Ladestation mit deutschem (Typ 2) und französischem (Typ 3) Ladestecker. (Alle Abbildungen auf diesen beiden Seiten stammen aus CROME – CROss-border Mobility for EVs, einem gemeinsamen Projekt deutscher und französischer Unternehmen und Forschungseinrichtungen zur grenzüberschreitenden Elektromobilität.)

## Karlsruhe zeigt Nachhaltigkeit

Energie, Klima und Umwelt, Wirtschaft und Konsum, urbaner Raum und soziales Miteinander – das Thema „Nachhaltigkeit“ hat viele Aspekte. Eine ganze Reihe davon machte die Veranstaltung „Karlsruhe zeigt Nachhaltigkeit“ am 20. April 2012 konkret. Als Beitrag zu den Nachhaltigkeitstagen Baden-Württemberg 2012 organisierten das KIT-Zentrum Energie, das KIT-Zentrum Klima und Umwelt sowie der KIT-Schwerpunkt Mensch und Technik ein informatives und unterhaltsames Programm im Karlsruher Kulturzentrum Tollhaus.

Wie die Forschung am KIT eine nachhaltige Entwicklung unterstützt, veranschaulichte eine Posterausstellung. Was Nachhaltigkeit für Karlsruher Bürgerinnen und Bürger bedeutet – und was nicht – zeigte ein vorab ausgeschriebener Fotowettbewerb. Die eingereichten Bilder waren im Tollhaus zu sehen; die Besucher stimmten über die besten Werke ab.

An eine Podiumsdiskussion mit Vertretern der Politik und Wirtschaft, an der unter anderem der Karlsruher Umweltbürgermeister Klaus Stapf mitwirkte, schloss sich ein „Bürgercafé“ zum Thema Nachhaltigkeit an: Bürgerinnen und Bürger diskutierten bei fair gehandeltem



*Lebhafte Gespräche im Bürgercafé.*

Kaffee, Apfelsaft aus regionaler Produktion und Biogebäck über Ideen für eine nachhaltige Entwicklung ihrer Stadt. Die Gespräche an den mit Papiertischdecken und Stiften ausgestatteten Tischen liefen nach der World-Café Methode ab, die einen offenen Austausch fördert und gemeinsames Wissen erschließt, um neue Perspektiven zu eröffnen.

Die Themen Konsum, Ressourcenverbrauch und erneuerbare Energien waren zentral in allen Bürgercafé-Diskussionen. Dabei stimmten die Teilnehmer darin überein, dass die Bürger mehr Verantwortung übernehmen müssten, um in der Stadt und über diese hinaus als Vorbilder zu wirken. Um den Gedanken der Nachhaltigkeit zu verinnerlichen, wünschten

sich die Beteiligten mehr Aufklärung und eine noch bessere Zusammenarbeit zwischen Bürgern und Politik.

Auf unterhaltsame Weise widmete sich das Rahmenprogramm dem Thema Nachhaltigkeit: Das Eine Welt Theater Karlsruhe spielte das Figurenstück „Fernanda fair-ändert ihre Welt“ für kleine und große Zuschauer. „Nachhaltigkeit – alles Wurst oder was?“, fragte das Improvisationstheater der Stuttgarter Gruppe Art-Genossen. Die „Überlebenswert-Bar“ mit DJ Klima-kitty gab den Organisatoren und Besuchern abschließend Gelegenheit, ihre Eindrücke auszutauschen. Fazit: „Karlsruhe zeigt Nachhaltigkeit“ war ein voller Erfolg. Das vielfältige Programm sprach verschiedene Gruppen an; die lebhaften Diskussionen zeigten, dass das Thema Nachhaltigkeit die Karlsruher bewegt.

Wolfgang Breh

### Weitere Infos:

Dr. Wolfgang Breh  
KIT-Zentrum Energie  
Geschäftsführer  
Telefon +49 721 608-25540  
E-Mail wolfgang.breh@kit.edu



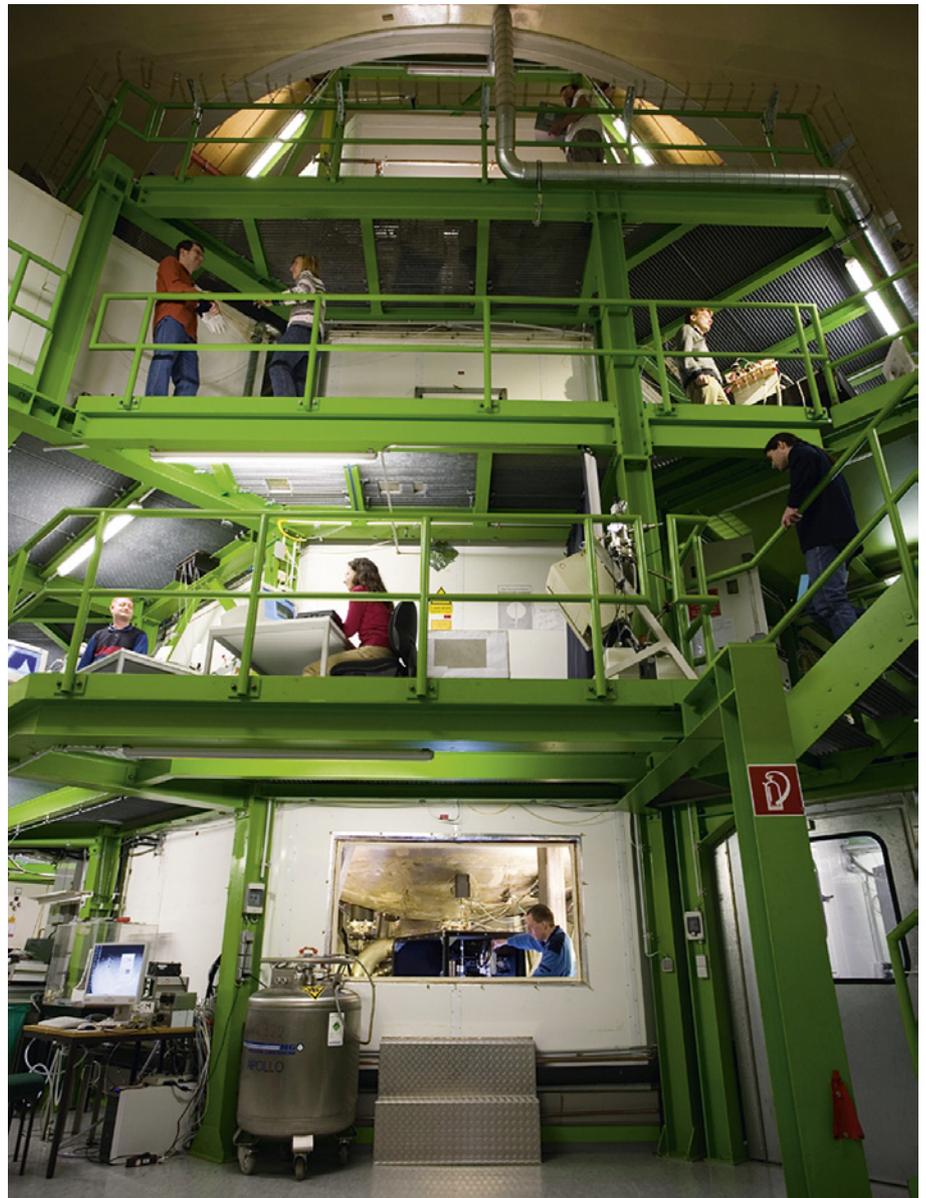
*Posterausstellung und Fotoschau im Karlsruher Kulturzentrum Tollhaus.*

## KIT und Stadt entwickeln Ideen für gemeinsame Projekte

„Running systems are changed: Energie-wende und Klimawandel – was nun?“ Unter diesem Titel hielten das KIT-Zentrum Energie, das KIT-Zentrum Klima und Umwelt und die Stadt Karlsruhe am 6. November 2012 einen gemeinsamen Workshop am KIT-Campus Nord ab. Ziel des Treffens war, Schnittstellen in der täglichen Arbeit zu erörtern und Ideen für gemeinsame Projekte zu entwickeln. Der Karlsruher Umweltbürgermeister Klaus Stapf und der KIT-Vizepräsident für Forschung und Innovation, Dr. Peter Fritz, begrüßten dazu rund 60 Teilnehmer.

Nach einem geführten Rundgang durch die Anlagen AIDA und bioliq® stellten Referentinnen und Referenten von städtischen Einrichtungen und verschiedenen KIT-Instituten aktuelle Aktivitäten im Umwelt- und Energiebereich vor, warfen konkrete Fragen auf und sprachen erste Projektideen an. Das Spektrum der Themen reichte von Strategien der Anpassung an den Klimawandel über lufthygienische Messkampagnen bis hin zum Energiemanagement im Gebäudebestand. So sammelt die „AERO-TRAM“ der Karlsruher Verkehrsbetriebe und des KIT schon seit einigen Jahren Informationen zur Konzentration bestimmter Luftschadstoffe entlang von zwei Stadtbahnstrecken. Noch im Anfangsstadium befindet sich dagegen das Vorhaben der Stadt, für Karlsruhe einen städtebaulichen Rahmenplan zur Klimaanpassung zu erarbeiten. Dieses Projekt des Stadtplanungsamts wird vom Land Baden-Württemberg gefördert und zielt unter anderem darauf, in enger Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern Verbesserungsmaßnahmen für thermisch belastete „Hot Spots“ im Innenstadtbereich zu entwickeln. An die Vorträge schlossen sich lebhafte Diskussionen an.

„Die Veranstaltung hat gezeigt, dass es im Umwelt- und Energiebereich viele Anknüpfungspunkte für gemeinsame Aktivitäten gibt, von denen beide Seiten profitieren können. Ich freue mich deshalb schon auf neue Projekte – und auf das nächste Zusammentreffen dieser Art“, resümierte Bürgermeister Stapf. KIT-Vizepräsident Fritz erklärte: „Beim Workshop wurde deutlich, wie groß die Übereinstimmung zwischen Stadt und KIT in der Umsetzung des Nachhaltigkeitsgedankens ist. Dies ist eine



*In der AIDA-Versuchsanlage (Aerosol-Interaktionen und -Dynamik in der Atmosphäre) am KIT untersuchen Forscher die Auswirkungen von Spurengasen, Aerosol und Feinstaub auf Wolken, Niederschlag und Klima. Besichtigungen von AIDA sowie der bioliq®-Anlage zur Produktion von Kraftstoffen aus Restbiomasse (siehe auch Foto EnergyNews Seite 7) standen auf dem Begleitprogramm des Workshops.*

hervorragende Grundlage für viele weitere gemeinsame Projekte im Energie- und Umweltbereich.“

Einen gemeinsamen Workshop von KIT und Stadt, bei dem mehrere Kooperationsprojekte initiiert wurden, hatte es bereits 2010 gegeben. Künftig ist geplant, solche Workshops alle zwei Jahre zu veranstalten.

Wolfgang Breh

### Weitere Infos:

Dr. Wolfgang Breh  
KIT-Zentrum Energie  
Geschäftsführer  
Telefon +49 721 608-25540  
E-Mail wolfgang.breh@kit.edu



Das KIT-Zentrum Energie stellte sich vor (links im Bild Dr. Katharina Schätzler, Referentin der Geschäftsstelle). Einen Demonstrator zur elektrisch-thermischen Charakterisierung von Lithium-Ionen-Batteriezellen (rechts) steuerten Doktoranden der KIT-Institute für Werkstoffe der Elektrotechnik (IWE) und für Thermische Verfahrenstechnik (TVT) bei.

## Mit Energie in die Karriere

Zum ersten Mal widmete der CareerService des KIT seinen jährlichen Karrieretag einem bestimmten Thema und der entsprechenden Branche: Alles drehte sich um Energie. Gemeinsam mit dem



Die Koordinatorin der KIT School of Energy, Dr. Julia Johnsen, im Gespräch mit Studierenden.

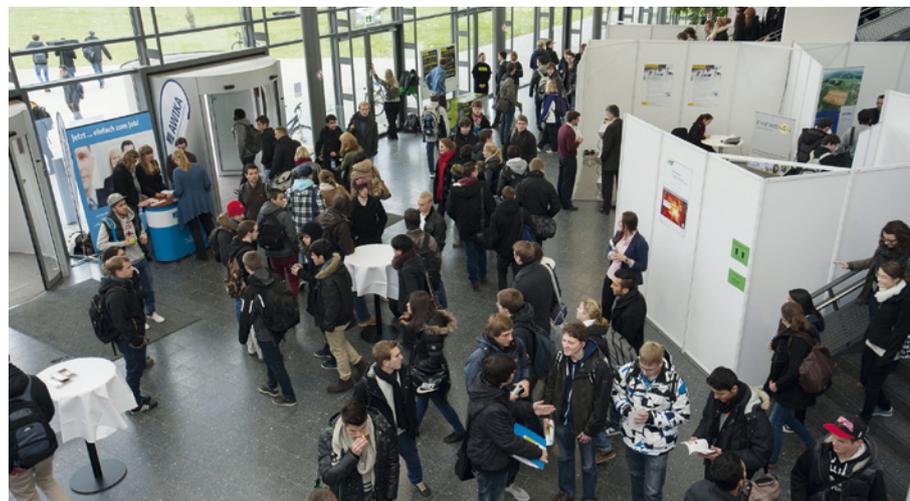
KIT-Zentrum Energie bot der CareerService am 8. November 2012 ein attraktives Programm für interessierte Studierende im Foyer des Audimax am KIT-Campus Süd. Unter dem Titel „Karrierechance Energiewende – Berufseinstieg in Wissenschaft und Industrie“ präsentierten sich namhafte Unternehmen wie Bosch, ENERGY4U und EnBW bei einer Firmenkontaktmesse und stellten KIT-Institute ihre Forschungsarbeiten vor. Auch das europäische Konsortium KIC InnoEnergy war vertreten.

„Ich bin überrascht, welche vielfältigen beruflichen Möglichkeiten die Energiebranche bietet“, sagte ein Student, der den Karrieretag en passant nach einer Vorlesung besuchte. Andere hatten

vorab ihren Lebenslauf eingereicht und gezielt Bewerbungsgespräche bei Firmen vereinbart. „Die Unternehmen treten beim Karrieretag mit Vertretern der Personalabteilung sowie der energiespezifischen Fachabteilungen auf, sodass beide Seiten sich einen umfassenden Eindruck verschaffen können“, erklärten Davina Ruiz und Pia Maria Engelhardt vom CareerService des KIT. „Karrierechancen in der Energiebranche eröffnen sich für Absolventinnen und Absolventen zahlreicher Studiengänge – ob Ingenieur-, Natur- oder Wirtschaftswissenschaften“, erläuterte der Geschäftsführer des KIT-Zentrums Energie, Dr. Wolfgang Breh.

Wer sich zu einzelnen Fachthemen genauer informieren wollte, konnte einen von Bosch veranstalteten Fachvortrag oder einen Workshop von ENERGY4U besuchen. Von der spielerischen Seite ging Oliver Adria die wichtigen Themen Energie und Energiewende an. Der Science Slammer brachte mit seinem Vortrag „Es liegt was in der Luft – Wie Lemminge die Energiewende schaffen“ die Zuhörer in wenigen Minuten zum Schmunzeln.

Sibylle Orgeldinger



Das Foyer des Audimax wurde zur Plattform für Kontakte rund um Energie und Karriere.

### Weitere Infos:

Dr. Wolfgang Breh  
KIT-Zentrum Energie  
Geschäftsführer  
Telefon +49 721 608-25540  
E-Mail wolfgang.breh@kit.edu



## KIC InnoEnergy – Einen wichtigen Schritt weiter

Das europäische Konsortium KIC InnoEnergy fördert seit zwei Jahren Aktivitäten in den Bereichen Bildung, Forschung und Innovation mit dem Ziel, Innovationslücken im Energiesektor zu schließen. Mit der formalen Gründung der deutschen Niederlassung in Karlsruhe ist nun ein weiterer entscheidender Schritt hin zum Ausbau des Konsortiums abgeschlossen: Im Oktober 2012 wurde die KIC InnoEnergy Germany GmbH ins Handelsregister eingetragen.

KIC InnoEnergy, vor drei Jahren als eine der ersten Knowledge and Innovation Communities (KICs) vom European Institute of Innovation and Technology (EIT) ausgewählt, treibt Innovationen im Energiesektor voran, um ein nachhaltiges europäisches Energiesystem zu schaffen. Durch enge Zusammenarbeit zwischen Forschung und Industrie sollen neue Technologien schneller auf den Markt kommen. Das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) hat den Aufbau von KIC InnoEnergy koordiniert. Heute umfasst das Konsortium europaweit rund 150 Partner aus Unternehmen, Universitäten, Forschungseinrichtungen und Business Schools.

Zu den Gründern der KIC InnoEnergy Germany GmbH gehören neben dem KIT

die Universität Stuttgart, EnBW sowie das Steinbeis Europa Zentrum. Als weitere Partner sind LBBW, Intel und Fraunhofer ISI an den Aktivitäten der Gesellschaft beteiligt. Die Gründung der GmbH bestätigt die Tragfähigkeit des KIC InnoEnergy Konzepts und das langfristige Engagement der Partner; sie verstärkt die operative Kraft des deutschen Standorts und damit des gesamten Netzwerks, wie Professor Hans-Jörg Bauer, wissenschaftlicher Sprecher des KIT-Zentrums Energie und derzeitiger Geschäftsführer der GmbH, bei der Gründungsfeier erklärte. Zum 1. Januar 2013 wird Dr. Christian Müller die Geschäftsführung übernehmen. Im September dieses Jahres wurde außerdem Dr. Karl-Friedrich Ziegahn, Chief Science Officer und Leiter der Energie- und Umweltprogramme des KIT, als Vorsitzender des Aufsichtsrats der Europäischen Gesellschaft (Societas Europae) KIC InnoEnergy SE einstimmig im Amt bestätigt.

Seit es vor rund zwei Jahren seine operative Tätigkeit aufnahm, hat KIC InnoEnergy bereits zahlreiche Projekte erfolgreich angestoßen. Dazu gehört auch der vom KIT koordinierte neue Masterstudiengang „Energy Technologies“ (ENTECH). Dieses Programm bietet eine fundierte Ausbildung auf dem Gebiet nachhaltiger Energiesysteme sowie der zugrunde liegenden

Technologien. Mit rund 360 Bewerbern, aus denen über 40 Studierende ausgewählt wurden, startete ENTECH sehr erfolgreich zum Wintersemester 2012/13.

Auch in der Forschung hat KIC InnoEnergy sein Engagement ausgebaut mit einer weiteren Projektausschreibung im vergangenen Jahr. Das CC Germany setzte sich dabei mit drei Anträgen durch, allesamt industriegeführte Projekte. Zudem hat das Netzwerk mit dem „InnoEnergy Highway™“ ein umfassendes Dienstleistungsangebot für Gründungsvorhaben im Energiesektor konzipiert.

Weitere Informationen unter [www.kic-innoenergy.com](http://www.kic-innoenergy.com)

Jeannine Petry

### Weitere Infos:

Jeannine Petry  
KIC InnoEnergy Germany  
Communication Officer  
Telefon +49 721 47041-606  
E-Mail [jeannine.petry@kic-innoenergy.com](mailto:jeannine.petry@kic-innoenergy.com)



Gründung der KIC InnoEnergy Germany GmbH: Professor Hans-Jörg Bauer, derzeitiger Geschäftsführer der GmbH, der künftige Geschäftsführer Dr. Christian Müller, Professor Wolfram Ressel, Rektor der Universität Stuttgart, und Dr. Peter Fritz, KIT-Vizepräsident für Forschung und Innovation (von links). (Foto: Sandra Göttisheim)



Das zum Semesterstart organisierte „Professoren-Café“ gab den neuen ENTECH-Studierenden die Gelegenheit, Dozenten und Kommilitonen kennenzulernen sowie Fragen zur Studienorganisation zu klären. (Foto: Christian Wetzel)

## **KIT-Zentrum Energie**

**Leiter** Dr. Peter Fritz  
**Wiss. Sprecher** Prof. Dr.-Ing. Hans-Jörg Bauer  
**Chief Science Officer (CSO-5)** Dr.-Ing. Karl-Friedrich Ziegahn

**Sprecher Topic 1 – Energieumwandlung** Prof. Dr.-Ing. Henning Bockhorn  
**Sprecher Topic 2 – Erneuerbare Energien** Dr.-Ing. Karl-Friedrich Ziegahn  
**Sprecher Topic 3 – Energiespeicherung und -verteilung** Prof. Dr.-Ing. Thomas Leibfried  
**Sprecher Topic 4 – Effiziente Energienutzung** Prof. Andreas Wagner / Prof. Dr.-Ing. Thomas Wetzel  
**Sprecher Topic 5 – Fusionstechnologie** Dr. Klaus Hesch  
**Sprecher Topic 6 – Kernenergie und Sicherheit** Dr. Thomas Walter Tromm  
**Sprecher Topic 7 – Energiesystemanalyse** Prof. Dr. Armin Grunwald

**Geschäftsführer** Dr. Wolfgang Breh

[www.energie.kit.edu](http://www.energie.kit.edu)