

ENERGYNEWS

Newsletter des KIT-Zentrums Energie

Ausgabe 2|2010

Tag der Energie am KIT

Forscher und Bürger
im Gespräch

Biogas fürs Erdgasnetz

Sauberer Strom
aus der Zelle

Wie nachhaltig
ist das Energiesystem
von Santiago?

Inhalt

3	Editorial
4	Tag der Energie am KIT
6	Bürgerkonferenz – Forscher und Bürger im Gespräch
8	Supercomputing für die Energieforschung
10	Schutz vor unerwünschten Zündungen
12	Biogas fürs Erdgasnetz
14	Sauberer Strom aus der Zelle
16	Effizienter heizen und kühlen
18	Material mit hohem Potenzial
20	Sichere Entsorgung radioaktiver Abfälle
22	Wie nachhaltig ist das Energiesystem von Santiago?

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: Karl Elser Druck GmbH, Mühlacker

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 7247 82-5540

ab 01.01.2011: +49 721 608-25540

Dezember 2010

Titelfoto: Raman-Spektroskopie in einer Erdgasflamme mit Tropfeneindüsung. Die Messung gibt Aufschluss über die Temperatur und die chemischen Verbindungen im Fokus der Laserstrahlen. Solche Grundlagenuntersuchungen dienen beispielsweise der Verbesserung zukünftiger Motoren und Flugtriebwerke. Foto: Florian Zieker, Institut für Technische Thermodynamik, KIT

Editorial



Dr. Peter Fritz



Professor Dr. Hans-Jörg Bauer

Wie werden wir uns im Jahr 2050 mit Energie versorgen? Was werden die Energieträger sein, welches die Umwandlungstechnologien? Die Bundesregierung hat in ihrem Energiekonzept eine langfristige Strategie für den Weg zu einem sicheren, bezahlbaren und umweltverträglichen Energiesystem formuliert. Dieses beruht auf einem dynamischen Energiemix, einem hohen Anteil erneuerbarer Energien, einem flexiblen Kraftwerkspark, einer angepassten, innovativen Infrastruktur mit intelligenten Netzen und auf leistungsfähigen Speichern sowie auf Technologien, die es ermöglichen, Energie effizienter zu nutzen.

Um den Wandel zu einer nachhaltigen Energieversorgung voranzutreiben und Deutschland auf den wichtigen Zukunftsmärkten wettbewerbsfähig zu erhalten, schreibt das Konzept der Energieforschung eine entscheidende Rolle zu. Das KIT-Zentrum Energie ist auf den als Schwerpunkten genannten Forschungsfeldern bestens aufgestellt: Erneuerbare Energien, Energieeffizienz, Speichertechnologien und Netztechnik, Integration der erneuerbaren Energien in die Energieversorgung sowie Strategien zum schlüssigen Zusammenwirken all dieser Technologien. Mit der Fusionstechnologie verfolgt das KIT überdies eine vielversprechende langfristige Option für eine sichere und saubere Stromversorgung.

Die Forschung am Energiemix der Zukunft überschreitet Fachgrenzen: Im KIT-Zentrum Energie fließen natur- und ingenieurwissenschaftliche, aber auch wirtschafts-, geistes- und sozialwissenschaftliche Kompetenzen zusammen. Um den Energiekreislauf ganzheitlich zu betrachten und Innovationslücken zu schließen, nutzt das Zentrum Energie überdies Schnittstellen zu anderen Zentren und Schwerpunkten des KIT. Beispiel Elek-

tromobilität: Dieses attraktive Konzept wird sich nur dann durchsetzen, wenn es gelingt, hochleistungsfähige Batterien zu entwickeln. Neuartige Nanomaterialien können die Kapazität und Stabilität von Energiespeichern deutlich steigern. Auf diesem Feld arbeitet das Zentrum Energie mit dem Zentrum NanoMikro zusammen. Schnittstellen auf vielen Gebieten bestehen auch mit dem Zentrum Klima und Umwelt.

Wie viele Facetten das Thema Energie in sich vereint, hat das Wissenschaftsjahr 2010 eindrucksvoll gezeigt. Unter dem Titel „Die Zukunft der Energie“ hat es einem breiten Publikum Einblicke in die Forschung zur Energieversorgung von morgen ermöglicht. Das KIT-Zentrum Energie war mit vielfältigen Aktivitäten vertreten. Darunter waren der Tag der Energie, an dem rund 45 000 Menschen auf den KIT-Campus strömten, sowie auch zwei Bürgerkonferenzen in Karlsruhe. Eindrücke von diesen Ereignissen vermittelt die vorliegende Ausgabe der EnergyNews.

Die lebhafteste Resonanz auf die Energieforschung des KIT beweist, dass in der Bevölkerung enormes Interesse am Thema Energie besteht. Mit nur einem Wissenschaftsjahr wird es daher nicht getan sein. Das KIT-Zentrum Energie wird sich weiterhin besonders dafür einsetzen, Forschung und Gesellschaft in einen gemeinsamen Dialog zu bringen – denn die Zukunft der Energie geht uns alle an.

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

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



Tag der Energie am KIT

Publikumsmagnet: das Zelt des KIT-Zentrums Energie.

Das Thema Energie bewegt die Menschen: Rund 45 000 Besucher kamen zum Tag der offenen Tür am 25. September 2010 ans KIT und blickten in die „Zukunft der Energie“. An ansprechend gestalteten Themeninseln im Zelt des KIT-Zentrums Energie erlebten sie die ganze Breite der Forschung. Sie schauten hinter die Kulissen der Forschungsanlagen, beobachteten spannende Experimente – und nutzten die Gelegenheit, Fragen zu stellen und ins Gespräch zu kommen.

Wie viel Strom braucht eigentlich ein Computer? Was leisten Mikrowellen für den Flugzeugbau? Wie lässt sich aus Stroh Kraftstoff herstellen? Wie sehen die effizienten Verbrennungsmotoren der Zukunft aus? Welche Rolle spielt Wasserstoff als Energieträger? Antworten auf diese und viele weitere Fragen der Energieforschung gab es am Tag der offenen Tür des KIT am 25. September dieses Jahres. Unter dem Motto „Entdecke, was dahinter steckt“ stellte das KIT am Campus Nord seine Highlights aus Wissenschaft und Technik vor. Das Spektrum reichte von der Informations- und Kommunikationstechnologie über

Mobilität, Optik und Photonik, Nano- und Mikrotechnologie, Elementarteilchen- und Astroteilchenphysik bis hin zur Klima- und Umweltforschung. Rund 45 000 Menschen folgten der Einladung, einmal hinter die Kulissen der Forschung zu schauen. Auf dem Programm standen Angebote zum Sehen, Hören, Anfassen und Mitmachen: Ausstellungen, Vorträge, Live-Experimente, Laborführungen – und die Möglichkeit, mit Forscherinnen und Forschern persönlich ins Gespräch zu kommen.

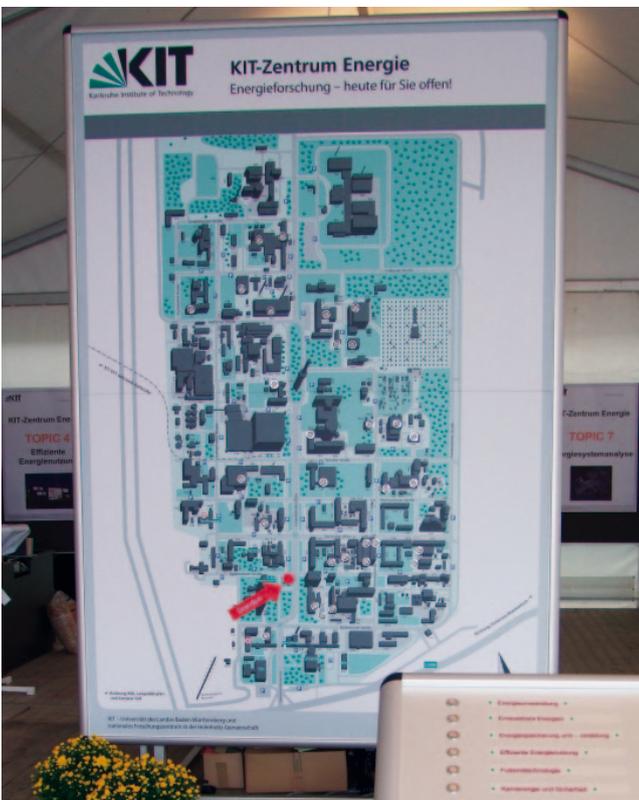
Da das Wissenschaftsjahr 2010 des Bundesforschungsministeriums der „Zukunft

der Energie“ gewidmet ist, stand die Energieforschung auch beim Tag der offenen Tür des KIT im Mittelpunkt. Dabei zeigte sich, wie stark die Frage nach einer künftigen sicheren, bezahlbaren und umweltverträglichen Energieversorgung die Menschen beschäftigt. Der Geschäftsführer des KIT-Zentrums Energie, Dr. Wolfgang Breh, zeigte sich begeistert vom Interesse des Publikums: „Energie ist das große Thema. Die Besucher suchen das Gespräch mit den Betreuern der Exponate. Viele verfügen bereits über fundierte Informationen und fragen gezielt nach Details.“ Natürlich ging es dabei auch um aktuelle Themen wie die gerade von der Bundesregierung beschlossene Laufzeitverlängerung für die Kernkraftwerke. Ob die Besucher die Entscheidung begrüßten oder ihr reserviert gegenüberstanden – „ich habe den Eindruck, alle sind offen für eine konstruktive Diskussion“, berichtet Wolfgang Breh.

Das KIT-Zentrum Energie präsentierte seine Arbeit in einem großen Zelt mit anschaulich gestalteten Themeninseln. Die vorgestellten Projekte stammten aus den



Bevölkerter: Insgesamt rund 45 000 Menschen besuchten am Tag der Energie den Campus Nord des KIT.



Auf einen Blick: Eine Karte zeigte den Besuchern, welche Institute auf dem Campus Vorführungen und Ausstellungen rund um das Thema Energie anbieten.



Aushärten mit Mikrowellen: Die HEPHAISTOS Technologie ist eine von vielen Innovationen, die am Tag der Energie zu sehen waren.

sieben Topics Energieumwandlung, Erneuerbare Energien, Energiespeicherung und -verteilung, Effiziente Energienutzung, Fusionstechnologie, Kernenergie und Sicherheit sowie Energiesystemanalyse. Wissenschaftliche Vorführungen und Ausstellungen an Instituten ergänzten das Programm. Dabei ging es beispielsweise um den sicheren Umgang mit dem Energieträger Wasserstoff, um Diamanten im Dienst der Energietechnik, um umweltverträglich hergestellten Zement oder um Supraleiter, in denen Strom widerstandslos fließen kann.

Im HEPHAISTOS-Versuchszentrum gab es Popcorn aus der Mikrowelle, worüber sich vor allem die kleinen Besucher freuten. Experten erklärten, wie die Versuchsanlagen funktionieren: Die am KIT entwickelte Technologie HEPHAISTOS dient dazu, hochwertige Leichtbauwerkstoffe, vor allem für den Fahrzeug- und Flugzeugbau, über Mikrowellen in einem kalten Ofen auszuhärten. So lassen sich aufwendige Produktionsprozesse beschleunigen, Energie und Kosten einsparen. Auf lebhaftes Interesse bei den Besuchern trafen auch Informationen zur Verglasung hochradioaktiver Abfälle und zum Rückbau kerntechnischer Anlagen. Im Fortbildungszentrum für Technik und Umwelt erörterten Wissenschaftler wichtige Fragen der Energieforschung in allgemein verständlichen Vorträgen. Darunter waren auch Veranstaltungen aus der KIT Kinder-Uni. Neugierig und wissensdurstig verfolgten die Energienutzer von morgen, wie ein Jumbojet fliegt und wie Solarkraftwerke und künftige Fusionskraftwerke die Sonne auf die Erde holen können.

Der Tag der offenen Tür des KIT war Teil des bundesweiten Tags der Energie und des Energietags Baden-Württemberg. Außerdem wurde das KIT als Ort im „Land der Ideen“ ausgezeichnet, einer Initiative unter Schirmherrschaft des Bundespräsidenten.

Sibylle Orgeldinger

Weitere Infos:

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



Die Teilnehmer der ersten Bürgerkonferenz – sie spiegelten einen Schnitt der Gesellschaft wider.
Foto: Katja Machill/WiD

Bürgerkonferenz – Forscher und Bürger im Gespräch

Im Wissenschaftsjahr 2010 hat das KIT wichtige Fragen zur „Zukunft der Energie“ auf breiter Ebene thematisiert. Um den Austausch zwischen Forschung und Gesellschaft voranzubringen, unterstützte es auch zwei von der Initiative Wissenschaft im Dialog getragene Bürgerkonferenzen in Karlsruhe.

Faszination für Forschung wecken, die Arbeit von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern in der breiten Bevölkerung bekannt machen, den wechselseitigen Austausch fördern – das ist dem KIT ein wichtiges Anliegen. Dies gilt gerade für die großen Zukunftsthemen, wie die sichere und umweltverträgliche Versorgung mit Energie. „Um unserem gesellschaftlichen Auftrag in der Energieforschung gerecht zu werden, engagieren wir uns auch für den Dialog zwischen Forschung und Bürgern“, erklärt der Geschäftsführer des KIT-Zentrums Energie, Dr. Wolfgang Breh.

Zu diesem Engagement gehören die Karlsruher Bürgerkonferenzen zur Energienutzung der Zukunft. Wissenschaft im Dialog (WiD), eine vom Bundesfor-

schungsministerium geförderte Initiative der führenden deutschen Wissenschaftsorganisationen sowie einiger Stiftungen, organisierte die beiden Konferenzen im Oktober und November dieses Jahres, unterstützt von der Stadt Karlsruhe und dem KIT. Insgesamt fast 100 Bürgerinnen und Bürger diskutierten bei den mit großem Aufwand organisierten Konferenzen am KIT-Campus ihre Fragen und Anliegen miteinander und mit Experten.

Die Teilnehmer der ersten Konferenz waren zufällig ausgewählt, wobei WiD darauf achtete, dass die Auswahl einen Schnitt der Gesellschaft widerspiegelte. Diese Bürger entwickelten Visionen und Ideen zur zukünftigen Energienutzung. In der zweiten Konferenz ging es um Wege, die Visionen in die Wirklichkeit umzuset-

zen. An dieser Konferenz nahmen Bürger teil, die sich haupt- oder nebenberuflich mit dem Thema Energienutzung befassen, wie Städteplaner, Architekten, Ingenieure, Mitarbeiter von Energieunternehmen, im Sanitärbereich Tätige oder Schornsteinfeger. Nach lebhaften Diskussionen verabschiedeten die Teilnehmer ein Bürgergutachten, in dem sie Empfehlungen an Wissenschaft, Politik, Wirtschaft und Gesellschaft richteten.

Das Bürgergutachten basiert auf fünf Visionen: Neue Werte für ein nachhaltiges Leben und wirtschaftliches Handeln; Einspeisung und Nutzung von Energie – stabiles System des Gebens und Nehmens; Das intelligente Haus; Energiezertifikate zur Lenkung des Energieverbrauchs und Bewusstseinsbildung; Intelligente Energienutzung. Die Vision vom intelligenten Haus umfasst beispielsweise eine dynamische Raumgestaltung, ein intelligentes Beleuchtungs- und Belüftungssystem und eine Regelung der Wärme durch Stimmerkennung. Zu den darauf aufbauenden Empfehlungen gehören die Forschung zur Erhöhung der Flächenenergieeffizienz, etwa durch



Bürger formulieren Empfehlungen: Die zweite Konferenz fragte nach Wegen zur Umsetzung von Visionen.
Foto: Blattgrün Fotografie/WiD



Präsentation der Bürgererklärung: Der Geschäftsführer der Initiative Wissenschaft im Dialog, Dr. Herbert Münder (rechts), nahm die Empfehlungen stellvertretend für die deutschen Wissenschaftsorganisationen entgegen.

Foto: Blattgrün Fotografie/WiD



Bürger entwickeln Visionen: Bereits die erste Konferenz zeigte, dass das Interesse an Energiethemen in der Bevölkerung enorm ist.

Foto: Katja Machill/WiD



Die Teilnehmer der zweiten Bürgerkonferenz – Praktiker, die sich mit der Energienutzung haupt- oder nebenberuflich beschäftigen.
Foto: Blattgrün Fotografie/WiD

variable Zimmervolumina und bewegliche Innenwände, sowie ein von Wissenschaft und Politik gemeinsam erarbeitetes neues energetisches Baurecht.

Die Karlsruher Bürgerkonferenzen haben gezeigt, dass das Interesse der Menschen an Zukunftsthemen enorm ist und dass der Wunsch besteht, frühzeitig in Entscheidungsprozesse eingebunden zu werden. Der Vermittlung von Wissenschaftsthemen diene auch eine Anfang Oktober von WiD und KIT gemeinsam ausgerichtete dreitägige Zukunftswerkstatt für Jugendliche. Sie war ebenfalls dem Thema Energie gewidmet: Schülerinnen und Schüler der zehnten Klasse eines Karlsruher Gymnasiums lernten den neuesten Stand der Forschung kennen, diskutierten mit Experten des KIT und erarbeiteten eigene Zukunftsszenarien. Zusätzlich umfasste die Veranstaltung am House of Competence des KIT eine Schulung in Zeitmanagement, Rhetorik und Präsentation. Zum Abschluss stellten die Schüler Medienvertretern und interessierten Bürgern ihre Konzepte zur künftigen Energienutzung vor. „Jugendliche für diese Zukunftsfragen zu interessieren, ist besonders wichtig“, erklärt Wolfgang Breh. „Schließlich sind sie es, die in der Welt von morgen leben werden.“

Die Unterstützung der Bürgerkonferenzen und der Schüler-Zukunftswerkstatt waren Teil der Aktivitäten des KIT im Wissenschaftsjahr 2010 zum interdisziplinären Thema „Die Zukunft der Energie“. Weitere Highlights waren der Tag der offenen Tür des KIT mit mehr als 45 000 Besuchern (siehe Seiten 4 und 5 der EnergyNews), die Konzeption des Internet-Energiequiz der Helmholtz-Gemeinschaft sowie Energie-Exponate bei der Ausstellung „Entdeckungen“ auf der Bodenseinsel Mainau und auf dem Ausstellungsschiff MS Wissenschaft.

Sibylle Orgeldinger

Weitere Infos:

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

Supercomputing für die Energieforschung

Wissenschaftliches Rechnen wird auch in der Energieforschung immer wichtiger. Das „SimLab Energy“ des KIT berät und unterstützt Wissenschaftler bei der Nutzung von Supercomputing-Ressourcen. Bei einem ersten SimLab Workshop tauschten Betreiber und Anwender Erfahrungen aus.

In vielen Projekten der Energieforschung sind große Datenmengen zu verarbeiten und komplexe Systeme zu modellieren. Dabei sind die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler auf anspruchsvolle IT-Infrastrukturen angewiesen. Das Steinbuch Centre for Computing (SCC) des KIT etabliert sogenannte Simulation Laboratories (SimLabs) als neuartige Schnittstellen zwischen Anwendern und Betreibern von Hoch- und Höchstleistungsrechnern, um die Kompetenzen im wissenschaftlichen Rechnen besser zu bündeln.

Aufgabe der interdisziplinär forschenden SimLabs ist, die Software wissenschaftlicher Anwendungen auf die effiziente

Nutzung von Supercomputern, verteilten Systemen und Datenspeichern abzustimmen. Sie beraten und unterstützen Forscher in allen Fragen des High-Performance Computing (HPC) und des Data Intensive Computing (DIC): von der Modellierung und Implementierung über die Auswahl der Entwicklungswerkzeuge (Compiler, Software-Bibliotheken), das Finden und Nutzen geeigneter Rechenressourcen, Portierung, Parallelisierung und Optimierung von Codes bis hin zur Planung und Umsetzung von komplexen Software-Entwicklungsprojekten. Jedes SimLab bezieht sich auf einen bestimmten Forschungsbereich. Das KIT baut die SimLabs gemeinsam mit dem Forschungs-

zentrum Jülich im Rahmen des Helmholtz-Programms „Supercomputing“ auf.

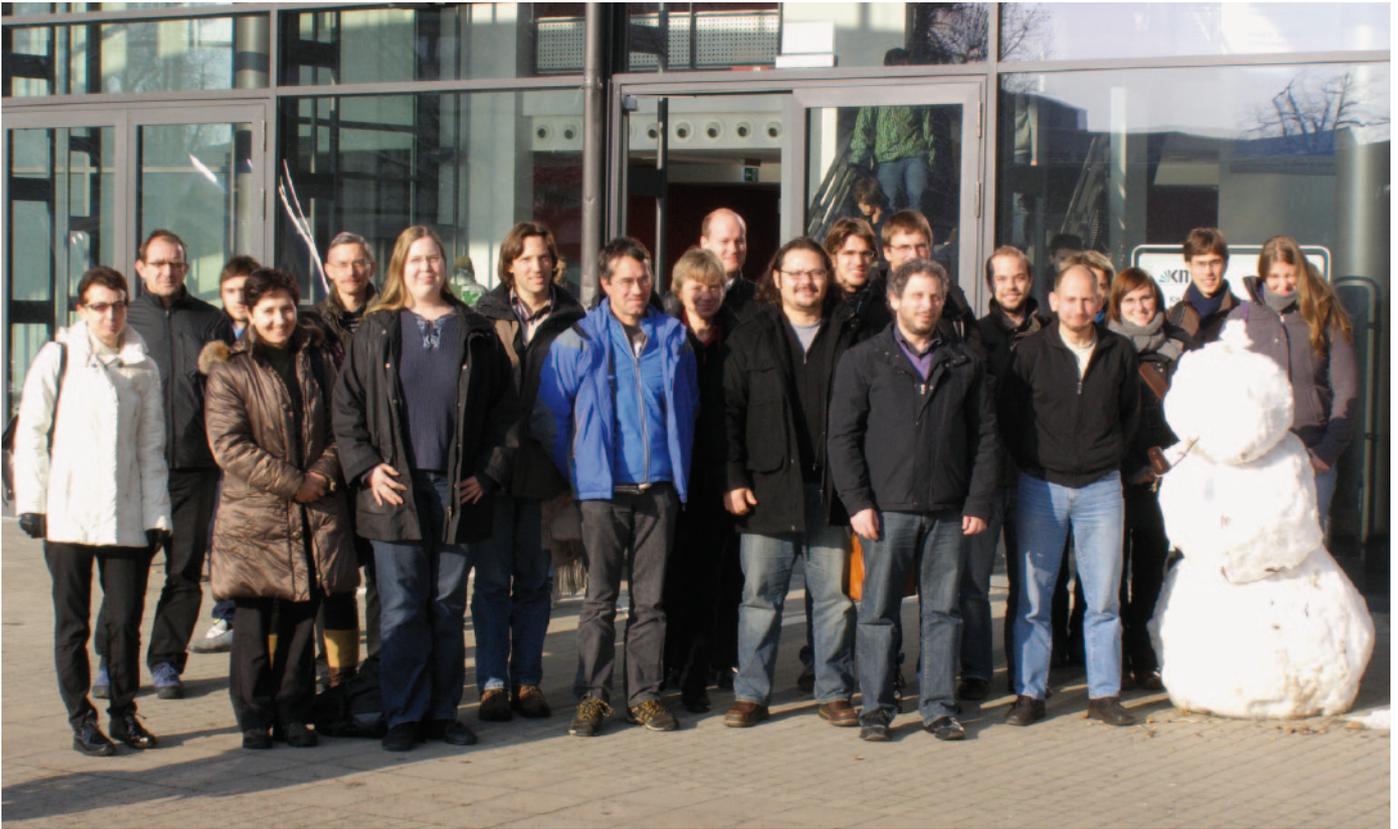
Das SimLab Energy ist speziell auf Anwendungen aus den im KIT-Zentrum Energie bearbeiteten sieben Topics ausgerichtet: Energieumwandlung, Erneuerbare Energien, Energiespeicherung und -verteilung, Effiziente Energienutzung, Fusionstechnologie, Kernenergie und Sicherheit sowie Energiesystemanalyse. Angesiedelt ist das SimLab Energy am SCC und am Institut für Angewandte Informatik (IAI) des KIT. Forscher des SimLabs und der jeweiligen Topics arbeiten bei der rechnergestützten Simulation von natur- und technikwissenschaftlichen Phänomenen sowie bei der Entwicklung entsprechender Algorithmen eng zusammen. Ein Beispiel für die Anwendung des wissenschaftlichen Rechnens in der Energieforschung ist die Gewinnung von Kraftstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen: Numerische Simulationen der Syntheschritte verbessern das Verständnis der Prozesse und damit letztlich deren Effizienz.

Gefragt ist der Einsatz von Supercomputern beispielsweise auch bei der Untersuchung von Strömungen in porösen Medien für Geothermie-Anlagen, bei der Bestimmung geeigneter Standorte für solche Anlagen oder bei der Exploration von Lagerstätten fossiler Energieträger. Wissenschaftliches Rechnen dient auch dazu, die Auswirkungen energiewirtschaftlicher Wassernutzungen, beispielsweise von Wasserkraftwerken, auf die Umwelt abzuschätzen. Ebenso ermöglicht es detaillierte Simulationen der Prozesse in Motoren sowie in konventionellen Kraftwerken, aber auch Simulationen des Materialverhaltens in Nuklearanlagen. Auch nutzen Energieforscher Höchstleistungs-Ressourcen, um die Sicherheit von Leichtwasserreaktoren zu untersuchen sowie Langzeitsicherheitsnachweise für nukleare Endlager zu erbringen.

Zahlreiche Nutzer von High Performance Computing trafen sich Ende November mit den SimLab Betreibern zu einem „SimLab@KIT“ Workshop am KIT-Campus Süd, um Erfahrungen auszutauschen und ihre Anforderungen an Ausstattung und Dienste der SimLabs zu erörtern. Dabei war der Energieforschung eine eigene



Vortrag beim „SimLab@KIT“ Workshop am KIT: Dr. Paul Gibbon vom Forschungszentrum Jülich, mit dem das KIT im Helmholtz-Programm „Supercomputing“ kooperiert, stellt die Jülicher Höchstleistungsrechner und Simulation Labs vor.



Eine Gruppe von Workshopteilnehmern vor dem Audimax am KIT-Campus Süd.

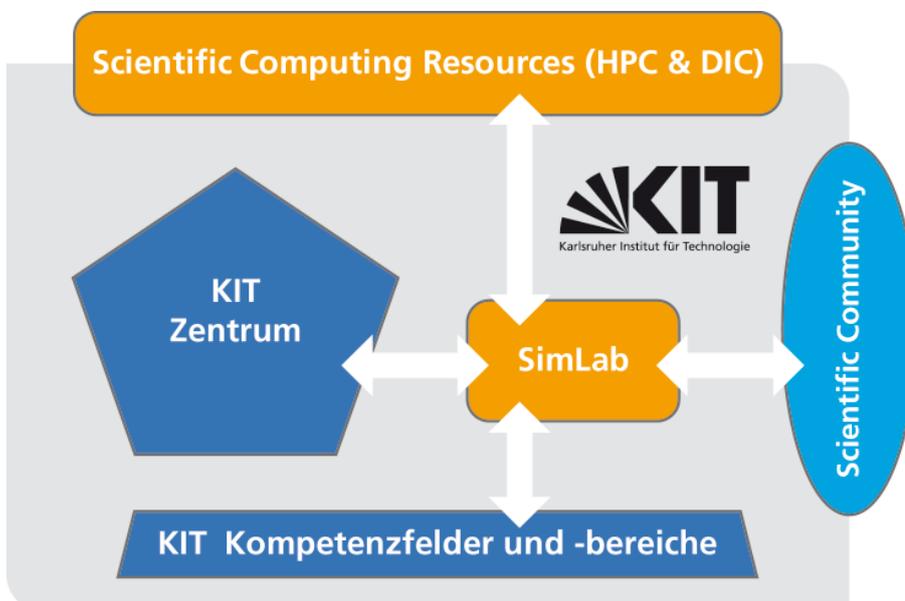
Session gewidmet. Ein Vortrag befasste sich mit neuen Entwicklungen rund um den Code GASFLOW in der numerischen Strömungsmechanik. Aktuell wird GASFLOW beispielsweise zur Simulation kryogener Wasserstofftanks unter erhöhtem Druck eingesetzt. Ein anderer Beitrag war der numerischen Untersuchung von reaktiven Gas-Flüssig-Strömungen in den nur millimetergroßen Kanälen von

Keramikkatalysatoren gewidmet. Weitere Vorträge behandelten Fragen des Strahlungstransports.

Insgesamt nahmen rund 60 Betreiber und Anwender an dem Workshop teil. Bei der Begrüßung betonte Professor Dr. Wilfried Jüling, Mitglied des erweiterten Präsidiums und Chief Science and Information Officer (CSO/CIO) des KIT, dass die Her-

ausforderung der immer leistungsfähiger und komplexer werdenden IT-Systeme bei gleichzeitig wachsender Bedeutung des wissenschaftlichen Rechnens für die Forschung nur durch interdisziplinäre Zusammenarbeit zu meistern sei. Der Workshop stellte nach dem Start der SimLabs Anfang 2010 einen weiteren wichtigen Schritt auf diesem Weg dar. Bestehende Kooperationen wurden vertieft und neue Kontakte geknüpft. Das Spektrum der Beiträge reichte von neuen Algorithmen und Methoden aus Mathematik und Informatik über die hochmodernen Systeme und Supportstrukturen in den wissenschaftlichen Rechenzentren bis hin zu den Anwendungen und Forschungsarbeiten in verschiedenen Fachdisziplinen. Diese Vielfalt wird auch der bei KIT Scientific Publishing erscheinende Tagungsband widerspiegeln. Der Erfolg lässt auf eine Fortsetzung im Jahr 2011 hoffen.

Olaf Schneider



Weitere Infos:

Dr. Olaf Schneider
Steinbuch Centre for Computing (SCC)
Scientific Computing Labs (SCL)
Telefon +49 7247 82-3160
E-Mail olaf.schneider@kit.edu

Schutz vor unerwünschten Zündungen

Unkontrollierte Zündprozesse können verhängnisvolle Folgen haben. Mit den physikalisch-chemischen Grundlagen solcher Vorgänge befasst sich eine neue DFG-geförderte Forschergruppe. Die Wissenschaftler verbinden Computersimulationen und neuartige Messverfahren, um die Grundlagen für präzisere Sicherheitsstandards zu schaffen.

Viele technische Prozesse zur Energieumwandlung basieren auf Zündungen. Ein Beispiel ist die in Dieselmotoren und Turbinen erwünschte Selbstzündung, das heißt Entflammung eines Kraftstoff-Luft-Gemischs ohne Zündquelle. Unkontrollierte Zündungen hingegen können sich verheerend auswirken, wie das Beispiel einer Bohrinne im Golf von Mexiko wieder einmal gezeigt hat.

An der Aufklärung der Ursachen solcher Zündungen arbeiten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des KIT-Zentrums Energie gemeinsam mit Forschern der Universität Magdeburg und der

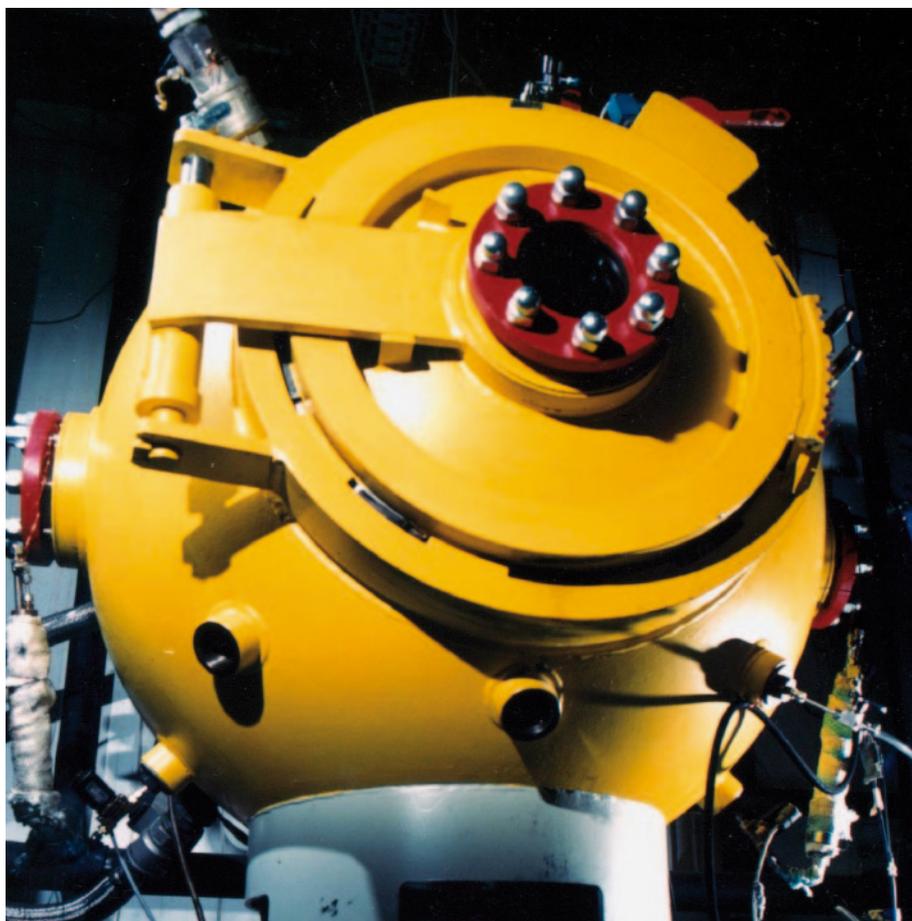
Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) fördert die dazu eingerichtete Forschergruppe „Physicochemical-based Models for the Prediction of Safety Relevant Ignition Processes“ (Physik-/Chemie-basierte Modelle zur Vorhersage von sicherheitsrelevanten Zündprozessen). Sprecher der Gruppe ist Professor Dr. Ulrich Maas, Leiter des Instituts für Technische Thermodynamik (ITT) des KIT.

Sicherheitsvorschriften für den Umgang mit entzündlichen Substanzen und Anlagen, wie sie unter anderem die PTB

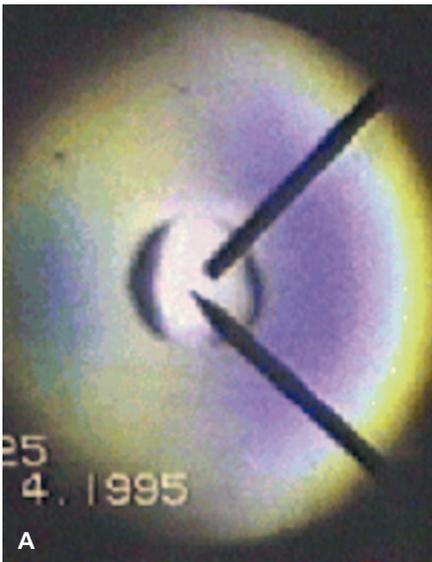
erarbeitet, sollen unerwünschte Zündungen verhindern. Dennoch geschehen immer wieder verheerende Unglücke in Industrieanlagen, ausgelöst durch unbeabsichtigte Zündprozesse: Unter häufig rätselhaften Umständen kommt es zu spontanen Explosionen in Lagersilos. In chemischen Anlagen brechen, oft nach Jahren problemlosen Betriebes, unvorhergesehene Brände aus. Die Ursachen für solche Zündungen lassen sich in vielen Fällen nicht oder erst nach jahrelangen Nachforschungen ermitteln. Auch wenn sich die Ursachen feststellen lassen, tragen die Erkenntnisse nicht immer dazu bei, die Sicherheit in anderen, unter anderen Rahmenbedingungen betriebenen Anlagen zu erhöhen. Sicherheitsvorschriften stützten sich bisher meist auf wenige, rein empirische Untersuchungen, welche die vielfältig variierenden Bedingungen bei realen Vorfällen nicht abdecken können.

Die neu gegründete Forschergruppe geht das Problem aus einer anderen Perspektive an: Sie erforscht die physikalisch-chemischen Grundlagen und untersucht die komplex zusammenwirkenden Größen und Phänomene, von denen das Eintreten oder Ausbleiben einer Zündung abhängt. Ziel ist, den Einfluss von Größen wie Temperatur, Druck, Strömungsgeschwindigkeit und Konzentration der beteiligten Stoffe sowie von Detailprozessen, wie dem Energieeintrag in entzündbares Material durch elektrische oder mechanische Funken, auf die Zündung genau zu verstehen „Eine besondere Herausforderung besteht darin, dass sicherheitsrelevante Zündprozesse unter Bedingungen entstehen, über die nur wenig bekannt ist. Die Prozesse, bei denen eine Zündung erwünscht ist, sind wesentlich besser untersucht“, erklärt Ulrich Maas.

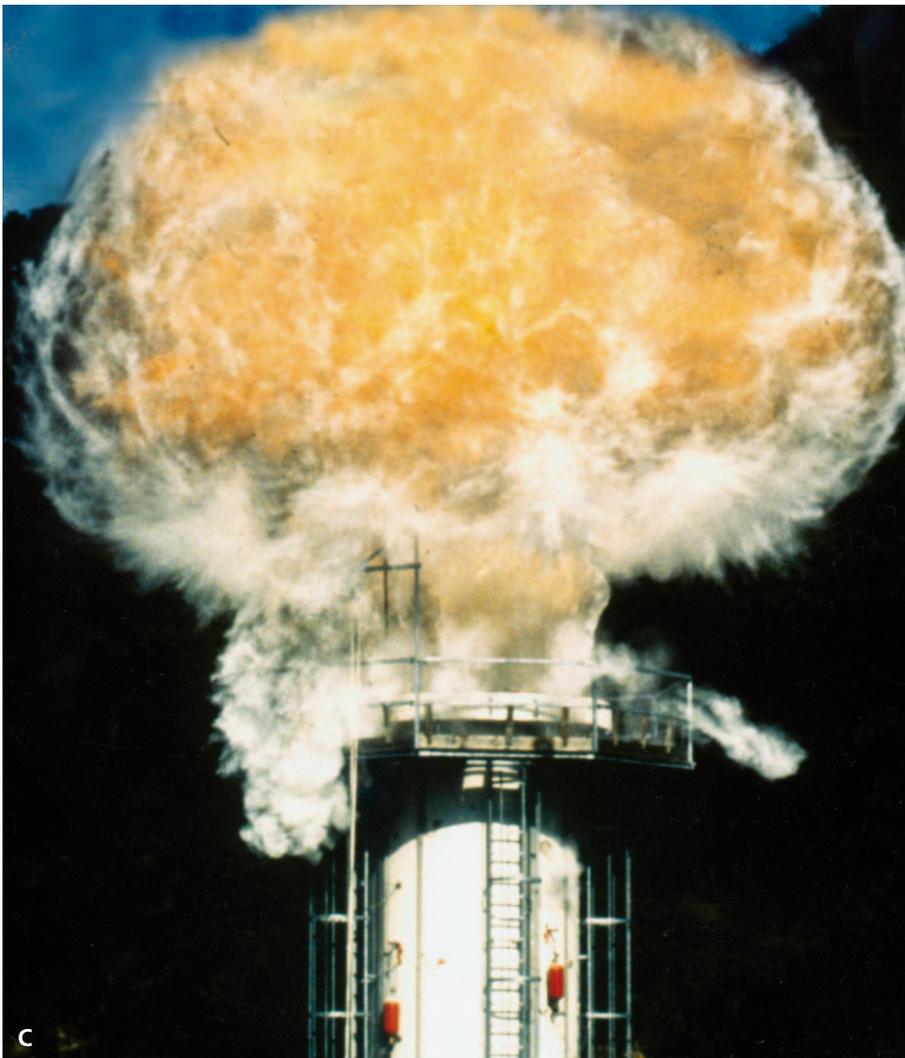
Die Einsicht in die Komplexität der Zündprozesse sowie weiterentwickelte Messverfahren und immer realistischere Computersimulationen haben zu einem Paradigmenwechsel beim Erarbeiten von Sicherheitsstandards geführt – weg von reiner Empirie und hin zu wissenschaftsbasierten Vorschriften. Statt also lediglich das Eintreten oder Ausbleiben einer Zündung an Versuchsträgern zu erfassen, setzen die Forscher auf detaillierte Experimente,



Hochdruck-Zündbombe mit optischem Zugang für Grundlagenuntersuchungen.



die sich modernster lasergestützter Messtechniken bedienen, sowie auf Berechnungen an Computermodellen, um wirksamere Sicherheitsvorschriften zu entwickeln. Die aufwendigen Sicher-



Aufnahmen von Zündprozessen in technischen Systemen:
 (a) Zündung und Flammenbildung an einem elektrischen Funken (die Zündelektroden sind als Schatten sichtbar). In Verbrennungsmotoren bildet dieser Prozess eine wichtige Grundlage der modernen Mobilität, in anderen technischen Systemen kann er potenzieller Auslöser einer Katastrophe sein. (b) Aus einem Elektromotor treten heiße Gasstrahlen aus, die zu einer Zündung und Detonation außerhalb des Motors führen (Foto PTB). (c) Explosion nach einer Zündung in einem Lagersilo.

heitstests an realen Anlagen lassen sich dadurch zwar nicht vollständig ersetzen. Aber mit den neuen Forschungsergebnissen werden deutlich weniger Tests benötigt, um den gleichen oder sogar einen höheren Sicherheitsstandard gewährleisten zu können, wie Dr. Detlef Markus von der PTB erklärt.

Entsprechend den unterschiedlichen Aufgaben bei der Untersuchung von Zündprozessen ist das Projekt hierarchisch gegliedert. Einige Teilprojekte zielen darauf, generische mathematische Modelle und Computersimulationen zu erstellen, das heißt die theoretischen Grundlagen zu schaffen. In anderen Teilprojekten untersuchen Wissenschaftler in Experimenten konkrete technisch relevante Zündprozesse wie beispielsweise die Zündung an heißen Partikeln, elektrischen Funken oder heißen Gasstrahlen. Unter anderem betrachten sie die zur Zündung führenden chemischen Reaktionen der extrem zündfähigen organischen Verbindung Diethylether im Detail. Die in den Grundlagenprojekten entwickelten Computermodelle werden an den anwendungsorientierten Projekten validiert und schrittweise verbessert.

Vom KIT sind neben dem ITT das Engler-Bunte-Institut, Bereich Verbrennungstechnik (EBI), unter Leitung von Professor Dr. Henning Bockhorn sowie das Institut für Physikalische Chemie (IPC) mit Professor Dr. Matthias Olzmann in der Forschergruppe vertreten. Von der PTB ist die Abteilung Chemische Physik und Explosionsschutz mit Dr. Detlef Markus beteiligt, von der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg das Institut für Strömungstechnik und Thermodynamik (ISUT) unter Leitung von Professor Dr. Dominique Thévenin. Die Arbeiten profitieren auch von der Synergie mit dem DFG-geförderten Sonderforschungsbereich 606 „Instationäre Verbrennung: Transportphänomene, Chemische Reaktion, Technische Systeme“ am KIT.

Robert Schießl

Weitere Infos:

Professor Dr. Ulrich Maas
 Institut für Technische Thermodynamik
 Telefon +49 721 608-43930
 E-Mail ulrich.maas@kit.edu



Die Entstehung von Biogas in einer Biogasanlage verläuft ähnlich wie im Rindermagen.

Biogas fürs Erdgasnetz

Bereits heute trägt Biogas zu einer nachhaltigen Energieversorgung bei. Einen weiteren Schub könnte dieser erneuerbare Energieträger durch die zweistufige Druckfermentation erhalten. Mit einem neuen Verfahren, an dessen Entwicklung KIT-Forscher beteiligt sind, lässt sich Biogas energieeffizienter und kostengünstiger erzeugen, aufbereiten und einspeisen.

Biogas besteht hauptsächlich aus Methan und Kohlenstoffdioxid und entsteht beim biologischen Abbau von Biomasse unter Sauerstoffabschluss – ein natürlicher Vorgang, der in Mooren ebenso wie in Rindermägen abläuft. Bereits heute stellen in Deutschland mehr als 5 000 Anlagen Biogas bereit. In einem Großteil von ihnen wird das erzeugte Biogas vor Ort verstromt; dabei fallen rund 60 Prozent Wärme an. Diese lässt sich an den meist ländlichen Standorten jedoch häufig nicht nutzen.

Deutlich höhere energetische Gesamtnutzungsgrade ergeben sich, wenn Erzeugung und Nutzung entkoppelt werden:

Das Biogas wird aufbereitet und über die bestehende Erdgas-Infrastruktur verteilt. So lässt es sich an Blockheizkraftwerk-Standorte mit ausreichend hohen Wärmesenken transportieren. Inzwischen speisen in Deutschland rund 70 Anlagen aufbereitetes Biogas in das Erdgasnetz ein. Ziel ist, bis 2030 den Erdgasverbrauch in Deutschland zu zehn Prozent durch eingespeistes Biogas zu substituieren. Dazu ist es erforderlich, rund 1 700 Anlagen mit einer typischen Einspeiseleistung von 700 Normkubikmetern aufbereitetem Biogas pro Stunde zu betreiben.

Die derzeit zum Erzeugen von Biogas eingesetzten Fermentationsverfahren sind

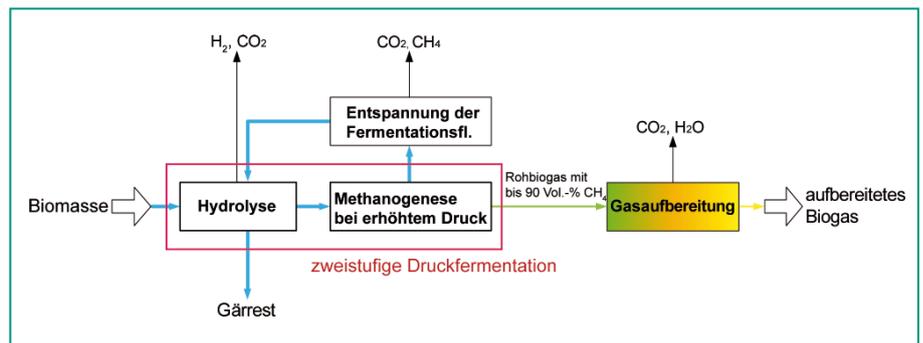
allerdings noch kaum für die Einspeisung des Biogases in das Erdgasnetz optimiert. Abhilfe verspricht ein neues Verfahren, das die DVGW-Forschungsstelle (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs) am Engler-Bunte-Institut des KIT gemeinsam mit der Universität Hohenheim in dem vom Bundesforschungsministerium geförderten Verbundvorhaben „B2G – Innovative Erzeugung von gasförmigen Brennstoffen aus Biomasse“ derzeit entwickelt.

Dieses Verfahren verbindet die bekannten Vorteile einer zweistufigen Biogasanlage mit dem neuartigen Ansatz eines Druckfermenters: Bei einer zweistufigen Biogasanlage laufen die mikrobiologischen Hauptabbaureaktionen von Biomasse zu Biogas in zwei getrennten Reaktoren ab. Dadurch lassen sich für die beiden unterschiedlichen Mikroorganismen, die jeweils einen Abbauschritt leisten, die Bedingungen wie Temperatur, pH-Wert und Verweildauer optimal einstellen. Das führt zu einem wasserstoffreichen Gasstrom aus der ersten Stufe und vor allem zu einer Prozessintensivierung. Bei

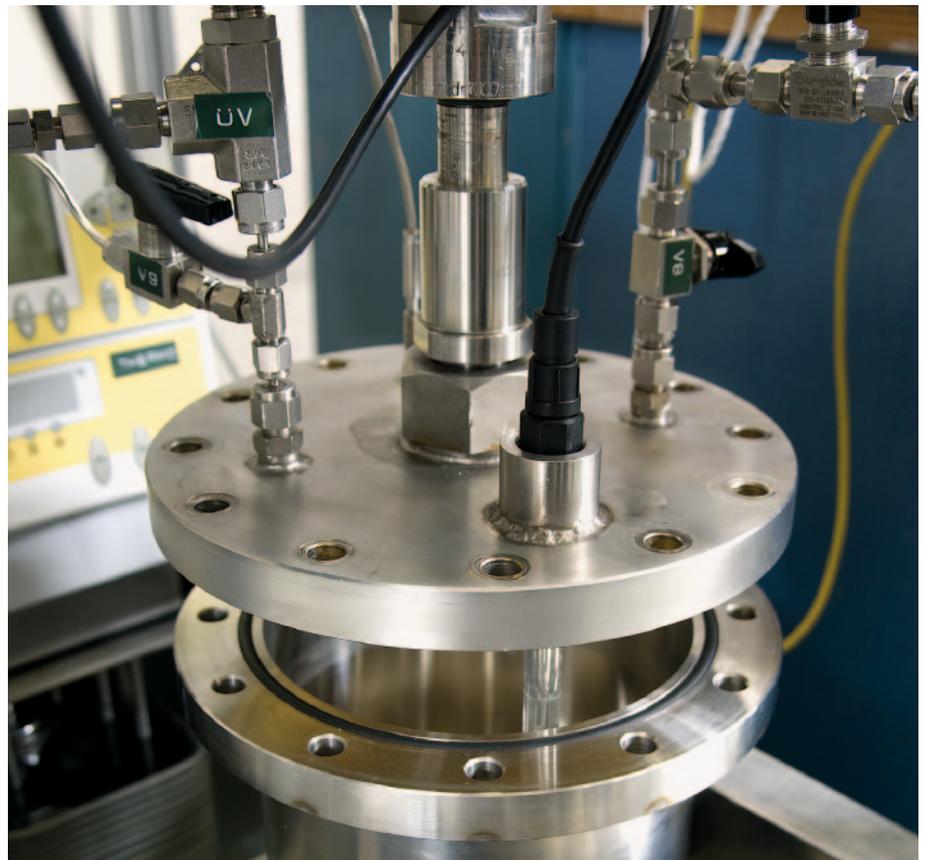
der Druckfermentation arbeitet der zweite Reaktor unter erhöhtem Druck. Dabei übernehmen die Mikroorganismen im Reaktor die Verdichterfunktion. Das erzeugte Biogas liegt dadurch unter Aufbereitungs- oder Einspeisedruck vor, wodurch sich die kostenintensive Kompression erübrigt.

Die Druckfermentation birgt für die Aufbereitung des Rohbiogases noch einen weiteren Vorteil: Die Hauptkomponenten Methan und Kohlenstoffdioxid sind in der wässrigen Fermentationsflüssigkeit unterschiedlich stark löslich. Während sich von Kohlenstoffdioxid ein hoher Anteil löst, entweicht das Methan größtenteils in die Gasphase. Durch die In-situ-Druckwasserwäsche lassen sich nach ersten Berechnungen bei der Druckfermentation im Rohbiogas Methangehalte von bis zu 90 Volumenprozent erreichen, was den Aufwand für die Gasaufbereitung deutlich verringert. Bei der Entspannung der Fermentationsflüssigkeit nach der Druckfermentation entweicht ein Teil der gelösten Gase und bildet einen weiteren Gasstrom, der auch einen geringen Methananteil enthält. Dieser muss zusammen mit dem wasserstoffhaltigen Gasstrom aus der Hydrolyse energetisch sinnvoll genutzt werden. Denkbar ist beispielsweise, damit vor Ort Strom zu erzeugen und/oder die Reaktoren zu beheizen.

Bei der Entwicklung des neuen Verfahrens greifen experimentelle und theoretische Arbeiten ineinander: Forscherinnen und Forscher der Universität Hohenheim testen den Prozess an einer zweistufigen Versuchsanlage im Labor. Wissenschaftler der DVGW-Forschungsstelle beschäftigen sich mit der gasseitigen und energetischen Auslegung des Gesamtprozesses. Sie untersuchen beispielsweise die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid und Methan sowie der weiteren Biogasbestandteile in der Fermentationsflüssigkeit. Außerdem bilden sie den Gesamtprozess mithilfe einer mathematischen Modellierung ab, um quantitative Aussagen zur Auswirkung des Drucks auf die Biogaszusammensetzung und die Produktgasausbeute machen zu können. Ziel der Arbeiten ist, den Methangehalt des Biogases bei möglichst geringem energetischem Aufwand zu maximieren. Gleichzeitig sollen Verluste durch eine Regeneration und Entspannung der Fermentationsflüssigkeit minimiert und die zusätzlich anfallenden Gasströme aus



Schema der zweistufigen Druckfermentation.



Druckbehälter zum Bestimmen von Löslichkeiten: An der Versuchsanlage am Engler-Bunte-Institut des KIT untersuchen Wissenschaftler die Löslichkeiten von Kohlenstoffdioxid und von Methan in Fermentationsflüssigkeit.

der ersten Stufe und der Entspannung der Fermentationsflüssigkeit bestmöglich genutzt werden.

Thomas Kolb
Anna-Maria Wonneberger
Frank Graf
Siegfried Bajohr

Weitere Infos:

Professor Dr.-Ing. Thomas Kolb
Engler-Bunte-Institut I
Chemische Energieträger –
Brennstofftechnologie, ceb
Telefon +49 721 608-47070
E-Mail thomas.kolb@kit.edu

Dr. Dipl.-Wirt.-Ing. Frank Graf
DVGW-Forschungsstelle
am Engler-Bunte-Institut
Gastechnologie
Telefon +49 721 96402-21
E-Mail graf@dvgw-ebi.de



Test eines Mikro-Blockheizkraftwerks
im Brennstoffzellentestlabor.

Sauberer Strom aus der Zelle

Brennstoffzellen besitzen großes Potenzial für verschiedene mobile und stationäre Anwendungen. Forschungsarbeiten am KIT-Zentrum Energie tragen dazu bei, die Kosten zu senken und die Lebensdauer zu steigern, damit die Zellen mit etablierten Technologien konkurrieren können.

Die Brennstoffzelle kann künftig wesentlich zu einer ressourcenschonenden Energieversorgung beitragen. Erfunden wurde sie schon 1839: Damals stellte der britische Physiker Sir William Robert Grove eine „galvanische Gasbatterie“ vor, die durch Umkehrung der Elektrolyse in einer sogenannten kalten Verbrennung von Wasserstoff und Sauerstoff Strom erzeugte.

Das elektrochemisch aktive Herz jedes Brennstoffzellensystems ist die Membraneinheit, bestehend aus Lufolektrode (Kathode), Elektrolyt und Brenngaselektrode (Anode). Die räumliche Trennung

von Brenngas und Oxidationsgas durch den gasdichten, ionenleitenden Elektrolyten verhindert, dass die Gase direkt miteinander reagieren. Die elektrochemische Umsetzung der Reaktanden in den beiden Elektroden erzeugt eine elektrische Spannung von typischerweise rund einem Volt. Dabei werden positiv oder negativ geladene Ionen durch den Elektrolyten transportiert, der Elektronenstrom fließt über die Elektrode durch den äußeren Lastkreis und stellt eine elektrische Leistung bereit.

Materialprobleme und unzureichendes Verständnis der elektrochemischen Pro-

zesse haben die Entwicklung der Brennstoffzelle lange behindert. Entwicklungsschübe erfuhr sie lediglich durch spezielle Anwendungen wie die Stromversorgung von Raumfahrzeugen oder Unterseebooten. So entstand 1965 die Gemini-Brennstoffzelle für das NASA-Raumfahrtprogramm: Mit einer maximalen Leistung von rund einem Kilowatt stellte sie den Betriebsstrom für die Raumkapsel und zugleich Trinkwasser für die Astronauten bereit. Alkalische Brennstoffzellen (Alkaline Fuel Cells – ACF) lieferten auch den Strom für die Apollo-Flüge, wie bei der Mondlandung 1969.

Ein viel größeres Potenzial besitzt die Brennstoffzelle aber für Anwendungen in Kraftwerken und im Straßenverkehr. Aktuelle Entwicklungsarbeiten zielen vor allem darauf, durch günstige Materialien, wirtschaftliche Fertigungstechnologien und einfache Baukonzepte die Kosten

zu senken sowie die Lebensdauer zu steigern. Nur so kann die Brennstoffzelle mit etablierten Technologien konkurrieren und sich auf breiterer Front durchsetzen.

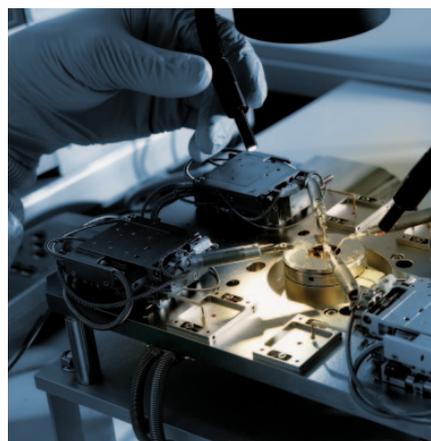
Gegenüber konkurrierenden Technologien zeichnet sich die Brennstoffzelle durch Energieeffizienz und Emissionsarmut aus. Anders als bei konventionellen Verbrennungsprozessen wird in der Brennstoffzelle die chemische Energie reaktiver Stoffpaare direkt in elektrische Energie umgesetzt. Dies ermöglicht einen weitaus höheren elektrischen Wirkungsgrad als die direkte Verbrennung. Die in Systemen erreichten technischen Wirkungsgrade hängen von Brennstoffzellentyp und eingesetztem Brennstoff ab. Während Niedertemperaturzellen wie die Polymer-Elektrolyt-Membran Brennstoffzelle (PEMFC) auf Wasserstoff angewiesen sind, der heute aufwendig aus Erdgas oder anderen Energieträgern gewonnen werden muss, können Hochtemperaturzellen wie die Festelektrolyt-Brennstoffzelle (Solid Oxide Fuel Cell – SOFC) Erdgas direkt nutzen. Dabei erreichen selbst kleine Systeme zur Hausenergieversorgung elektrische Nettowirkungsgrade von bis zu 60 Prozent, bei zusätzlicher Nutzung der Abwärme sind Gesamtwirkungsgrade von über 90 Prozent möglich.

Im Brennstoffzellentestlabor des KIT analysieren und modellieren Forscher des Instituts für Werkstoffe der Elektrotechnik (IWE) in Kooperation mit dem European Institute for Energy Research (EIFER) solche Mikro-Blockheizkraftwerke auf PEMFC- und SOFC-Basis im Hinblick auf ihr elektrisches und thermisches Verhalten. Sie haben in den vergangenen Jahren Prototypen und Vorserienexemplare namhafter europäischer Forschungseinrichtungen und Hersteller im Hinblick auf Leistungsfähigkeit, Wirkungsgrad und Einbindung in die Gebäudeenergieversorgung untersucht.

Neben fossilen Energieträgern wie Erd- und Kohlegas lassen sich auch regenerative Brennstoffe direkt in der SOFC umsetzen. In einer vom Land Baden Württemberg geförderten Studie haben die Forscher in den vergangenen vier Jahren den Einsatz regenerativer Brennstoffe aus hydrothormaler Vergasung in der SOFC in Kooperation mit dem Engler-Bunte-Institut (EBI) und dem Institut für Technische Chemie (ICT) des KIT



Prüfstände für Festelektrolyt-Brennstoffzellen (Solid Oxide Fuel Cell – SOFC).



Charakterisierung nanoskaliger Funktionsschichten.

untersucht. Dabei zeigte sich, dass selbst organische Reststoffe nach entsprechender Aufarbeitung in der SOFC verstromt werden können.

Weitere Anwendungspotenziale für die Hochtemperatur-Brennstoffzelle SOFC eröffnen sich mit Hybridkonzepten: So ist das IWE in verschiedenen nationalen und internationalen Konsortien an der Entwicklung dieselbetriebener SOFC Auxiliary Power Units (APU) beteiligt. Diese liefern als Hilfsaggregat Strom unabhängig vom Verbrennungsmotor des Fahrzeugs. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am IWE entwickeln spezielle Verfahren, um die Leistungsfähigkeit und Stabilität der SOFC unter APU-Bedingungen zu testen. Ein wichtiges Entwicklungsziel für SOFC in stationären und mobilen Systemen ist, die Betriebstemperatur zu senken. Dadurch lassen sich höhere Stabilität, längere Lebensdauer, kürzere Aufheizzeiten und eine einfachere thermische Betriebsführung erreichen. Komplexere Funktionsschichten ermöglichen, die Leistung der SOFC zu steigern und damit auch die Betriebstemperatur zu senken. So gelang es Forschern am IWE, durch den Einsatz nanoskaliger Kathoden eine Halbierung des flächenspezifischen Widerstands bei gleichzeitiger Absenkung der Betriebstemperatur von 950 auf 600 Grad Celsius zu erreichen.

André Weber
Ellen Ivers-Tiffée

Weitere Infos:

Dr.-Ing. André Weber
Professorin Dr.-Ing. Ellen Ivers-Tiffée
Institut für Werkstoffe der Elektrotechnik
Telefon +49 721 608-47491
E-Mail andre.weber@kit.edu

Effizienter heizen und kühlen

Wissenschaftler des KIT-Zentrums Energie haben ein neues Konzept für thermisch angetriebene Wärmepumpen und Kältemaschinen entwickelt: „Stratisorp“ koppelt einen thermischen Schichtspeicher mit einer Adsorptionswärmepumpe.

Sorptionskältemaschinen dienen seit Langem der Nutzung industrieller Abwärme zum Kühlen. Anstelle eines mechanisch angetriebenen Kompressors nutzen sie einen Sorptionsprozess, das heißt Absorption eines Gases in einer Flüssigkeit oder Adsorption an einem porösen Feststoff, um ein Arbeitsmittel bei niedriger Temperatur unter Wärmeaufnahme zu verdampfen. Bei der Ab- oder Adsorption wird Wärme auf mittlerem Temperaturniveau frei. Das Austreiben des Arbeitsmittels erfolgt durch Wärmezufuhr bei hoher Temperatur (Antriebswärme), wobei wiederum bei mittlerer Temperatur Kondensationswärme frei wird. Diesen Grundprozess zwischen drei Temperaturniveaus gibt es in verschiedenen Varianten mit unterschiedlichen Arbeits- und Sorptionsmitteln.

In den vergangenen Jahren haben die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten zur Nutzung von Sorptionsprozessen im kleinen Leistungsbereich für die Gebäudeklimatisierung deutlich zugenommen. Ziel ist dabei stets, den Einsatz nicht erneuerbarer Energieträger für die

Gebäudeheizung, Gebäudekühlung und Luftkonditionierung weiter zu reduzieren, indem vorhandene Wärmequellen und -senken (Erdreich, Außenluft, Abluft) und erneuerbare Energien (Solarstrahlung) thermodynamisch möglichst gut ausgenutzt werden.

Am KIT arbeitet die Shared Research Group „Energie- und Gebäudetechnologie“, die vom Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme in Freiburg mitgetragen wird, an neuen Wärmeübertrager- und Systemkonzepten für Adsorptionswärmepumpen. Das Fernziel der beteiligten Wissenschaftler ist, ein Kombisystem zum Heizen und Kühlen zu entwickeln, das über die Heizperiode eine mittlere Heizzahl größer als 2,0 erreicht. Damit könnte der Einsatz fossiler Energien gegenüber einem herkömmlichen Heizkessel ungefähr halbiert werden. Im Kühlfall soll das System Wärme aus thermischen Solarkollektoren zum Antrieb nutzen können (Solare Kühlung).

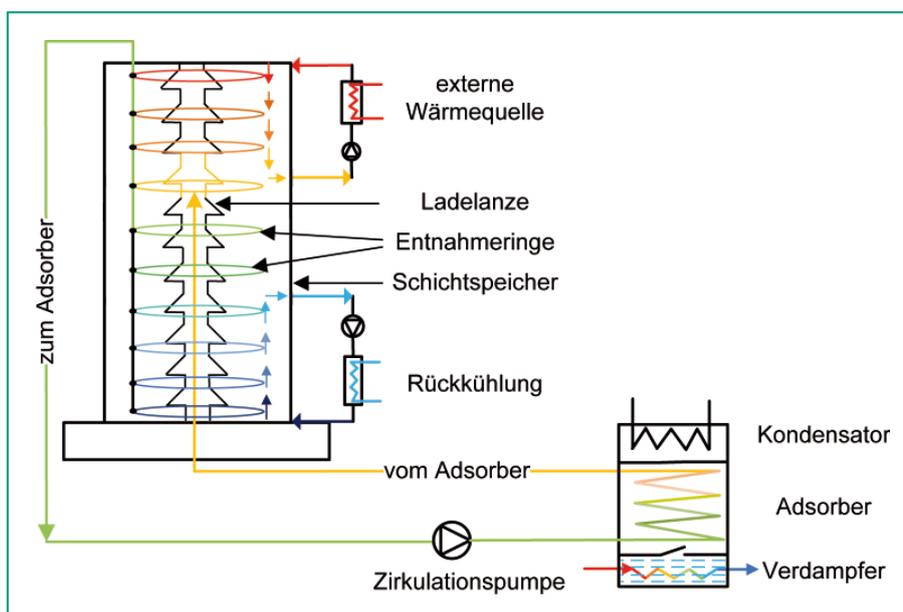
Ein wichtiger Zwischenschritt in dieser Richtung ist den Wissenschaftlern mit

dem soeben abgeschlossenen Projekt „Stratisorp“ gelungen, das vom Land Baden-Württemberg über das BWPlus-Programm gefördert wurde. Kennzeichen des darin untersuchten Systemkonzepts ist, dass ein thermischer Schichtspeicher eng mit dem Adsorptionsprozess gekoppelt und in den Zyklus der Adsorptionswärmepumpe integriert wird. Durch die Ausnutzung der Speicherschichtung wird es möglich, den Adsorber-Wärmeübertrager mit gleitenden Temperaturen zu betreiben und einen Großteil der Exergieverluste zu vermeiden, die sonst bei der Kopplung von Adsorber und externer Wärmequelle entstehen.

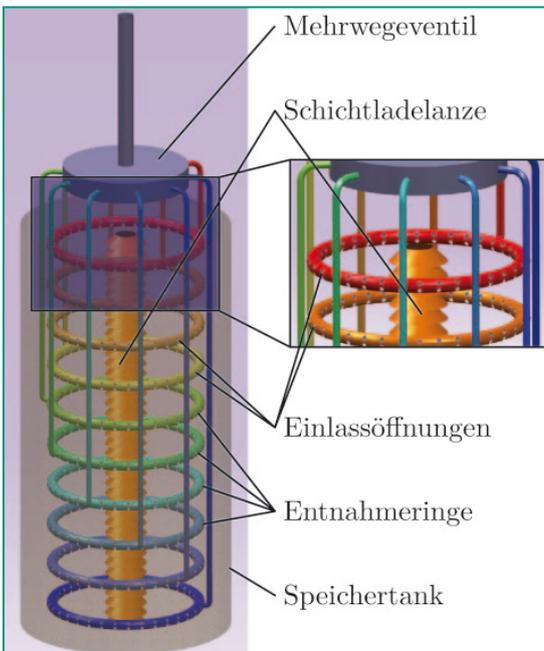
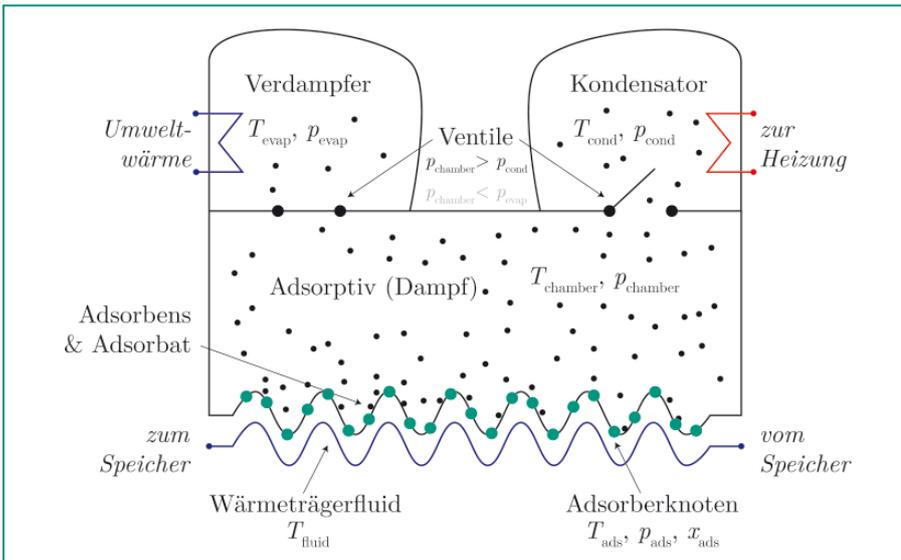
Die Forscher konzentrierten sich zum einen auf die Modellierung und das vertiefte Verständnis der Kopplung von Adsorptionsmodul und Schichtspeicher. Dabei ermittelten sie die Bedingungen für das Erreichen hoher Heizzahlen bei der gewünschten Nutzwärme- oder Nutzkälteleistung. Zum anderen entwickelten sie das Systemkonzept weiter, was Auslegung und Anordnung der Komponenten sowie Betriebsweise und Regelung betrifft.

Wie die Ergebnisse von Stratisorp zeigen, weist das Systemkonzept deutliche Vorteile gegenüber dem Standardzyklus von Adsorptionskältemaschinen und -wärmepumpen auf. Interessant ist dabei der Einfluss der Wärmeübertragereigenschaften der Adsorber: Während beim Standardzyklus deutlich verbesserte Adsorber zwar eine kompaktere Bauweise, aber nicht wesentlich höhere Heizzahlen ermöglichen, schlagen sich beim Stratisorp-Zyklus Verbesserungen am Adsorber direkt in höheren Heizzahlen nieder. Zukünftige Verbesserungen in der Adsorbertechnologie, beispielsweise durch Nutzung von Herstellungsverfahren für Mikrowärmeübertrager, lassen sich daher mit dem Stratisorp-Zyklus besonders gut ausnutzen.

In den Systemsimulationen hat sich gezeigt, dass der Stratisorp-Zyklus für ein Hochtemperatur-System mit Thermoöl als Wärmeträger gegenüber einer Variation der Temperaturen in den drei äußeren Fluidkreisen höchst robust ist und ein ausgesprochen gutes Regelverhalten zeigt.



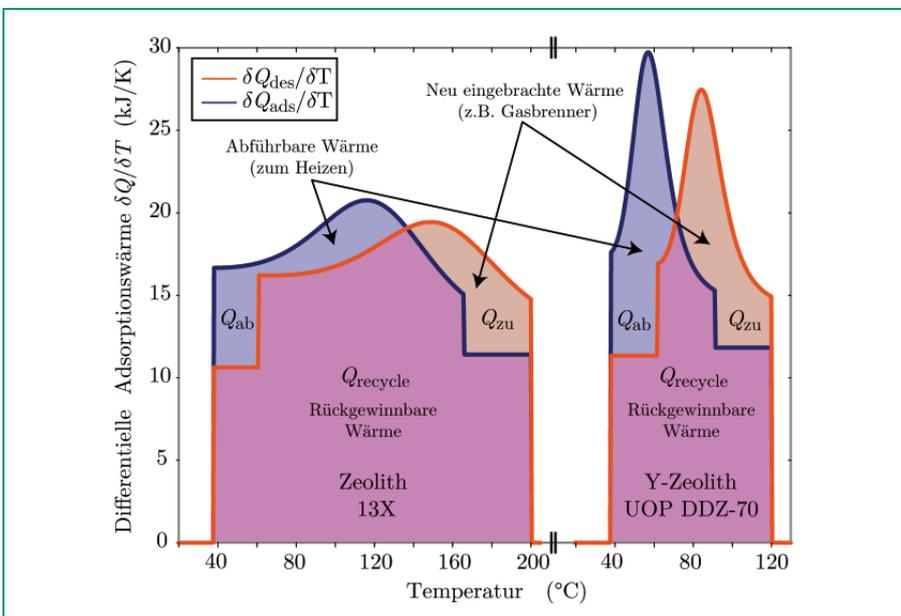
Schematische Darstellung des Modells.



Schematischer Aufbau des Adsorptionsmoduls mit Adsorber, Kammer, Verdampfer und Kondensator, dargestellt für den Heizfall.

Extraktion und Beladung mit Schichtladelanze und Entnahmeringen (links). Entnahmeringe mit Einlassöffnungen (rechts, vergrößert). Der Farbverlauf repräsentiert die verschiedenen Temperaturen.

Die differentiellen Wärmekurven veranschaulichen das Potenzial für die interne Wärmerückgewinnung.



Dies eröffnet vielfältige Möglichkeiten in Heiz- und Kühlanwendungen mit unterschiedlichen Wärmequellen und -senken.

Für die angenommenen technologisch weiterentwickelten Adsorber erscheint eine Leistungszahl erreichbar, wie sie bisher nur mit zweistufigen Absorptionskältemaschinen im Leistungsbereich größer als 50 Kilowatt zu verwirklichen ist. Dabei zeigt sich das Stratisorp-System wesentlich flexibler in der Rückkühltemperatur, das heißt, auch an heißen Tagen wäre eine trockene Rückkühlung möglich. In der Wärmepumpen-Anwendung macht die hohe Flexibilität der Systemtemperaturen das Stratisorp-System auch für die Altbausanierung interessant. In vielen Anwendungen stellt die Möglichkeit der Nutzung des Schichtspeichers als Pufferspeicher einen zusätzlichen Vorteil dar.

Allerdings hat die Produktentwicklung auf Basis des Hochtemperatur-Systems mit Thermoöl immer noch hohe Hürden zu überwinden, denn es mangelt an geeigneten Komponenten für den Temperaturbereich um 200 Grad Celsius. Wesentlich geringer sind die Hürden für eine Produktentwicklung von Systemen mit Wasser als Wärmeträger für einen Temperaturbereich bis etwa 140 Grad Celsius. Auch solche Systeme bieten deutliche Vorteile gegenüber marktverfügbaren Adsorptionssystemen. Kurz- bis mittelfristig erscheint ihre Weiterentwicklung für kombinierte Anwendungen wie solare Kühlung im Sommer und Gaswärmepumpenbetrieb im Winter aussichtsreich. Darauf aufbauend kann dann das Fernziel – die Halbierung des fossilen Energieeinsatzes – mit höheren Antriebstemperaturen angestrebt werden.

Ferdinand Schmidt

Weitere Infos:

Dr. Ferdinand Schmidt
 Shared Research Group Energie- und Gebäudetechnologie
 Fachgebiet Strömungsmaschinen
 Telefon +49 721 608-43026
 E-Mail ferdinand.schmidt@kit.edu

Material mit hohem Potenzial

Es findet sich in Edelsteinen wie Aquamarin und Smaragd, macht die Fensterrahmen des Space Shuttles hart und hitzefest – und besitzt großes Potenzial für die Fusionstechnologie: das Erdalkalimetall Beryllium. Die Firma GVT (Goraieb Versuchstechnik) erforscht den Einsatz von Beryllium gemeinsam mit Wissenschaftlern des KIT in einem europaweit einzigartigen Labor.

Kernfusion könnte die Menschheit künftig sicher, sauber und nachhaltig mit Strom und Wärme versorgen. Unter den möglichen Verschmelzungsreaktionen verspricht die Reaktion zwischen den Wasserstoffisotopen Deuterium und Tritium die höchste Energieausbeute bei auf der Erde realisierbaren Temperaturen. Am KIT-Zentrum Energie entwickeln Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler unter anderem Testmodule für das sogenannte Blanket des europäischen Experimental-Fusionsreaktors ITER (lateinisch iter – der Weg), der zurzeit in Cadarache/Frankreich entsteht. Das Brutblanket umschließt das Fusionsplasma als äußere Hülle; es schirmt die supraleitenden Magnete gegen Neutronen- und Gammastrahlung ab, wandelt die Neutronenenergie aus der Fusionsreaktion in nutzbare Wärme um und erbrütet den Brennstoff Tritium durch das Einfangen von Neutronen in Lithium.

Da die Fusionsreaktion je verbrauchtem Tritiumatom nur ein Neutron liefert, ist es, Verluste eingerechnet, mit den Fusionsneutronen allein nicht möglich, Tritium in ausreichender Menge aus Lithium zu erbrüten. Außerdem sind die Neutronen aus der Fusion zu schnell, um sich in Lithium einfangen zu lassen. Als Lösung bietet sich an, im Blanket zur Neutronenvermehrung Beryllium einzusetzen: Dieses kann Neutronen reflektieren und vervielfachen – es macht aus einem schnellen Neutron zwei langsame.

Am KIT befassen sich vor allem das Institut für Materialforschung I (Angewandte Werkstoffphysik; IMF I) und III (Werkstoffprozessertechnik; IMF III), das Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme (IFL) sowie das Institut für Produktionstechnik (wbk) mit dem Einsatz von Beryllium. Die KIT-Institute kooperieren eng mit

der am KIT-Campus Nord angesiedelten Firma GVT (Goraieb Versuchstechnik), die unter anderem auf Materialentwicklung und Materialuntersuchung von Beryllium spezialisiert ist. Dank der mit GVT verbundenen KBHF (Karlsruhe Beryllium Handling Facility) steht ein europaweit einzigartiges Labor für den Umgang mit Beryllium bereit. Die Handhabung verlangt eine aufwendige Infrastruktur, denn Beryllium gehört, besonders als Staub, zu den giftigsten nicht radioaktiven Elementen und ist als Gefahrstoff eingestuft.

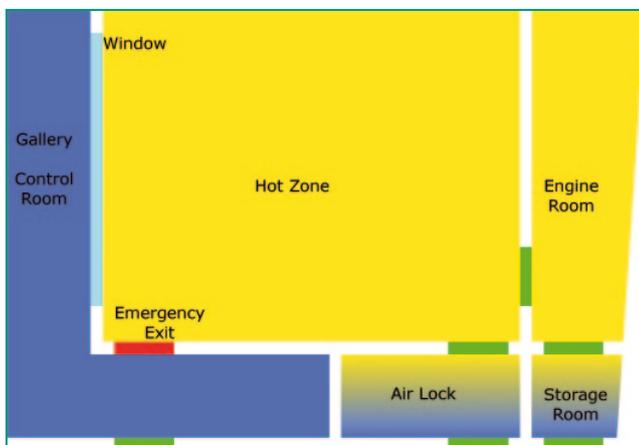
Beryllium zählt wie Magnesium, Calcium, Strontium, Barium und Radium zu den Erdalkalimetallen. In der Natur kommt das Element nur in gebundener Form vor. Das wichtigste Berylliummineral ist Beryll, ein Beryllium-Aluminium-Silikat, das in verschiedenen Farben vorkommt und unter anderem zu Schmucksteinen verarbeitet wird. Zu den Varietäten von Beryll gehören Aquamarin, Smaragd und Morganit. Die Herstellung des reinen Metalls geschieht in einem sogenannten Fluidationsprozess: Beryllium wird in einer Säure gelöst und durch Zugabe eines Reduktionsmittels ausgefällt. Um technisch nutzbares Beryllium zu erzeugen, wird das entstandene Granulat gemahlen und pulvermetallurgisch, das heißt durch



BELLA (Beryllium Lager): Hier lagern rund 70 Kilogramm Berylliumkugeln aus aller Welt.



Die portugiesische Hafenstadt Porto war Schauplatz des internationalen Workshops BeYOND II im Oktober 2010.



Grundriss des Hochsicherheitslabors GODZILLA (Goraieb Development of a Zoom Facility for Beryllium Alloying Labors). Es misst rund 70 Quadratmeter, davon 32 Quadratmeter für Versuchsanlagen, und soll eine Pilotanlage zur Produktion von Berylliumlegierungen aufnehmen.



GVT-Geschäftsführer Aniceto A. Goraieb.

Pressen und Sintern zu einem Halbzeug – Blöcke oder Platten – umgeformt.

Bekannte Einsatzbereiche von Beryllium sind unter anderem die Röntgentechnik, die Nukleartechnik sowie die Luft- und Raumfahrttechnik – etwa die Fensterrahmen und Bremsscheiben des Space Shuttles. Bei ITER soll für die innere Wand, welche die Fläche eines Fußballfelds haben wird, Beryllium eingesetzt werden. Grund für diese Wahl ist die extreme Temperaturbeständigkeit – über 1 000 Grad Celsius – bei niedriger Kernladungszahl – leichter als Aluminium. Hohe Kernladungszahlen wirken sich nachteilig auf den Fusionsprozess aus. Außerdem machen sie ein Material stärker radioaktiv aktivierbar. Demgegenüber verspricht der Einsatz von Beryllium in ITER, die Halbwertszeit der Abfallprodukte zu minimieren.

GVT ist seit 2003 maßgeblich an der Entwicklung von blanketrelevanten Materialien beteiligt, zu denen Beryllium und seine Legierungen, Lithiumkeramiken und niedrig aktivierbare Strukturmaterialien

gehören. Die KBHF strebt an, Pilotproduktionsanlagen für Labormengen von rund 50 Kilogramm im Jahr auszulegen und zu bauen. Künftig soll sie auch ermitteln, welche Mengen von Beryllium für die Fusion tatsächlich erforderlich sind und wie viel davon sich wiederverwenden lässt. Außerdem untersucht die KBHF gemeinsam mit KIT-Forschern Berylliumbasislegierungen, denen großes Zukunftspotenzial zuerkannt wird. Bisher sind rund 200 solche Legierungen bekannt, davon rund 40 mit hohem Berylliumanteil. Diese sind bis jetzt wenig erforscht. Für die Fusionstechnologie besonders interessant erscheint $Be_{12}X$ – das X steht für ein Metall wie Titan, Vanadium, Wolfram, Niob oder Molybdän.

Der Geschäftsführer der KBHF ist Gründungsmitglied des DIIF (Deutsches ITER Industrie Forum) und hat auf Anregung der europäischen Agentur F4E (Fusion for Energy), die den europäischen Beitrag zu ITER liefert, die Bildung eines Industriekonsortiums zur Realisierung des ITER-Blankets initiiert. Bei einem ersten BeYOND-Workshop (Beryllium Opportuni-

ties for New Developments) in Karlsruhe im November 2009 unterzeichneten das KIT, die KBHF und der Weltmarktführer für Berylliumprodukte BWI (BrushWellman, Ohio/USA) ein Memorandum of Understanding über die Ausarbeitung einer detaillierten Kooperationsvereinbarung. BeYOND dient als Kommunikationsplattform, um den Dialog zwischen Wissenschaft und Industrie aufrechtzuerhalten und um weitere Akteure für das geplante Industriekonsortium zu gewinnen. Im Oktober dieses Jahres trafen sich die Partner zum Workshop BeYOND II in Porto/Portugal. Ein dritter Workshop ist für 2011 geplant – dann soll es um neue Produktionstechniken für Beryllium gehen.

Aniceto A. Goraieb

Weitere Infos:

Aniceto A. Goraieb
Geschäftsführer
KBHF
Telefon +49 721 608-23640
E-Mail goraieb@kbhf.org



INE-Beamline für Actinidenforschung an der KIT-Synchrotronstrahlenquelle ANKA: Mit dieser Anlage ist es gelungen, die Struktur zahlreicher Actinidenkomplexe aufzuklären, die beim Wasserkontakt radioaktiver Abfälle entstehen können.

Sichere Entsorgung radioaktiver Abfälle

Die Kernenergie trägt nach wie vor erheblich zur Stromversorgung in Deutschland bei. Unabhängig von einer Entscheidung über die weitere Kernenergienutzung ist die sichere Entsorgung radioaktiver Abfälle unerlässlich. Dafür erarbeiten Forscher des KIT-Zentrums Energie umfassende wissenschaftlich-technische Grundlagen.

Im aktuellen Energiekonzept der Bundesregierung stellt die Kernenergie eine Brückentechnologie dar, die solange genutzt werden soll, bis sie durch erneuerbare Energieträger ersetzt werden kann. In anderen Ländern erlebt die Kernenergie, unter anderem angesichts der CO₂-Problematik, derzeit eine Renaissance: Neue Kernkraftwerke werden geplant und gebaut. Die geplante Laufzeitverlängerung der existierenden deutschen Reaktoren lässt die kontroverse Diskussion über Risiken und Nutzen der Kernenergie in der Öffentlichkeit neu aufflammen. Immer wieder wird dabei die sichere Entsorgung radioaktiver Abfälle thematisiert.

Das Institut für Nukleare Entsorgung (INE) des KIT erarbeitet gemeinsam mit anderen

Forschungseinrichtungen in Deutschland – innerhalb und außerhalb der Helmholtz-Gemeinschaft – sowie im europäischen und außereuropäischen Ausland wissenschaftlich-technische Grundlagen und Konzepte für eine sichere Entsorgung radioaktiver Abfälle. Themen sind die Konditionierung der Abfälle und ihre sichere Endlagerung, aber auch Alternativen zur Endlagerung langlebiger Abfälle wie die Partitioning- und Transmutations-Strategie.

Die Wiederaufarbeitung abgebrannter Kernbrennstoffe zielt auf die Rezyklierung spaltbarer Elemente. Dabei fallen flüssige Abfälle an, die für die sichere Zwischen- und Endlagerung in geeignete stabile Produkte überführt werden müssen. KIT-Wissenschaftlerinnen und

Wissenschaftler haben mit der Verglasung eine Immobilisierungstechnik für flüssige hochradioaktive Abfälle entwickelt und gemeinsam mit den Energiewerken Nord und den Kraftanlagen Heidelberg in der Verglasungseinrichtung Karlsruhe (VEK) realisiert. Zwischen September 2009 und Juli 2010 wurden in der VEK rund 60 Kubikmeter hochradioaktive Flüssigabfälle verglast, die aus früheren Wiederaufarbeitungsaktivitäten in Karlsruhe stammten. Dabei wurden 123 Kokillen abgefüllt und in Castor-Behälter verladen.

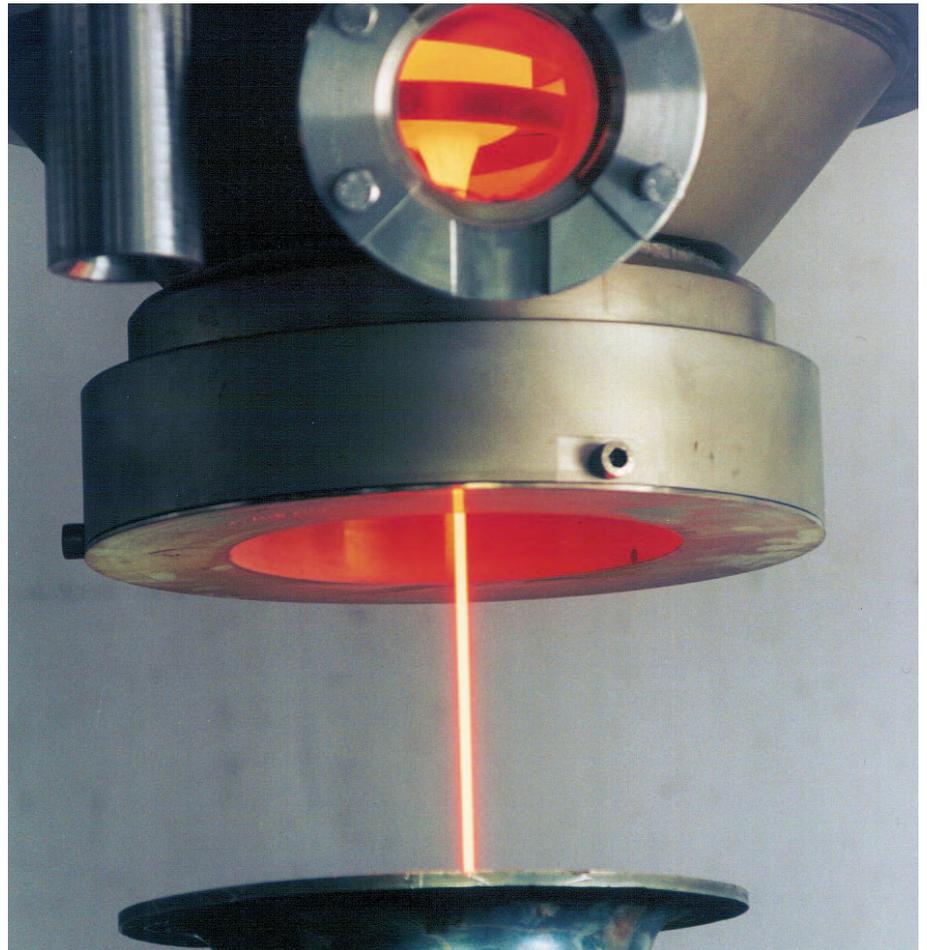
Die Verglasungskampagne hat gezeigt, dass sich hochradioaktive Abfälle mit einer ausgereiften Technologie und ihrer verantwortungsvollen Umsetzung sicher verarbeiten lassen. Dies hat nicht zuletzt dazu geführt, dass ein deutsches Industriekonsortium sich mit dieser KIT-Technologie gegen internationale Konkurrenz durchsetzte und den Auftrag erhielt, eine Verglasungsanlage in China zu errichten. Diese Anlage wird das Risiko der Lagerung flüssiger hochradioaktiver Abfälle in der Provinz Sechuan beseitigen und damit aktiv zum Umweltschutz beitragen.

Die Endlagerung in tiefen geologischen Formationen gilt als die sicherste Methode, um hochradioaktive verglaste Abfälle und abgebrannte Kernbrennstäbe langfristig von der Biosphäre zu isolieren. Die Sicherheit muss dabei für mehrere hunderttausend Jahre nachgewiesen werden. Dies erfordert einen soliden und umfassenden wissenschaftlichen Ansatz, der bis zum Verständnis der chemischen Reaktionen von Radionukliden unter Endlagerbedingungen auf molekularer Ebene reicht. Auch die Wechselwirkungen von Radionukliden mit Mikroben und anderen biologischen Systemen sind Gegenstand von Forschungen, beispielsweise im Helmholtzzentrum Dresden-Rossendorf.

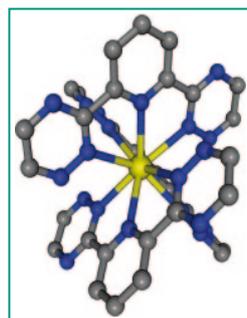
Bei all diesen Untersuchungen arbeiten Chemiker, Physiker, Biologen und Geowissenschaftler interdisziplinär zusammen. Sie erfordern aufwendige experimentelle Einrichtungen wie Heiße Zellen und Handschuhboxen sowie modernste analytische Methoden wie laser-, massen- und röntgenspektroskopische Techniken. Das INE des KIT macht als eines der Core-Institute in der ACTINET I3 (European Integrated Infrastructure Initiative for Actinide Science) seine Laboreinrichtungen auch anderen Wissenschaftlern aus dem In- und Ausland zugänglich, die an ähnlichen Themen forschen.

Die sogenannte Partitioning- und Transmutationstechnologie bildet eine Strategie, das Langzeitrisko hochradioaktiver Abfälle um Größenordnungen zu verringern: Sie sieht vor, langlebige Radionuklide wie die Actiniden Neptunium, Plutonium, Americium und Curium abzutrennen (Partitioning) und dann in speziellen Reaktoren durch Neutronenreaktionen in stabile oder kurzlebige Isotope umzuwandeln (Transmutation). Damit wäre die Radiotoxizität der verbleibenden endzulagernden Abfälle bereits nach einigen Jahrhunderten auf das Niveau des natürlichen Urans abgeklungen, was das Langzeitgefährdungspotenzial deutlich reduzieren würde.

In nationalen und internationalen Verbundprojekten arbeitet das INE des KIT mit dem Forschungszentrum Jülich an innovativen Methoden zur hydrometallurgischen Abtrennung von Actiniden. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Trennung von Americium und Curium von den ebenfalls im Abfall vorliegenden



Verglasungseinrichtung Karlsruhe (VEK): Glasabfüllung in eine Kokille.



Struktur des Am-BTP-Komplexes: BTP ist einer der im KIT entwickelten Extraktionsliganden zur Actiniden-Lanthaniden-Trennung.



Nitsch-Rührzelle zur Untersuchung der Stoffaustauschkinetik

Lanthaniden. Sie stellt aufgrund der chemischen Ähnlichkeit – dreiwertige Ionen mit ähnlichen Ionenradien – hohe Anforderungen an die Selektivität der verwendeten Extraktionsmittel. Dabei haben die Karlsruher und Jülicher Forscher außerordentlich effiziente Komplexbildnersysteme zur Actiniden-Lanthaniden-Trennung synthetisiert, die international als Meilensteine in der Entwicklung innovativer Trennprozesse gelten. Diese Arbeiten, aus denen sich zahlreiche Patentanmeldungen ergaben, bilden die wissenschaftliche Grundlage zur Weiterentwicklung von technischen Trennprozessen beim Partitioning.

Horst Geckeis
Klaus Gompper

Weitere Infos:

Professor Dr. Horst Geckeis
Institut für Nukleare Entsorgung
Telefon +49 721 608-22230
E-Mail horst.geckeis@kit.edu



Wie nachhaltig ist das Energiesystem von Santiago?

Megacities spielen eine zentrale Rolle für den globalen Wandel. Im Rahmen des deutsch-chilenischen Helmholtz-Projekts „Risk Habitat Megacity“ entwickeln KIT-Forscher gemeinsam mit chilenischen Partnern Konzepte zur nachhaltigen Energieversorgung von Santiago de Chile.

1950 lebten rund 30 Prozent der Menschen weltweit in Städten, derzeit sind es rund 50 Prozent, und im Jahr 2030 werden es nach UN-Schätzungen mehr als 60 Prozent sein. Dabei wird die Zahl der Städte mit mehr als fünf Millionen Einwohnern deutlich zunehmen. In den 20 größten Metropolen der Welt leben heute bereits insgesamt rund 280 Millionen Menschen, und es werden täglich mehr.

Solche Megacities sind vielfältigen und hochkomplexen Urbanisierungsprozessen unterworfen, die sich ebenso vielfältig auf das Umland sowie auf nationaler und internationaler Ebene auswirken und von diesen beeinflusst werden.

Aufgrund ihrer Größe und ihrer Konzentration von Menschen und Kapital bieten Megastädte große Potenziale für

Innovation, ökonomischen Fortschritt und effizientere Bereitstellung von Gütern und Dienstleistungen. Zugleich bergen sie aber auch erhebliche soziale und ökologische Risiken. Vor allem in Entwicklungs- und Schwellenländern nehmen Probleme wie unzureichende Versorgung mit Energie, Wasser, sanitären Einrichtungen und Wohnraum sowie Verkehrsüberlastung, Luftverschmutzung, mangelhafte Abfallwirtschaft, Armut und Kriminalität zu. Dabei spielt das Energiesystem wie in allen gesellschaftlichen Entwicklungsprozessen eine wesentliche Rolle.

Mit Problemen von Megastädten, vor allem in Lateinamerika, und Strategien zu ihrer nachhaltigen Entwicklung befasst sich das Projekt „Risk Habitat Megacity“ (Risiko-Lebensraum Megastadt), in dem Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren, darunter auch des KIT-Zentrums Energie, mit Partnern aus Lateinamerika zusammenarbeiten. Die Untersuchungen konzentrieren sich zunächst auf Santiago de Chile. Diese Stadt ist gekennzeichnet durch einen seit Jahrzehnten fortschreitenden dynamischen Urbanisierungsprozess und weist eine Reihe megacitytypischer Probleme auf. Im Rahmen von „Risk Habitat Megacity“ haben Forscherinnen und Forscher des Instituts für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) des KIT sich mit der Energieversorgung von Santiago befasst.

Im Unterschied zu bisher vorliegenden Arbeiten verknüpft die Energiesystemmodellierung im Rahmen von „Risk Habitat Megacity“ die nationale und die lokale Ebene miteinander. Gemeinsam mit Projektpartnern in Deutschland und Chile haben die Forscher des ITAS das Energiesystem von Santiago de Chile anhand von festgelegten Indikatoren beschrieben und seine Nachhaltigkeit bewertet. Davon ausgehend haben sie die künftige Entwicklung in Bezug auf



NASA-Satellitenaufnahme von Santiago de Chile: Die Stadt liegt in einem Talkessel von etwa 50 Kilometern im Durchmesser.



Panorama von Santiago bei Nacht.

Foto: Éric Depagne.

ausgewählte Indikatoren im Rahmen von drei alternativen Szenarien für das Jahr 2030 analysiert: „Business As Usual“ (BAU), „Collective Responsibility“ (CR) und „Market Individualism“ (MI). Unter den dabei getroffenen Annahmen haben die Wissenschaftler zum einen die dringendsten Probleme in der Zukunft, zum anderen die energiesysteminternen und -externen Faktoren auf dem Weg zu mehr Nachhaltigkeit identifiziert. Diese Untersuchungen bilden die Basis für die vorgeschlagenen Strategien.

Mit rund 40 Prozent der Bevölkerung und rund 50 Prozent der Wirtschaftsleistung von Chile besitzt dessen Hauptstadt eine erhebliche Bedeutung für den Energiesektor. Das Energiesystem von Santiago de Chile ist fest in die nationale Energieversorgung eingebunden und primär auf Energiezufuhr von außerhalb der Region angewiesen. Der Primärenergiebedarf von Chile steigt jährlich um fünf Prozent, der Strombedarf sogar um acht Prozent. Gegenwärtig importiert Chile rund 90 Prozent seiner fossilen Energieträger; diese Importabhängigkeit stellt ein Versorgungsrisiko dar. Zeitweilige Versorgungsengpässe und stark steigende Energiepreise gefährden die Wettbewerbsfähigkeit der Industrie.

In der Region von Santiago de Chile hat Wasserkraft einen Anteil von rund 50 Prozent an der Stromerzeugung. Aufgrund dieses hohen Anteils können Trockenperioden die Versorgung gefährden. Wesentliche Herausforderungen für die Energieversorgung der Hauptstadt liegen darin, die Zunahme des Energieverbrauchs zu begrenzen, die Energieeffizienz in Haushalt, Industrie, Handel und Gewerbe, Transport und Mobilität zu steigern sowie Versorgungsengpässe zu bewältigen. Außerdem geht es darum, Strategien im Umgang mit dem räumlich und sozial höchst ungleich verteilten Zugang zu Energie und gegen die negativen Auswirkungen der Energiebereitstellung besonders auf die Luftqualität zu entwickeln. Schließlich gilt es, die Energieträger zu diversifizieren und neue regenerative Energiequellen zu erschließen. Eine Chance, zumindest die Angebotsseite nachhaltiger zu gestalten, eröffnet sich dadurch, dass in den kommenden Jahren landesweit erhebliche Investitionen in Energieversorgungsinfrastrukturen erforderlich sein werden.

Um die Energieversorgung zu sichern und nachteilige Auswirkungen auf Gesundheit und Umwelt zu vermindern, empfehlen die Forscher zwei grundsätzliche Strategie-

gien: die Energieeffizienz zu verbessern und die Nutzung heimischer erneuerbarer Energiequellen zu steigern. Zur Verbesserung der Energieeffizienz schlagen die Wissenschaftler zum einen entsprechende Steuern und Abgaben, zum anderen höhere Standards beispielsweise für neu errichtete Gebäude vor. Um heimische erneuerbare Energien voranzubringen, sprechen sie sich dafür aus, eine Steuer auf Kohlenstoffemissionen zu erheben, Forschung zu regenerativen Energien staatlich zu fördern sowie diesen Energien freien Marktzugang zu gewähren – bis hin zu vorrangiger Einspeisung ins Stromnetz.

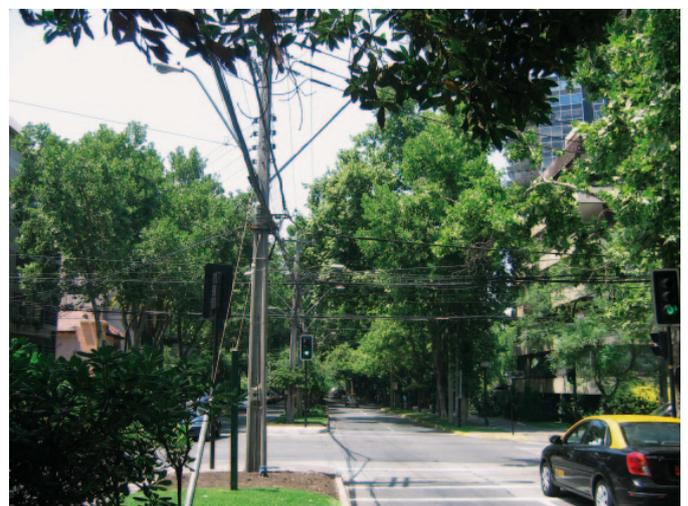
*Volker Stelzer
Jürgen Kopfmüller
Helmut Lehn*

Weitere Infos:

Dr. Volker Stelzer
Institut für Technikfolgenabschätzung
und Systemanalyse
Telefon +49 721 608 23474
E-Mail stelzer@kit.edu



Eine Reihe von Außenmodulen dezentraler Klimaanlage in der Stadt.



Oberirdische Stromleitungen: Rund die Hälfte des Stroms in der Region wird mit Wasserkraft erzeugt.

KIT-Zentrum Energie

Leiter Dr. Peter Fritz

Wiss. Sprecher Prof. Dr.-Ing. Hans-Jörg Bauer

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. Matthias Kind

Sprecher Topic 5 – Fusionstechnologie Dr. Klaus Hesch

Sprecher Topic 6 – Kernenergie und Sicherheit Dr.-Ing. Joachim Knebel

Sprecher Topic 7 – Energiesystemanalyse Prof. Dr. Armin Grunwald

Geschäftsführer Dr. Wolfgang Breh