

ENERGYNEWS

Newsletter des KIT-Zentrums Energie

Ausgabe 1|2010

Innovation und Energie
für Europa –
KIC InnoEnergy

Gebündelte Kompetenzen –
Landesforschungszentrum
für Geothermie



Inhalt

- 3 Editorial
- 4 Über Fachgrenzen hinweg denken – integrieren, was zusammengehört!
- 5 Nachhaltige Energien im Fokus – KIT kooperiert mit der University of Sharjah
- 6 Innovation und Energie für Europa – KIC InnoEnergy
- 8 Gebündelte Kompetenzen – Landesforschungszentrum für Geothermie
- 10 Kraft-Wärme-Kopplung für den Hausgebrauch
- 12 PAT – Zerstäubung bei hohem Druck
- 14 Auf den Speicher kommt es an
- 16 Energiemonitoring auf dem Campus
- 18 Millimeterwellen-Steuerungsantennen für ITER
- 20 Gepulste Elektronenstrahlen schaffen Schutzschicht gegen Korrosion
- 22 Lösungen für elektrische Mobilität

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

Juni 2010

Titelfoto: Die bioliq®-Pilotanlage auf dem KIT-Campus Nord.
Hier entstehen aus biogenen Reststoffen hochwertige Synthesekraftstoffe.

Editorial



Dr. Peter Fritz



Professor Dr. Hans-Jörg Bauer

„Neugier ist der stärkste Antrieb“ lautet das Motto des Wissenschaftsjahrs 2010. Neugier treibt zum Fragen, Forschen und Entdecken an. Neugier bringt den Menschen voran. Besonders stark ist die Neugier, die sich auf die Zukunft richtet. Das Wissenschaftsjahr 2010 ist dem interdisziplinären Thema „Die Zukunft der Energie“ gewidmet. Es wendet sich vor allem an Kinder und Jugendliche, denn sie sind die Forscher – und Energienutzer – von morgen.

Energie ist eines der großen Menschheitsthemen. Das Wissenschaftsjahr 2010 fragt nach zukunftsfähigen Lösungen und veranschaulicht die Bedeutung der Energieforschung. Neben dem Bundesforschungsministerium und der Initiative „Wissenschaft im Dialog“ ist die Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren, der das KIT angehört, Träger des diesjährigen Wissenschaftsjahrs. Das KIT selbst trägt mehrere Veranstaltungen zum Programm bei.

Wie ein Blick auf die Forschung zeigt, hat „Die Zukunft der Energie“ längst begonnen. Weltweit suchen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler nach Lösungen für eine sichere, wirtschaftliche und umweltverträgliche Energieversorgung. Das KIT-Zentrum Energie gestaltet die Zukunft der Energie maßgeblich mit. Es führt alle relevanten Aspekte in einer ganzheitlichen Betrachtung zusammen – ob es um einen ausgewogenen Energiemix oder um Effizienz entlang der gesamten Energieversorgungskette geht.

Seinen Anspruch als eines der führenden europäischen Energieforschungszentren hat das KIT-Zentrum Energie vor kurzem

Eine Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Wissenschaftsjahr 2010

Die Zukunft der Energie

eindrucksvoll unterstrichen: Das Europäische Institut für Innovation und Technologie (EIT) hat die „KIC InnoEnergy“ eingerichtet, eine von drei „Knowledge and Innovation Communities“ (KICs), welche die großen Themen der Zukunft bearbeiten. Das KIT hatte den Antrag auf die KIC InnoEnergy europaweit koordiniert.

In InnoEnergy haben sich führende europäische Forschungszentren, Universitäten und Industrieunternehmen zusammengeschlossen. Ihr Ziel ist, bis 2050 ein nachhaltiges Energiesystem für Europa zu schaffen. Welche Schwerpunkte sie dabei setzen, ist ein Thema dieser Ausgabe der EnergyNews. Außerdem stellt der Newsletter das neue Landesforschungszentrum für Geothermie vor und berichtet über aktuelle Arbeiten in den sieben fachlichen Topics des KIT-Zentrums Energie.

Lassen Sie sich neugierig machen!

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

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

Gastbeitrag

Über Fachgrenzen hinweg denken – integrieren, was zusammengehört!



Regierungsdirektor Karl Wollin
Referat „Grundlagenforschung Energie“
des Bundesministeriums
für Bildung und Forschung

Bei aller Divergenz der Auffassungen über den richtigen Weg zu einer dauerhaft gesicherten, umweltverträglichen und erschwinglichen künftigen Energieversorgung besteht immerhin die gemeinsame Einsicht, dass die Lösung der Energiefrage eine der größten Herausforderungen für unsere Zukunft ist. Der weltweit steigende Energiebedarf, energiebezogene politische Konflikte und die schwierige Diskussion über Klimaschutzvereinbarungen machen die internationale Dimension dieser Aufgabe deutlich.

Auf der Suche nach innovativen Lösungen, die mit vertretbarem technischem und volkswirtschaftlichem Aufwand die Anforderungen an Energiesicherheit und Klimaschutz erfüllen, kommt der Forschung eine Schlüsselrolle zu. Es ist ratsam, eine Energiestrategie zu verfolgen, bei der die Versorgung auf einem Mix verschiedener Energieträger beruht, um auf sich ändernde Rahmenbedingungen flexibler reagieren zu können. Denn die politischen, sozialen, ökonomischen, ökologischen und klimatischen Entwicklungen und die resultierenden Handlungsspielräume der Politik sind für die nächsten Jahrzehnte kaum vorhersehbar. Die Forschung sollte also vielfältige Lösungsoptionen bearbeiten, um den Weg für die Energiepolitik offenzuhalten. Dies betrifft besonders solche Ansätze, die bis zur Anwendungsreife noch langwierige grundlegende Forschung benötigen. Das BMBF sieht in diesem Bereich der Energieforschungsförderung seine besondere Aufgabe und hat sie mit dem Förderkonzept „Grundlagenforschung Energie 2020+“ aufgegriffen.

Die Energieforschung geht weit über die Entwicklung einzelner Technologien hinaus. Energiesysteme sind auch als Ganzes zu betrachten. Diesem Ansatz entspricht der vom BMBF ausgelobte Wettbewerb „Energieeffiziente Stadt“: Dabei geht

es um die Entwicklung von integrierten Konzepten für die energetische Optimierung ganzer Städte als eng verknüpfte Energiesysteme. Die Herausforderung besteht vor allem in der Zusammenarbeit unterschiedlicher Fach- und Zuständigkeitsbereiche.

Energie ist ein Querschnittsthema und spielt in verschiedenste Disziplinen hinein. Deshalb ist es ein ebenso erfreuliches wie beispielhaftes Signal für die Energieforschung, dass mit der Synthese des Karlsruher Instituts für Technologie aus der Universität und dem Forschungszentrum Karlsruhe eine Vielfalt von Kompetenzen und sich ergänzenden wissenschaftlichen Arbeiten rund um das Thema Energie zusammenfließen. Das KIT-Zentrum Energie besitzt das Potenzial, das führende Energieforschungszentrum Europas zu werden.

Der Ansatz des KIT-Zentrums Energie, an der Entwicklung eines Gesamtkonzepts für einen künftigen Energiemix zu arbeiten, trifft die Erfordernisse unserer energiepolitischen Zukunftssicherung. Dazu gehört unbedingt die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses in den Natur- und Ingenieurwissenschaften – gerade auch im Energiebereich. Das KIT-Zentrum Energie bietet mit seiner breit gefächerten Kombination von Forschung und Lehre in der KIT School of Energy eine attraktive Lehrstätte. Dazu tragen auch die Verbindungen zu anderen Universitäten und Zentren der Helmholtz-Gemeinschaft bei, die eine fruchtbare wissenschaftliche Arbeitsteilung und damit einen effizienten Einsatz öffentlicher Fördermittel ermöglichen.

Ich wünsche dem KIT-Zentrum Energie ein rasches Zusammenwachsen seiner Strukturen, ein kreatives Miteinander der Fachdisziplinen sowie den Zulauf exzellenter Wissenschaftler und junger Talente!

Karl Wollin

Nachhaltige Energien im Fokus – KIT kooperiert mit der University of Sharjah

Das KIT und die University of Sharjah (UOS) arbeiten künftig in Forschung und Lehre im Bereich Energie zusammen. Dazu haben Seine Hoheit Scheich Dr. Sultan Bin Mohammed Al-Qassimi, Supreme President der University of Sharjah, und KIT-Präsident Professor Dr. Eberhard Umbach kürzlich am KIT ein Memorandum of Understanding unterzeichnet. Der Scheich reiste mit einer zehnköpfigen Delegation aus den Vereinigten Arabischen Emiraten an. Auf dem Programm standen auch Besuche verschiedener Forschungseinrichtungen auf dem KIT-Campus Nord und Süd.

Die Kooperation umfasst gemeinsame Projekte zu zentralen Fragen der Energieversorgung. Im Fokus stehen die erneuerbaren Energien. Vorgesehen sind aber auch Projekte zu Energieumwandlung, Energiespeicherung und Energieverteilung sowie effizienter Energienutzung. In der Lehre werden KIT und UOS bei der Masterausbildung im Bereich Energie zusammenarbeiten und Doktorandenprogramme anbieten. Überdies sind Austauschprogramme für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sowie für Studierende geplant.

Schardscha (englisch Sharjah) ist mit rund einer Million Einwohnern das drittgrößte der Vereinigten Arabischen Emirate. Innerhalb dieser stellt die UOS eine der bedeutendsten Universitäten dar. Der Herrscher von Schadscha, Seine Hoheit Scheich Dr. Sultan Bin Mohammed Al-Qassimi, gründete die Universität 1997 nach amerikanischem Vorbild. Heute beträgt der Frauenanteil unter den Studierenden mehr als 50 Prozent. Schwerpunkte der Forschung an der UOS liegen auf Naturwissenschaften und Ingenieurwissenschaften sowie Medizin und Architektur. Trotz der hohen Erdölvorkommen in der Golfregion befassen die Wissenschaftler an der UOS sich auch intensiv mit erneuerbaren Energien, mit Möglichkeiten, Energie effizient zu speichern und zu verteilen, sowie mit Energiesystemanalyse. Diese Themen gehören auch zu den Topics des KIT-Zentrums Energie.



Seine Hoheit Scheich Dr. Sultan Bin Mohammed Al-Qassimi und Professor Dr. Eberhard Umbach (vorn) sowie Professor Samy Mahmoud/Chancellor and CEO der UOS, Dr. Amr Abdel-Hamid/Special Advisor for Higher Education and Research der UOS, Dr. Peter Fritz/Vizepräsident des KIT, Dr. Alexander Kurz/Vizepräsident des KIT (hinten, von links).



Besichtigung der bioliq®-Pilotanlage auf dem KIT-Campus Nord. Aus Holzschnitzeln und anderen Reststoffen entstehen hochwertige Kraftstoffe.

Nach der feierlichen Unterzeichnung des Memorandum of Understanding am KIT besichtigten die Gäste die Pilotanlage für bioliq®, ein Verfahren, mit dem sich aus land- und forstwirtschaftlichen Reststoffen hochwertige synthetische Kraftstoffe herstellen lassen, sowie eine Laboranlage für den neuartigen Zement Celitement, dessen Herstellung Energie einspart und den CO₂-Ausstoß verringert. Weiterhin besuchten sie die Synchrotronstrahlungsquelle ANKA sowie die Labors des Lichttechnischen Instituts und des Instituts für Thermische Strömungsmaschinen.

Wolfgang Breh

Weitere Infos:

Dr. Wolfgang Breh
Geschäftsführer
KIT-Zentrum Energie
Telefon +49 7247 82-5540
E-Mail wolfgang.breh@kit.edu



Innovation und Energie für Europa – KIC InnoEnergy

Insgesamt 35 Universitäten, Forschungseinrichtungen und Unternehmen bilden das europäische Konsortium KIC InnoEnergy. Sie treten an, ein nachhaltiges Energiesystem zu schaffen, Innovationen im Energiebereich voranzutreiben und Europa im weltweiten Wettbewerb auf dem Sektor der Energietechnologien zu stärken. Die Koordination des Aufbaus von KIC InnoEnergy liegt beim KIT.

KIC steht für „Knowledge and Innovation Community“. Das Europäische Innovations- und Technologieinstitut (EIT) hat Ende vergangenen Jahres unter insgesamt 20 Anträgen drei KICs zur Förderung ausgewählt: EIT ICT Labs beschäftigt sich mit der künftigen Informations- und Kommunikationsgesellschaft, Climate-KIC behandelt Strategien zur Anpassung an den Klimawandel und zu seiner Minderung, KIC InnoEnergy befasst sich mit nachhaltiger Energieversorgung. Das EIT fördert diese drei Wissens- und Innova-

tionsgemeinschaften mit insgesamt 308 Millionen Euro.

Übergeordnetes Ziel von KIC InnoEnergy ist, bis 2050 ein nachhaltiges Energiesystem für Europa zu schaffen, entsprechend dem Strategieplan für Energietechnologie (SET-Plan) der Europäischen Kommission. Es gilt, kohlenstoffemissionsarme Technologien weiterzuentwickeln, die Innovationskette so zu strukturieren, dass Produkte schneller auf den Markt kommen, und die Konkur-

renzfähigkeit Europas im weltweiten Wettbewerb zu sichern. Dies erfordert die europaweite Vernetzung des Innovationswissens sowie eine unternehmerische Denkweise in Forschung, Lehre und Innovation. So wird das Konsortium KIC InnoEnergy als Europäische Gesellschaft (SE) mit eigenem CEO auf Basis eines Businessplans geführt werden.

KIC InnoEnergy gliedert sich in sechs regional gebündelte Co-Locations: Benelux, Iberia, Alps Valleys, Sweden, PolandPlus und Germany. Das deutsche Co-Location Centre (CC) bildet das gesamte Wissensdreieck aus Innovation, Ausbildung und Forschung ab. Beteiligt sind neben dem KIT als Ankerpunkt des CC auch die Universität Stuttgart und das DLR sowie die Firmen SAP, EnBW und Intel. Weitere wichtige Partner im Bereich der Innovation sind das Steinbeis-Europa-Zentrum, die Landesbank Baden-Württemberg und das Fraunho-

fer-Institut für System- und Innovationsforschung.

Die sechs Co-Locations koordinieren je ein wichtiges Thema für alle Partner des Konsortiums. Im Fokus der deutschen Co-Location stehen chemische Energieträger wie Wasserstoff, Alkohole sowie Kohlenwasserstoffe, wie sie sich beispielsweise aus Biomasse gewinnen lassen. Diese chemischen Energieträger zeichnen sich durch hohe Energiedichte sowie universelle Verwendbarkeit aus. Überdies besitzen sie den Vorteil, dass sie sich über herkömmliche Infrastrukturen wie Tankstellen oder Pipelines speichern und verteilen lassen. Die Forschung in KIC InnoEnergy befasst sich mit der Charakterisierung der chemischen Energieträger, mit ihrer Herstellung und mit Energiewandlungsanlagen auf ihrer Basis.

Zu den Partnern im Gesamtkonsortium gehören der Energieversorger EDF (Électricité de France SA), das Mineralölunternehmen TOTAL, der Elektrotechnikkonzern ABB, die KTH (Königlich Technische Hochschule) in Stockholm, das französische CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives) sowie ESADE in Barcelona, eine der führenden Business Schools in Europa. Wie das KIT baut auch KIC InnoEnergy auf das Wissensdreieck Forschung – Lehre – Innovation. Bei der europaweiten Koordination des KIC-Antrags durch das KIT spielte das KIT-Zentrum Energie eine zentrale Rolle. Der Erfolg des Antrags unterstreicht die



Bedeutung des KIT-Zentrums Energie als eine der führenden Energieforschungseinrichtungen in Europa.

Für die kommenden vier Jahre plant KIC InnoEnergy, im Energiebereich 65 Patente sowie 50 Ausgründungen hervorzubringen. 90 neue Produkte sollen auf den Markt kommen. Überdies ist vorgesehen, 1500 Masterstudierende und Doktoranden auszubilden. Das Konsortium erhält in einer ersten Phase bis 2014 voraussichtlich jährlich rund 30 Millionen Euro an EIT-Fördermitteln. Im Jahr 2011 wird das Jahresbudget von KIC InnoEnergy

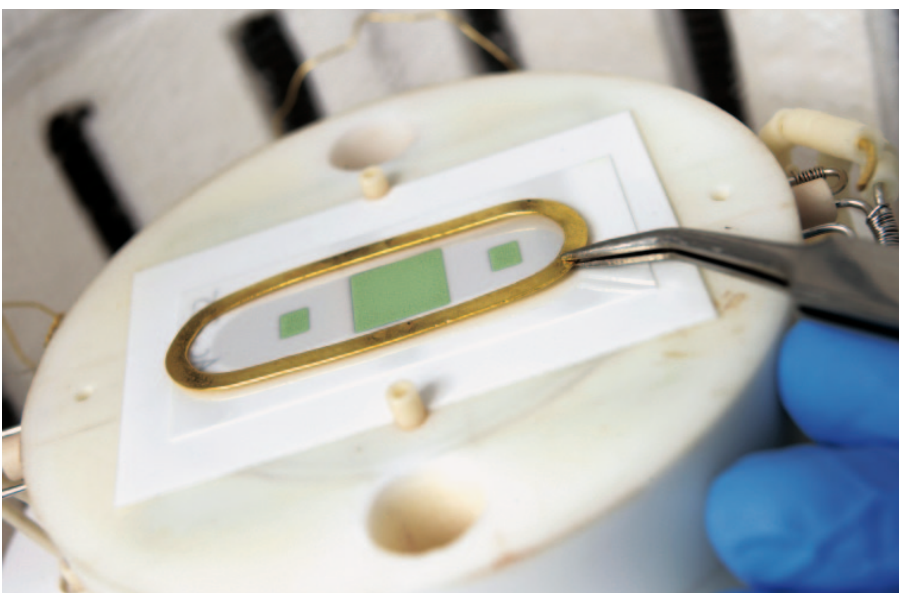
rund 110 Millionen Euro betragen; in den folgenden Jahren soll es kontinuierlich wachsen. Davon kommt rund ein Viertel vom EIT; rund drei Viertel werben die Mitglieder des Konsortiums ein. Auch die Landesregierung von Baden-Württemberg hat bereits zusätzliche Mittel zugesichert: Sie wird die Co-Location Germany mit dem KIT als Zentrum für fünf Jahre mit einem jährlichen Zuschuss von drei Millionen Euro unterstützen.

Ende März dieses Jahres hat das KIT als Koordinator ein „Preparatory Grant Agreement“ über eine Million Euro zum Aufbau der Strukturen von KIC InnoEnergy unterzeichnet. Im Juli werden KIC InnoEnergy und EIT ein „Framework Partnership Agreement“ unterzeichnen, das den Rahmen der Zusammenarbeit für die kommenden sieben Jahre absteckt. Die KICs gelten als operative Einheiten des EIT, sind aber in ihrer internen Struktur und Verwaltung unabhängig. Sie bestimmen ihre Organisation, ihre Arbeitsmethoden und ihren Zeitplan selbst.

Hans-Jörg Bauer

Weitere Infos:

Professor Dr. Hans-Jörg Bauer
Wissenschaftlicher Sprecher
KIT-Zentrum Energie und KIC InnoEnergy
Telefon +49 721 608-3240
E-Mail hans-joerg.bauer@kit.edu



Forschung zur Brennstoffzelle am KIT.



Geothermie liefert Strom und Wärme aus der Tiefe der Erde.

Gebündelte Kompetenzen – Landesforschungszentrum für Geothermie

Die Erdwärme als umweltfreundliche und grundlastfähige Energie noch besser erschließen, Chancen nutzen und Risiken minimieren – das sind die Ziele des Landesforschungszentrums für Geothermie. Das KIT wirkt federführend in der neuen Einrichtung, welche die Kompetenzen führender Forschungsstandorte in Baden-Württemberg zusammenführt.

Am KIT sind alle für die Geothermie relevanten Bereiche vertreten: von der geologischen und mineralogischen Forschung über Ingenieurwissenschaften und Materialwissenschaften bis hin zur Energiesystemanalyse und Technikfolgenabschätzung. Insgesamt 13 Institute sind mit der Geothermie-Forschung befasst. Dazu kommen drei Stiftungsprofessuren: Geothermie, Technische Petrophysik sowie Tektonik und Strukturgeologie. Diese Breite und Tiefe der in Karlsruhe angesiedelten Forschung haben das Land Baden-Württemberg bewegt, dem KIT die Federführung im neuen Landesforschungszentrum für Geothermie zu über-

tragen. Als Anschubfinanzierung erhält das KIT in den kommenden drei Jahren insgesamt 900 000 Euro vom Wissenschaftsministerium und vom Umweltministerium des Landes.

„Es handelt sich quasi um ein übergreifendes, aber virtuelles Institut, das die Geothermie-Forschung im Land durch Bündelung verstärkt und koordiniert und zudem als neutraler Berater der Landesregierung in allen Fragen der Erschließung und Nutzung von Erdwärme fungiert“, erklärt Dr. Karl-Friedrich Ziegahn. Der Topic-Sprecher Erneuerbare Energien im KIT-Zentrum Energie gehört zusammen

mit Professor Dr. Frank Schilling, Lehrstuhl Technische Petrophysik, Professor Dr. Theodoros Triantafyllidis, Leiter des Instituts für Bodenmechanik und Felsmechanik, sowie dem kürzlich berufenen Professor Dr. Thomas Kohl, Lehrstuhl für Geothermie, zu dem Team, das die neue Einrichtung konzipiert und aufbaut. In der Geschäftsstelle des Landesforschungszentrums, die derzeit in Karlsruhe eingerichtet wird, werden die Informationen zu geplanten und laufenden Projekten zusammenlaufen.

Die eigentliche Forschung geschieht in den bestehenden wissenschaftlichen Einrichtungen. Neben dem KIT sind besonders die Universitäten Heidelberg, Freiburg, Stuttgart und Tübingen beteiligt. Die Forschungsarbeiten befassen sich vor allem mit der tiefen Geothermie. Sie decken die gesamte Prozesskette ab: von der Erkundung über Erschließung und nachhaltige Bewirtschaftung bis hin zur Energieumwandlung. Dabei gilt es,

potenzielle Erdwärmequellen bereits während der Erkundung auf Ergiebigkeit und umweltgerechte Erschließbarkeit zu prüfen, ihre wirtschaftliche Nutzung durch tiefe Bohrungen zu gewährleisten sowie die Nachhaltigkeit von Geothermie-Technologien zu untersuchen. Die Projekte richten sich vor allem darauf, Strom aus der tiefen Geothermie zu erzeugen sowie die Erdwärme mit anderen Quellen wie Sonne oder Biomasse zu kombinieren.

Auch die Sicherheit geothermischer Anlagen ist Thema der Forschung. Es geht

darum, Risiken zu minimieren, beispielsweise durch verbesserte Kenntnisse über induzierte Seismizität. Das Landesforschungszentrum für Geothermie berät auf der Basis der Forschungsergebnisse Regierung, Kommunen und Behörden in Sicherheitsfragen. Dabei nimmt es eine neutrale Position ein. Es ist mit der Moderation von Workshops betraut, die Chancen und Risiken der Erdwärmennutzung behandeln.

Erdwärme ist eine nach menschlichen Maßstäben fast unbegrenzte Ener-

gieform. Die im zugänglichen Teil der Erdkruste gespeicherte Wärme stammt teils von der Restwärme aus der Erdentstehungszeit, teils aus radioaktiven Zerfallsprozessen in der Erdkruste. Ganz nah an der Oberfläche kommen die Sonneneinstrahlung und der Kontakt mit der Luft hinzu. Die Erdkruste wird in der Tiefe durchschnittlich alle 33 Meter um ein Grad Celsius wärmer. Aus den tieferen Teilen der Erde gelangt die Wärme durch Wärmeleitung und Konvektion in zugängliche Tiefen. Die Wärme der obersten Bodenschichten lässt sich über Erdwärmesonden oder Erdwärmekollektoren und Wärmepumpen direkt zum Heizen oder Kühlen einsetzen (oberflächennahe Geothermie). Die tiefe Geothermie hingegen erfordert in der Regel 3000 bis mehr als 5000 Meter tiefe Bohrungen. So lässt sich Wärme von deutlich über 100 bis weit über 300 Grad Celsius gewinnen, die sich nicht nur direkt, sondern auch zur Stromerzeugung nutzen lässt.

Während andere erneuerbare Energien wie Sonne und Wind zeitlich schwanken, besitzt die Geothermie – wie übrigens auch die Biomasse – den Vorteil der Grundlastfähigkeit. Das heißt, Erdwärme ist unabhängig von Tages- oder Jahreszeit und Witterung gleichmäßig verfügbar. Ein weiterer Vorzug der Geothermie ist ihr geringer Platzbedarf an der Oberfläche. Sie bietet daher große Chancen für eine dezentrale, umweltfreundliche Energieversorgung und wird im Energiemix der Zukunft eine wichtige Rolle spielen. In Baden-Württemberg kommt der Geothermie besondere Bedeutung zu. So weist Karlsruhe dank seiner Lage im Oberrheingraben ausgesprochen günstige geothermische Bedingungen auf: In einer relativ geringen Tiefe von knapp 3000 Metern beträgt die Temperatur bereits etwa 160 Grad Celsius.

Karl-Friedrich Ziegahn
Joachim Fuchs

Weitere Infos:

Dr. Joachim Fuchs
Programmbevollmächtigter
Programmleitung Umwelt
Telefon +49 7247 82-8596
E-Mail joachim.fuchs@umwelt.fzk.de



Niederschlagsbildung von Bariumsulfat zur Simulation einer realen Sole.



Tiefe CO₂-Erdwärmesonde am Standort Nussbach im Nordschwarzwald.

Kraft-Wärme-Kopplung für den Hausgebrauch

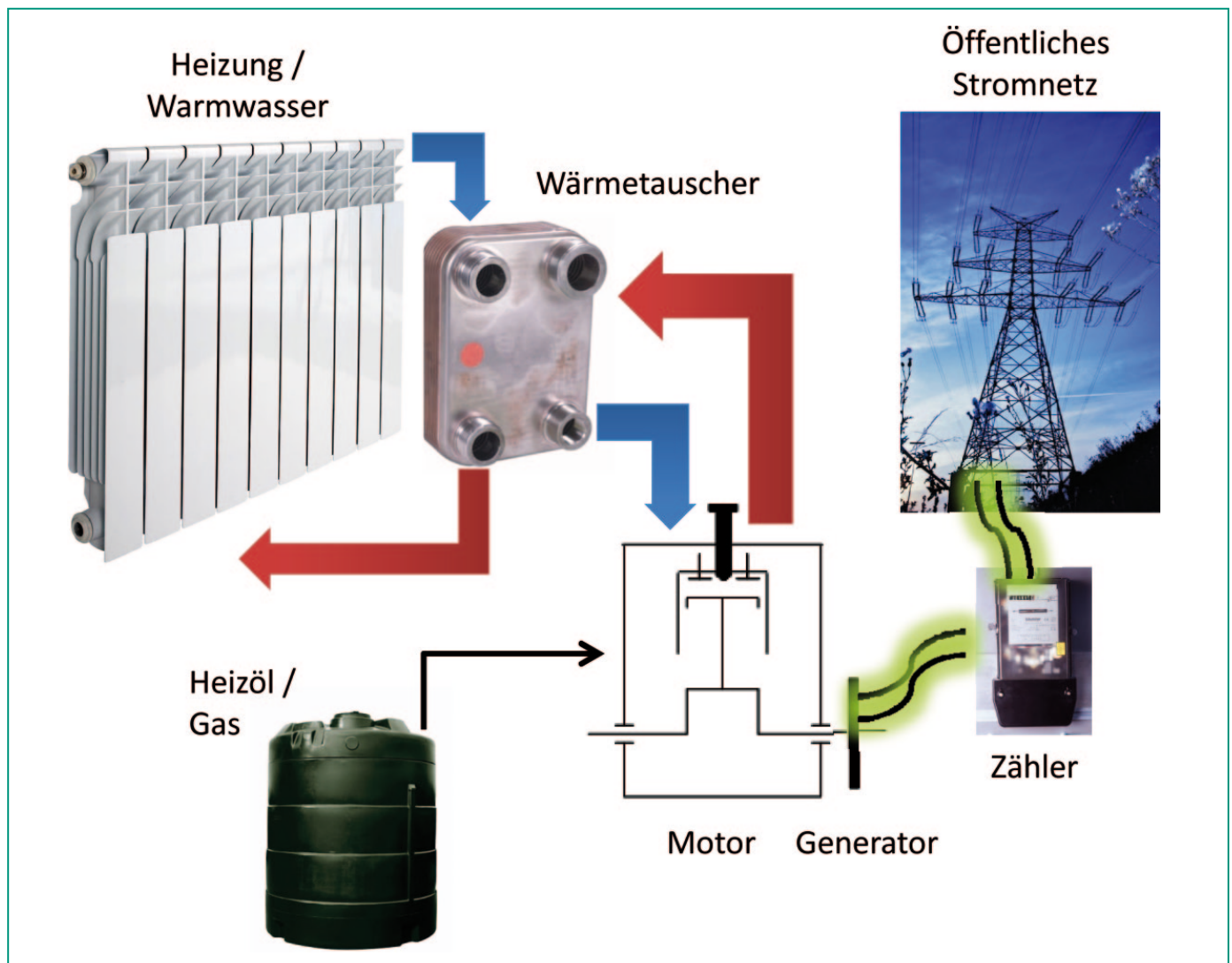
Mini-Blockheizkraftwerke bieten eine nachhaltige Strom- und Wärmeversorgung für Einfamilienhäuser. Dank ihres hohen Gesamtwirkungsgrads tragen sie dazu bei, Energiekosten und CO₂-Emissionen zu senken. Forscher des KIT-Zentrums Energie arbeiten an der Optimierung von Motoren und Verbrennungsvorgängen.

Rund 15 Prozent der gesamten CO₂-Emissionen in Deutschland sind auf Verbrennungsvorgänge in Haushalten zurückzuführen (Stand 2008). Angesichts der steigenden CO₂-Konzentration in der Atmosphäre und der damit einhergehenden Erderwärmung ist es dringend geboten, die CO₂-Emissionen in allen Bereichen deutlich zu reduzieren, um bleibenden Umweltschäden entgegenzuwirken. In Kraftwerken lässt sich dazu die

Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) einsetzen: Sie liefert neben elektrischem Strom auch nutzbare Wärme, beispielsweise für Heizzwecke. 30 bis 40 Prozent der in einem Kraftwerk zugeführten Energie werden in Strom umgewandelt. Durch Nutzung der Restwärme steigt der Gesamtwirkungsgrad des Kraftwerks auf 80 bis 90 Prozent.

In Haushalten lassen sich Mini-Blockheizkraftwerke einsetzen, um Brennstoffbe-

darf und Schadstoffausstoß zu senken. Es handelt sich dabei um Anlagen zur Strom- und Wärmeerzeugung, die in der Regel eine elektrische Leistung von unter 30 kW liefern (Mini-Kraft-Wärme-Kopplung). Ein Verbrennungsmotor wandelt prinzipbedingt rund zwei Drittel der im Kraftstoff gebundenen Energie in Wärme um. Diese Wärme lässt sich durch KWK nutzen, wodurch der Gesamtwirkungsgrad der Anlage beträchtlich steigt. Ein Verbrennungsmotor mit geringem Schadstoffausstoß, betrieben im Kennfeldpunkt mit optimalem Wirkungsgrad, der chemische Energie in elektrische Energie umwandelt und dessen Restwärme sich beispielsweise zum Beheizen eines Niedrigenergiehauses nutzen lässt, stellt für einen Haushalt eine ebenso wirtschaftliche wie umweltfreundliche Lösung dar.



Aktuelle Forschungs- und Entwicklungsarbeiten am KIT-Zentrum Energie zeigen, dass sich die Schadstoffbildung innerhalb von Motoren durch Optimierung der Brennverfahren weitestgehend vermeiden lässt. Geschickte Verbrennungsführung erspart demnach auch technisch aufwendige und kostspielige Systeme zur Abgasnachbehandlung. Die Tatsache, dass der Verbrennungsmotor bei der KWK stationär in einem Kennfeldpunkt betrieben wird, verspricht ein hohes Potenzial in Bezug auf Wirkungsgrad und Emissionsreduzierung. So lässt sich ein teilhomogenes Brennverfahren gut auf eine konstante Drehzahl abstimmen, wodurch der Wirkungsgrad steigt und der Schadstoffausstoß deutlich sinkt. Die Drehzahl beträgt bei der vorliegenden Netzfrequenz von 50 Hz und einer direkten Anbindung der E-Maschine an die Kurbelwelle konstant 1500 (oder 3000) min^{-1} .

Um Wirkungsgrad und Emissionen abzuschätzen, stellen die KIT-Forscher Vergleichs- und Auslegungsrechnungen mithilfe von 0-D- und 1-D-Simulationen an. Für thermodynamische Modellrechnungen wird das am Institut für Kolbenmaschinen (IFKM) entwickelte Analyse- und Simulationstool BREMO eingesetzt. Basis der thermodynamischen Druckverlaufsanalysen ist dabei wahlweise ein Ein-Zonen- oder ein Zwei-Zonen-Modell, mit dem sich anhand von Zylinderdruckverläufen eine genaue Analyse vornehmen lässt. Als Ergebnisse liegen beispielsweise die Massenmitteltemperaturen sowie der Massenumsatz und die Umsatzgeschwindigkeit vor. Mit diesen Simulationen lassen sich die Qualität der Verbrennung, der Wirkungsgrad und der Schadstoffausstoß vorausberechnen.

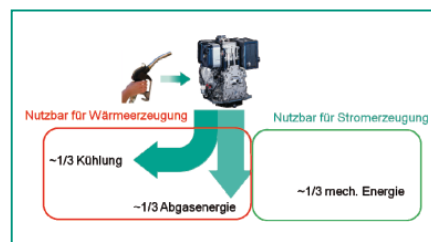
Das wichtigste Ziel dieser Vergleichs- und Auslegungsrechnungen besteht in einer Optimierung des Ladungswechsels und der Verbrennung. Der Betrieb des Dieselmotors bei einer konstanten Drehzahl und in einem engen Lastbereich erlaubt eine bessere Abstimmung des Ladungswechsels und der Verbrennung in diesem Betriebspunkt. So lässt sich mit geringen Anpassungen der Saug- und Abgasstrecke eines konventionellen Dieselmotors ein teilhomogenes Brennverfahren mit ausgesprochen niedrigen Ruß- und Stickoxidemissionen realisieren. Die Abgaskomponenten CO und HC werden



Bild: Grabschreit/pixelio



Bild: Hofschlaeger/pixelio



Das Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)

mit einem kostengünstigen Oxidationskatalysator reduziert. Insgesamt ergibt sich dadurch ein äußerst emissionsarmes Motorkonzept.

Die Entscheidung für eine Mini-KWK-Anlage hängt nicht zuletzt auch von den Kosten ab, die sowohl bei der Anschaffung als auch während des laufenden Betriebs anfallen. Die Anschaffungskosten setzen sich aus den Kosten für den Motor und für die erforderliche Peripherie zusammen. Der Betrieb der KWK-Anlage bringt neben der anfallenden Wärme

auch Einnahmen durch die Stromeinspeisung. Allerdings fallen zugleich Kosten für Wartung und Betriebsstoffe an, die in die Berechnung einzubeziehen sind. Grundlage ist eine Analyse der Betriebsstunden und der Wartungszyklen.

Ein so genanntes Drei-Liter-Haus benötigt im Jahr drei Liter Heizöl pro Quadratmeter Außenfläche. Für ein Niedrigenergie-Einfamilienhaus mit 300 Quadratmetern Außenfläche ist demnach ein Verbrauch von 900 Litern Heizöl im Jahr zu veranschlagen. Dies entspricht einer in Kraftstoff gebundenen Wärmemenge von 8000 kWh (28,8 GJ) und einem durchschnittlichen Wärmebedarf von 22 kWh pro Tag. Dieser Wärmebedarf lässt sich durch eine konventionelle Gebäudeheizung oder durch die anfallende Restwärme einer Verbrennungskraftmaschine decken. Mit einem Generator können zusätzlich etwa 11 kWh Strom pro Tag ins Netz eingespeist werden.

Diese elektrische Leistung lässt sich zur Deckung von Spitzenlasten im Versorgungsnetz schnell und bedarfsgerecht aufschalten, aber auch wie bei einem Fahrzeug in einem elektrochemischen Speicher (Redox-Flow-Batterie) speichern und zur Deckung des Eigenbedarfs verwenden. Grundsätzlich ließe sich die Redox-Flow-Batterie auch zur Spitzenlastspeicherung sinnvoll einsetzen, da sie im Unterschied zu anderen Batteriesystemen (beispielsweise Lithiumsystemen) keine Limitationen der Zyklenfestigkeit aufweist, das heißt beliebig viele Lade- und Entladevorgänge verkraftet. Die bei der Verbrennung entstehende Wärme lässt sich in Wärmespeichern speichern. Daher ist eine derartige bedarfsgeregelte elektrische Versorgung auch für Netzbetreiber attraktiv. Ein Mini-Blockheizkraftwerk bietet demnach eine nachhaltige Strom- und Wärmeversorgung für Einfamilienhäuser. Dank seines hohen Gesamtwirkungsgrads und der Nähe der Wärmequelle zum Verbraucher trägt es nennenswert dazu bei, CO₂-Emissionen zu reduzieren.

Amin Velji

Weitere Infos:

Dr. Amin Velji
Institut für Kolbenmaschinen
Telefon +49 721 608-8561
E-Mail amin.velji@kit.edu

PAT – Zerstäubung bei hohem Druck

Die am KIT errichtete Versuchsanlage PAT ist der weltweit einzige Prüfstand, an dem sich die physikalischen Grundlagen der Zerstäubung hochviskoser Suspensionsbrennstoffe bei hohem Umgebungsdruck untersuchen lassen. Ziel der Forschungsarbeiten an PAT ist die auf wissenschaftlichen Erkenntnissen basierte Entwicklung von Düsen zur Zerstäubung von hochviskosen Suspensionen (Slurry), wie sie beispielsweise im Flugstromvergaser des bioliq®-Verfahrens eingesetzt werden.

Bei dem im bioliq®-Verfahren eingesetzten Brennstoff handelt es sich um eine Suspension aus Pyrolysekondensaten und Pyrolysekoks. Sie ist zähflüssig und hat einen hohen Feststoffanteil, was besondere Anforderungen an Pumpen, Leitungen und Brennerdüsen stellt. Lagertanks müssen ständig gerührt werden, um zu verhindern, dass die Feststoffe sich am Boden absetzen.

Forscher des KIT-Zentrums Energie untersuchen die rheologischen Eigenschaften des Slurry grundlegend: Unter anderem messen sie die Viskosität und das Stoffverhalten als Funktion von Feststoffanteil, Druck und Temperatur. Mit Kenntnis der Stoffdaten bauen sie dann eine Slurry-

Teststrecke auf, in der sie unterschiedliche Pumpentypen sowie Rohrleitungs- und Rührwerksgeometrien auf ihre Slurry-Tauglichkeit untersuchen.

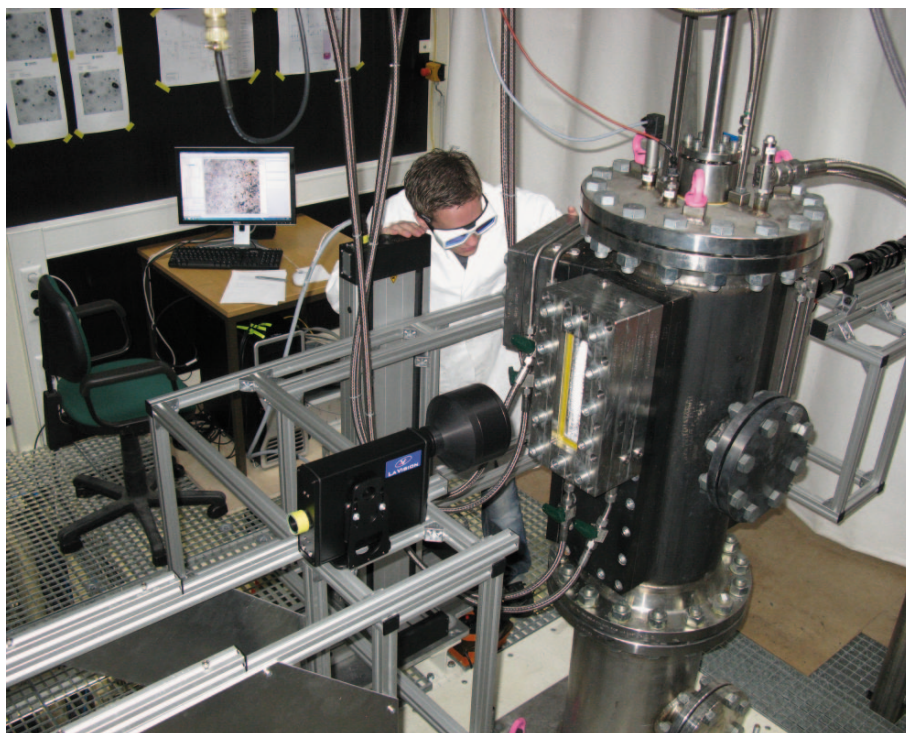
Der Slurry dient als Brennstoff für einen Hochdruck-Flugstromvergaser, in dem er bei Drücken von bis zu 80 bar und Temperaturen von rund 1500 K zu einem teerfreien Synthesegas ($\text{CO} + \text{H}_2$) umgesetzt wird. Dabei wird die Suspension über einen zentralen Flüssigbrenner in den Vergaser eingespeist und zerstäubt. Die hohen Viskositäten und die aufgrund der Stöchiometrie des Vergasungsprozesses nur begrenzte Verfügbarkeit von Sauerstoff machen die Zerstäubung allerdings schwierig.

Zunächst beobachteten die Forscher das Zerstäubungsverhalten an einem atmosphärischen Zerstäubungsprüfstand. Dabei setzten sie innen und außen mischende Zweistoffdüsen ein. Mit einem Phasen Doppler Anemometer untersuchten sie Tropfengröße und Geschwindigkeit des Sprays. Auf Basis der erarbeiteten Erkenntnisse wurden dann Zerstäuberdüsen für den Einsatz im atmosphärischen Flugstromvergaser REGA ausgelegt und mit Modellbrennstoffen getestet.

Um die Zerstäubung von Slurry bei Überdruckbedingungen bis 20 bar (abs.) zu untersuchen, bauten Wissenschaftler des Instituts für Technische Chemie (ITC-TAB) in enger Kooperation mit dem Engler-Bunte-Institut (EBI-VBT) in den vergangenen zwei Jahren das Pressurized Atomization Test Rig (PAT) auf. Im Januar dieses Jahres nahmen sie PAT in Betrieb. Die Versuchsanlage basiert auf einem Druckreaktor mit gerührter Flüssigkeitsvorlage. Um Sedimentation in den Leitungen zu verhindern, wird die Flüssigkeit über einen Bypass ständig umgewälzt.

Oberhalb des Reaktors sind zwei Dosierpumpen angebracht, welche die Flüssigkeit exakt geregelt zur Düse fördern. Dabei lässt sich der Massenstrom von 8 bis 200 kg/h variieren. Eine Hochdruckkompressoranlage liefert Druckluft von bis zu 45 bar bei einem Massenstrom von bis zu 500 kg/h. Am Kopf des Reaktors sitzt die axial verstellbare Zweistofflanze mit der Düse. Das Massenverhältnis von Zerstäubungsluft zu Flüssigkeitsstrom, die so genannte Air to Liquid Ratio (ALR), lässt sich zwischen 0,5 und 3 variieren. „PAT ermöglicht, über mehrere optische Zugänge das Zerstäubungsverhalten detailliert zu untersuchen und damit die wissenschaftlichen Grundlagen für die modellhafte Beschreibung der Zerstäubung von Suspensionen bei hohem Druck zu erarbeiten“, erklärt der Leiter der Abteilung Thermische Verfahren im ITC-TAB, Professor Dr. Thomas Kolb.

Ein Schattenbildverfahren erlaubt es, das Spray im Druckreaktor zu untersuchen. Der Shadowsizer basiert auf einer hochauflösenden CCD-Kamera mit Fernfeldmikroskop, die im Gegenlichtmodus mit einem lasergespeisten Diffusor betrieben

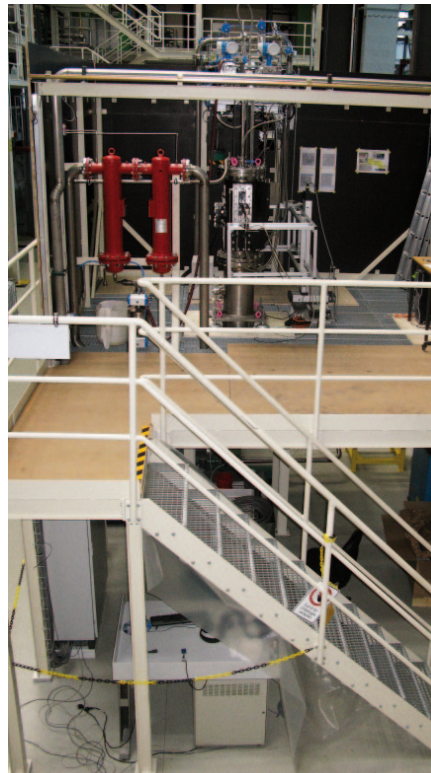


Zu PAT gehört ein Shadowsizer, der es ermöglicht, das Spray im Druckreaktor zu untersuchen.



Das Gebäude der bioliq®-Pilotanlage auf dem KIT-Campus Nord. Im Hochdruck-Flugstromvergaser wird ein Slurry zu Synthesegas umgesetzt.

wird. Dabei detektiert die Kamera die von den Tropfen geworfenen Schatten und ermittelt daraus sowohl die lokale Tropfengröße als auch die Geschwindigkeit der Tropfen. Der Shadowsizer ist auf einer Traversiereinheit montiert, die sich auf allen drei Achsen verschieben lässt. Messgerät und Traversiereinheit werden über einen zentralen PC angesteuert, was re-



Die Anlage PAT dient dazu, die Zerstäubung von Slurry bei Überdruckbedingungen zu untersuchen.

PAT – Technische Daten Reaktor

Länge	3,0 m
Durchmesser	0,3 m
Temperatur	20 – 50 °C
Druck	1 – 20 bar
Zerstäubungsdruck	1 – 45 bar
Massenstrom Slurry	8 – 200 kg/h
Massenstrom Luft	0 – 500 kg/h
Optische Zugänge	3

bioliq®

Das am KIT entwickelte Verfahren bioliq® dient dazu, hochwertige synthetische Kraftstoffe und Grundstoffe für die chemische Industrie aus Biomasse herzustellen. Eingesetzt werden Stroh und andere land- und forstwirtschaftliche Reststoffe. Gemeinsam mit dem Industriepartner Lurgi GmbH erprobt das KIT bioliq® in einer Pilotanlage auf dem Campus Nord. Das bioliq® Verfahren besteht aus drei Stufen: Schnellpyrolyse in dezentralen Anlagen, Flugstromvergasung und Synthesekraftstofferzeugung. Bei der Schnellpyrolyse entsteht aus der Biomasse eine Suspension von hoher Energiedichte. Dieser Slurry wird zusammen mit Sauerstoff einem Hochdruck-Flugstromvergaser zugeführt und zu Synthesegas umgesetzt, das sich wiederum vielfältig nutzen lässt.

produzierbare ortsaufgelöste Messungen im gesamten Spraykegel ermöglicht. Die großen optischen Zugänge des Reaktors und die axial verstellbare Zweistofflanze gestatten Sprayuntersuchungen direkt an der Düsenmündung, um den primären Strahlerfall zu beurteilen, aber auch in Abständen bis zu 500 mm von der Düse.

Erste Untersuchungen haben gezeigt, dass die Geometrie der Zerstäuberdüse auf den Reaktordruck abgestimmt werden muss, um eine konstant gute Zerstäubung zu gewährleisten. Aufgrund dieser Erkenntnisse haben die KIT-Forscher für die nächsten Versuchsreihen bereits neue Düsen berechnet und ausgelegt.

Tobias Jakobs

Weitere Infos:

Dipl.-Ing. Tobias Jakobs
 Institut für Technische Chemie
 Bereich Thermische Abfallbehandlung
 Telefon +49 7247 82-6763
 E-Mail tobias.jakobs@kit.edu



Messung der Dicke einer neu beschichteten Elektrode.

Auf den Speicher kommt es an

Die Bedeutung von Batterien für die Energieversorgung wächst. Karlsruher Forscher arbeiten an neuen Materialien und Konzepten für hochleistungsfähige Lithium-Ionen-Batterien. Ein Fokus liegt auf innovativen Nanokompositen.

Energiespeicher können dazu beitragen, bei der Energieversorgung Schwankungen von Angebot und Nachfrage auszugleichen. Dadurch lassen sich auch fluktuierende regenerative Energien wie Sonne und Wind breiter nutzen. Die Zukunft der individuellen Mobilität wird im Einsatz von Elektroautos gesehen, die zudem als Energiezwischenspeicher genutzt werden könnten. Wenn aber die Elektromobilität eine breite Akzeptanz finden soll, müssen die Batterien hohe Anforderungen erfüllen. Das bedeutet in Fahrzeugen mit vollelektrischem Antrieb: Die Batterien müssen eine Energiedichte über 200 Wh/kg und eine Leistungsdichte

von über 400 W/kg aufweisen. Sie müssen Temperaturen von -40 bis +50 Grad Celsius standhalten und eine Lebensdauer von mehr als zehn Jahren oder mehr als tausend Lade- und Entladezyklen besitzen. Die Kosten sollten unter 100 Euro/kWh liegen. Und nicht zuletzt müssen die Batterien hohe Sicherheitsstandards erfüllen. Batterietechnik ist daher ein zentrales Thema der Elektromobilität.

Forscher des KIT arbeiten an innovativen Technologien für verschiedene Arten von Energiespeichern. So laufen besonders innerhalb des Helmholtz-Programms NANOMIKRO Arbeiten zu Lithium-Ionen-Bat-

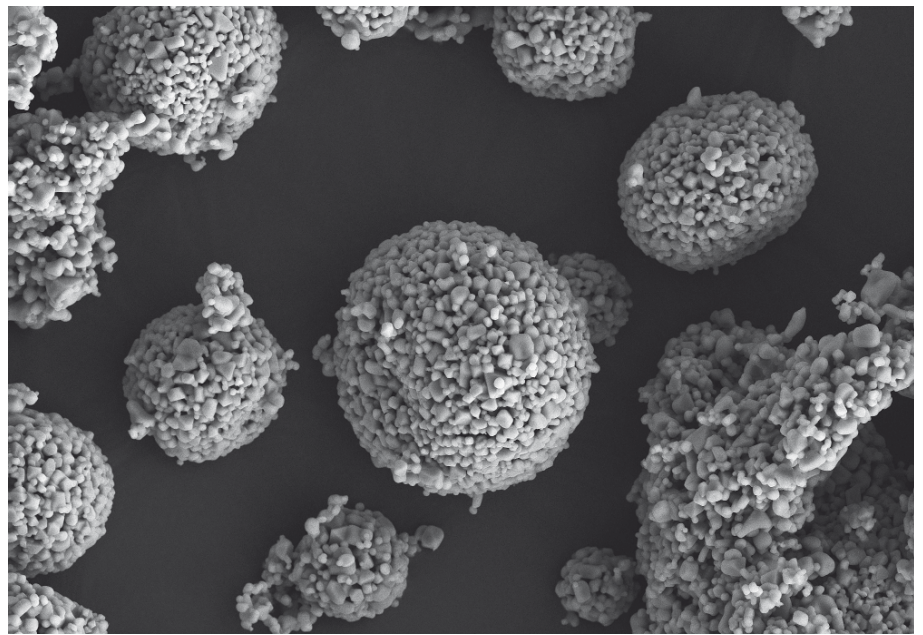
terien (LIB), die Grundlagenforschung mit anwendungsorientierter Entwicklung und dem Transfer in die Industrie verbinden. Die Arbeiten erstrecken sich entlang der gesamten Wertschöpfungskette – von der Auswahl der Materialien über Synthese, Processing und Systemintegration bis zur kompletten Zelle. Beteiligt am Programm NANOMIKRO sind mehrere Institute des KIT, die über hohe Kompetenzen in der gezielten Synthese, Charakterisierung und Funktionalisierung von nanoskaligen Materialien (beispielsweise reaktive Nanokomposite im Bereich Wasserstoffspeicherung) sowie im Aufbau und der Anwendung entsprechender Prozesstechnik bis zum Pilotmaßstab verfügen.

Die Arbeiten zu Lithium-Ionen-Batterien zielen darauf, großformatige Batterien, vor allem für den Automotive-Einsatz, in Energiedichte und Leistungsdichte, Zyklenstabilität sowie Lade- und Entla-

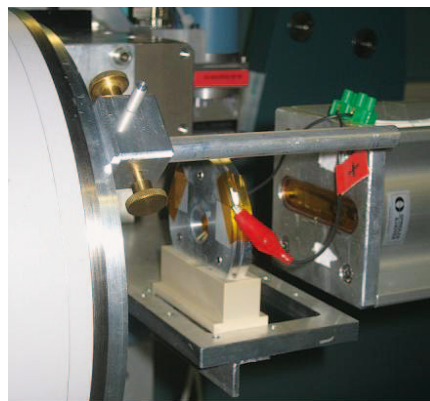
degeschwindigkeit zu verbessern. Dazu entwickeln und modifizieren die KIT-Wissenschaftler neuartige nanoskalige Materialien für Kathoden und Anoden in Batterien, und zwar sowohl Interkationsverbindungen (unter anderem Spinelle, Olivine) als auch Konversionsmaterialien (beispielsweise Fluoride, Oxide, Sulfide). Der Fokus liegt auf Nanokompositen. Die Forscher entwickeln, synthetisieren und charakterisieren neuartige Elektrolyte (Gel-Polymer-Elektrolyte, Ionic Liquids), bauen Elektroden und Zellen (Knopfzellen, Großzellen) auf und charakterisieren sie strukturell und elektrochemisch. Dabei setzen sie auch In-situ-Methoden ein, um die Materialdegradation im Zyklierprozess zu untersuchen, diesen materialseitig zu optimieren und die Systemkomponenten abzustimmen. Sie untersuchen und verbessern die Langzeitstabilität und das Temperaturverhalten und optimieren den Foliengießprozess.

Eingesetzt werden nasschemische Verfahren und Gasphasen-Syntheseverfahren sowie mechanische Techniken auf der Basis von Hochenergie-Kugelmahlen unter Inert- oder Reaktivbedingungen. PVD-Magnetron-Sputterverfahren dienen zur Herstellung und zum Maßschneiden von dünnen Schichten als Elektrodenmaterialien. Lasergestützte Prozesse werden zur Strukturierung und Modifizierung von Materialoberflächen eingesetzt; Coatingverfahren werden zur Partikel-Stabilisierung verwendet. Zur Material- und Zellcharakterisierung sowie zur Untersuchung von Degradationsprozessen steht neben der elektrochemischen Charakterisierung ein umfassendes Portfolio der Element-, Oberflächen- und Mikrobereichs- sowie Strukturanalyse bereit (unter anderem hochauflösende Li-NMR, REM, TEM), besonders In-situ-Techniken (beispielsweise XRD/XAS an der Synchrotronstrahlungsquelle ANKA, REM, Mößbauer, mechanische Charakterisierung).

Diese Arbeiten erfordern nicht nur einen interdisziplinären Ansatz, sondern auch Kooperationen mit Partnern aus Forschung und Industrie. So sind Lithium-Ionen-Batterien ein Thema im Projekthaus e-drive. Diese Forschungskooperation des KIT und der Daimler AG zu Elektroantrieben befasst sich mit Leistungselektronik, Steuerungs- und Regelungstechnik sowie elektrischen Energiespeichern und Elektromaschinen, um Forschung und



Nanoskaliges Speichermaterial: Li-Mn-Al-Oxyfluorid-Partikel (Institut für Materialforschung III).



Aufbau zur In-situ-Charakterisierung von LIB-Zellen mit Röntgendiffraktometrie.

Entwicklung für nachhaltige Mobilität voranzutreiben und Elektro- und Hybridfahrzeuge schneller zur Marktreife zu bringen. Die Programmleitung NANOMIKRO koordiniert den BMBF-Verbund Süd „Elektrochemie für Elektromobilität“, in dem neun Forschungsinstitutionen zusammenarbeiten, sowie innerhalb der LIB2015-Initiative des BMBF das Projekt „Lithium-Ionen-Batteriezellen auf Basis von neuartigen Nanokomposit-Materialien“ (LIB-NANO). In LIB-NANO kooperiert das KIT mit den Firmen Evonik Litarion, Li-Tec und IoLiTec mit dem Ziel, neuartige Zellmaterialien schnell zu großformatigen Batteriezellen aufzubauen und praxisnah testen zu können. Forscher am KIT-Campus Süd sind zudem am LIB2015-Projekt KoLiWin: „Konzeptstudien für neuartige

Li-Ionenzellen auf Basis von Werkstoffinnovationen“ beteiligt.

Innerhalb von wenigen Jahren ist es den Forschern des Programms NANOMIKRO somit gelungen, ihre Erfahrungen aus der Nanotechnologie-Forschung gewinnbringend in die Materialentwicklung für Lithium-Ionen-Batterien einfließen zu lassen und sich eine vielbeachtete Position in der LIB-Forschung zu erarbeiten. Zu den 20 grundfinanzierten Personalstellen konnten im gleichen Umfang drittmittelfinanzierte Mitarbeiter akquiriert werden. Durch die weitergehende Vernetzung mit Arbeitsgruppen am Campus Süd stellt das KIT einen Brennpunkt der Batterieforschung in Deutschland dar. Und die Prognose ist positiv: Weitere Berufungen von etablierten Forschern und Kooperationen mit Unternehmen sind in Vorbereitung.

Michael Harms

Weitere Infos:

Dr. Michael Harms
 Programmbevollmächtigter NANOMIKRO
 Telefon +49 7247 82-8104
 E-Mail michael.harms@kit.edu

Energiemonitoring auf dem Campus

Wie lassen sich Möglichkeiten zum Energiesparen für größere Immobilienbestände systematisch erschließen? In einem Pilotprojekt auf dem KIT-Campus Nord entwickeln Forscher eine Methode, den Energieverbrauch einer größeren Zahl von Gebäuden datenbankgestützt zu erfassen, zu vergleichen und zu bewerten.

Häufig genügt es schon, den Betrieb haustechnischer Anlagen zu optimieren, beispielsweise Regelungsparameter richtig einzustellen, um im Gebäudebestand bis über 30 Prozent Energie einzusparen. Ein energetisch nicht optimaler Betrieb wird allerdings oft trotz vorhandener Gebäudeleittechnik (GLT) nicht erkannt, weil einschlägige Daten, beispielsweise Anlagenlaufzeiten, nicht über längere Zeiträume gesammelt, zusammengeführt und ausgewertet werden. Ohne diese Daten aber lassen sich Nutzungsgrade, Jahresarbeitszahlen, effektive Heizkennlinien und andere relevante Werte nicht ermitteln, so dass keine Beurteilung der energetischen Qualität des Gebäudes und der technischen Anlagen möglich ist. Außerdem bieten viele GLT-Systeme die dazu erforderlichen Auswerterroutinen und Datenvisualisierungen nicht standardmäßig an oder deren Aktivierung oder Programmierung verlangt spezielle Kenntnisse.

Diese Probleme stellen sich nicht nur bei einzelnen Gebäuden, sondern auch bei Liegenschaften oder größeren Immobilienbeständen. Bei diesen kommt häufig noch hinzu, dass die Gebäude sich in Nutzung, Alter, Zustand, eventuell auch Standort und Klima unterscheiden, so dass die Daten sich nicht direkt vergleichen lassen. Die Folge ist, dass Instandsetzungsmaßnahmen nicht nach belegbaren Energieeffizienzkriterien vorgenommen werden. Auch Synergien zwischen Maßnahmen an der Gebäudehülle und an technischen Anlagen bleiben oft unbeachtet.

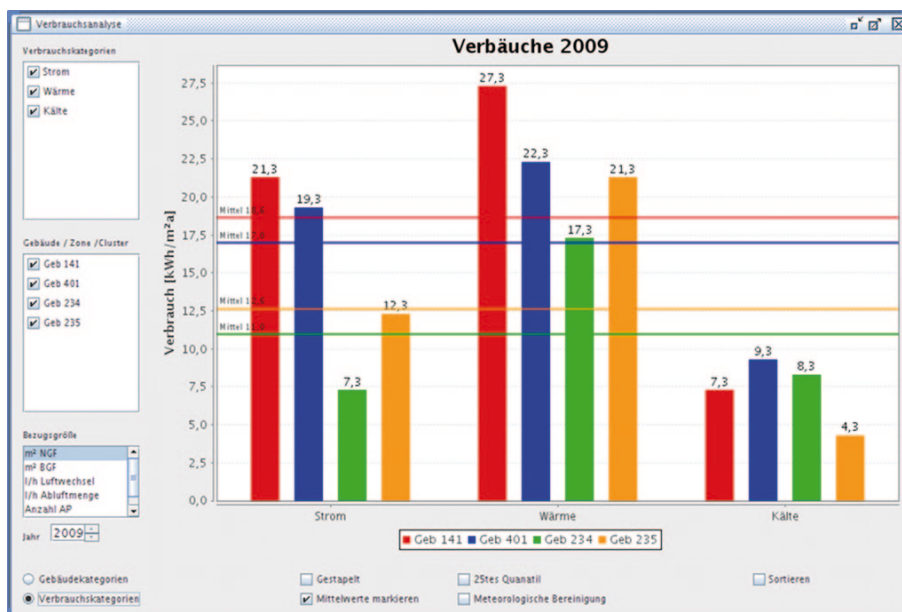
Durch gezielte Nutzung der meist vorhandenen Dateninfrastruktur (GLT) oder deren sukzessiven Aufbau lassen sich Energieeinsparpotenziale auf beiden Ebenen – Einzelgebäude und Liegenschaft – systematisch erschließen. Dazu ist es erforderlich, diese Dateninfrastruktur in

zwei Richtungen zu ergänzen und zu verbessern: durch Systematisierung und Aggregation vorhandener Datenpunkte in einer Datenbank sowie durch Implementierung von einfach zu bedienenden Visualisierungs- und Auswerterroutinen. Da am Markt viele verschiedene GLT-Systeme vorhanden sind, muss das Datenbanksystem als produktunabhängiger Aufsatz entwickelt werden.

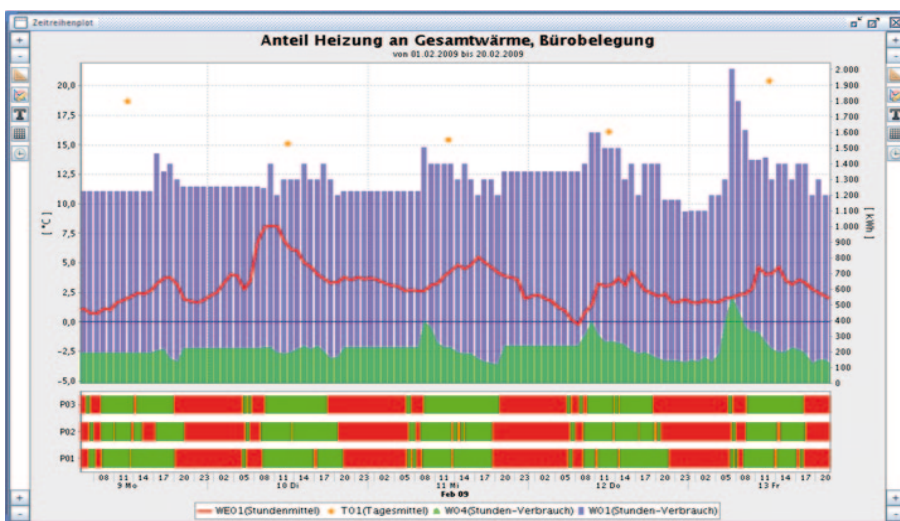
In einem Pilotprojekt erarbeiten Forscher des Fachgebiets Bauphysik und Technischer Ausbau (ftba) des KIT eine Methode, datenbankgestützt den Energieverbrauch von Gebäuden kontinuierlich zu erfassen, zu vergleichen und zu bewerten, um Einsparpotenziale bei möglichst geringem Personalaufwand systematisch zu erschließen. Der Fokus liegt auf größeren Immobilienbeständen. Die Methode wird prototypisch auf dem KIT-Campus Nord implementiert und getestet. Das Projekt läuft bis 2012 und wird vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) gefördert. Das ftba befasst sich seit über zehn Jahren mit dem Monitoring und der energetischen Optimierung von Gebäuden. So hat es die Monitoring-Software *MoniSoft* entwickelt und prototypisch bereits erfolgreich für Einzelgebäude eingesetzt.

Der KIT-Campus Nord umfasst rund 300 Gebäude. Die meisten sind Institutsgebäude mit unterschiedlichen Nutzungen und verschiedenen großen Laborbereichen. Sämtliche Gebäude sind auf eine zentrale Leittechnik aufgeschaltet (rund 1000 Zähler), über die sich für jedes Gebäude unter anderem die Gesamt-Wärmeverbräuche und Gesamt-Stromverbräuche als Viertelstundenwerte abrufen lassen. Die Energieverbrauchsdaten liegen ab dem Jahr 2000 vor. Über den Server der Gebäudebewirtschaftung sind zusätzlich die Flächendaten für sämtliche Gebäude verfügbar. Das Datenbanksystem des KIT-Campus Nord (SQL) ist auf einem Web-Server via Intranet zugänglich. Es ist weitgehend kompatibel mit der Software *MoniSoft*.

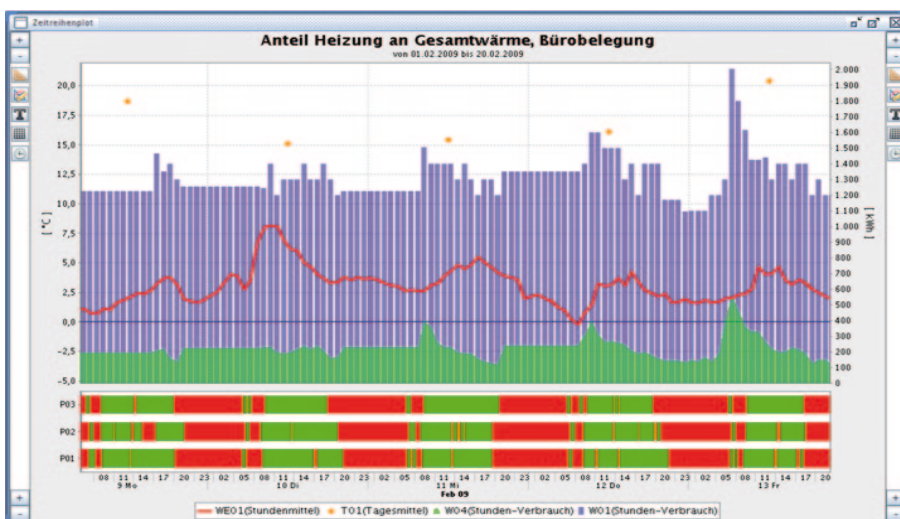
Zunächst erweitern die Forscher *MoniSoft* für das Einlesen und Bewerten von Daten aus mehreren Gebäuden. Anschließend erarbeiten sie eine auf den Messdaten-



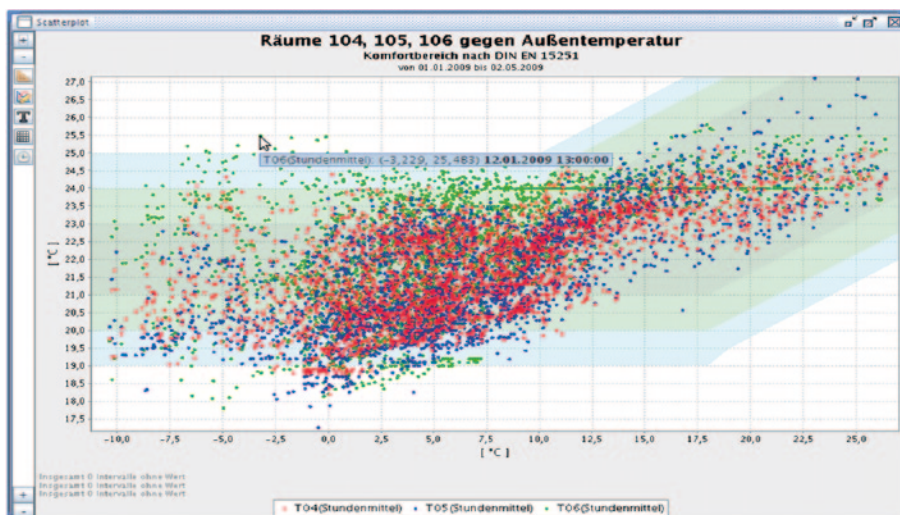
Vorläufiges Modul der Software MoniSoft: Damit lassen sich Verbrauchskategorien und Bezugsgrößen sowie Gebäude oder Gebäudecluster für vergleichende Betrachtungen frei zusammenstellen.



Grafik zur zeitlich feinen Analyse von kontinuierlichen Messdaten (beispielsweise Verbräuchen) und gebäudetypischen Zustandsdaten (beispielsweise Anlagenbetrieb an/aus, Präsenzmelder an/aus).



Carpetplot-Modul zur Detektion von Fehlbetrieb von regelmäßigen Verbrauchern (in der Abbildung Beleuchtung des Flurs).



Typischer Scatterplot mit hinterlegten Zielbereichen für den korrekten Gebäudebetrieb (in der Abbildung thermischer Komfortbereich).

punkten vom KIT-Campus Nord basierende Datenbank und richten sie auf dem fbta-Server ein. Es folgt das Überspielen der vorhandenen Verbrauchs-, Flächen- und Klimadaten aus den Jahren 2000 bis 2007. Die Wissenschaftler analysieren die Daten statistisch, prüfen verschiedene Bezugsgrößen, typisieren die Gebäude nach Nutzung, Alter, Zustand und weiteren Kriterien und werten die Daten auf der Basis von Modellen aus. Gebäudebegehungen, temporäre Messungen und temporäres Aufschalten von weiteren Datenpunkten (beispielsweise Anlagenlaufzeiten) erweitern die Datenlage.

Diese Arbeiten sollen aussagekräftige und belastbare Größen zum zielgerichteten Vergleich (benchmarking) der Gebäude sowie zum Identifizieren von Gebäuden mit hohem Instandsetzungsbedarf liefern. Es gilt, zum einen die energetische Qualität der Gebäudehülle zu bewerten, beispielsweise über die Heizkennlinie und die Kenntnis des Lüftungsanlagenbetriebs, zum anderen den Betrieb wichtiger haustechnischer Anlagen zu beurteilen. Die Forscher implementieren die neuen automatischen Auswerteroutinen und Visualisierungen in MoniSoft, spielen MoniSoft auf den Webserver des KIT-Campus Nord auf und verknüpfen sie mit der vorhandenen SQL-Datenbank. Es folgen der Test des Systems und die Verfeinerung der Auswerteroutinen, besonders an den Gebäuden, die im Rahmen des BBSR-Förderprogramms durch verschiedene Maßnahmen energetisch verbessert werden.

Andreas Wagner

Weitere Infos:

Professor Andreas Wagner
Leiter des Fachgebiets
Fachgebiet Bauphysik und Technischer
Ausbau (fbta)
Telefon +49 721 608-6511
E-Mail wagner@kit.edu

Millimeterwellen-Steuerungsantennen für ITER

Der internationale Experimental-Fusionsreaktor ITER, der zurzeit in Frankreich entsteht, benötigt ein spezielles Heizsystem, um das Plasma zu stabilisieren. Europäische Fusionslabors unter Federführung des KIT entwerfen dazu vier Antennen, die Millimeterwellen zielgenau in das Plasma einbringen. Am KIT entwickelte Diamantfenster ermöglichen es, hohe Leistungen einzuspeisen.

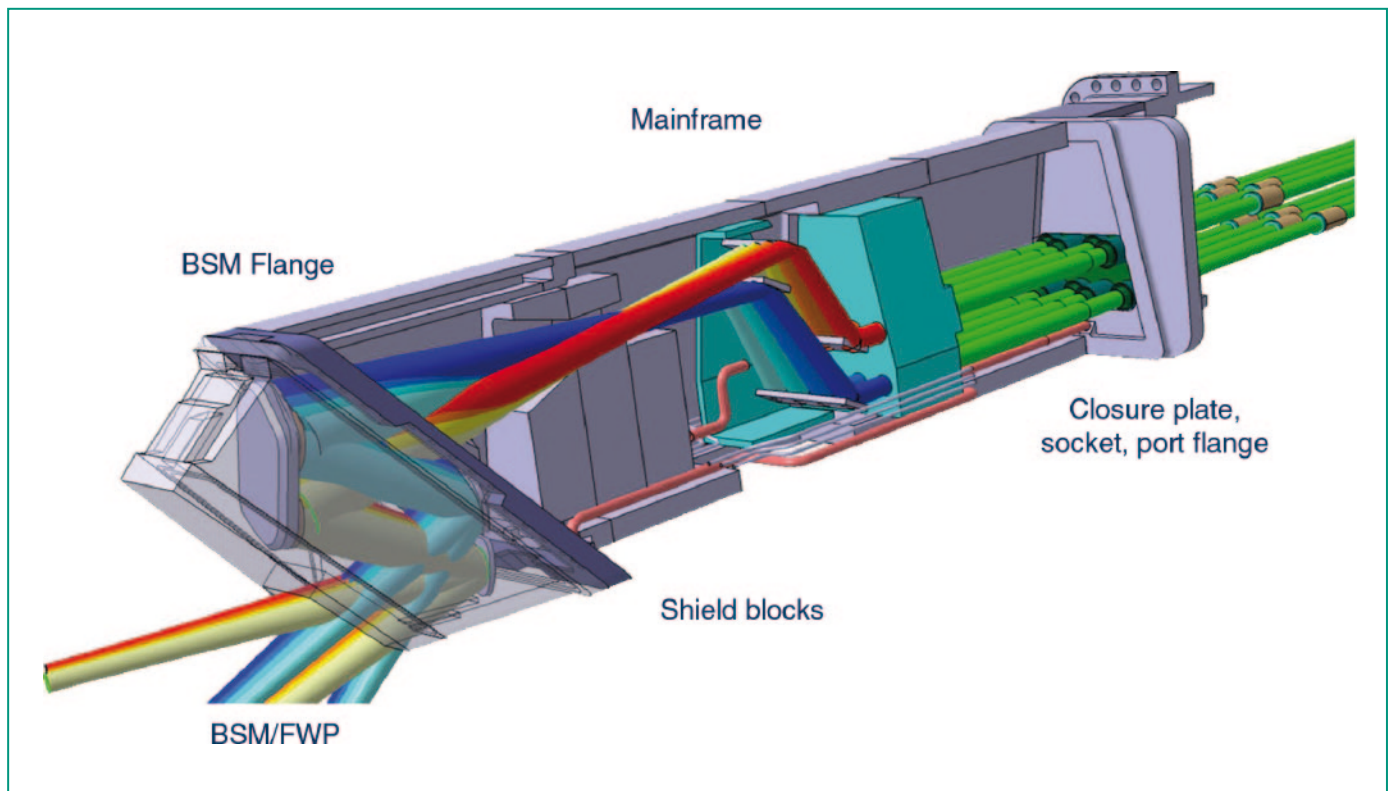
Innerhalb eines Fusionsreaktors übernimmt das Heizsystem eine zentrale Funktion. Es bringt das Plasma auf die erforderliche Temperatur von über 110 Millionen Grad Celsius. Die Elektron-Zyklotron-Resonanz-Heizung (ECRH) mit 170-GHZ-Mikrowellen (1,76 Millimeter Wellenlänge) nimmt dabei eine besondere Stellung ein: Sie ist als einzige Heizung fokussierbar genug, um Plasmainstabilitäten zu korrigieren. Bei ITER handelt es sich um einen Tokamak, das heißt, das Plasma wird in einem Torus von Magnetfeldspulen eingeschlossen, und der Reaktor arbeitet gepulst. Instabilitäten treten prinzipbedingt auf. Daher ist die ECRH zur Plasmastabilisierung für den

angestrebten Langpulsbetrieb (länger als fünf Minuten) unverzichtbar.

Die vier Antennen zur Plasmastabilisierung durch Millimeterwellenstrahlung (ECRH Upper Launcher) werden von europäischen Fusionslabors unter Führung des KIT entwickelt. Beteiligt sind das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP) in Garching, Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR; Italien), Centre de Recherches en Physique des Plasmas (CRPP; Schweiz) und ITER-NL (Niederlande). Das Design der vier Upper Launcher gliedert sich in zwei Bereiche: Strukturkomponenten und Millimeterwellensystem.

Bei den Strukturkomponenten handelt es sich um die Hauptstruktur, das Blanket Shield Module (BSM) und Schildblöcke zur Neutronenabschirmung. Während des regulären Betriebs von ITER werden die Komponenten der Ersten Wand, das heißt der Innenseite des Plasmabehälters, stark beansprucht. Ein Schwerpunkt der Entwicklung liegt daher auf Design und Herstellungsverfahren des BSM. Dieses wird mit einer aktiven Kühlstruktur pulvermetallurgisch gefertigt und plasma-seitig mit einer Berylliumschicht veredelt. Das Beryllium, das wie andere Beschichtungen bei Plasma-Wand-Kontakten freigesetzt werden kann, hat den großen Vorteil, dass es das Plasma relativ wenig kontaminiert. In aufwendigen Monte-Carlo-Simulationen simulieren Forscher Neutronenfluss und -aktivierung und optimieren das Design der Kühlung und speziell auch der Schildblöcke.

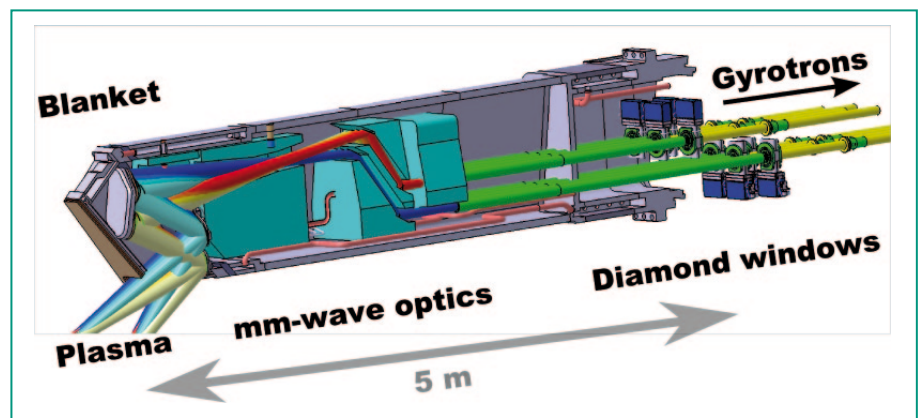
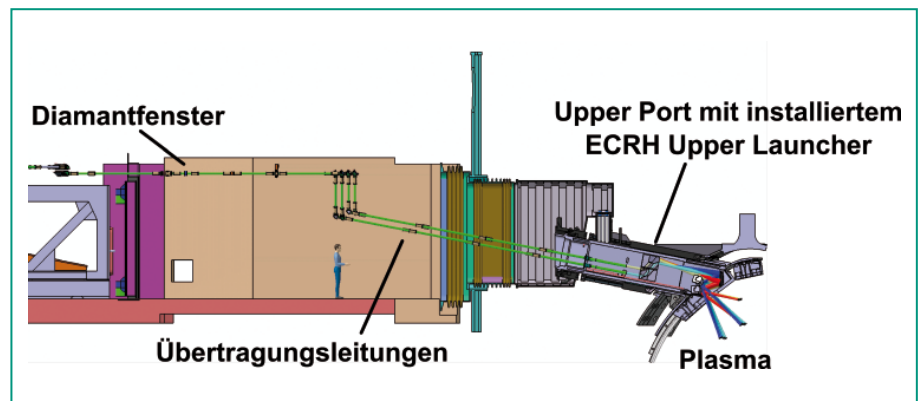
Da in ITER ein möglichst breites Spektrum unterschiedlicher Plasmazustände untersucht werden soll, sind in besonders instabilen Regionen Plasmazusammenbrüche zu erwarten. Dabei können extrem



schnelle Änderungen des Plasmastroms (15MA auf 0MA in rund 40 Millisekunden) auftreten, die wiederum extreme Kräfte in leitenden Strukturen verursachen. Eine kritische Anforderung an das Design von Hauptstruktur und Blanket Shield Module ist daher, dass sie solchen Plasmazusammenbrüchen mechanisch standhalten.

Die Millimeterwellen werden zunächst in Hochleistungsgyrotrons erzeugt, deren Entwicklung das KIT zusammen mit CRPP und dem Mikrowellenröhrenhersteller Thales Electron Devices (Frankreich) maßgeblich vorantreibt. Entwickelt wird ein 2-MW-170-GHz-Gyrotron für den Dauerbetrieb. Es unterscheidet sich von den konventionellen japanischen und russischen 1-MW-ITER-Gyrotrons durch einen koaxialen Aufbau. Rillenhohlleiter-Transmissionsleitungen verbinden die Gyrotrons, die sich außerhalb des Tokamak-Gebäudes befinden, mit den ECRH-Launchern, die für die zielgenaue Einkopplung der Millimeterwellen in das Plasma sorgen. Neben einem Equatorial Launcher (EL) zum großflächigen Stromtrieb sind vier Upper Launcher (UK) für die Plasmastabilisierung zuständig. Über ein Spiegelsystem mit zwei verstellbaren Steuerspiegeln lassen sich der Einstrahlwinkel variieren und das Plasma stabilisieren.

Gyrotron- und Torusvakuumfenster sowie Millimeterwellenspiegel unterliegen einer extremen thermischen Beanspruchung. Zusätzlich zu den ohnehin hohen Wärmelasten in ITER kommt es zu einem weiteren Aufheizen durch die Hochleistungsmillimeterwellen. Erst die Entwicklung neuartiger Gyrotron- und Torusfenster aus künstlichen Diamantscheiben am KIT hat Leistungen von bis zu 2 MW pro Strahlrohr (insgesamt 26 Gyrotron- und 32 Torusfenster) ermöglicht, wie sie in ITER vorgesehen sind. Der Werkstoff Diamant vereinigt höchste mechanische Stabilität mit exzellenter Wärmeleitfähigkeit und extrem geringen Transmissionsverlusten.



Die Diamantscheiben mit einem Durchmesser von 75 bis 106 Millimetern und einer Dicke von 1,11 bis 1,85 Millimetern entstehen in einem wochenlangen chemischen Abscheidungsprozess (Chemical Vapor Deposition – CVD). Anschließend wird die Diamantscheibe durch einen aufwendigen Lötprozess zu einer Fenstereinheit verarbeitet und auf ihre Qualität geprüft. Der Einsatz des am KIT entwickelten UL Torusfensters wird derzeit auch für den von japanischen Forschern entwickelten EL (ITER ECRH Equatorial Launcher – 24 Diamantfenster) diskutiert und darüber hinaus für die ECRH in der Versuchsanlage JET (Joint European Torus) in Großbritannien favorisiert.

Das ITER ECRH Upper Launcher Design hat vergleichsweise früh den „Conceptual Design Review“ (CDR, 2005) und den „Preliminary Design Review“ (PDR, 2009) bestanden. Damit ist der letzte große Meilenstein vor dem endgültigen Design und der Komponentenfertigung erreicht. Der Einsatz einer ECRH wird auch für den geplanten Demonstrationsreaktor DEMO geprüft. Neben grundsätzlichen Überlegungen werden Konzepte für Diamantfenster entwickelt, die in einem breiten Frequenzband reflexionsfrei sind. Darauf aufbauend könnten in der Frequenz durchstimmbare Gyrotrons entwickelt und bisher nicht zugängliche Plasmabereiche lokal aufgeheizt oder zur Stabilisierung in festem Einstrahlwinkel bestrahlt werden.

Dirk Strauß

Weitere Infos:

Dr. Dirk Strauß
 Institut für Materialforschung I
 Telefon +49 7247 82-3964
 E-Mail dirk.strauss@kit.edu



*Die Anlage
GESA IV
auf dem
Campus Nord
des KIT.*

Gepulste Elektronenstrahlen schaffen Schutzschicht gegen Korrosion

In Transmutationsanlagen eingesetzte Hüllrohre aus Stahl müssen dem Kontakt mit aggressivem flüssigem Blei standhalten. Das am KIT entwickelte GESA Verfahren schützt den Stahl vor Erosion und starker Oxidation: Mithilfe von gepulsten Elektronenstrahlen wird Aluminium in die Oberfläche des Stahls legiert.

Die Transmutation ist ein langfristig denkbarer Weg, radioaktive Abfälle wesentlich zu verringern und die Endlagerung von geologischen auf historische Zeiträume zu verkürzen. Langlebige, stark toxische Radionuklide wie Plutonium und Americium werden aus den abgebrannten Brennstäben herausgeholt und mit schnellen Neutronen beschossen. So entstehen kurzlebigere, weniger toxische Radionuklide. Wissenschaftler des KIT befassen sich mit verschiedenen Aspekten einer möglichen Transmutationsanlage, unter anderem mit Flüssigmetalltechnologien.

In einer Transmutationsanlage herrschen hohe Temperaturen. Als Kühlmittel eignen sich flüssiges Blei oder ein flüssiges Gemisch aus Blei und Wismut. Auch ein Reaktortyp der so genannten Generation IV von Kernkraftwerken wird mit Blei oder einer Blei-Wismut-Legierung gekühlt (Lead-Cooled Fast Reactor – bleigekühlter schneller Reaktor). Die Stahlkomponenten der Anlagen müssen dabei gut geschützt werden, damit die heißen flüssigen Metalle sie nicht angreifen. Forscher des KIT haben verschiedene Stähle, die für Hüllrohre in Transmutationsanlagen infrage

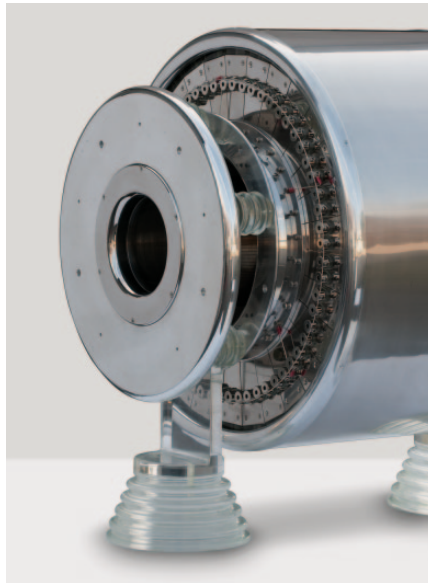
kommen, auf ihre Kompatibilität mit den flüssigen Metallen untersucht.

Einige Legierungsbestandteile in Stählen lösen sich leicht in Blei und Blei-Wismut. Dies führt zum Eindringen des flüssigen Metalls in den Stahl und damit zur Schwächung von dessen Struktur. Solcherart geschädigte Stähle sind in dynamischen Systemen von der Zerstörung durch Erosion bedroht. Da die Löslichkeit von der Temperatur abhängt, kommt es in dynamischen Systemen zu einem thermischen Massentransport: Lösung in den heißen Zonen und Ablagerung, die letztlich zu Verstopfung führt, in den kühleren Bereichen. Diese Vorgänge lassen sich verhindern, indem im Blei oder seiner Legierung Sauerstoff gelöst wird, und zwar in einer Konzentration, bei der sich Oxidschichten an der Oberfläche des Stahls bilden, welche die Lösung unterbinden. Die Sauerstoffkonzentration muss

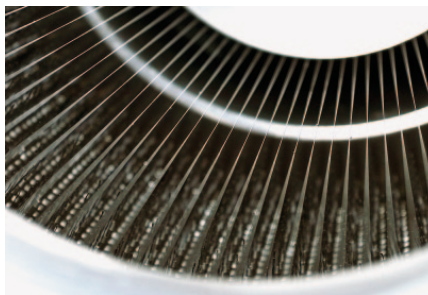
dabei gerade so hoch sein, dass der Stahl oxidiert, die Bleilegierung jedoch nicht. Allerdings ist eine starke Oxidation des Stahls unbedingt zu vermeiden, denn dicke Oxidschichten platzen leicht ab. Außerdem ist die Wärmeleitfähigkeit von Oxidschichten deutlich geringer als die von Stahl, was die Wärmeabfuhr durch das Kühlmittel beeinträchtigt.

Eine Möglichkeit, beide Korrosionserscheinungen – sowohl den Lösungsangriff als auch die allzu starke Oxidation – zu vermeiden, sind dünne Oxidschichten, die das Herauslösen von Legierungsbestandteilen verhindern, ohne die Wärmeabfuhr wesentlich zu verschlechtern. Diese Schutzschichten müssen selbstheilend sowie in Blei und Blei-Wismut bis zu einer Temperatur von 650 Grad korrosionsbeständig sein, dürfen nur eine geringe Aktivität im Stahl besitzen und die mechanischen Eigenschaften nicht negativ beeinflussen. Außerdem muss der Beschichtungsprozess sich auf einen industriellen Maßstab übertragen lassen.

Wissenschaftler am Institut für Hochleistungsimpuls- und Mikrowellentechnik (IHM) des KIT legieren starke Oxidbildner wie Aluminium in die Stahloberfläche ein. Dazu haben sie in Kooperation mit dem Efremov-Institut in St. Petersburg das GESA (Gepulste Elektronenstrahl-Anlagen) Verfahren entwickelt: Mithilfe von gepulsten Elektronenstrahlen lassen sich Materialien bis in 100 Mikrometer Tiefe kurzzeitig volumetrisch erwärmen,



Die zylindrische Kathode von GESA IV erlaubt das Umschmelzen von Hüllrohrabschnitten mit nur einem Puls.

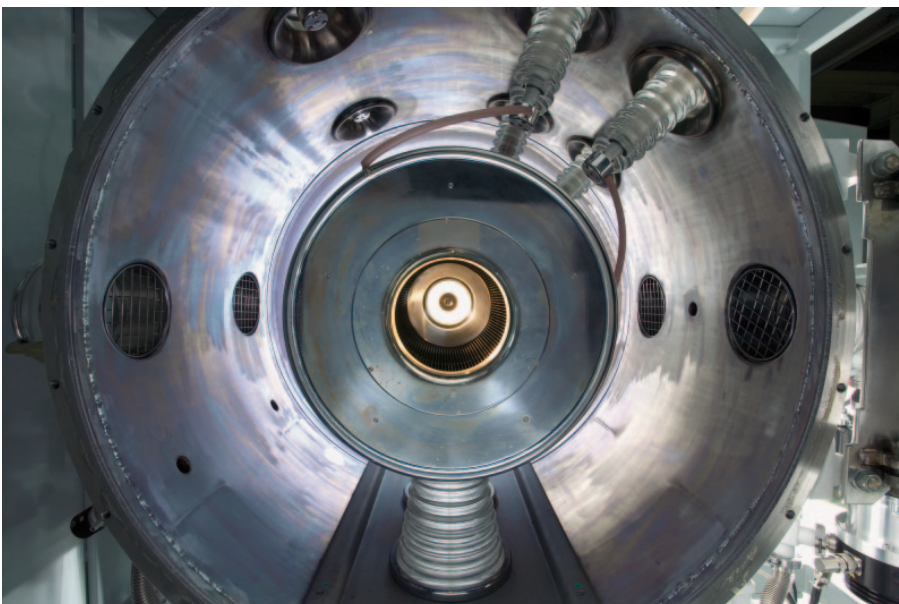


Teilansicht der Hochleistungs-Plasmaelektronenquelle von GESA IV. Sie besteht aus 2 400 Graphitfaserbündeln, die bei Anlegen der Hochspannung Plasma generieren.

schmelzen oder verdampfen. So wird eine zuvor aufgebrachte dünne Aluminiumschicht oder eine Folie in die Stahloberfläche eingebracht. Nach der GESA Behandlung sind das Aluminium und der Stahl zu einer Oberflächenlegierung verschmolzen. Vorteile des GESA Verfahrens sind, dass der Aluminiumanteil sich gut kontrollieren lässt, dass er sich auf eine definierte Oberflächenschicht beschränkt und dass die mechanischen Eigenschaften des Grundwerkstoffs erhalten bleiben. Die in GESA behandelten Hüllrohre werden in der Laboranlage COSTA auf ihre Korrosionsbeständigkeit getestet: Nach einigen Monaten bis zwei Jahren in heißem Flüssigmetall ist die Oberfläche unverändert glänzend; im Querschliff sind weder Oxidation noch Lösungsangriff zu erkennen.

Die neueste Version von GESA auf dem KIT-Campus Nord wurde speziell zur Behandlung von Hüllrohren für Transmutationsanlagen entwickelt. Sie besteht aus einem Hochspannungsgenerator und einem zylindrischen Elektronenbeschleuniger in einer Vakuumkammer. Der Elektronenstrahl ist 32 Zentimeter lang; die Pulsdauer beträgt 35 Mikrosekunden. Dank der zylindrischen Kathode lässt sich ein Hüllrohr von außen auf einer Länge von rund 30 Zentimetern mit einem Puls umschmelzen. So benötigt die Behandlung eines kompletten Hüllrohrs nur wenige Pulse.

Georg Müller
Alfons Weisenburger



Blick in die Vakuumkammer von GESA IV.

Weitere Infos:

Dr. Georg Müller
Institut für Hochleistungsimpuls- und Mikrowellentechnik
Telefon +49 7247 82-4669
E-Mail georg.mueller@kit.edu

Lösungen für elektrische Mobilität

Elektromobilität hat Zukunft. Das Konzept, Fahrzeuge als Energiespeicher in ein intelligentes Energienetz zu integrieren, ermöglicht innovative Dienste und die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien. Doch noch sind viele Fragen offen. Forscher des KIT-Zentrums Energie erarbeiten Antworten – unter anderem zu Ladestrategien, Akzeptanz, Geschäftsmodellen und Rohstoffverfügbarkeit.

Auf dem Campus Süd des KIT entsteht derzeit ein „Smart Home“ – ein Demonstrationslabor, in dem Wissenschaftler die Integration von Elektrofahrzeugen in das Energiesystem eines Hauses erproben. Das Gebäude ist ausgestattet mit intelligenten Haushaltsgeräten wie Waschmaschine und Kühlschrank sowie mit einem Energiemanagementsystem. Eine Photovoltaikanlage und eine Mikro-Kraft-Wärme-Kopplungsanlage erzeugen Strom. Über eine Ladestation sind Elektrofahrzeuge als Energiespeicher und -verbraucher angebunden. Im Sommer dieses Jahres sollen die ersten Testbewohner in das rund 60 Quadratmeter große „Smart Home“ einziehen, um unter anderem verschiedene Anreizsysteme zu testen.

Das Labor ist Teil des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderten Projekts MeRegioMobil. Es geht darum, Informations- und Kommunikationstechnologien zur Integration der Elektromobilität in bestehende Energie- und Verkehrssysteme zu entwickeln und

zu testen. Dies geschieht im Labor, aber auch in einem Feldversuch sowie durch Simulationen und Evaluationen. Das Konsortium von MeRegioMobil besteht aus Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft unter Führung der EnBW Energie Baden-Württemberg. Partner sind Daimler, Opel, Bosch, SAP und die Stadtwerke Karlsruhe sowie das KIT und das Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI). Am KIT ist MeRegioMobil ins Zentrum Energie eingebunden. Elf Lehrstühle bringen ihre Kompetenzen in den Bereichen Angewandte und Theoretische Informatik, Softwaredesign, Rechtswissenschaft, Energiewirtschaft, Elektroenergiesysteme und Hochspannungstechnik, Elektrotechnik, Telematik und Informationswirtschaft ein.

So analysieren Forscherinnen und Forscher am Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP) die Auswirkungen der Elektromobilität auf Energie- und Stoffströme. Eine wichtige Frage ist, inwieweit die Energiespeicher

der Fahrzeuge künftig dazu beitragen können, die im Tagesverlauf sich ändernde Energienachfrage auch durch ein volatiles Stromangebot aus erneuerbaren Energien zu decken. Dabei kommt es wesentlich auf die Ladestrategien an: Bei unkontrolliertem Laden sind vor allem abends Kapazitätsengpässe zu befürchten. Diese lassen sich durch unidirektional zeitlich kontrolliertes Laden (aus dem Netz ins Fahrzeug) vermeiden. Kontrolliert bidirektionales Laden (aus dem Netz ins Fahrzeug und zurück aus dem Fahrzeug ins Netz – Vehicle to Grid/V2G) ermöglicht es darüber hinaus, weitere Systemdienstleistungen bereitzustellen. So lässt sich beispielsweise bei unvorhergesehenem wechselhaftem Wind die daraus gewonnene, aber gerade nicht benötigte Energie in den Fahrzeugen zwischenspeichern (Kontrollreserve).

Weitere Themen sind die Analyse der Kundenakzeptanz sowie mögliche neue Geschäftsmodelle. Noch enthält der künftige Strommarkt für Elektrofahrzeuge viele unbekannte Größen wie Zahl der Fahrzeuge, Reichweite, Ladedauer, Abnutzung und Kundenakzeptanz. Die Forscher erstellen Szenarien mit zeit- und lastvariablen Tarifmodellen, verschiedenen Infrastrukturmixen und Ladestrategien. Zu klären sind darüber hinaus das Eigentum an Fahrzeug und Batterie, der Betrieb von Ladestationen und die Art der Abrechnung. Erfahrungen im Labor- und Feldversuch ergänzen die aus den Szenarien gewonnenen Erkenntnisse.

Auch neben MeRegioMobil bearbeiten Forscher und Forscherinnen des KIT viele Fragen zur Elektromobilität. Das Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) befasst sich beispielsweise mit der Verfügbarkeit von Rohstoffen zur Produktion von Batterien und Motoren, der gerade dann besondere Bedeutung zukommt, wenn der Elektromobilitätsmarkt stark wächst. Ein am ITAS entwickeltes detailliertes Stoffstrommodell berücksichtigt den gesamten Lebensweg mit Gewinnung, Verarbeitung, Nutzung sowie Recycling und Deponierung, dazu mögliche Lagerbildungen, Recyclingpotenziale und dissipative Verluste. Ergänzt durch Informationen zu Reserven und Ressourcen

Speichertyp	enthaltene Metalle
Nickel-Cadmium-Akku	Cadmium, Nickel
Nickel-Eisen-Akku	Nickel, Eisen
Nickel-Metallhydrid-Akku	Lanthan, Neodym, Nickel, Kobalt, Silizium
Lithium-Ionen-Akku	Lithium, Kobalt, Nickel, Mangan, Aluminium
Lithium-Polymer-Akku	Lithium, Kobalt, Nickel, Mangan, Aluminium
Lithium-Titanat-Akku	Lithium, Titan
Lithium-Mangan-Akku	Lithium, Mangan
Lithium-Eisen-Phosphat-Akku	Lithium, Eisen
Lithium-Luft-Akku	Lithium
Zinn-Schwefel-Lithium-Ionen-Akku	Zinn, Lithium
Vanadium-Redox-Flow-Akku	Vanadium

Metallische Rohstoffe in verschiedenen Typen von elektrochemischen Speichern.



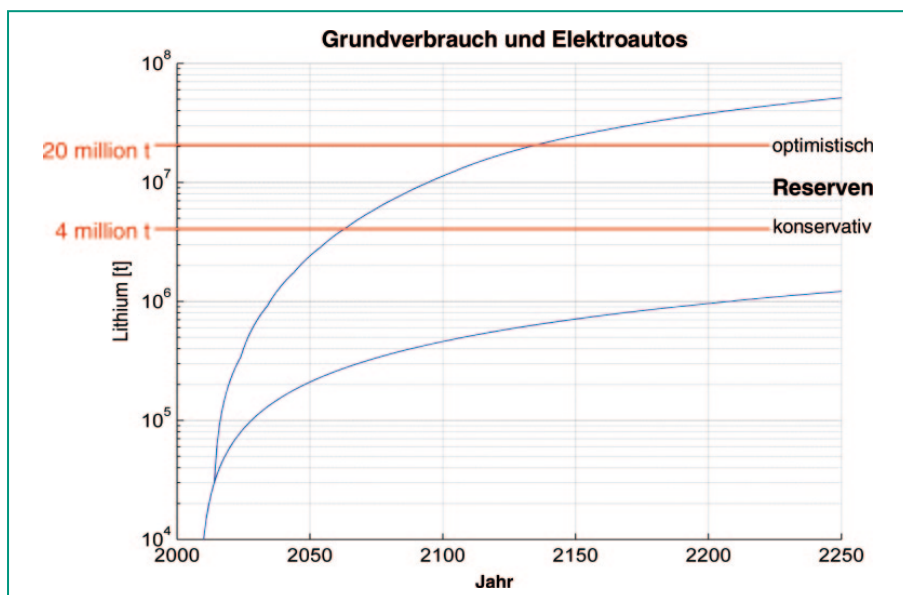
Das „Smart Home“ auf dem Campus Süd des KIT.



Ein Elmoto – Elektro-Kleinkraftrad – an einer Ladestation.

sowie zur Nachfrageentwicklung, bildet dieses Modell die Basis für Szenarien zur künftigen Rohstoffverfügbarkeit.

Einer der untersuchten Rohstoffe, für den die Forscher ein Szenarium erstellt haben, ist Lithium: Den Grundverbrauch bilden die Anwendungen Glas, Keramik, Aluminium, Legierungen, Schmiermittel, Chemikalien, Pharmazeutika, Batterien sowie Akkumulatoren für Notebooks und Mobiltelefone. Der entsprechende Lithiumverbrauch beträgt derzeit 25 000 Tonnen pro Jahr mit einer jährlichen



Verbrauchsszenarium für Lithium (M. Weil 2009)

Steigerung von drei Prozent. Für den zusätzlichen Verbrauch durch Elektromobilität sorgen in 100 Jahren 500 Millionen Elektroautos mit Lithium-Akkus, und zwar je zur Hälfte Hybridfahrzeuge (1-3 kWh) und reine Batteriefahrzeuge (10-25 kWh). Die Massenproduktion beginnt 2015. Es wird ein exponentielles Wachstum für Hybrid- und Batteriefahrzeuge angesetzt. Der durchschnittliche Verbrauch beträgt 0,3 kg Li/kWh. Fahrzeuge und Batterien halten zehn Jahre. Es wird angenommen, dass kein Lithiumrecycling erfolgt.

Wie die Grafik zeigt, lässt sich auch in diesem extremen Szenarium eine zeitnahe Erschöpfung der Lithiumvorkommen nahezu ausschließen. Erst nach 2050 ist mit der Erschöpfung der konservativ geschätzten Reserven zu rechnen. Recycling würde die Erschöpfung entsprechend verzögern. Allerdings befinden sich mehr als 90 Prozent der Lithiumreserven in Südamerika und China, wo daher auch die Produktion konzentriert ist. Dies birgt ein erhebliches Risiko für die Versorgungssicherheit. Auch lässt sich noch nicht absehen, ob die Gewinnung mit einer sprunghaft ansteigenden Nachfrage mithalten kann. Hinzu kommt, dass bisher kein Lithium-Recycling aus Akkumulatoren erfolgt, so dass sich der mögliche Beitrag zum Angebot noch nicht bestimmen lässt. Abgesehen davon lässt sich Lithium in Lithium-Ionen-Batterien nicht adäquat durch einen anderen Rohstoff ersetzen. Zwar sind alternative Batteriesysteme verfügbar, aber lithiumbasierte Systeme weisen momentan die besten Eigenschaften auf. Selbst viele der Batteriesysteme, die derzeit noch in der Entwicklung sind, enthalten Lithium.

Patrick Jochem
Saskia Ziemann

Weitere Infos:

Dr. Patrick Jochem
Institut für Industriebetriebslehre
und Industrielle Produktion
Lehrstuhl Energiewirtschaft
(Professor Dr. Wolf Fichtner)
Telefon +49 721 608-4590
E-Mail jochem@kit.edu

Saskia Ziemann, Dr. Marcel Weil
Institut für Technikfolgenabschätzung
und Systemanalyse
Telefon +49 7247 82-8178
E-Mail saskia.ziemann@kit.edu,
marcel.weil@kit.edu

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